316.418

14
1981

AZ MTA FÖLD- ÉS BÁNYÁSZATI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

14. kötet
1. szám

1981

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
FÖLD- ÉS BÁNYÁSZATI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK

KÖZLEMÉNYEI

FŐSZERKESZTŐ
MARTOS FERENC

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG
BERNÁT TIVADAR, GRASSELLY GYULA, HOMORÓDI LAJOS,
MESKÓ ATTILA, MÉSZÁROS ERNŐ, PÉCSI MÁRTON,
SZÁDECZKY-KARDOSS ELEMÉR, TÓTH MIKLÓS

SZERKESZTŐ
PÉCSINÉ, DONÁTH ÉVA

A Magyar Tudományos Akadémia Föld- és Bányászati Tudományok Osztályának Közleményei változó terjedelmű füzetekben jelennek meg. Négy füzet alkot egy kötetet. Évenként általában egy kötet jelenik meg.

A kéziratok a következő címre küldendők:

1051 Magyar Tudományos Akadémia
Föld- és Bányászati Tudományok Osztályának Közleményei
Budapest V., Münnich Ferenc utca 7.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

A közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttatja a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért vagy továbbításáért nem vállal.

A Közlemények előfizetési ára kötetenként 100 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó (1363 Budapest, Alkotmány utca 21. Pénzforgalmi jelzőszámunk: 215—11 488), külföldi megrendelések a „Kultúra" Külkereskedelmi Vállalat, 1900 Budapest, Fő utca 32. Pénzforgalmi jelzőszám: 218—10 990 útján eszközölhetők.

A Magyar Tudományos Akadémia Föld- és Bányászati Tudományok Osztályának idegen nyelvű kiadványai az *Acta Geologica* és az *Acta Geodetica, Geophysica et Montanistica* c. folyóiratok. E lapok hivatottak a magyar föld- és bányászati tudományok eredményeinek legjavát, egyes kiváló külföldi tanulmányokkal együtt, a külföldnek tolmácsolni. A cikkek angol, német, francia vagy orosz nyelven jelennek meg (lehetőleg a szerző kívánsága szerint), a cikk nyelvétől eltérő nyelvű összefoglalóval. A cikkeket magyar vagy a szerző választotta idegen nyelven (és magyar nyelven) kell a szerkesztőségek címére (1051 Budapest, Münnich Ferenc u. 7.) beküldeni.

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FÖLD- ÉS BÁNYÁSZATI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

14. KÖTET
1. FÜZET

A FELSZÍNALATTI VÍZMOZGÁSÁNAK VIZSGÁLATA KÖZVETETT MÓDSZEREKKEL A MAGYAR MEDENCE PÉLDÁJÁN

ERDÉLYI MIHÁLY

1. Bevezetés

A felszínalatti vízáramlási rendszer jellegét a következők jelzik:

a) Nyomásviszonyok. Az utánpótlódás területén a nyomás növekedése lefelé kisebb a hidrosztatikusnál. A megcsapolás övezetében viszont a nyomás lefelé a hidrosztatikusnál nagyobb mértékben növekedik.

b) A víz vegyi összetétele.

c) Geotermális viszonyok. Az átlagosnál kisebb geotermikus gradiens jelzi, hogy gyors az utánpótlódás a jó vízvezető kőzetben. A területre jellemző átlagnál nagyobb geotermikus gradiens jelzi a felszálló mélységi vizet (ALFÖLDI—GÁLFI, 1966; ERDÉLYI, 1964; SÜMEGHY, 1929).

d) Természetes izotópok.

A legtöbb üledékes medencében egynél több elkülönült víztartó képződmény van. Az egyes víztartók között gyakorlatilag dinamikai kapcsolat van, mert tökéletesen vízzáró kőzet nincs, különösen, ha földtani időmértékben számolunk. A víz az egyik víztartóból a másikba szivároghat a majdnem vízzáró „záróréteg"-en át, ha a víztartók között nyomáskülönbség van.

A felszínalatti vízmozgás vizsgálatához elsősorban nyomásadatokra van szükség. Sokszor azonban, főleg nagyobb területű hidrogeológiai egységek esetén: (1) Nincs elegendő pontos — geodéziailag bemért — nyomásszint. (2) Kevés a gyakorlatilag függélyben levő 2—3 megbízható nyomásadat. (3) Gázos kutak esetén még a jó és elégséges számú nyomásadat értéke is csak viszonylagos.

A felszínalatti víz, főleg a rétegvíz, hidrodinamikai vizsgálata költséges és időigényes művelet. A szerző hét nem-európai országban szerzett tapasztalatai szerint igen kevés olyan nyomásadat van, ami alkalmas az áramlási rendszer vizsgálatára. Ezzel szemben a vízkémiai adat többszöröse a nyomásadatnak. Kevés viszont a geotermikus adat, főleg a mélységi hőmérsékletmérés. Még kevesebb az izotópvizsgálat.

Elegendő számú és pontosságú nyomásadat híján az áramlási képet kénytelenségből indirekt módszerekkel kell megszerkeszteni, vagyis vízkémiai, geotermikus és izotóp vizsgálatokkal. A fentebbiek értelmében főleg a vízké-

MTA X. Osztályának Közleményei 14/1, 1981

miai módszereknek van jelentőségük, különösen a fejlődő országok hidrogeológiai kutatásában.

A közvetett módszerekkel szerkesztett áramlási kép akkor teljes értékű, ha azt a pontos nyomásadatokból szerkesztett nyomásszelvény és térkép is igazolja.

A Magyar Medence (Közép-dunai Medence) alkalmasnak látszott annak megvizsgálására, hogy a közvetett kutatási módszerek mennyire használhatók a felszínalatti regionális vízmozgás vizsgálatára, ha a nyomásadatok erre csak részben vagy egyáltalán nem alkalmasak (ERDÉLYI, 1973).

2. A Magyar Medence hidrodinamikai áttekintése

A szerző rövidített formában már közölte a Magyar Medence hidrodinamikájára vonatkozó kutatási eredményeit (ERDÉLYI, 1973, 1975). Az indirekt módszerekre vonatkozóan azonban csak igen vázlatosan tért ki (ERDÉLYI, 1973). Ez a tanulmány egy 1973-ban készült kéziratos munkának az újabb adatok alapján végzett átdolgozása.

Egy nagy természeti egység felszínalatti vízmozgásának többféle módszerű elemzésére, az összehasonlító vizsgálatok elvégzésére Magyarország, de főleg az Alföld területe, több kedvező körülmény miatt volt igen alkalmas. Ezek:

1) 1972 végéig 9800 ismert szűrőzési mélységű fúrott kút tengerszint feletti magasságát határozták meg szintezéssel.

2) Több száz két vagy több víztartót harántoló fúrásban állapították meg kútvizsgálatok során az egyes rétegek vízszintjét.

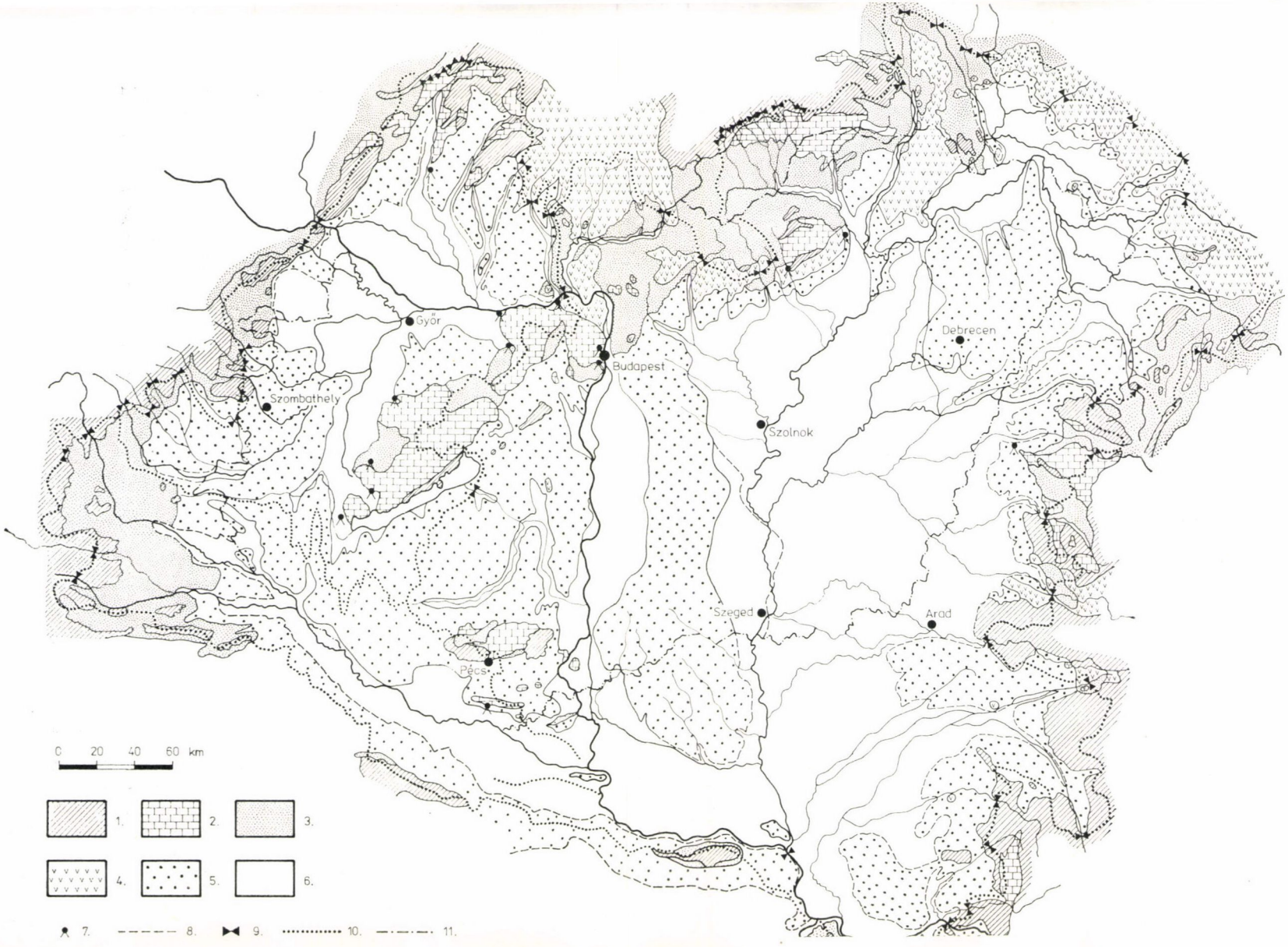
3) Sok, különböző rétegeket megcsapoló kút van kis területen, főleg az alföldi vízművek területén.

4) 1972 végéig már kb. 6000 vízfúrást szelvényeztek elektromosan (legalább porozitás- és ellenállásméréssel), így a kutak legnagyobb részének van geofizikai furatszelvénye a harántolt rétegek egészéről, vagy azok legnagyobb részéről.

5) Mintegy 11 000 fúrott kút vízéről készült vegyelemzés. Ezek nagy többsége közegészségügyi célú szabványos elemzés. Szerencsére a statisztikai értékelésre alkalmas alkotók egy részét tartalmazza.

→

1. ábra. A Magyar Medence hidrodinamikai és hidrogeológiai térképe (ERDÉLYI, 1973-II, átdolgozás 1976). Az utánpótlodás területei (1—5) 1. kristályos kőzetek (paleozoikus); 2. karsztosodott kőzetek (mezozoikus mészkő és dolomit); 3. eocén, oligocén és miocén üledékes kőzetek; 4. neogén vulkanikus kőzetek; 5. pliocén és negyedkori üledékek; 6. megcsapolás területei; 7. nagyhozamú karsztforrás; 8. zéró hidraulikus gradiens a felszínalatti 400—600 m-ben; 9. vízzáró kőzetű völgyszűkület; 10. a Magyar Medence belső vízválasztója; 11. országhatár


Győr
Budapest
Debrecen
Szombathely
Szolnok
Szeged
Arad
Pécs
0 20 40 60 km
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.
11.

6) Magyarország mélyfúrású kútjainak katasztere 1959-ben készült el és azóta is kiegészül. A kutak fontos adatai 1963-tól folyamatosan kiadványsorozatban jelennek meg (URBANCSEK).

7) Magyarország hévízkútjai sorozat 3 kötete jelent meg 1965 óta a *Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ* és elődje kiadásában.

8) Budapest hévízei 1968-ban jelent meg a *Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet* Kiadásában.

Szükséges tehát, hogy a következőkben röviden áttekintsük a Magyar Medence hidrogeológiáját és hidrodinamikáját.

Mély és nagy területű áramlási rendszerek kialakulásához és folyamatosságához szükséges:

(1) nagy helyzeti energia, (2) elégséges csapadék, (3) kiterjedt és mélyre hatoló vízvezető kőzetek nagy területű felszíni előfordulása.

A Magyar Medence morfológiája biztosítja a mély áramlási rendszerhez szükséges potenciális energiát.

Az 500 mm-nél több évi csapadék, meg a mély és jó vízvezető kőzetek nagy felszíni elterjedése fenntartják a mély áramlási rendszert (1. és 2. ábra).

A központi medencék (Kisalföld, Alföld, Drávavölgy, Szávavölgy) határa a pliocén és idősebb képződmények felszíni érintkezésének vonala (1. ábra).

Ez a vonal igen jó természetes határ, mely megmutatkozik a terület hidrológiájában, morfológiájában, de ősföldrajzában is.

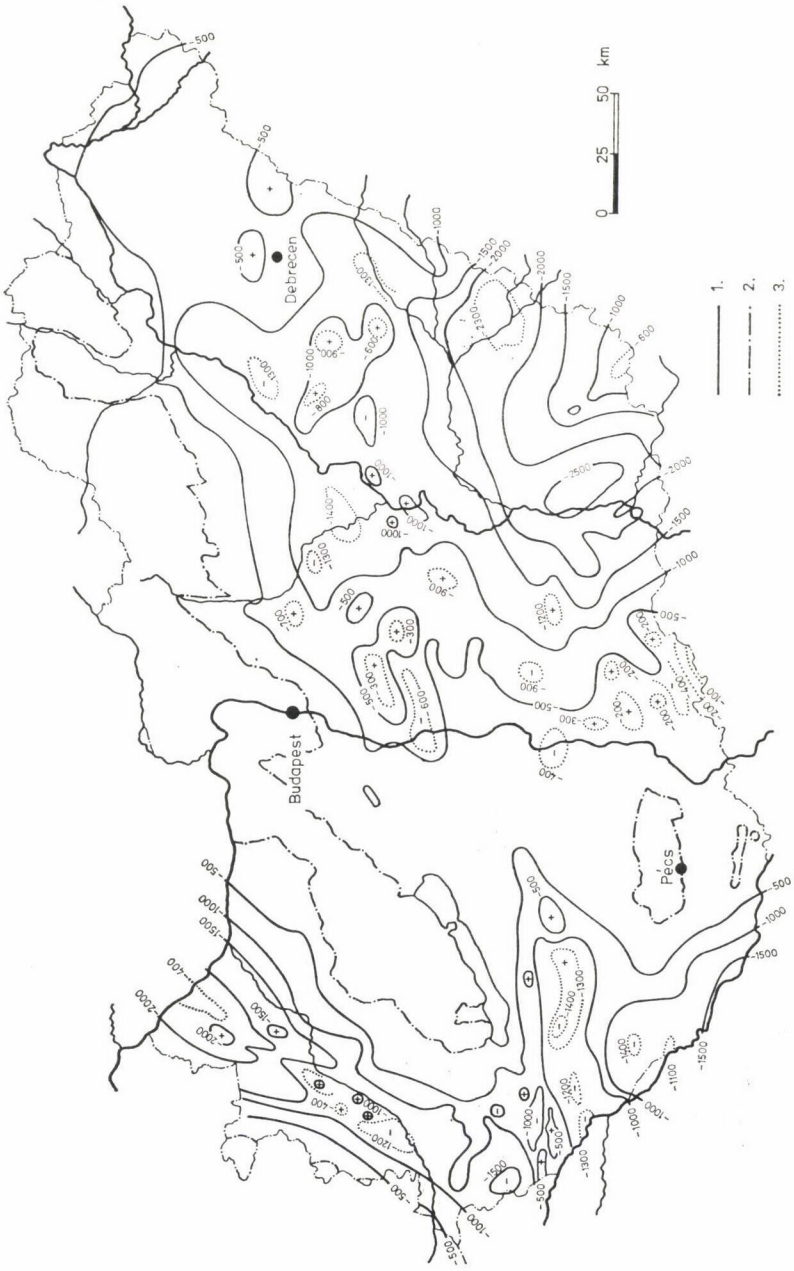
A medence erős süllyedése ugyanis legnagyobb részt a pliocén idejére esik. A központi medencék gyors süllyedése a pliocénben és a negyedkorban történt. Ez a fentebb tárgyalt határvonal majdnem mindenütt a mélyrehatoló szegélytöréseket követi. A határoló törések sávjától befelé a medence töltelék lényegesen vastagszik, sokszor igen rövid távolságra a peremtől (3. és 4. ábra). A belső medencék fiatal földtani korát jelzi az is, hogy a kristályos alapra nagy területen a felső pannonnál nem idősebb rétegek települtek (KÖRÖSSY, 1968).

Az áramlási rendszer lefelé gyakorlatilag az alsó pliocén tetejéig terjed, kivéve a hegységi peremek vékony homokos alsó pliocénjét (3. ábra). A felső pannonban nátriumhidrokarbonátos víz van, benne az olaj és víz határa dőlő felület (BÉRCZI—KÓKAI, 1978). Az alsó pannonban gyakorlatilag pangó nátriumklorid típusú víz van.

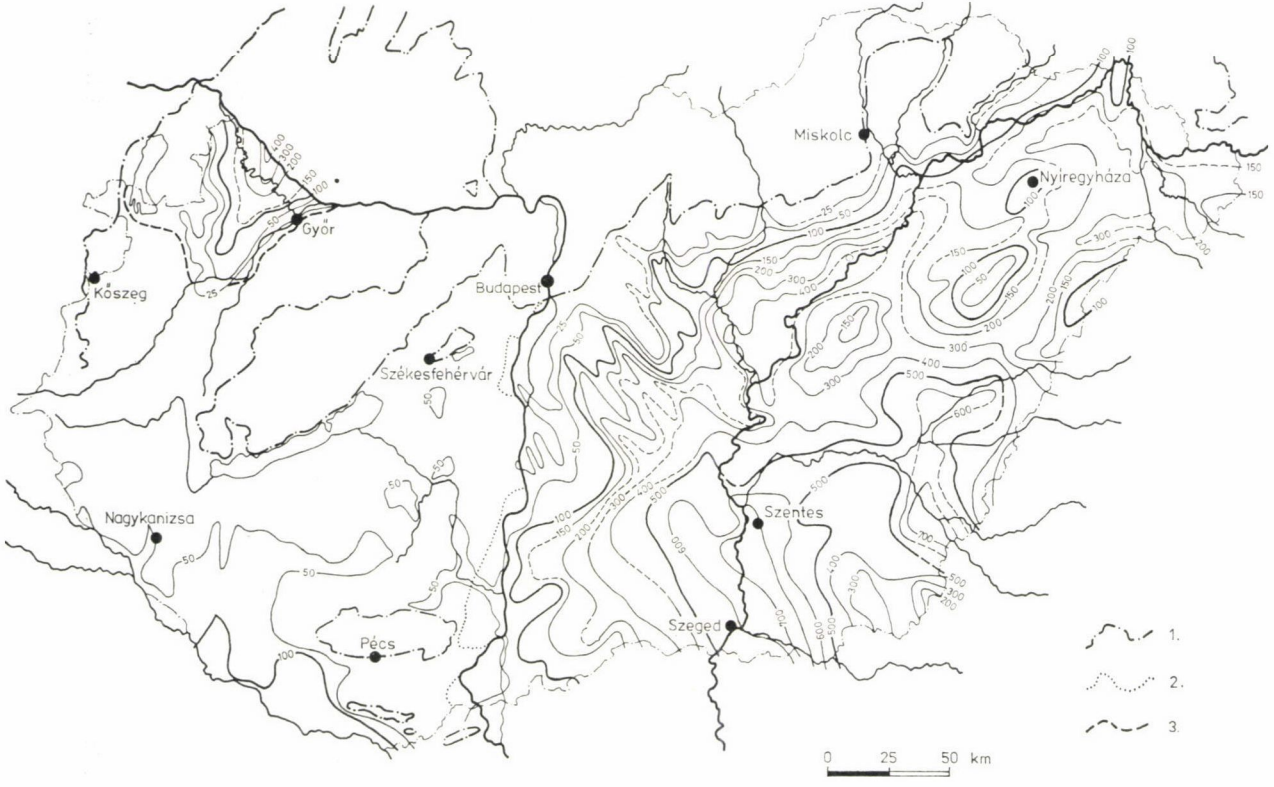
A központi medence két szerkezeti emeletre tagozódik. A felső szerkezeti emeleten a pliocén üledékek vannak a felszínen, vékony negyedkori takaróval fedetten vagy anélkül. Az alsó szerkezeti emelet a negyedkori süllyedékek területe (4. ábra).

Mindkét alföldünk szerkezete igen hasonló. A pliocén hévizes formációt (regionális áramlási régió) az alföldek területének nagyobb részén gyakorlatilag vízzáró vagy igen gyengén vízvezető vastag réteg választja el a felette levő köztes „hidegvizes" áramlási régiótól, mely a negyedidőszaki kőzetekben foglal helyet (5. ábra).

2. ábra. A felszínalatti 150—300 m-ben levő üledékes kőzetek vízének nyomásszintje a tengerszinthez képest (ERDÉLYI 1972). 1—3. Nyomási szintvonalak; 4. a hegyvidék határa; 5. igen jó vízáteresztő felszín (futóhomok, löszös homok és homokos lösz a terület több mint 85%-án); 6. lefolyástalan vagy rossz lefolyású terület

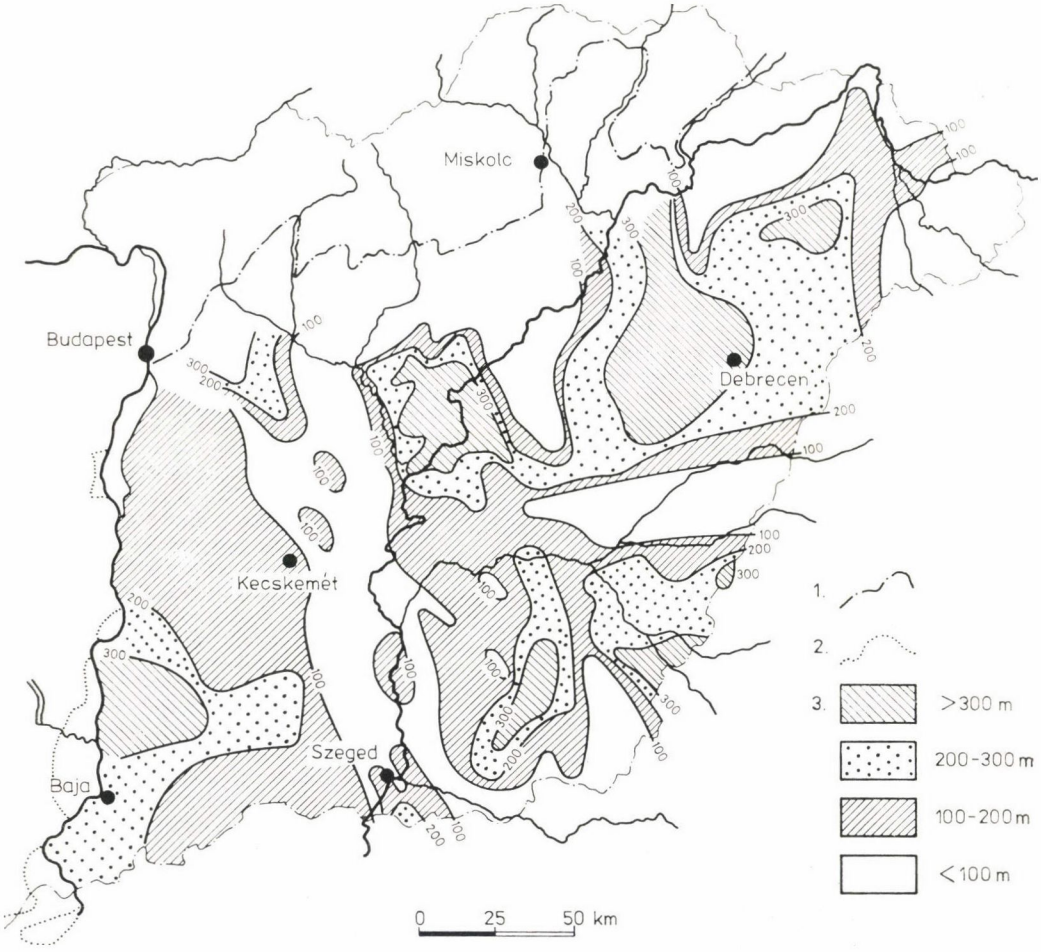


3. ábra. A Magyar Medence áramlási rendszerének feküfelszíne a törmelékes kőzetek területén a tengerszinthez képest (Kőrössy, 1971, átdolgozva 1978). 1. A hegyvidék határa; 2. feküszint-vonalak (500 m); 3. a fekü helyi kiemelkedései, ill. mélyedései helyi szintmagassággal



4. ábra. A negyedkori jellegű üledéksor vastagsági térképe (ERDÉLYI, 1973 — III). 1. Az Alföld északi; 2. nyugati határa; 3. a Kisalföld központi süllyedékének határa

A nyomástérkép (2. ábra) és a szelvények (21—49. ábrák) ábrázolják az eredeti nyomásokat (a termeléssel még nem zavart helyzetet). A térkép szerkesztéséhez a területen kezdetben készült kutak vízének szintjét használtam fel, ezekben ugyanis még a termelés hatása nem érződik. A később fúrt kutak vízszintjeit a megbízhatóság érdekében mindig összehasonlítottam a kezdeti kutak szintjeivel.



5. ábra. A hévizes formáció vízzáró fedőjének vastagsága az Alföldön. Az Alföld északi (1) és nyugati (2) határa; 3. vastagság m-ben

A medence áramlási rendszerének tápláló és „fogyasztó" (megcsapoló) területeit az 1. és 2. ábra mutatja.

3. A felszínalatti vízáramlás kémiai vonatkozásai

A vízigény minőségi és mennyiségi növekedése, meg a felszíni víz szennyeződése ráirányította a figyelmet általában a felszínalatti, de főleg a mélységi vízre, annak felderítésére, hogyan változik vegyi összetétele, beszivárgása (utánpótlása) helyétől megcsapolása (fogyasztás) területéig. A víznek a földkéregben megtett teljes pályáját kell kémiai szemlélettel vizsgálni a felszínalatti térben a geológia és hidraulika módszereivel.

3.1. *A felszínalatti víz vegyi összetétele és a víztartó kőzet*

A felszínalatti víz pályája vegyészeti módszerekkel nyomozható, a néhány méteres szivárgási úttól (pl. alapozási feladat) többszáz kilométeres távolságig (nagy vízföldtani egység áramlási rendszerének kutatása). Függetlenül a méretektől, a vegyészet ennek mindig bevált kutatási módszere.

A felszínalatti víz minőségének és a víztartó kőzet ásványos összetételének kapcsolata sokféle lehet. Igen egyszerű ez a kapcsolat, ha a beszivárgástól a forrásig (vagy kútig) a víz egyetlen, geokémiailag jól jellemezhető kőzeten át halad s ha közben sem felszíni vízzel, sem pedig más felszínalatti vízzel nem keveredik.

3.2. *A víz függőleges és vízszintes zónái a felszínalatti vízáramlás rendszerében*

Sok vízelemzés összehasonlításával mutatta ki Csebotarev (1955), hogy a felszínalatti víz egyre hasonlatosabbá lesz a tengervízhez, amint mind mélyebbre kerül a földkéregben, vagy közeledik a tengerhez. Az uralkodó ionok sorrendje, az oldódási sor, a tengervíz irányában haladva, a következő:

$$HCO_3^- \rightarrow HCO_3^- + Cl^- \rightarrow Cl^- + HCO_3^- \rightarrow Cl^- + SO_4^{--}$$

$$\text{vagy } SO_4^{--} + Cl^- \rightarrow Cl^-$$

A SO_4^{--} dominanciáját sajátságos földtani viszonyok okozzák. E sorrendet Csebotarev így magyarázta:

A legkevésbé oldódó sók válnak ki legelőbb, a legjobban oldódóak legkésőbb. A beszivárgás helyétől és idejétől távolodva a jobban oldódó sók aránylag nagyobb hányadban vannak jelen. A konyhasó oldatban marad mindaddig, míg a víz az igen nagy koncentrációt (35—40 g/l) el nem éri.

A Csebotarev-féle sorrend általában érvényes. Gyakorlatilag azonban csak kivételesen. Igen gyakran változik a függőleges sorrend valamely könnyen oldódó kőzet, vagy a geológiai szerkezet miatt, az uralkodó ion hatására:

$$HCO_3^- \rightarrow HCO_3^- + SO_4^{--} \text{ és } HCO_3^- + Cl^- \rightarrow Cl^- + HCO_3^- \rightarrow Cl^-$$

(Le Breton—Jones 1962).

Általánosságban a felszínalatti víz, függetlenül a kőzettől, kezdetben csapadékból eredő bikarbonátos víz. A sorozat bikarbonátossal kezdődik, majd bikarbonát + klorid, klorid + bikarbonát, klorid + szulfát vagy szulfát + klorid típusokon át jut el a tengervizet megközelítő összetételű kloridos vízhez (CSEBOTAREV).

A víz vegyi összetétele függ a víztartó anyagától. A karbonátkőzet vízében sok a karbonát, a gipszes kőzetében a szulfát. Tiszta kvarchomokból igen kevés anyag oldódik ki.

A vízmozgás irányában a Ca^{++}, a Mg^{++} és a HCO^{-} koncentrációja csökken, a Na^{+}-ioné növekszik, a SO_4^{--} koncentrációja a szulfát redukció miatt csökken.

A víz vegyi összetétele idővel változik, a felszínalatti víz mozgásban van, ezért a vegyi változás térbeli változást is jelöl. Áramlási rendszerekben gondolkodva a CSEBOTAREV-féle szukcessziónak szorosan egybe kell esnie a víz vegyi változásával egy bizonyos áramlási rendszeren belül. A változás mértéke az áramlási rendszer méreteitől függ (BROWN, 1967).

CSEBOTAREV a felszínalatti víz fő típusait a hidraulikus gradienssel hozza kapcsolatba. Eszerint van:

a) aktív zóna,

b) lassú kicserélődés zónája, és

c) pangó zóna.

A felszínalatti víz összetétele főleg a kőzet felszínközeli részében folyó oldódástól függ. Az oldódást három módosító jelenség követi: a redukció, báziskicserélés és töményedés. A lassú vízmozgás valószínűleg e három folyamat hidrodinamikai mechanizmusa (SCHOLLER, 1959).

A legtöbb üledékes terület felszínalatti vize (kivéve a talajvizet) lefelé növekedő oldott anyagtartalmat mutat. Ez részben azért van, mert a sósvíz nehezebb az édesvíznél. A sótartalom növekedése következménye annak is, hogy a mélyebben levő vízre olyan tényezők hatnak, (nagyobb nyomás és hőmérséklet, oldott széndioxid jelenléte), melyek a sótartalmat növelik.

A nagyobb sótartalom forrása lehet az a sósvíz, amely a mély medencékben töréses sávokon, törésvonalak találkozásán át helyileg, vagy igen lassan területileg szivárog felfelé a mély süllyedékben (SÜMEGHY, 1929; SCHERF, 1947, 1948 és 1967).

3.3. *A sós rétegvíz eredete*

Az üledékes kőzetek legnagyobb része tengerben ülepedett le, egy részükben viszont ma édesvíz van. Ez a lerakódásukat követő földtani folyamatok miatt van így. A tengeri üledék többé-kevésbé tömörödött (diagenezis), majd szerkezeti mozgások összetörték, esetleg a tenger színe fölé emelkedett ki és így hézagait édesvíz töltötte ki.

Eredeti tengervíz-e a mélyfúrásokkal feltárt sósvíz? Változott-e később a kőzetbe zárt tengervíz a hidrológiai ciklus során?

Ha ezekre a kérdésekre keressük a választ, a víz útját tengeri eredetű agyagpalában kell követnünk.

Az agyagpalában és ehhez hasonló kőzetekben a finom hézagosság miatt a víz lassan szivárog. A tengerben leülepedett kőzet gyakran megtartja az eredeti tengervizet és oldott anyagait a pórusokban és a kőzetszemcsék vízhártyájában. Az igen lassú áramlás miatt ez az eredeti tengervíz, a „fosszilis" víz igen lassan távozik, a palákban levő vízben ezért igen sok lehet az oldott anyag (HEM, 1959).

A mélységi víz minőségét gyakran lerontja a palából származó víz.

A palából igen kevés vizet lehet termelni, mégis nagy területen ez a vízmennyiség tekintélyes lehet. Lássunk egy példát. Többszáz-többezer négyzetkilométer területű homokkő formáció fedője és feküje pala. Ilyen óriási palafelszínen át nagy vízmennyiség adódhat át a homokkőbe, ha a nyomás ingadozik s így a víz ki- és benyomul a palába (HEM).

Szabadtükrű víz esetén áteresztő kőzetből ennek a palafeküjén át lefelé szivárgó víz a pala alatt levő vízadó vízét lényegesen ronthatja (HEM).

Milyen mélységig szorította ki a kőzetből az édesvíz a sósvizet? Milyen mélységig hatolt le a víz a hidrológiai ciklusban? Ezekre a kérdésekre választ adhat a szénhidrogén kutatás és termelés során a nagy mélységből feltárt víz elemzése (KORIM, 1960).

A „fosszilis" víz sótartalma gyakran akkora, sőt nagyobb, mint a tengervízé. A sók és izotópok típusai és egymáshoz való arányaik azonban mások, mint a tengervízben. Ez arra mutat, hogy az eredeti tengervíz, ha nem is egészében, de jórészt kicserélődött. Ez pedig a nagy mélységig hatoló vízmozgást jelzi (BROWN, 1967).

4. A felszínalatti víz vegyi összetétele és a hegységszerkezet

Az üledék lerakódásával egyidejű, vagy a már kőzetté alakult laza hordalékot érő szerkezeti mozgások okai lehetnek kisebb-nagyobb vegyi anomáliáknak. Ilyen anomáliák nemcsak egyes víztartókban tapasztalhatók, hanem igen nagy és többszintes áramlási rendszerek víztartó képződményeiben is.

A mélységi víznek és a víztartó kőzet ásványi összetételének kapcsolata igen bonyolult lehet, ha vegyileg eltérő vizek ismeretlen arányban keverednek. A vízáramlás vizsgálata igen megnehezülhet, a keveredéssel járó vegyi folyamatok, mint például báziskicserélés, oldott ionok abszorpciója és más folyamatok miatt. A helyzet még bonyolultabb akkor, ha nemcsak eltérő vizek keverednek a szerkezetileg zavartalan üledékes formációban, hanem a keveredés részben még szerkezeti vonal mentén is folyik, vagy csak szerkezeti vonal men-

tén. Ilyen esetekben a szerkezeti vonal mentén rendszerint a nyomás és hőmérséklet is hirtelen változik, ezért gyakran igen különböző jellegű vizek keveredése itt különösen zavarja a folyamat pontos megismerését.

A víz vegyi összetételének hirtelen megváltozása gyakorlatilag mindig azt jelenti, hogy a földtani környezet is változó. Ez a változás lehet formáció- vagy kőzethatár, vízvezető törésvonal, vagy mindkettő együtt, kőzethatár és szerkezeti vonal.

A keskeny, egyenes sávban jelentkező vegyi anomália törésvonalat jelez. A törés sávjában eltérő vegyi jellegű (pl. nagyobb összes sótartalmú víz) és gyakran melegebb víz száll fel és keveredik a felső vízadó vízével. Ez kemény kőzetek esetében ismert és elfogadott magyarázat.

Olyan kísérletek is történtek már, hogy síkvidéken is felderítsék a szerkezeti vonalak mentén felszálló vízáramlást, mégpedig laza és kevéssé tömörödött üledéksorral feltöltött medencékben (Erdélyi, 1964; Kovda—Slavin, 1951; Scherf, 1947).

Az ilyen szerkezetű alföldek vízkémiai anomáliáinak felderítése érdekében figyelni kell azokra a földtani folyamatokra, amelyek az üledék lerakódása alatt vagy közvetlenül utána hatottak. Ezek a földtani folyamatok: differenciált tömörödés és a lerakódással egyidejű vetődés, mely vagy csak az üledékes formációt érte, vagy pedig a medence szilárd kőzetű aljzatát is. A laza, félig tömörödött és vastag üledékes kőzetekkel kitöltött alföldeken a függőleges vízmozgás pályái keletkezhettek: a rétegek kőzettani különbségei miatt másmás tömörödéssel, ugyanazon üledékes kőzetben az üledékképződéssel egyidejű vetődéssel az összvastagság hirtelen megváltozása következtében, vagy települt szerkezeti boltozat (buried hill szerkezet) felett. Szerkezeti vonalak (flexurák és törések) mentén száll fel a mélyből a víz (gázzal vagy anélkül) még a földtanilag „fiatal" és laza, kissé tömörödött kőzetekkel kitöltött medencékben is.

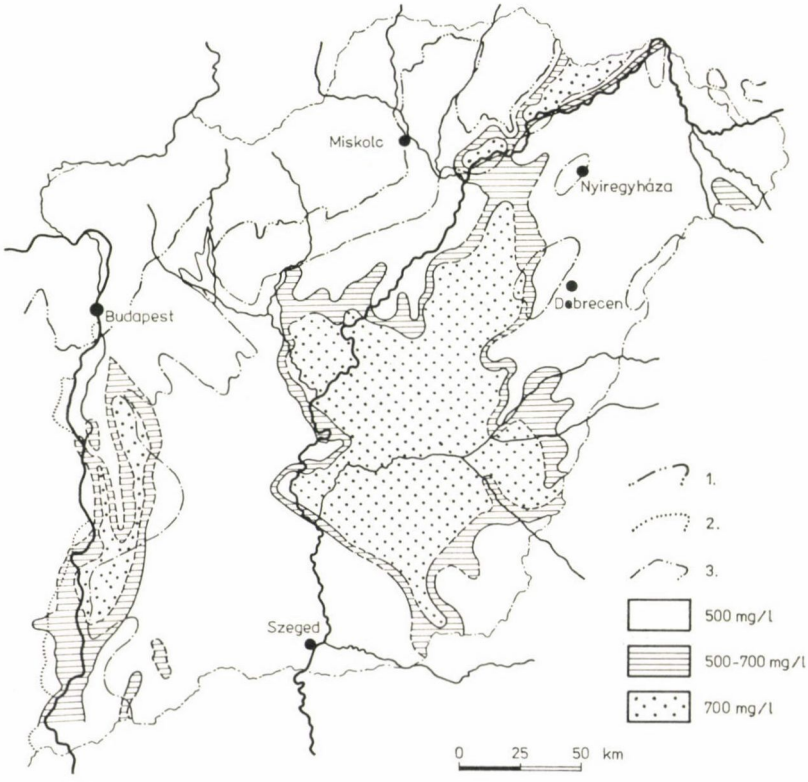
A felszálló víz okozta helyi és regionális vízkémiai anomáliák fenti koncepcióját egyre több szakember fogadja el, még laza üledékes medencék esetében is. Világszerte egyre több adat igazolja azt, hogy a (gyakran nagy mélységből) feltörő víz lényeges alakító tényezője a mélységi víz vegyi összetételének. (Erdélyi, 1964 és 1967); Kovda-Slavin, 1951; Kötter, 1958; Lotze, 1958; Rónai, 1965; Scherf, 1947, 1948 és 1967).

A Magyar-medencében (Rónai, 1965; Scherf, 1947, 1948 és 1967) és másutt is, a kutatási adatok szerint a sós (szikes) talajok azt jelzik, hogy a felszálló víz lényeges tényezője a talajok szerkezeti változásának, ha éghajlat (aridítás) és topográfia (rossz, vagy hiányzó lefolyás), meg a talajvíztükör helyzete kedvez a sók felszínközeli felhalmozódásának (Kovács, 1971; Kovda—Slavin, 1951; Le Breton—Jones, 1962 és Várallyay, 1968).

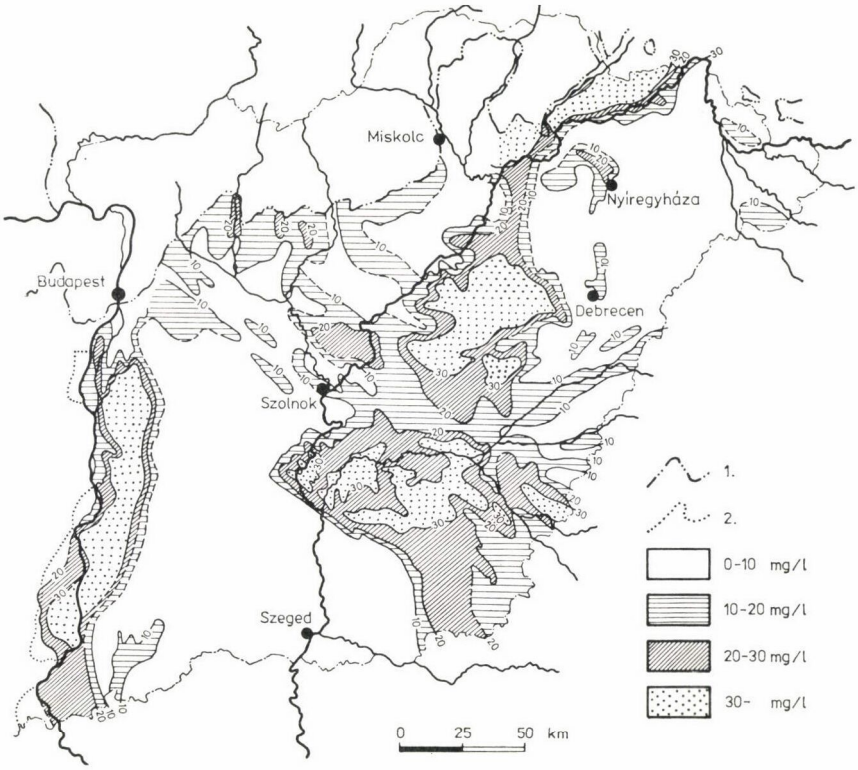
5. A Magyar Medence felszínalatti vizének vízkémiai áttekintése

A Magyar Medence belső mélyedményeinek sósabb vize (6. és 7. ábra) kőzettani, hegységszerkezeti, vegyi, morfológiai és hidrodinamikai tényezők következménye.

A mélyedményekben, kevés kivételtől eltekintve, minden szintben a víz sósabb, mint a környezetében (6. és 7. ábra). Ennek egyik oka a finomszemcsés üledékek nagy százalékos aránya, a rétegek kicsiny dőlése, sőt vízszintes települése, ahogy azt a fekütérképek is jelzik (3. és 8. ábra), bennük kicsiny a víz szivárgási sebessége s ezzel a nagymértékű oldódás lehetősége. Másik oka a sík földfelszín és ott a vízzáró talaj nagy területe és a mélységi sósvíz folyamatos felfelé szivárgása. A részmedencékben a finomszemcsés üledéksorban a víz igen lassan mozog. Ez nemcsak azt jelenti, hogy a lencsés víztartók között igen gyenge a vízforgalom, hanem magában a víztartókban is, hiszen azok is finomszemcsés, különböző mértékben iszapos és agyagos homoklencsék.



6. ábra. Az Alföldön a 150—300 m-es mélységközben feltárt rétegvíz összes oldott sótartalma mg/l-ben (ERDÉLYI, 1972). 1. Az Alföld északi; 2. nyugati határa; 3. a negyedkori jellegű üledéksor 100 m-es vastagsági vonala



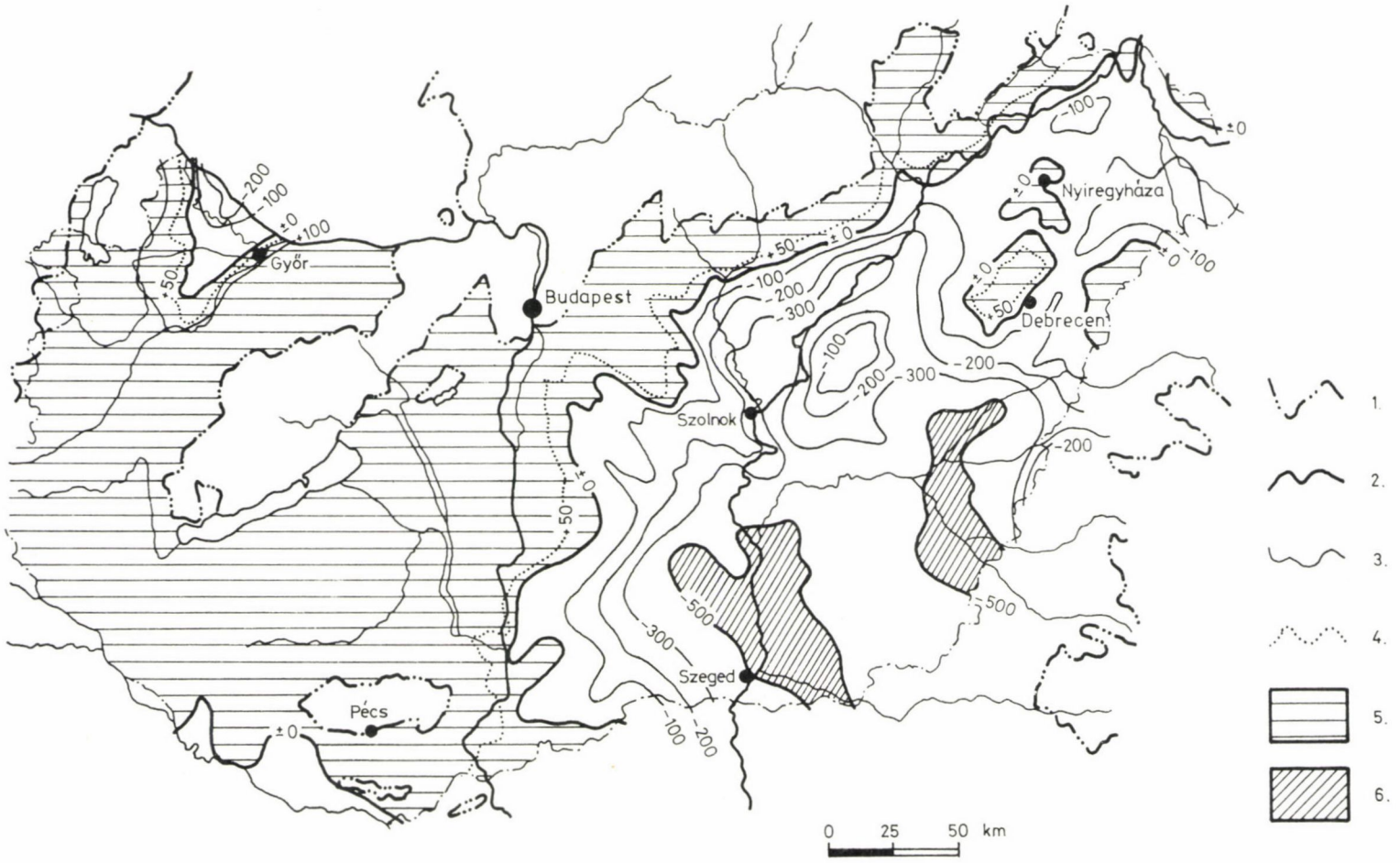
7. ábra. Az Alföldön a 150—300 m-es mélységközben feltárt rétegvíz klorid tartalma mg/l-ben (Erdélyi, 1972). 1. Az Alföld északi; 2. nyugati határa

A klorid és összes oldott sótartalom növekedése az Alföld belseje felé (7. és 6. ábra) tökéletesen egyezik a CSEBOTAREV-féle szukcesszióval, vízszintes irányban tükrözi a befelé csökkenő vízvezető képességet (9., 10. és 11. ábra) és a csökkenő hidraulikus gradienst (2. ábra), azaz a csökkenő szivárgási sebességet, az időben növekedő sótartalmat és az idővel csökkenő szivárgási sebességet.

A szukcesszió érvényes függőlegesen is (12. ábra). Az Alföld erre ismét jó példa, ahol is három vegyileg eltérő jellegű víz (bikarbonátos, nátrium-hidrogénkarbonátos és nátrium-kloridos)) helyezkedik el a felszínnel párhuzamosan (RÓNAI, 1965).

Egymás alatt a következő szinteket lehetett elkülöníteni:

1) A legfelső vízréteg kb. a felszíntől 30 m mélységig terjed. Két típusa van: (a) felszínalatti víz a vízvezető homokfelszín alatt és a nagyobb folyók sávjában vegyileg csapadékvíz jellegű. (b) A vízzáró felszín alatt nagy a sótartalom, különösen a szikes talaj alatt. A víz alkáli jellegű, és a 2000—3000mg/l összes oldott sótartalmat is elérheti.

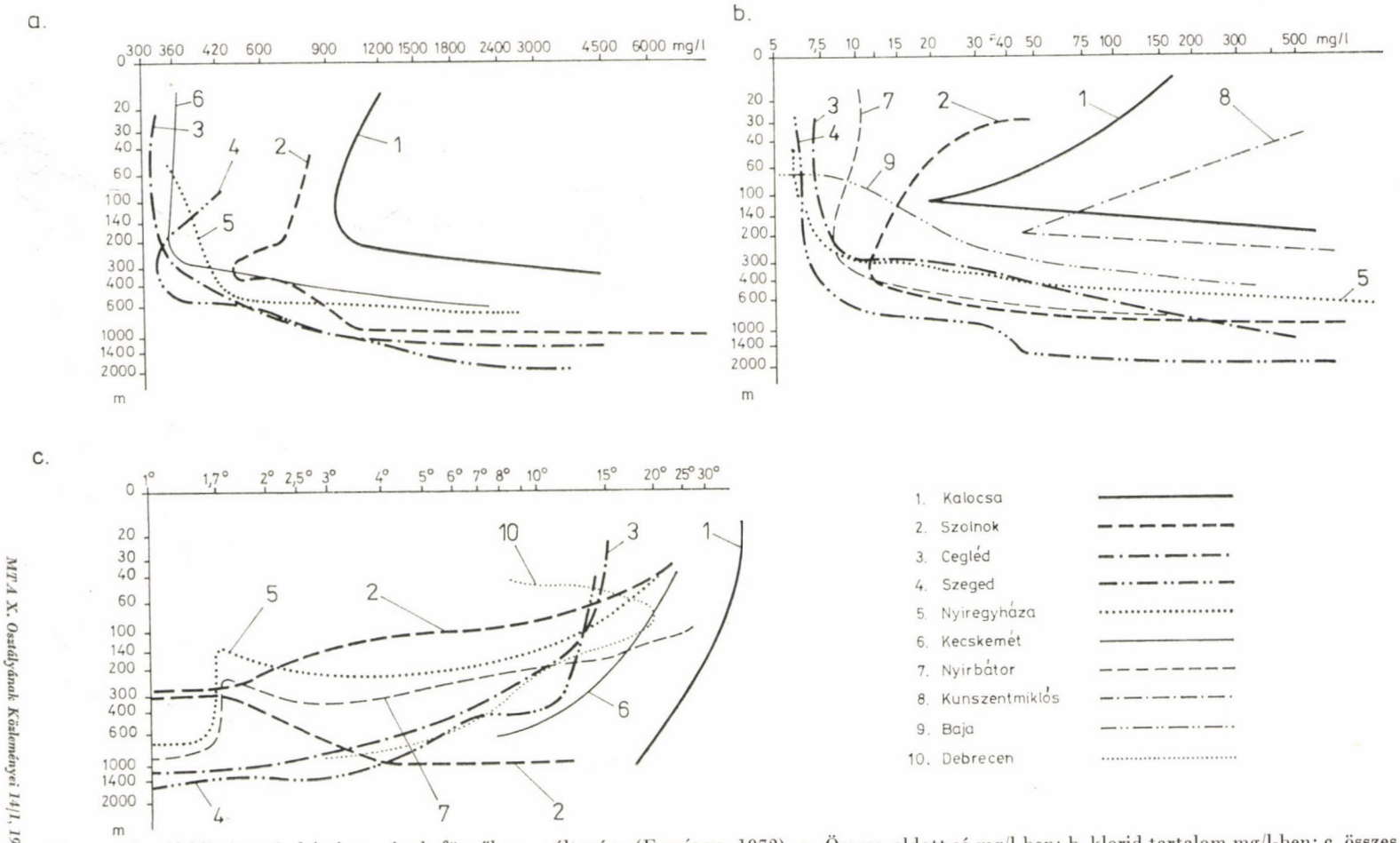


8. ábra. A magyarországi negyedkori jellegű üledéksor feküfelszíne a tengerszinthez képest (ERDÉLYI, 1972). 1. A hegyvidék határa; 2—4. szintvonalak; 5. feküfelszín a tengerszint felett; 6. feküfelszín —500 m tsz alatt

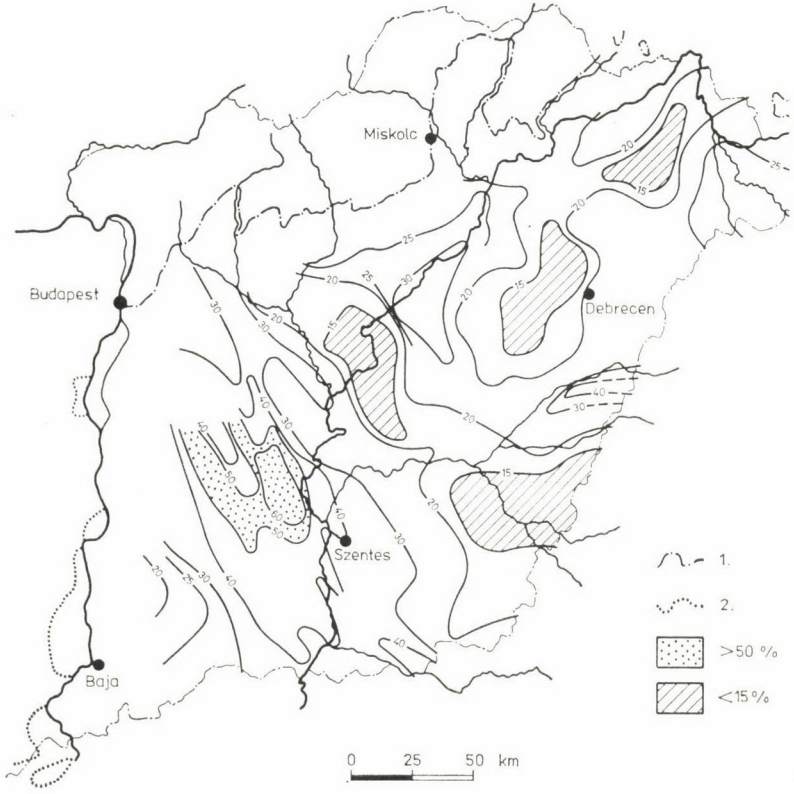
9. ábra. Az Alföld negyedkori jellegű üledéksorának homok százaléka (ERDÉLYI, 1973). 1. Az Alföld északi; 2 nyugati határa

2) A vegyileg igen változatos felszínközeli víz alatt levő édes rétegvíz nagyjából egységes jellegű. Durvaszemcsés, jó vízvezető formációban gyakran nagy mélységig van édesvíz, lefelé gyengén növekvő sótartalommal (44., 45., 48. és 49. ábra).

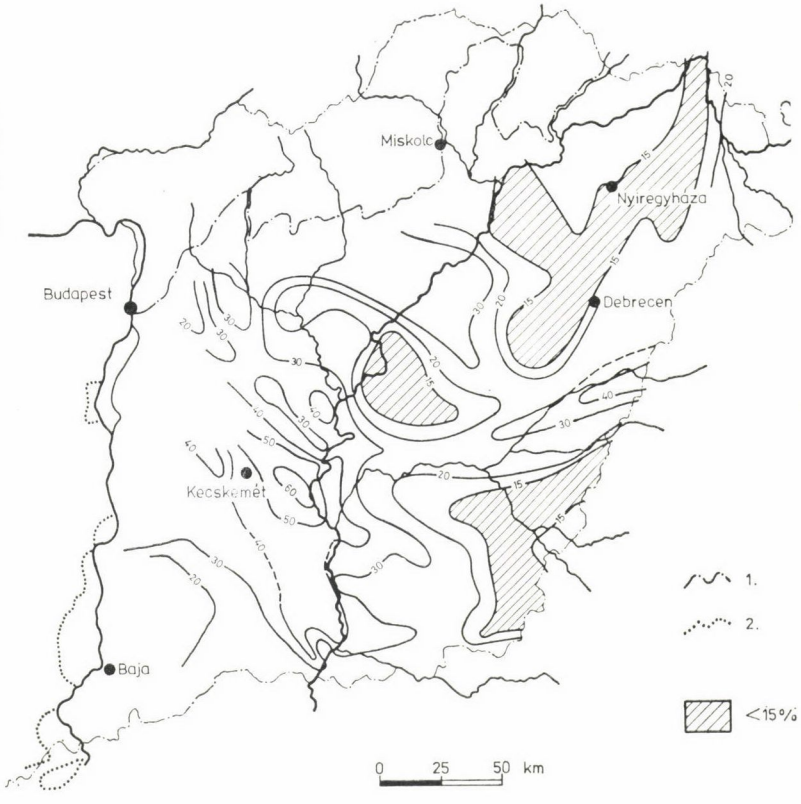
A felszínalatti áramlási régiók hidrodinamikája teljes összhangban van a vízkémiai koncepcióval. A csapadékvíz az alföldek peremén és laza talajú magaslatain beszivárogva táplálja a fogyasztó terület áramlási régióit (1. és 2. ábra). A bikarbonátos csapadék jellegű víz lefelé és elfelé mozog a tápterületről (ERDÉLYI, 1973). Dinamikus vegyi egyensúlyi sáv alakult ki a lefelé és elfelé áramló hidegebb bikarbonát típusú víz és a mélyből felfelé áramló melegebb sósvíz között. A kétféle víz keveredésének eredménye az átmeneti sávban levő kevert jellegű víz, melyet a kisebb keménység és nagyobb sótartalom jellemez. Az átmeneti sáv mélysége, alakja és vastagsága sok tényezőtől függ. Ezek: a rétegek településének geometriája, a rétegek kőzettana, a felszín morfológiája (topográfia), a talaj víznyelő képessége és az éghajlat.



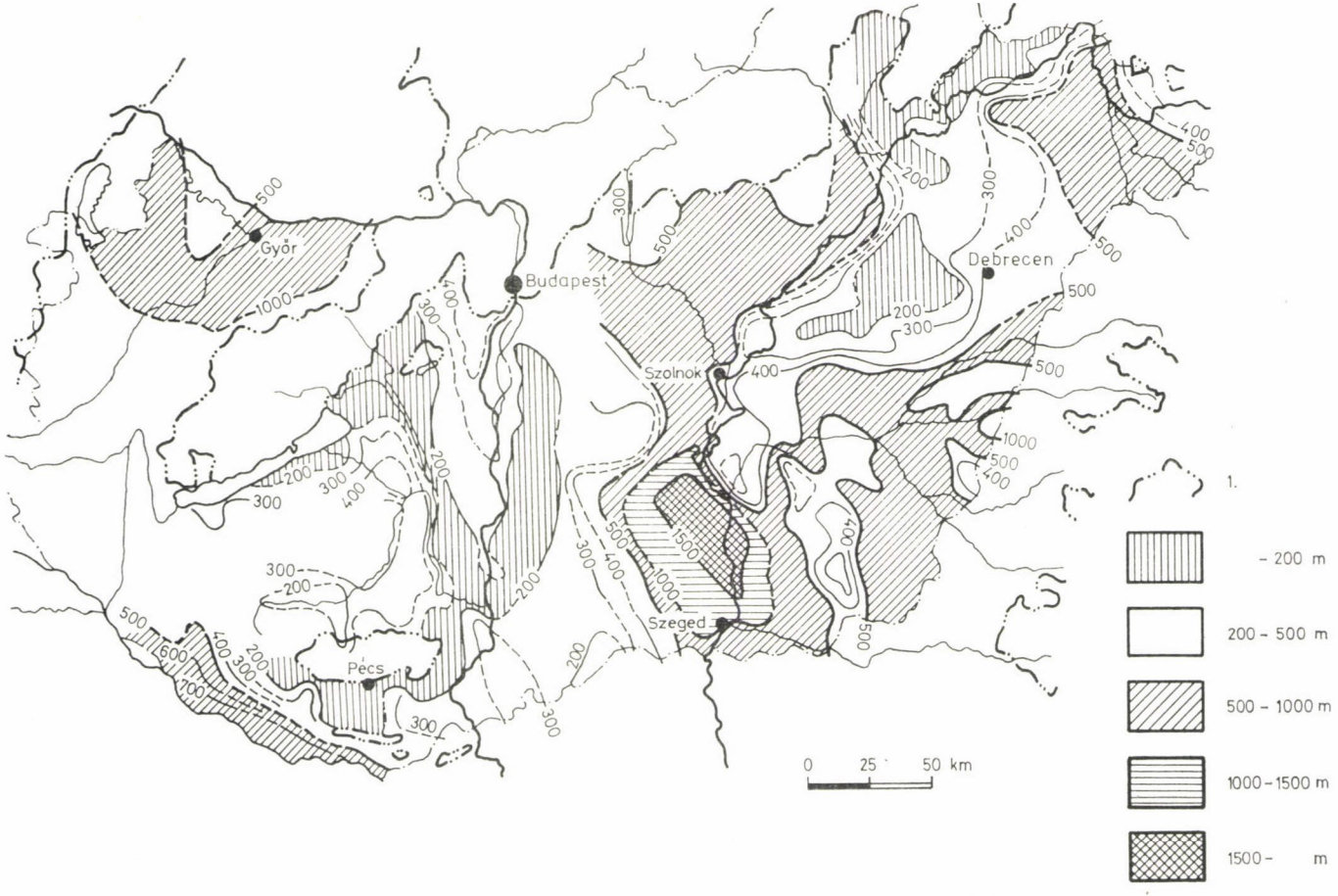
12. ábra. Az alföldi rétegvíz kémizmusának függőleges változása (ERDÉLYI, 1972). a. Összes oldott só mg/l-ben; b. klorid tartalom mg/l-ben; c. összes keménység német keménységi fokban



11. ábra. Az Alföld üledékes kőzetű kitöltésének homok százaléka a felszíntől az áramlási rendszer feküjéig. 1. Az Alföld északi; 2. nyugati határa



10. ábra. Az Alföld hévizes összletének homok százaléka. 1. Az Alföld északi; 2. nyugati határa



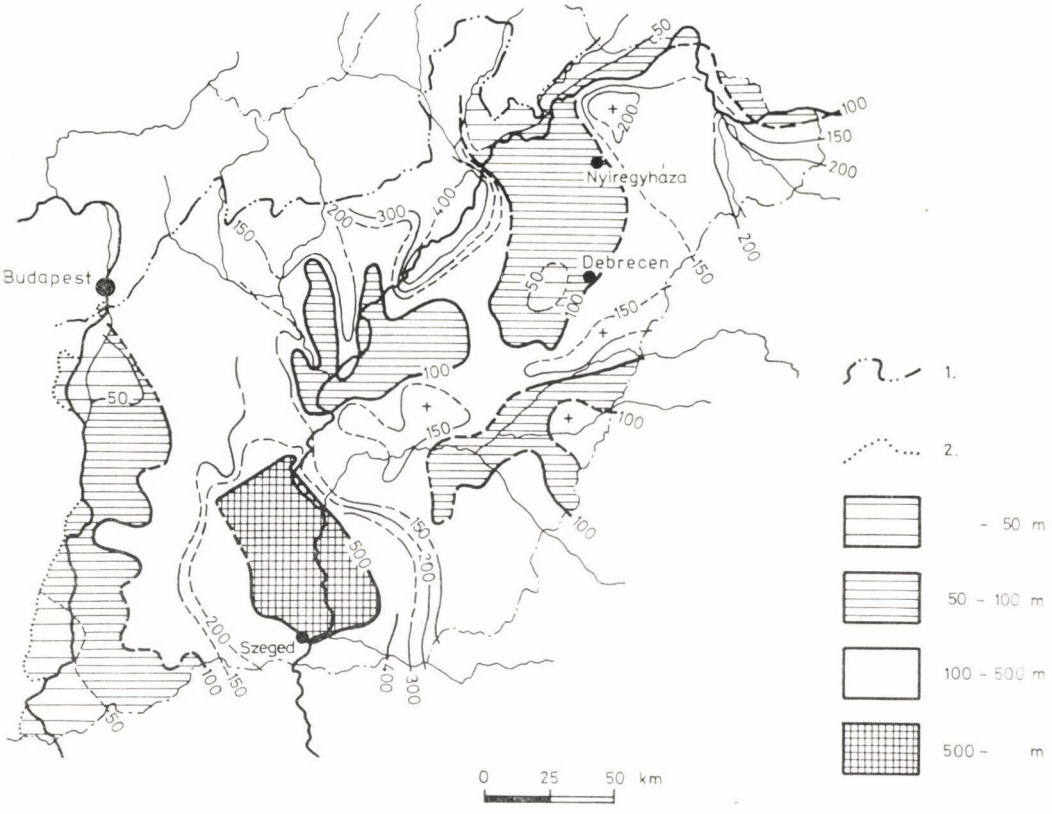
13. ábra. Az édesvizet tartalmazó üledéksor vastagsága (ERDÉLYI, 1972, áltdolgozás 1977). 1. A hegyvidék határa

5.1. *Az édevíztartó formáció vastagsága*

A Magyar Medencében általában vastag az édesvíztartó üledéksor (13. ábra).

(Édesvíznek tekintjük azt a vizet, amely nem tartalmaz többet 1000—1100 mg/l összes sótartalomnál, 100 mg/l kloridnál és 100 mg/l szulfátnál. Itt meg kell jegyeznünk, hogy nálunk a szulfáttartalomnak a rétegvíz esetében nem sok jelentősége van, mert egyrészt az édes rétegvíz 100 mg/l szulfáttartalomnál többet nem tartalmaz, másrészt kevés a szulfát elemzés. Klorid tartalomadat kb. kétszer annyi van, mint összes oldott sótartalomadat. A klorid tartalom általában sokkal megbízhatóbb, mint az összes oldott sótartalom. Az összes sóadat ugyanis hol elektromos vezetőképességet, hol bepárlási maradékot jelent.

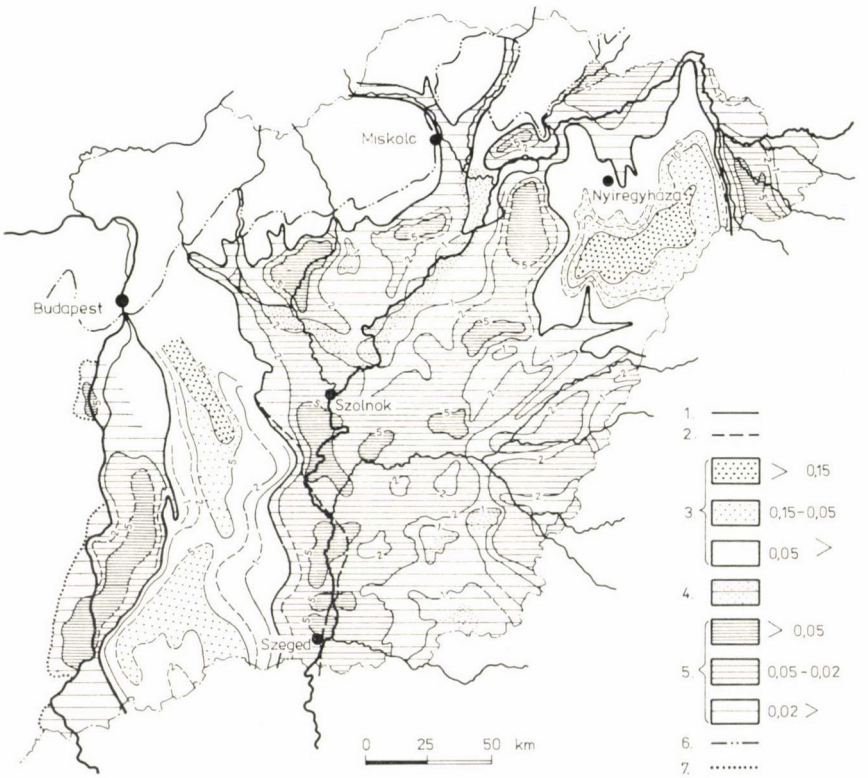
A 6., 7. és 12. ábrák is bizonyítják azt, hogy az édesvíz itt nagy mélységre hatol be.



14. ábra. A másfél m-nél vastagabb édesvizes rétegek összes vastagsága az Alföldön (ERDÉLYI, 1972). 1. Az Alföld északi; 2. nyugati határa

Az alsó Tisza vidékén nemcsak a legvastagabb az édesvíztartó üledéksor (13. ábra), hanem ott a legtöbb a hasznosítható víztartó képződmény is (14. ábra). A „hasznos" vastagság, a „műrevalóság" — bányászati kölcsönszóval — a másfél m-nél vastagabb „tiszta" homok és kavicsrétegek teljes vastagsága, melyet az egész formáció vastagságának százalékos arányában fejezünk ki. Az alsó Tiszavidékre jellemző a nagyon vastag és jó vízvezetőképességű negyedkori és felső-pliocén folyóvízi üledéksor, melyet a Duna őse, egy nagy folyam rakott le a gyorsan süllyedő részmedencében (36. és 43—49. ábrák). A kicsiny sótartalom is a mélyreható édesvíz áramlás bizonyítéka (36. és 43—49. ábrák).

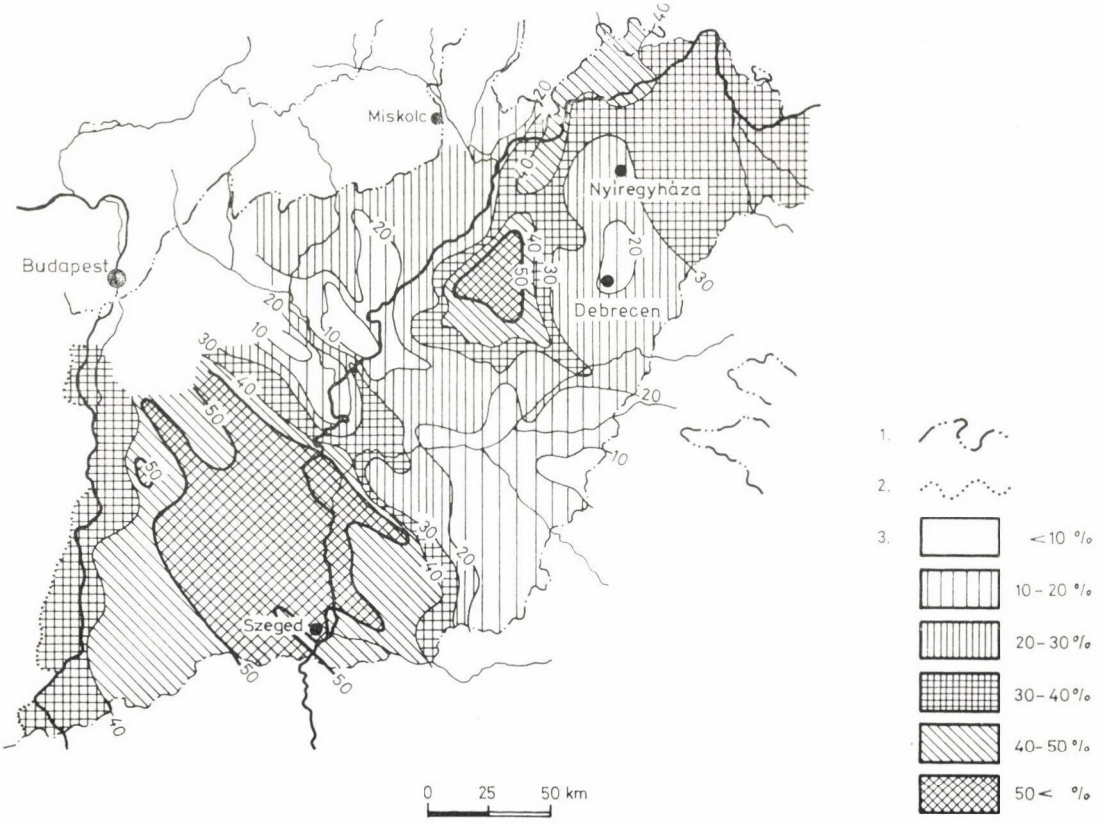
A vastag édesvíztartalmú részmedence keleti fele teljesen sík terület, vízutánpótlódása a Duna—Tisza-közi Hátságról származik. A Hátság felszínének legnagyobb része laza homok (2. ábra), mely alatt vastag és durvaszemcsés üledéksor van (43—49. ábrák).



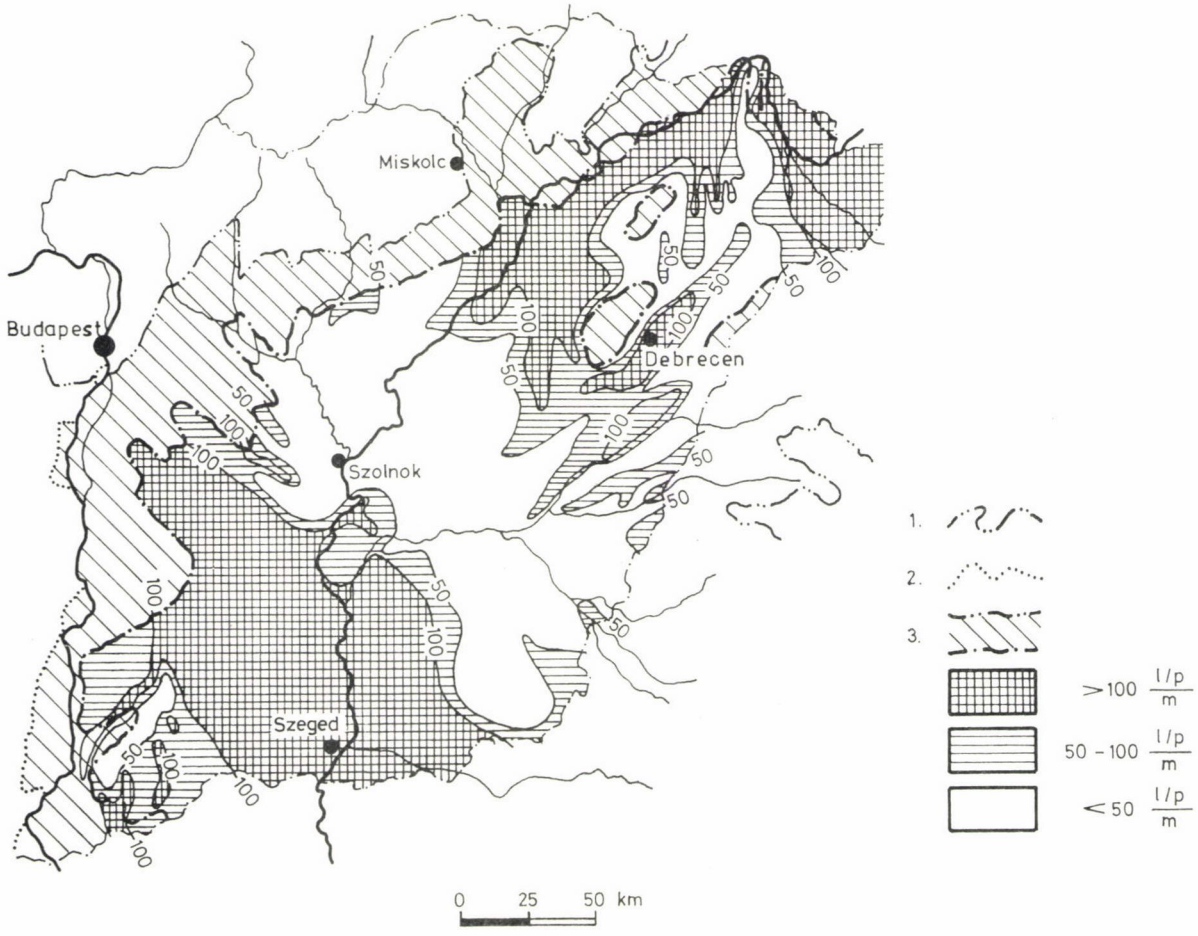
15. ábra. A 100—400 m mélységű alföld vízadókra vonatkozó függőleges hidraulikus gradiens térképe (ERDÉLYI, 1975). 1. Zéró függőleges hidraulikus gradiens a felszín közelében; 2. ugyanaz a felszínalatti 400—600 m-es mélységközben; 3. negatív függőleges hidraulikus gradiensek; 4. gyenge felszínközeli negatív függőleges hidraulikus gradiensek területe; 5. pozitív függőleges hidraulikus gradiensek; 6. az Alföld északi és 7. nyugati határa; 8. országhatár

A vastag és nagy területű durvaszemcsés összletben 200 és 800 m között nagy a szivárgás sebessége, ahogy azt a szelvényeken a kelet felé kiöblösödő és tágközű nyomásvonalak mutatják. Ugyanezt jelzi a 0 hidraulikus gradiens vonalának lefelé és K felé való eltolódása is (1. és 44—49. ábrák). A Homoki hátságról érkező édesvíz a terület keleti felén kiszorítja és felfelé kényszeríti a sósvizet, mert K felé csökken mind a vízáteresztő rétegek összes vastagsága, mind pedig azok vízvezetőképessége (44—47. ábrák).

A Tisza mentén a nyomásvonalaknak a felszínalatti 300 m-ig tartó sűrűsége azt jelzi, hogy a beszivárgott víz jelentős része itt szivárog fel (44—46. ábrák). Az itteni felszálló szivárgási sáv széles, mert a felszínközeli gyengén vízvezető vékony réteg alatt vastag összefüggő és igen jó áteresztőképességű kőzetek vannak (4., 5., 44., 45. és 46. ábra). Ebben a sávban nemcsak a nyomáseloszlás képe bizonyítja a mélyre szivárgó vizet, hanem a 0 hidraulikus gradiens helyének lefelé és K-re való eltolódása is (1., 15. és 44—49. ábrák). Látható



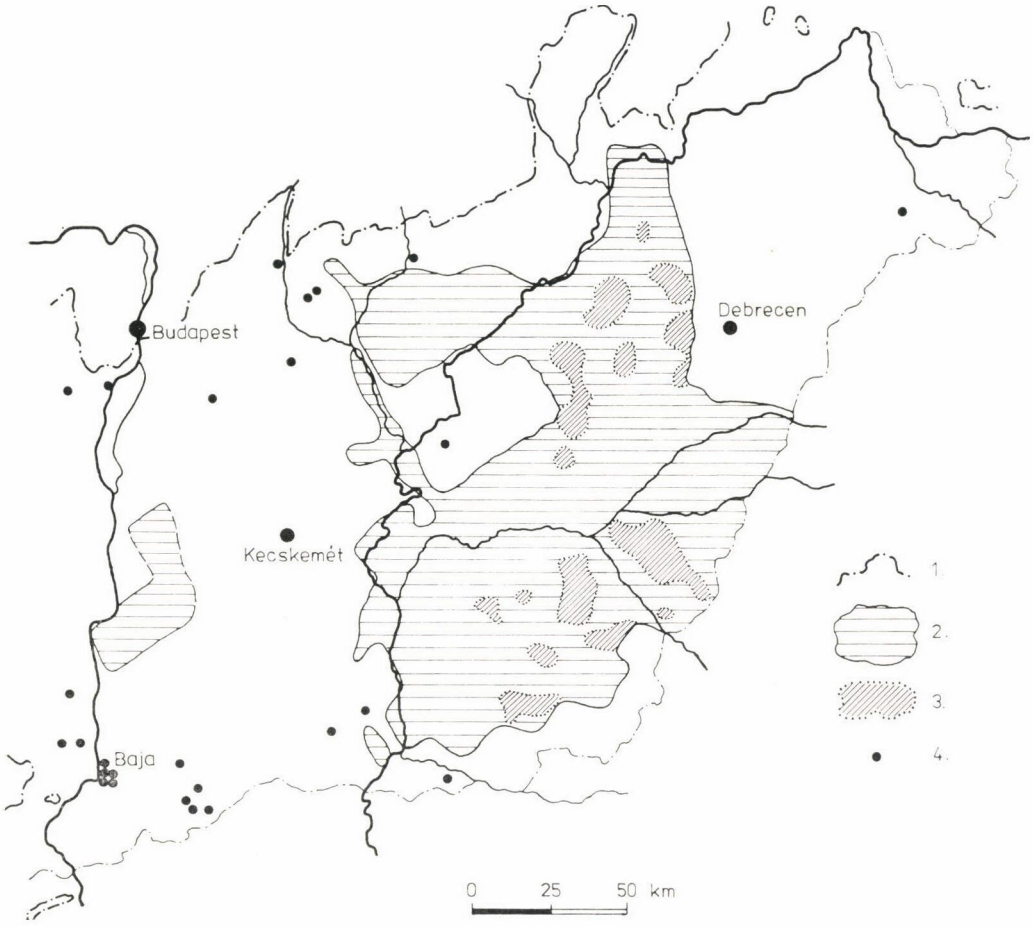
16. ábra. Az alföldi édesvizet tartalmazó üledéksor homok százaléka (ERDÉLYI, 1972). 1. Az Alföld északi; 2. nyugati határa; 3. homok százalék



17. ábra. Az alföldi negyedkori üledéksor alsó feléből termelő kutak fajlagos hozma (ERDÉLYI, 1972). 1. Az Alföld északi; 2. nyugati határa; 3. a negyedkori jellegű üledéksor 100 m-es vastagsági vonala és a 100 m-nél vékonyabb negyedkori üledéksor területe

a szelvényeken, hogy a nyomásadatokból szerkesztett nyomáseloszlás teljes összhangban van a vízkémiai képpel. A déltiszai süllyedék fizikai viszonyainak következménye az, hogy ott az erős hígítás miatt nagy mélységre terjed az édesvíz, még a vidék keleti felében is, amelyet ott a jó vízvezetőképesség tesz lehetővé (13. és 16. ábra).

A vízkémiai szelvények bizonyítják, hogy másutt is vannak hasonló, de keskenyebb mély leszivárgási sávok (23., 33., 38., 40., 41., 43., 44. és 49. ábra). Litológiai oka van, hogy a déltiszai süllyedéken kívüli leszivárgási sávokban a hatékony porozitás rohamosan csökken a süllyedék belseje felé (37., 38., 39. és 44. ábra).



18. ábra. Az Alföld gázos kútjainak területe a szénhidrogén kutatás előtt (ERDÉLYI, 1972). 1. Az Alföld északi határa; 2. a 100—400 m-es gázos kutak területe; 3. a 100 m-nél sekélyebb kutak is gázosak a jelzett területen; 4. gázos kút nem gázos területen

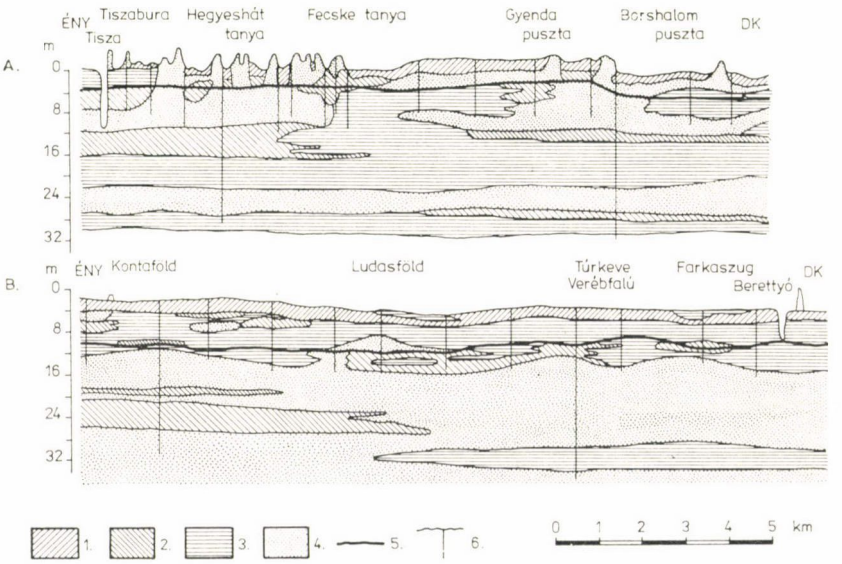
Az édesvíztartó rétegek vastagsága csakis a medence hidrodinamikájától függ. Ennek kitűnő igazolása az, hogy rossz vízvezető kőzetű területen is lehet vastag az édesvíztartó formáció (16. és 13. ábra). De fordítva is lehet: jó vízvezető üledéksor tartalmazhat vékony édesvíz réteget (9., 16. és 13. ábra).

5.2. *A rétegvíz vegyi anomáliái*

Nem mindig érvényes az, hogy a medence belseje felé növekedik a sótartalom. A medence peremétől távol is van „híg" rétegvíz (6. és 7. ábra). Ez az anomália természetes, ha figyelembe vesszük a rétegek homoktartalmát (9., 10. és 11. ábra), ebből következően a kutak fajlagos vízhozamát (17. ábra) és a felszíni képződményeket (2. ábra), azaz a beszivárgás lehetőségét. Ezeket a földtani adottságokat figyelembe véve, megmagyarázható, hogy a nem „szabályos" földtani szerkezet miért hat a rétegvíz minőségére, ugyanakkor igazolja azt is, hogy nem „rendellenes" (azaz befelé finomodó üledéksor) település esetén igenis érvényes a rétegvíz peremtől befelé növekedő sótartalma.

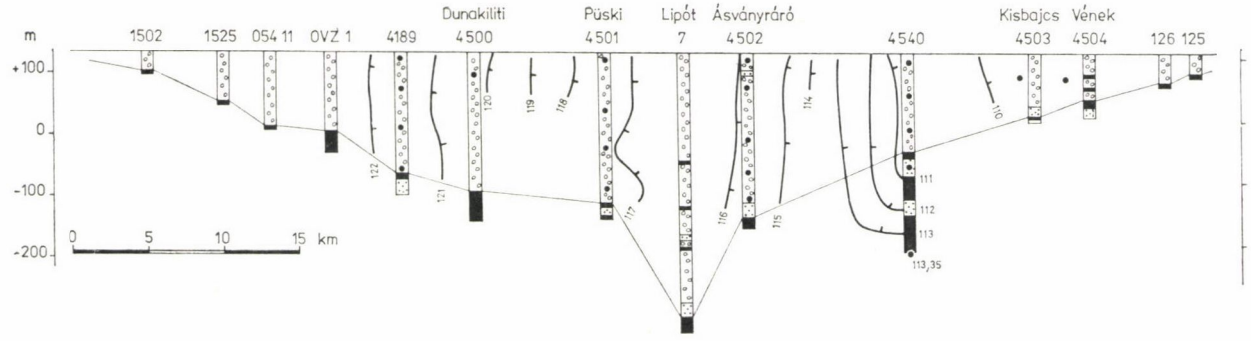
5.3. *Az alföldi részmedencék áramlási rendszerei és azok vízkémiája*

Az Alföld részmedencéi, mélyedményei a külső perem és a belső homokhátságok közti területen vannak (1. ábra). Minden részmedence hidrodinamikai közepe ott van, ahol a környező áramlási régiók felszálló ágai találkoznak.



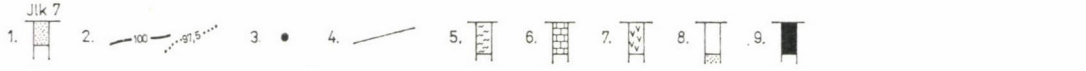
19. ábra. A Nagykunság felszínközeli vízföldtani szelvénye (SÜMEGHY után, 1933 — I). 1. Lösz, iszap, szikes talaj; 2. iszapos homok, homokos iszap, iszapos lösz; 3. agyagos iszap, iszapos agyag; 4. folyóvízi és futóhomok; 5. a talajvíz szintje; 6. kutató fúrás

20. ábra. A hidrodinamikai és vízkémiai szelvények (21—49. ábrák) helye az Alföld felszínének szintvonalaival. 1. A hegyvidék határa; 2. a felszín szintvonalai a tengerszint felett



Jelmagyarázat a 21. - 49. ábrákhoz

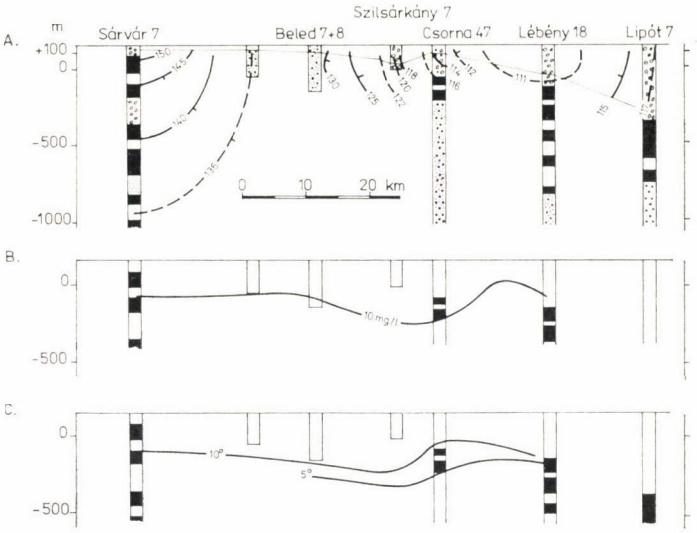
A. potenciál eloszlás és fúrási szelvények.



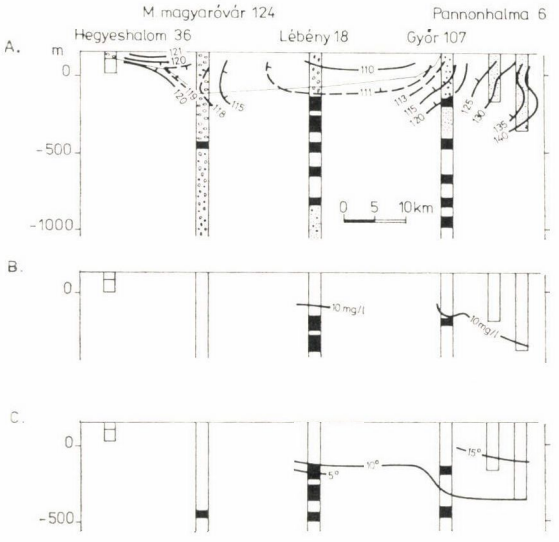
B. klorid tartalom (mg/l)

C. összes keménység (német fokban)

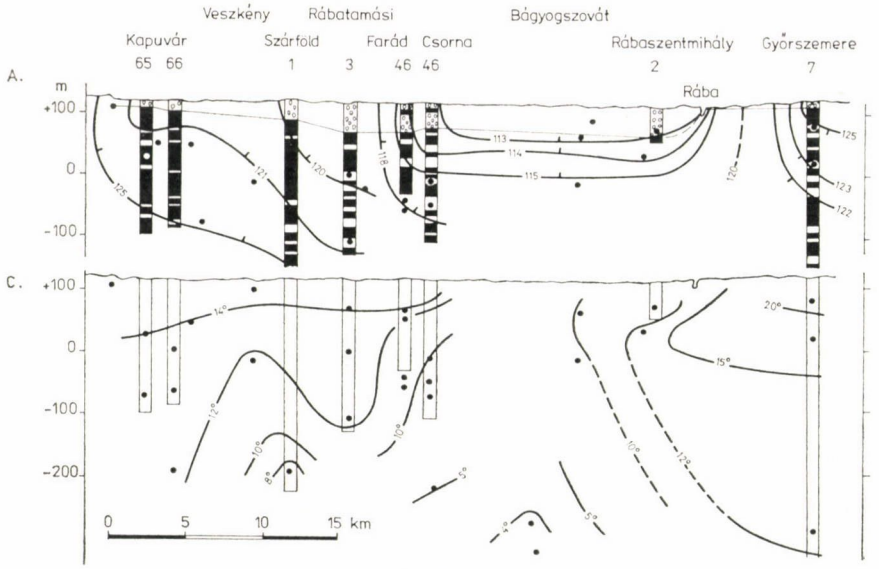
21—49. ábrák. Hidrodinamikai és vízkémiai szelvények. A. Potenciál eloszlás és litológia: 1. A község neve és a fúrott kút kataszteri sorszáma; 2. ekvipotenciál vonalak a tengerszint felett; 3. a kút szűrőzött szakaszának közepe; 4. a negyedkori jellegű üledéksor feküjének felszíne; 5. kristályos alaphegység; 6. mezozoikus mészkő és dolomit; 7. főleg miocén vulkáni kőzetek; 8. a fúrásszelvény homokos szakasza nem számított homok %-kal; 9. vízzáró vagy gyengén áteresztő kőzet; 10. a fúrási szelvény szakaszának homok %-a. B. A víz kloridtartalma mg/l-ben. C. A víz összes keménysége német keménységi fokban: 11. a sós és édesvíz határa



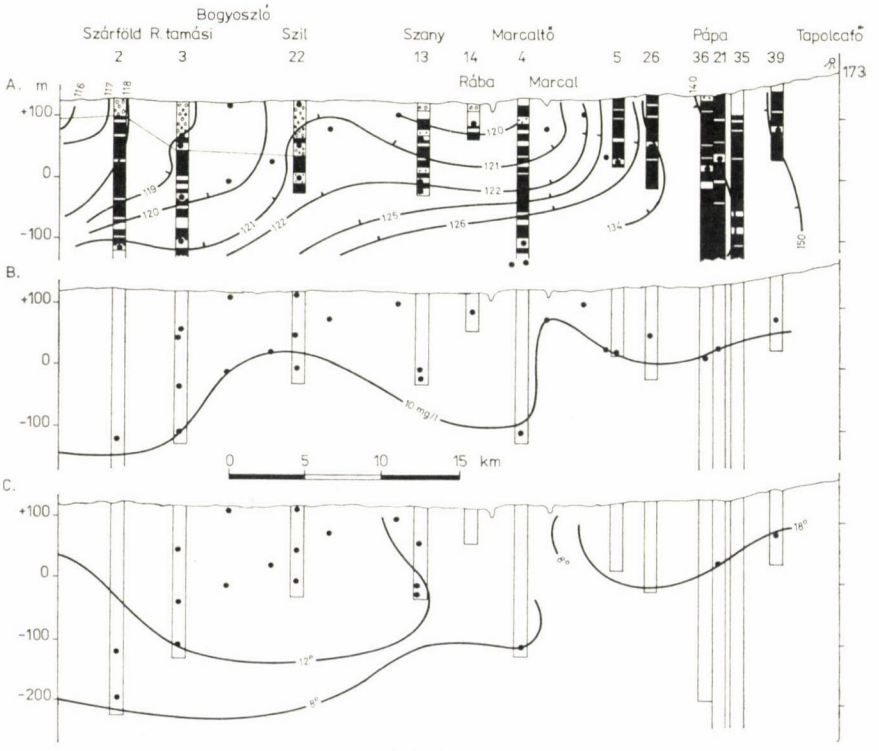
22. ábra



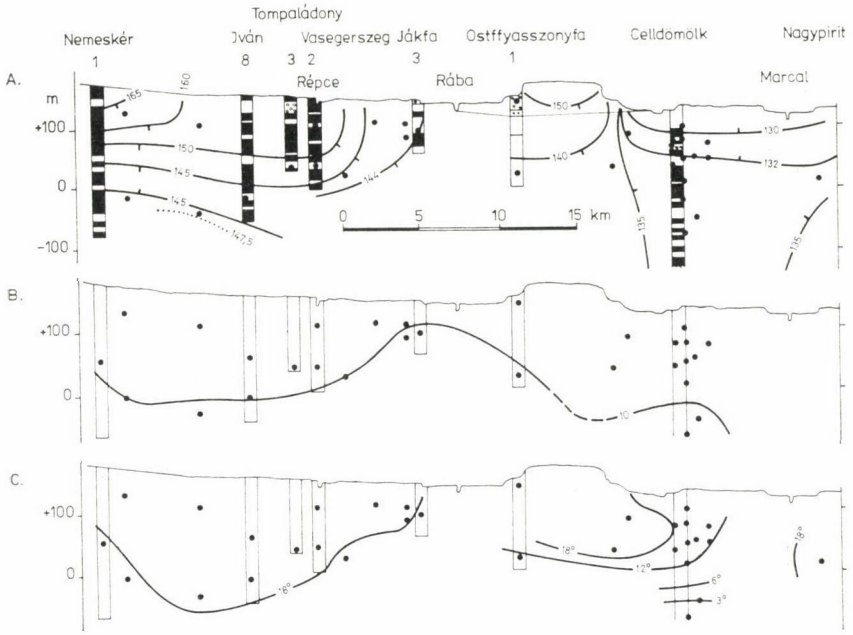
23. ábra



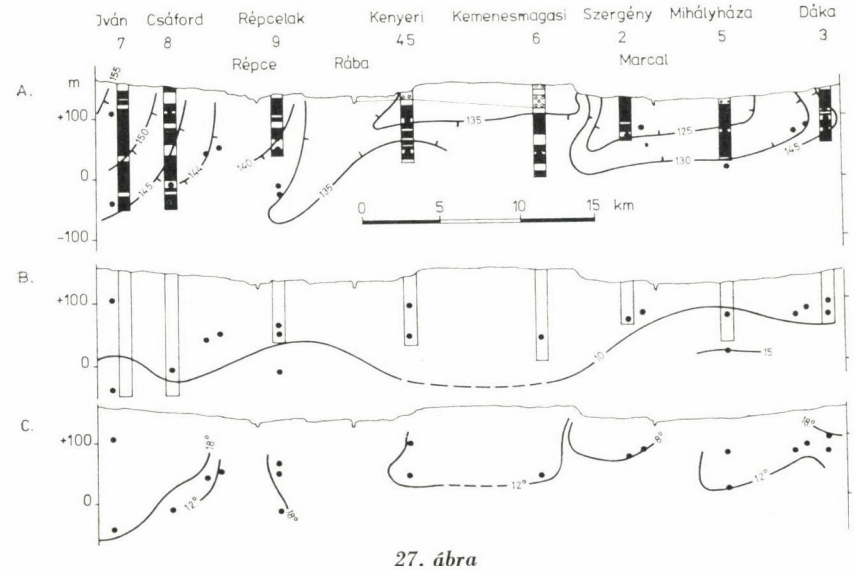
24. ábra



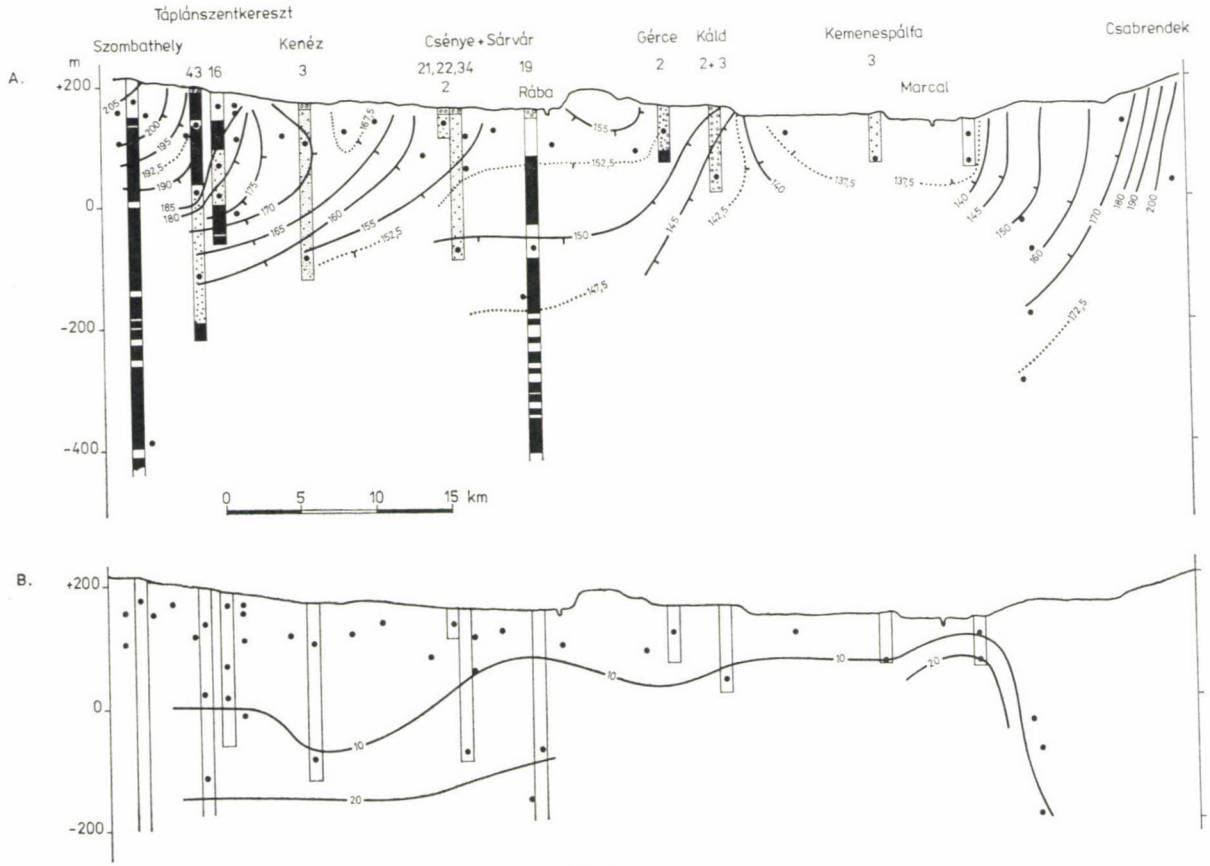
25. ábra



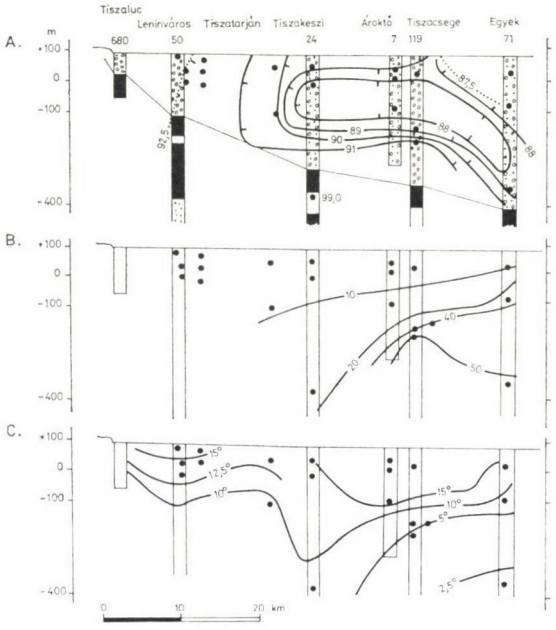
26. ábra



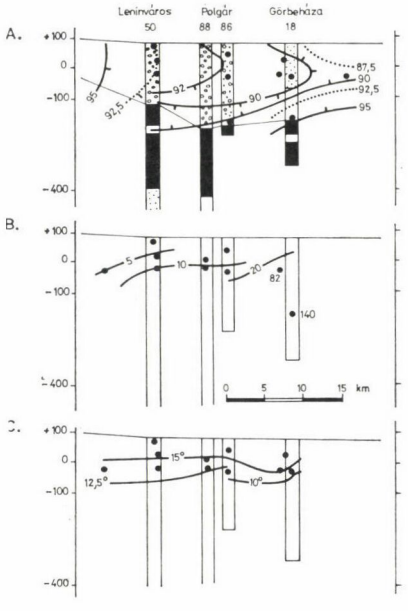
27. ábra


Táplánszentkereszt
Szombathely
Kenéz
Csénye + Sárvár
Gérce
Káld
Kemenespálfa
Csabrendek
m
43 16
3
21,22,34
2
19
Rába
2
2+3
3
Marcal
A.
+200
0
-200
-400
0 5 10 15 km
B.
+200
0
-200
10
20

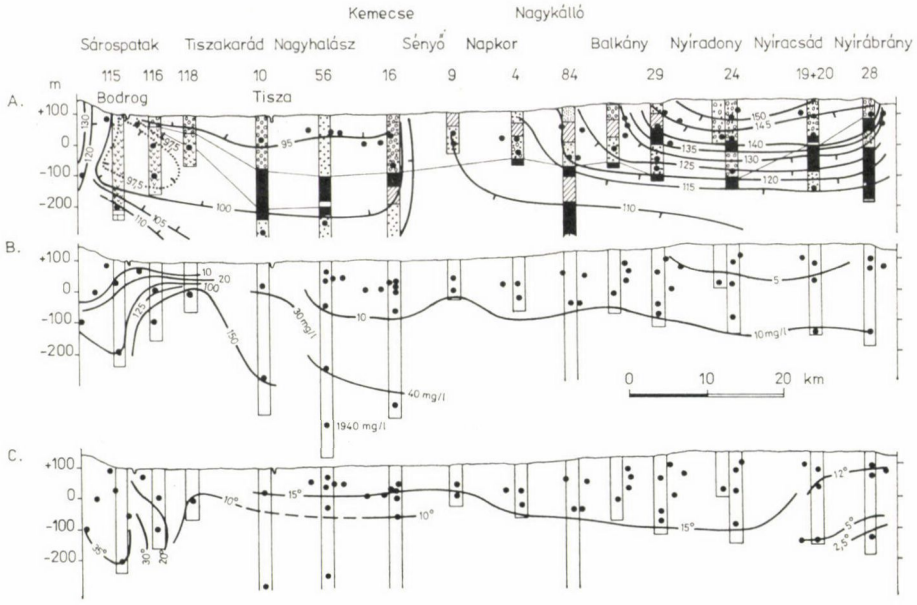
28. ábra



29. ábra



30. ábra



31. ábra

Ezekre a feláramlási központokra jellemző:

1. Felszíni megcsapolás nincs. Ezt mutatja a nyomásvonalak szigetszerű helyzete vagy erős széthúzottsága (2. ábra).

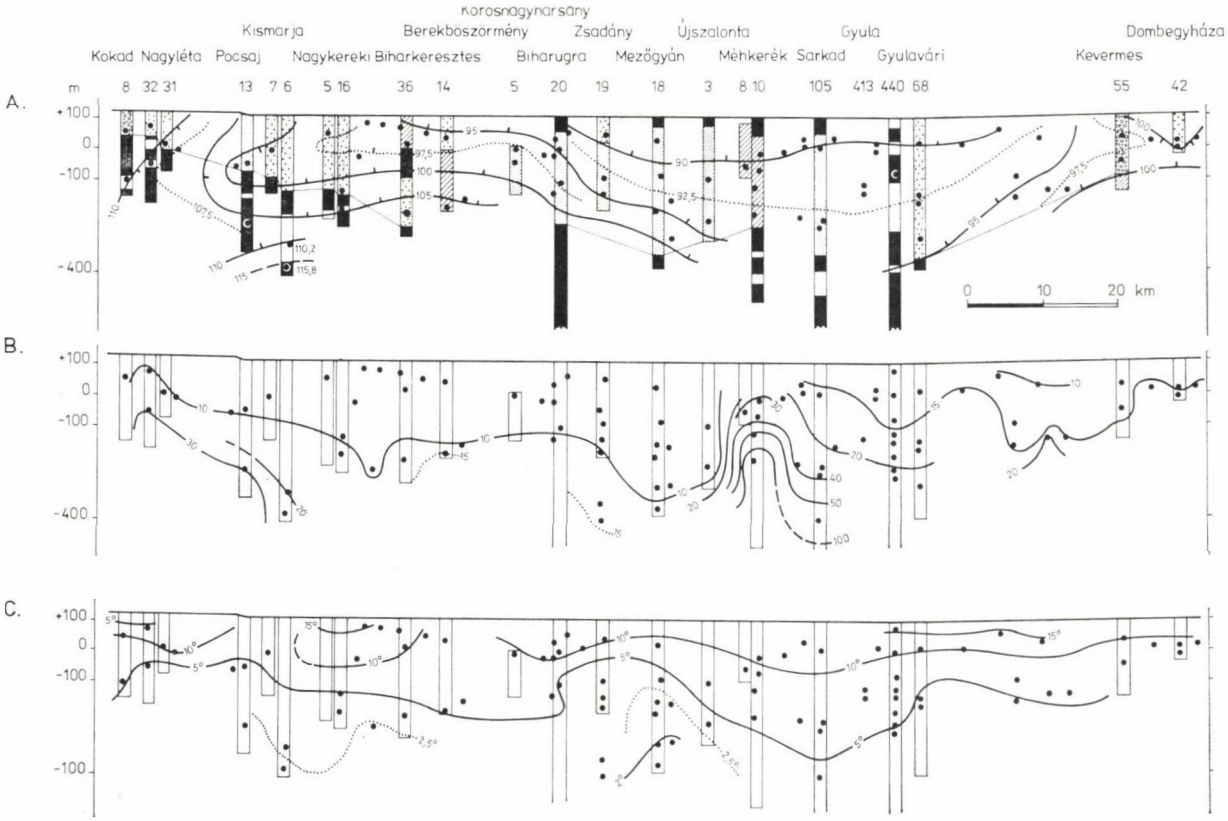
2. A felszínközeli megismétlődő ekvipotenciál vonalak jelzik a felszínről érkező utánpótlódást a részmedencék belsejében (38., 40. és 48. ábra). E szelvények szerint nem mélyen van a semleges nyomásállapot: ez alatt a felszivárgás zónáját széthúzott nyomásvonalak jelzik. Vízkémiai szelvények is mutatják azt, hogy a gyenge és vékony felszíni beszivárgás alatt sokkal „töményebb" víz van (38., 40. és 48. ábra).

3. Az ekvipotenicál vonalak párhuzamosak a vízszintes településű vagy kis dőlésű rétegekkel (37., 38 és 42. ábra).

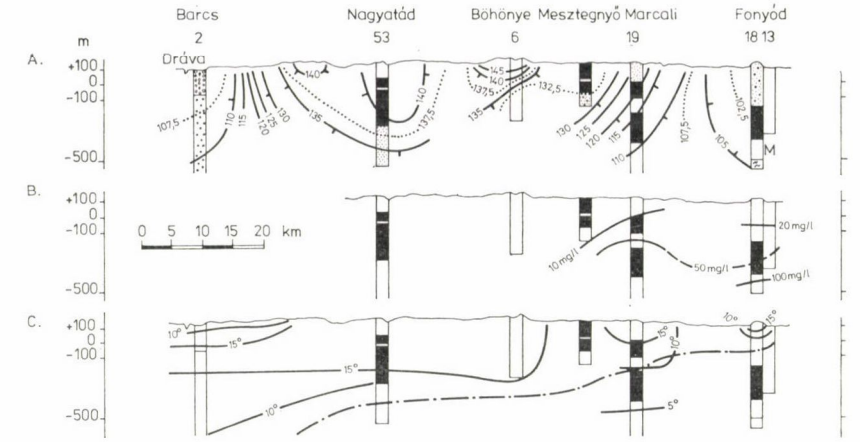
4. Vékony az édesvizes formáció (13., 33., 37—40., 42—47. és 49. ábrák).

5. A rétegvíz erősen sós (6. és 7. ábra).

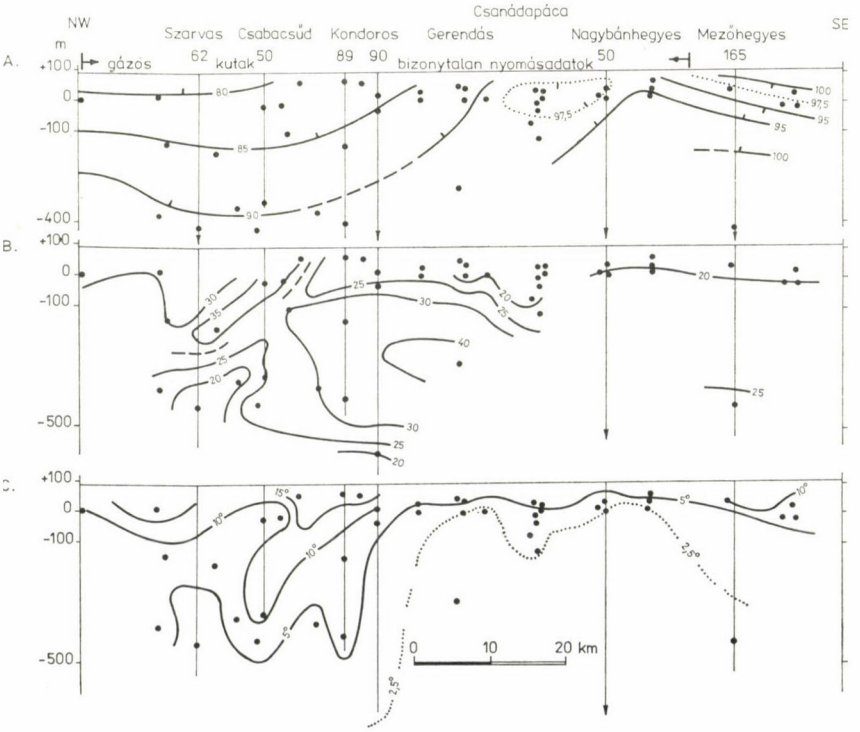
A mélyedmény, a részmedence hidrodinamikai közepe nem szükségszerűen a terület közepén van. Az asszimmetria jó példája az Alföld déli harmada, nyugati és keleti irányú utánpótlódási területekkel határoltan. Ebben a részmedencében a felszálló vízáramlás közepe erősen a terület keleti felére tolódott el. Ez azért van így, mert az igen jó vízvezető üledéksor, a hajdani Duna hordaléka a részmedence nyugati felén nagy mélységre terjed (44—46. és 48—49. ábrák).


Körösnagyharsány
Kismarja
Berekböszörmény
Zsadány
Újszalonta
Gyula
Dombegyháza
Kokad Nagyléta Pocsaj Nagykereki Biharkeresztes Biharugra Mezőgyán Méhkerék Sarkad Gyulavári Kevermes
m 8 32 31 13 7 6 5 16 36 14 5 20 19 18 3 8 10 105 413 440 68 55 42
A.
B.
C.
+100
0
-100
-400
0 10 20 km

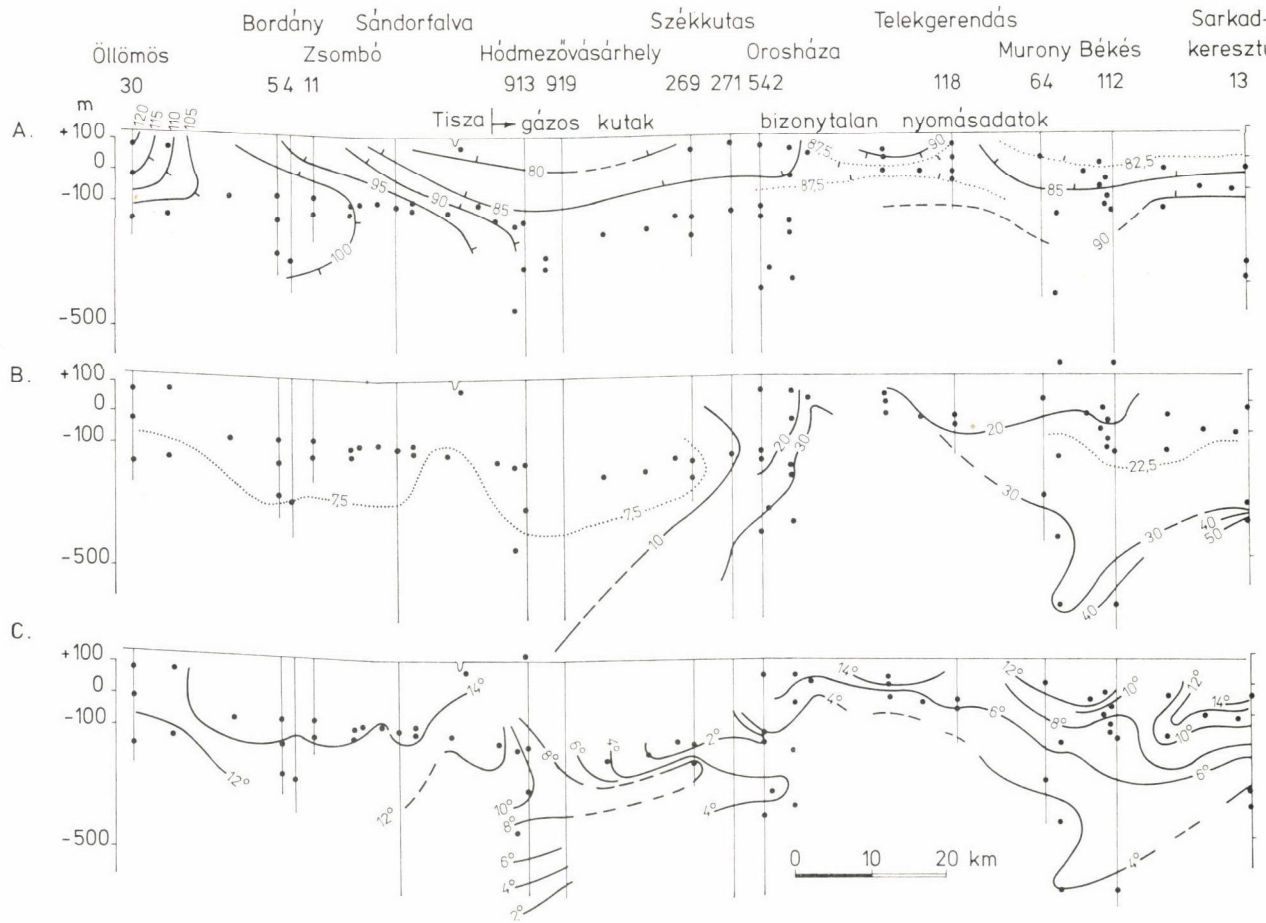
32. ábra



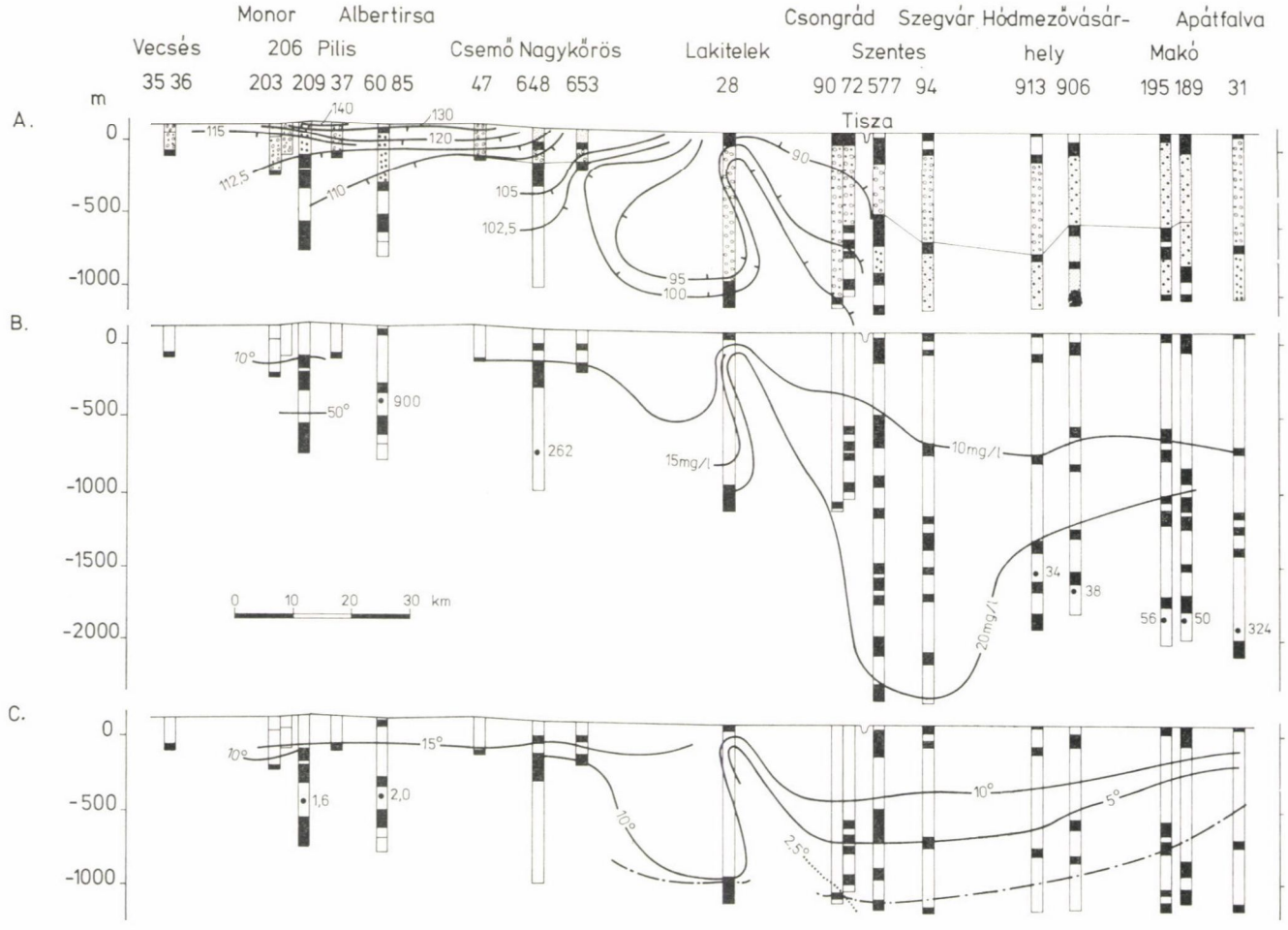
33. ábra



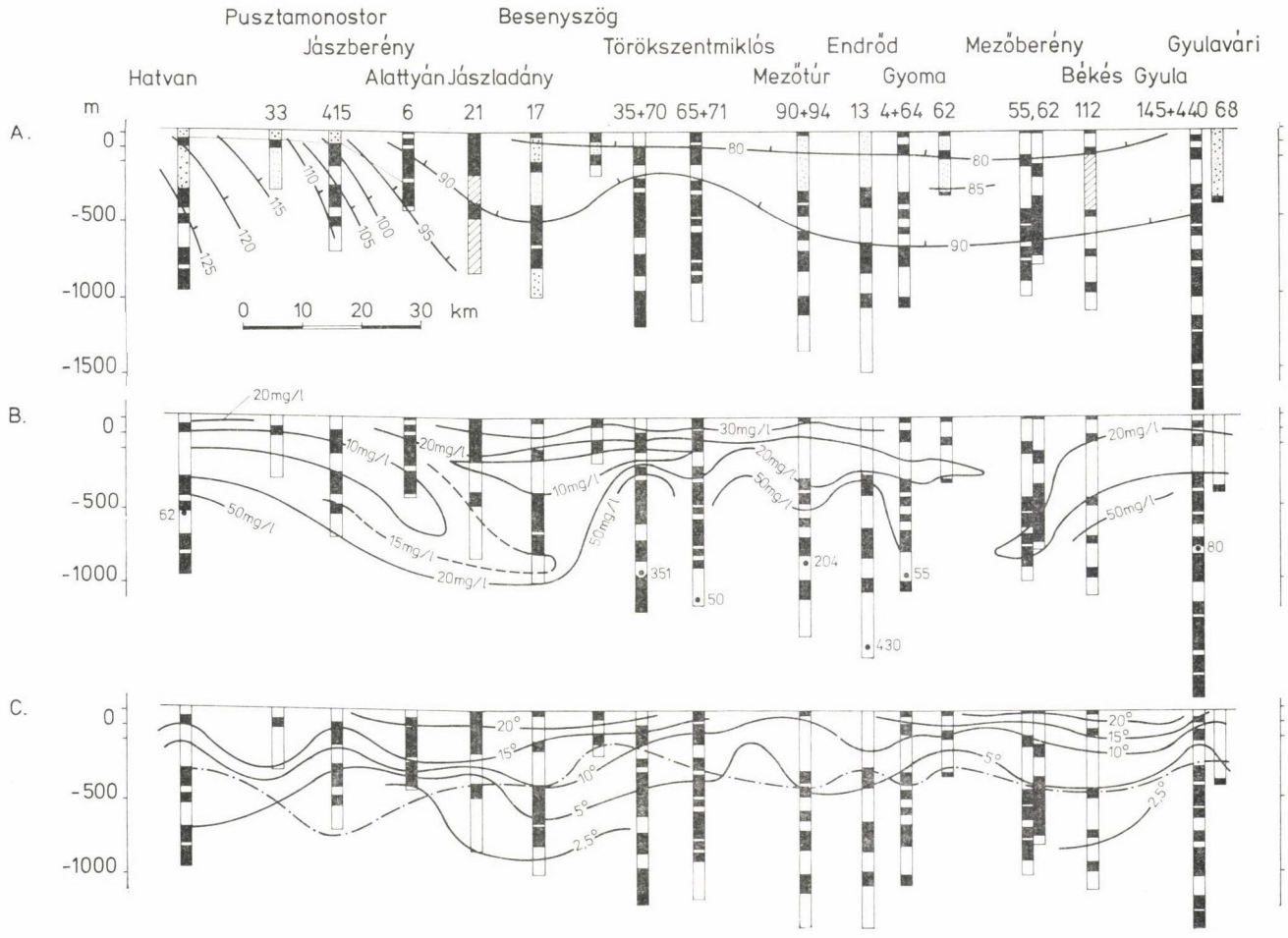
34. ábra


Öllömös
Bordány
Sándorfalva
Zsombó
Székkutas
Hódmezővásárhely
Orosháza
Telekgerendás
Murony
Békés
Sarkad-keresztúr
30
54 11
913 919
269 271 542
118
64
112
13
m
Tisza
gázos kutak
bizonytalan nyomásadatok
A.
B.
C.
+100
0
-100
-500
0 10 20 km

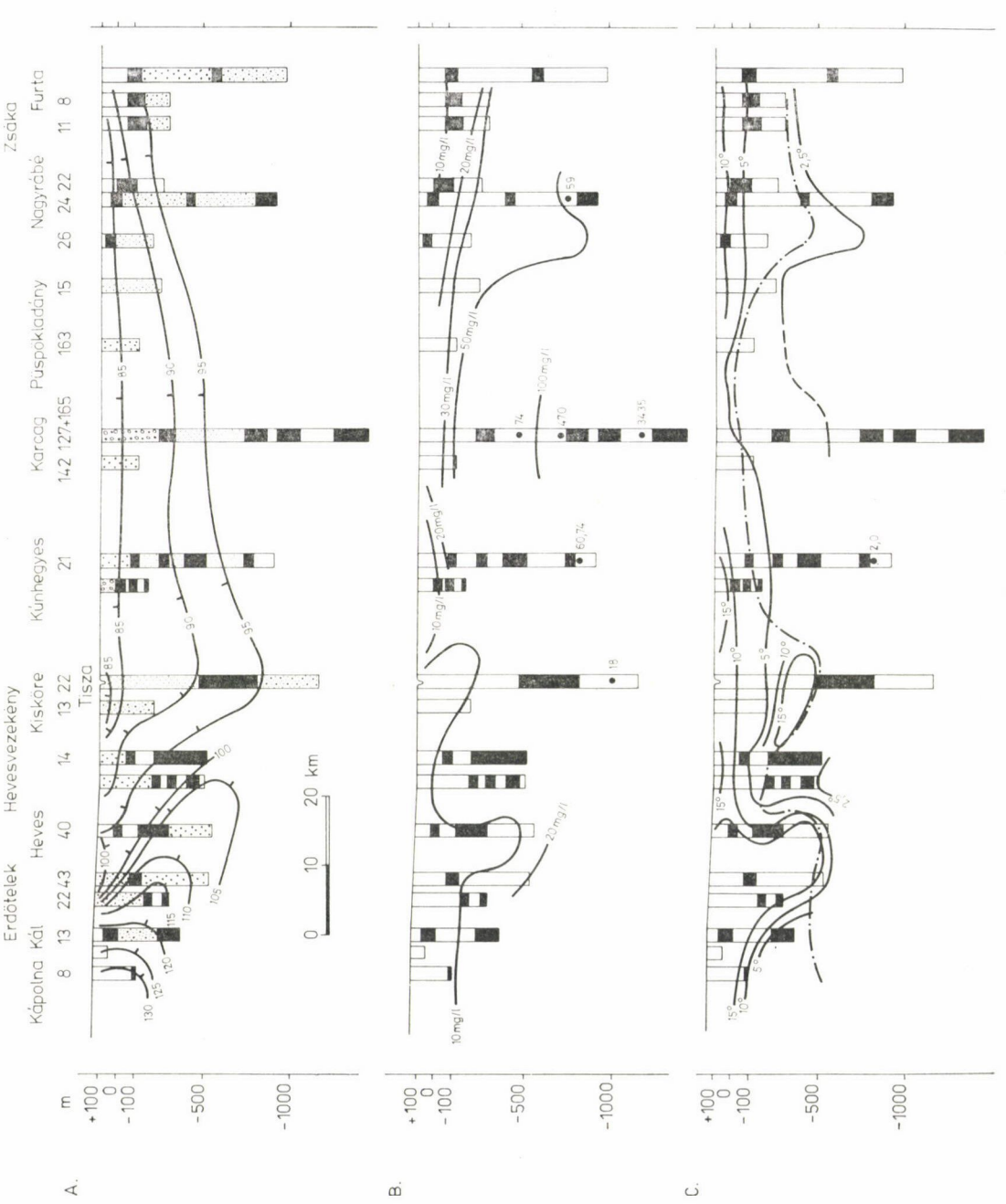
35. ábra


Vecsés
35 36
Monor
206
203 209
Albertirsa
Pilis
37 60 85
Csemő
47
Nagykőrös
648 653
Lakitelek
28
Csongrád
Szentes
90 72 577
Szegvár
94
Hódmezővásárhely
913 906
Apátfalva
Makó
195 189
31
Tisza
m
A.
B.
C.
0
-500
-1000
-1500
-2000
115
112,5
140
130
120
110
105
102,5
95
100
90
10°
50°
900
262
15mg/l
10mg/l
20mg/l
34
38
56
50
324
0 10 20 30 km
1,6
2,0
15°
10°
5°
2,5°

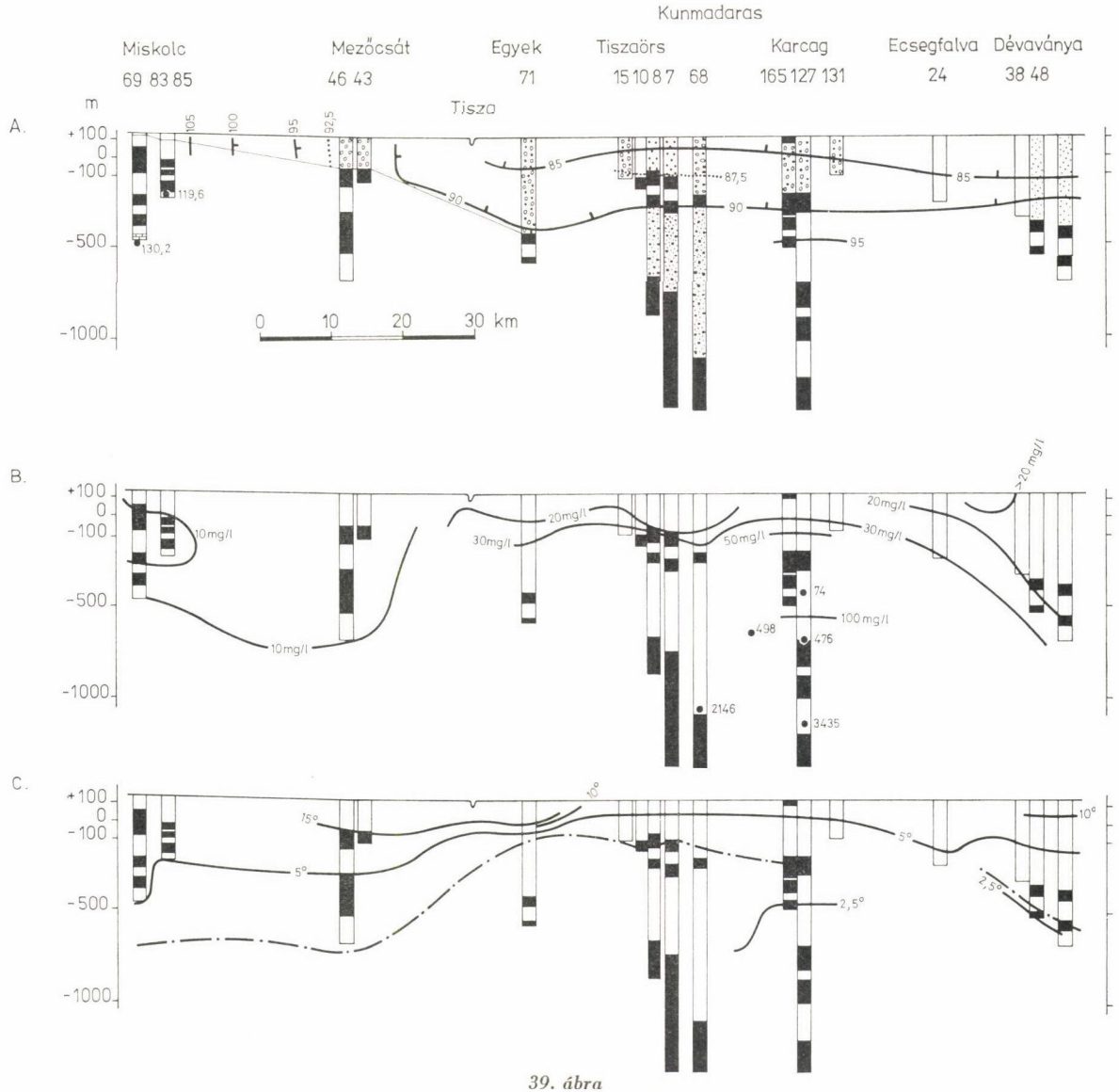
36. ábra


Pusztamonostor
Jászberény
Besenyszög
Törökszentmiklós
Endrőd
Mezőberény
Gyulavári
Hatvan
Alattyán
Jászladány
Mezőtúr
Gyoma
Békés
Gyula
m
33
415
6
21
17
35+70
65+71
90+94
13
4+64
62
55,62
112
145+440
68
A.
B.
C.
0
-500
-1000
-1500
0 10 20 30 km
20mg/l
10mg/l
50mg/l
15mg/l
30mg/l
351
50
204
55
430
80
20°
15°
10°
5°
2.5°

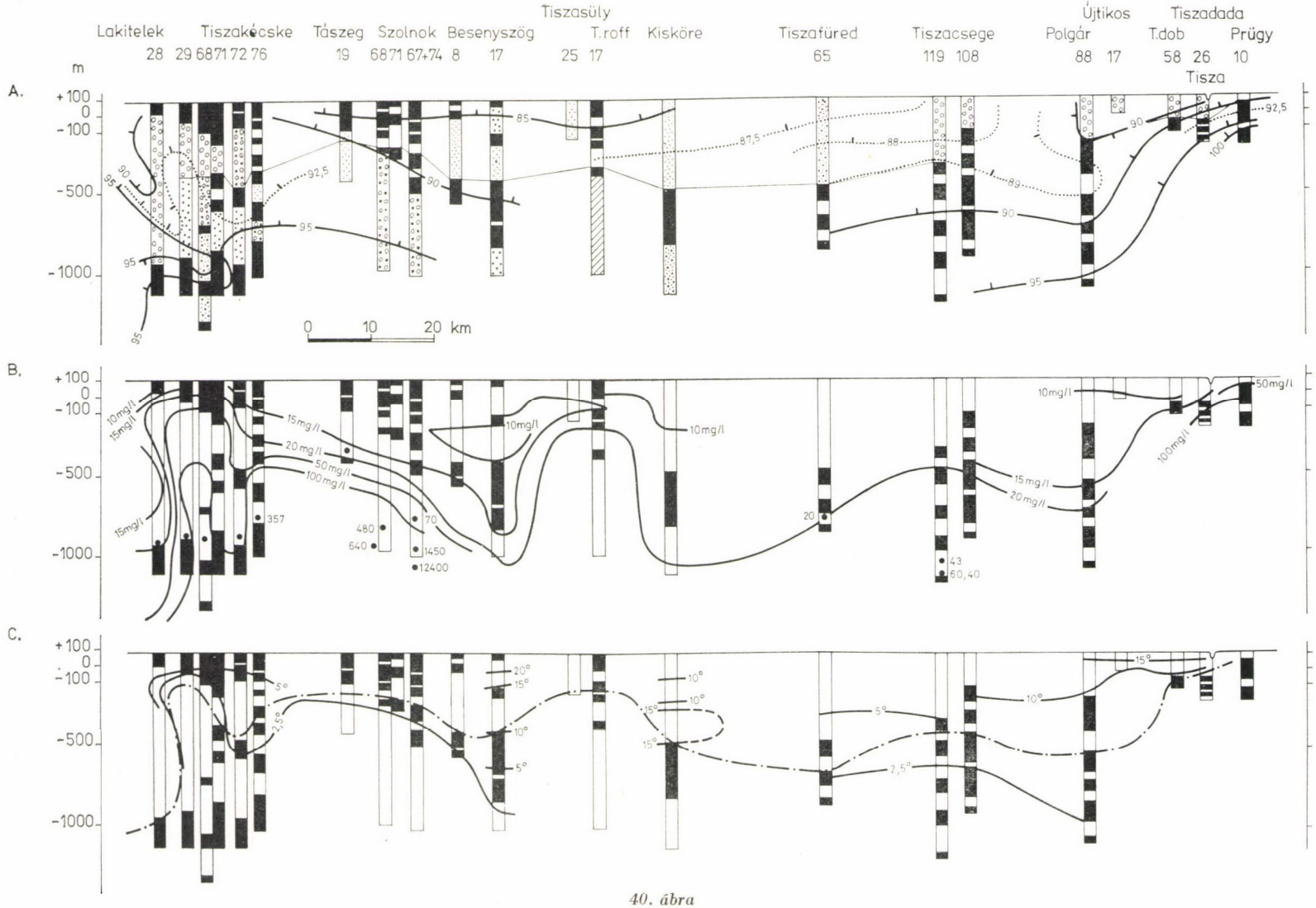
37. ábra


A.
B.
C.
m
+100
0
-100
-500
-1000
Kápolna
Kál
Erdötelek
Heves
Hevesvezekény
Kisköre
Tisza
Kúnhegyes
Karcag
Püspökladány
Nagyrábé
Zsáka
Furta
8
13
22 43
40
14
13 22
21
142 127+165
163
15
26
24 22
11
8
0
10
20 km
10mg/l
20mg/l
30mg/l
50mg/l
100mg/l
2,5°
5°
10°
15°

38. ábra


Kunmadaras
Miskolc
69 83 85
Mezőcsát
46 43
Egyek
71
Tiszaörs
15 10 8 7 68
Karcag
165 127 131
Ecsegfalva
24
Dévaványa
38 48
m
Tisza
A.
+100
0
-100
-500
-1000
105
100
95
92,5
119,6
130,2
90
85
87,5
90
95
85
0 10 20 30 km
B.
10 mg/l
10 mg/l
20 mg/l
30 mg/l
50 mg/l
30 mg/l
20 mg/l
>20 mg/l
74
100 mg/l
498
476
2146
3435
C.
15°
10°
5°
5°
2,5°
10°
2,5°

39. ábra


Lakitelek
Tiszakécske
Tászeg
Szolnok
Besenyszög
Tiszasüly
T.roff
Kisköre
Tiszafüred
Tiszacsege
Újtikos
Polgár
Tiszadada
T.dob
Prügy
Tisza
28 29 68 71 72 76 19 68 71 67 74 8 17 25 17 65 119 108 88 17 58 26 10
m
A.
B.
C.
+100
0
-100
-500
-1000
0 10 20 km
85
87,5
88
89
90
92,5
95
100
10mg/l
15mg/l
20mg/l
50mg/l
100mg/l
357
480
640
70
1450
12400
20
43
60,40
5°
2,5°
10°
15°
20°

40. ábra

Minden hidrodinamikai centrum vegyi jellege azonos: vékony édesvizes formáció (13. ábra) és a felszínközeli rétegvíz nagy sótartalma (33., 37—40., 42—47. és 49. ábra).

5.4. *A felszínalatti víz vegyi jellege és a hidrodinamika kapcsolata „rendhagyó' természeti környezetben*

A víz vegyi jellege és a hidrodinamika közötti kölcsönhatás érvényes-e mindenkor? A válasz igenlő. Ezt bizonyítja, ha a hidrodinamikai szelvényeket összehasonlítjuk a hozzájuk tartozó vegyi szelvényekkel.

5.4.1. *A hegységperemi vulkánikus kőzetek részesedése a medencék rétegvízének utánpótlódásában*

Ekvipotenciál szelvények (31. A—B ábra) jelzik, hogy a Hegyaljáról széles sávban szivárog a víz a felszínközeli megcsapolás területe alá. Ugyanúgy van ezа Mátraalján is. Itt a vulkáni kőzetekkel határos sávban a sekélyebb felső-pannóniai homokrétegek artézi vize vegyileg igen hasonló ugyanezen rétegek felszíni előfordulásában, a rétegfejek területén levő és a negyedkori üledékekben levő talajvízzel.

A mélyebb rétegek artézi vize vegyileg nagyon hasonlít egyrészt a hegység belsejében levő mély bányák vizéhez, másrészt a vulkáni kőzetekből fakadó forrásokéhoz. Ez annak a bizonyítéka, hogy a felszínközeli rétegek rétegvizének utánpótlódása közvetlenül a felszíni képződményeken át történik, a mélyebbeké viszont egyre inkább a hegyvidék szabadtükrű talajvizéből (KARÁCSONYI—SCHEUER, 1970A).

5.4.2. *A törmelékes és a karbonátos kőzetek mélységi vizének kapcsolata*

A vízáramlás irányának nyomozására a vízvegyészet fontos módszer még karbonátkőzetű nagy áramlási rendszerekben is. A karbonát kőzetű áramlási rendszerben a víz és a földtani környezet közötti egyensúly hamar kialakul, mert a víz az ilyen kőzetet gyorsan oldja. A vegyvizsgálati adatokat ezért a terület geológiájának ismeretében kell értékelni.

A következőkben egy példa ismertetése következik (KARÁCSONYI—SCHEUER, 1970B). E helyen minden feltétel teljesül ahhoz, hogy a mélykarszt vizének eredetét vizsgálni lehessen. E feltételek:

1) Megvan a felszíni karszt (tápterület, leszálló karsztvíz).

2) A felszíni karszt melletti sávban a mélykarszt vízzáró harmadidőszaki fedőjén át a feszített tükrű mély karsztvíz csak egyetlen helyen (Eger) nagy langyos forráscsoporton át jut a felszínre.

3) A felszíni karszttól még távolabb a mélykarszt meleg vizét három mélyfúrás tárja fel.

A vizsgálat szerint a karsztvízben az egyes sók mennyisége fokozatosan növekedik a hőmérséklettel. Az összes oldott sótartalom nem növekedik lineárisan a hőmérséklettel. Ebben lényeges része van annak, hogy az áramlási sebesség nem állandó, mert a vízadó kőzet nem homogén. SZALONTAI G. korábbi észleléseit (a budapesti hévizekben) így e vizsgálatok igazolják.

Az egyes alkotók arányaiban relatíve mutatkozó különbségek oka lehet a fedőkarszt oldódása is. Erősebb oldódás csak az igazolt többszáz méter hosszú és mély törések mentén lehetséges, amikoris a mélységi vízadó kőzet törés mentén és nagy felületen érintkezik vízzáró fedőjével (KARÁCSONYI—SCHEUER, 1970B).

A budapesti hévizek tisztán vízkémiai vizsgálatával lehetett megállapítani azt, hogy a négyféle vegyi jellegű hévíz négy törésvonallal kapcsolatos. A mélyből felszálló hévíz vegyi jellege, a keveredés ellenére is, megmarad (SZALONTAI; „Budapest hévízei" kötetben, 1968).

Nyomásadatok hiányában csak vízkémiával lehetett felderíteni azt, hogy az utánpótlódás területétől távol miért annyira feltűnően kicsiny a mély rétegvíz klorid-tartalma. Ez csak a mélykarszt vizének hígító hatása lehet, hiszen azonos mélységben a fedett karszt vizének kloridtartalma Miskolcon annyi, mint a mély rétegvízé Mezőcsáton (39. ábra). Ugyanerre utal a 29. ábrán Tiszakeszi szelvénye, ahol a felszínalatti 455 m-ben a víz klorid tartalma 15 mg/l, összes vízkeménysége 9,9 német fok, ugyanitt a hévízkút (Tiszakeszi 24) 1050 m-ből feltörő vizében is csak 17 mg/l a klorid-tartalom és 4,0 német fok az összes keménység.

Várpalotán a vízzáró miocén széntelepes összlet fedőjében levő artézi víz vegyileg nagyon hasonló az 5 km távolságban levő felszíni triász dolomitból szivattyúzott vízhez. Hasonló a helyzet a kis hegyvidéki medencékben is, ahol a karbonátos kőzetű alaphegységre különböző áteresztőképességű harmadkori üledék települ.

E példákon kívül több más bizonyítéka is van annak, hogy a késő harmadkori medence üledék rétegvize tektonikus eredetű kapcsolatban van a hegyvidék karsztos kőzeteinek vizével.

5.4.3. *Szivárgási régiók anomáliáinak felderítése vízkémiai módszerekkel*

Láthattuk, hogy jól benn a megcsapolás területén is előfordul feltűnően kicsiny kloridtartalom még nagyobb mélységben is. Ez a vegyi anomália azt jelzi, hogy az illető rétegnek közvetlen összeköttetése van rétegfejein át az utánpótlás területével, vagy ott azokat jó vízvezető fedőréteg borítja, vagy pedig a mély karszttal, vulkanikus kőzetekkel van kapcsolata.

A 37B. ábrán látható, hogy a szelvény mindkét végén a szelvény iránya nagyjából párhuzamos a mélyre hatoló és a perem közelében a felszínre kerülő, a környezeténél jobb vízvezető réteggel. Ezt a peremekről jövő hígítást jelzi

mind a kisebb kloridtartalom (Hatvan és Alattyán között, meg a Mezőberény-Gyula szakaszon), mind pedig a keményebb víz jelentléte nagyobb mélységben (Pusztamonostor, Békés).

Több szelvény keresztezi az ilyen jobb vízvezető rétegeket (32., 37., 38., 40. és 46. ábra). Látható, hogy a jobb vízvezetőképesség megmutatkozik a fúrások szelvényében is, de sokkal pontosabban jelzik a vízkémiai izovonalak (37. ábra. Besenyszög—Törökszentmiklós 10 mg/l, Mezőberény—Gyula 20 mg/l; 38. ábra: Kisköre 15° német keménység; 40. ábra: Besenyszög 10 mg/l, Szolnok—Besenyszög szakaszban egy a Gödöllői Dombvidéken felszínre jutó rétegben a 20 mg/l nagy mélysége, Polgáron a Sajóvölgy előtt durvaszemcsés rétegben a 15 mg/l vonalak; 46. ábra: Sándorfalvánál a 15° német keménység jelzi az erős mély áramlást, melyet itt a szelvény csaknem derékszögben keresztez).

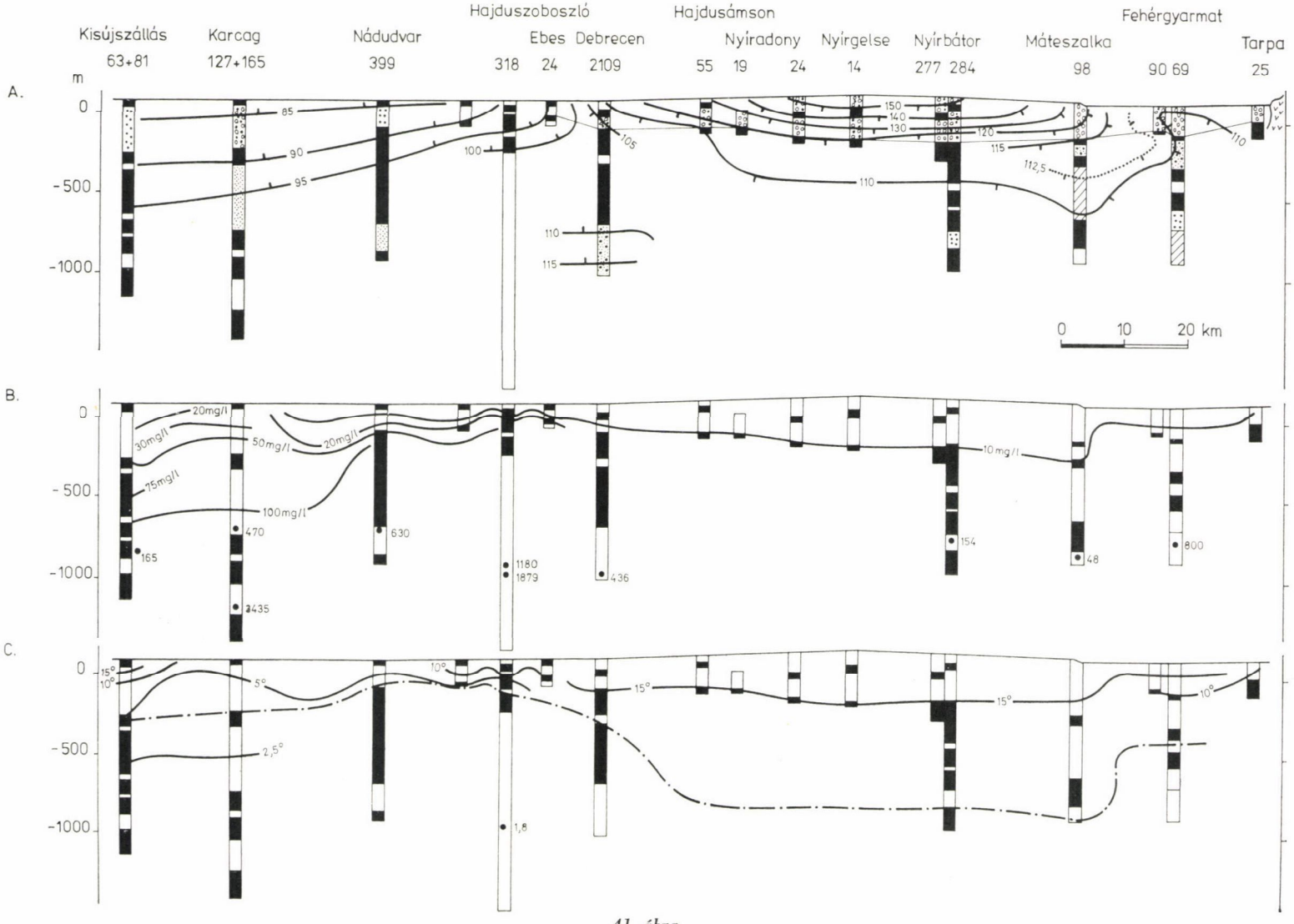
5.4.4. *Az áramlási régió felszálló ágában levő jó áteresztőképességű réteg ablakának hatása a rétegvíz minőségére*

A 40. és 48. szelvények jobboldali részén a potenciál lefelé gyengén csökken. Ez jelzi a vízhatlan talaj alól feltáruló homok felszínéről történő utánpótlódást. De ugyanerre mutatnak a bikarbonátos víztípust jelző vízkeménység szelvények is (40. és 48. ábra).

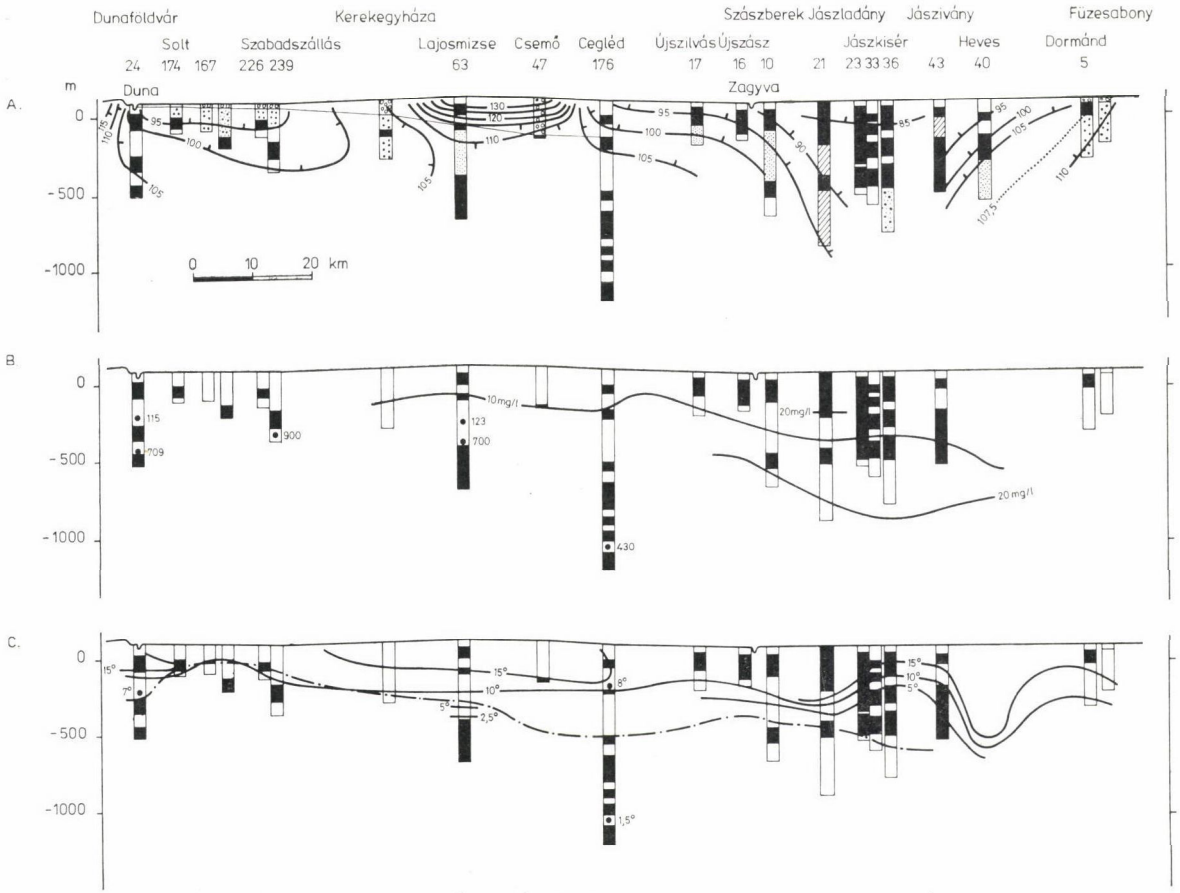
A felszíni utánpótlódás vékony rétege alatti hirtelen „töményedés" okai itt a következők: (1) a víz hosszú időn át érintkezik a kőzettel, (2) kicsiny a réteg hatékony porozitása és (3) erős a felszivárgás. Éles kémiailag is a különbség e területek és az alsótiszai részmedence között, ahol széles és mélyrehatoló átmeneti sáv alakult ki a nagyon jó áteresztőképességű vastag rétegben.

5.4.5. *Két külön utánpótlódási terület egymásrahatásának vízkémiai bizonyítékai*

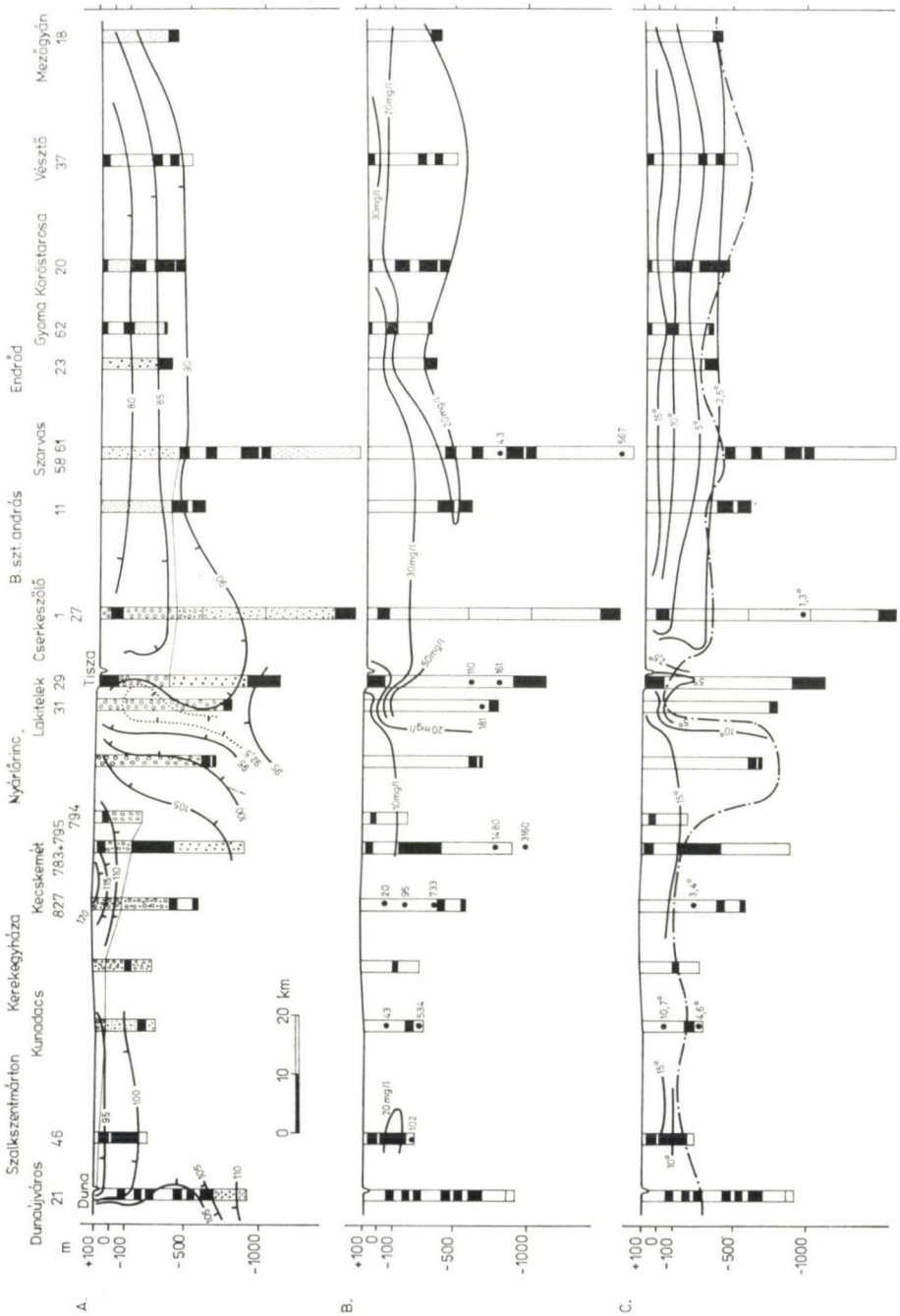
A 38A. ábra baloldala azt jelzi, hogy az Alföld szélén a rétegvíz utánpótlódása kettős. Az utánpótlódás nagyobb része a hegyperem dombvidékéről származik. Itt a felső-pannóniai homokrétegek a felszínre jutnak. Az utánpótlódás kisebb része a hevesi homokvidékről jön, a Tarna pleisztocén hordaléka itt fiatalabb süllyedékektől határoltan kissé magasabb helyzetben van. Az utánpótlódást bizonyítja a szigetszerű helyzetű felszínközeli és gyenge negatív függőleges hidraulikus gradiens. A hidraulikai (38/A ábra) szelvényt igazolják a kémiai szelvények is (38/B—C ábra). Az alföldi peremről mélyre szivárgó víz találkozik a megcsapolási terület belsejében levő homokból leszivárgó vízzel. Ennek következménye, hogy a kicsiny kloridtartalmú bikarbonát típusú vízréteg szokatlanul mélyre hatol (38/B—C ábra).


Kisújszállás
63+81
Karcag
127+165
Nádudvar
399
Hajduszoboszló
318
Ebes
24
Debrecen
2109
Hajdusámson
55
Nyíradony
19
24
Nyírgelse
14
Nyírbátor
277 284
Máteszalka
98
Fehérgyarmat
90 69
Tarpa
25
m
A.
B.
C.
0
-500
-1000
0 10 20 km
20mg/l
30mg/l
50mg/l
75mg/l
100mg/l
10 mg/l
165
470
2435
630
1180
1879
436
154
48
800
15°
10°
5°
2,5°
1,8

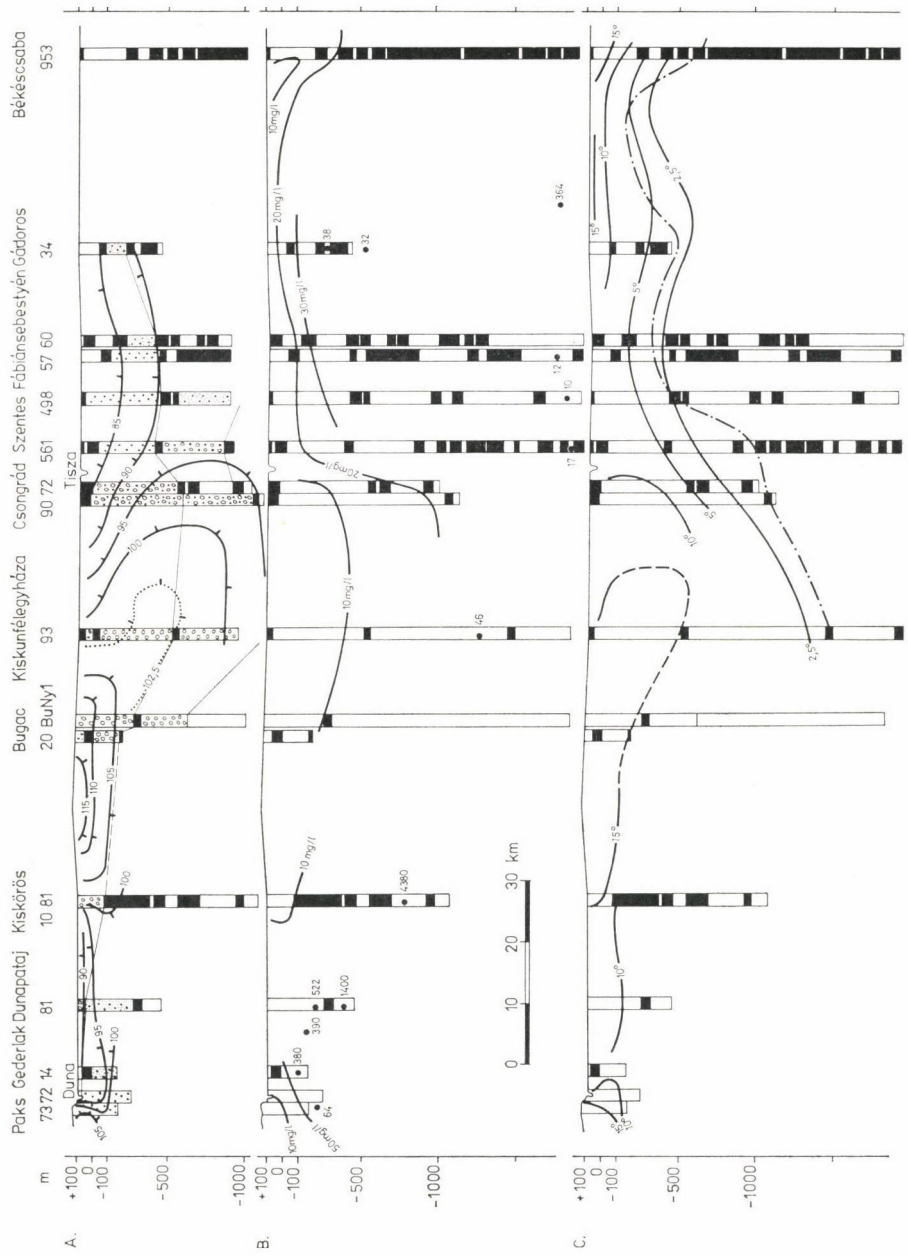
41. ábra


Dunaföldvár
Kerekegyháza
Szászberek
Jászladány
Jászivány
Füzesabony
Solt
Szabadszállás
Lajosmizse
Csemő
Cegléd
Újszilvás
Újszász
Jászkisér
Heves
Dormánd
24 174 167 226 239 63 47 176 17 16 10 21 23 33 36 43 40 5
m
Duna
Zagyva
A.
B.
C.
0
-500
-1000
0 10 20 km
10 mg/l
20 mg/l
20 mg/l
115
709
900
123
700
430
15°
7°
15°
10°
5°
2,5°
8°
1,5°

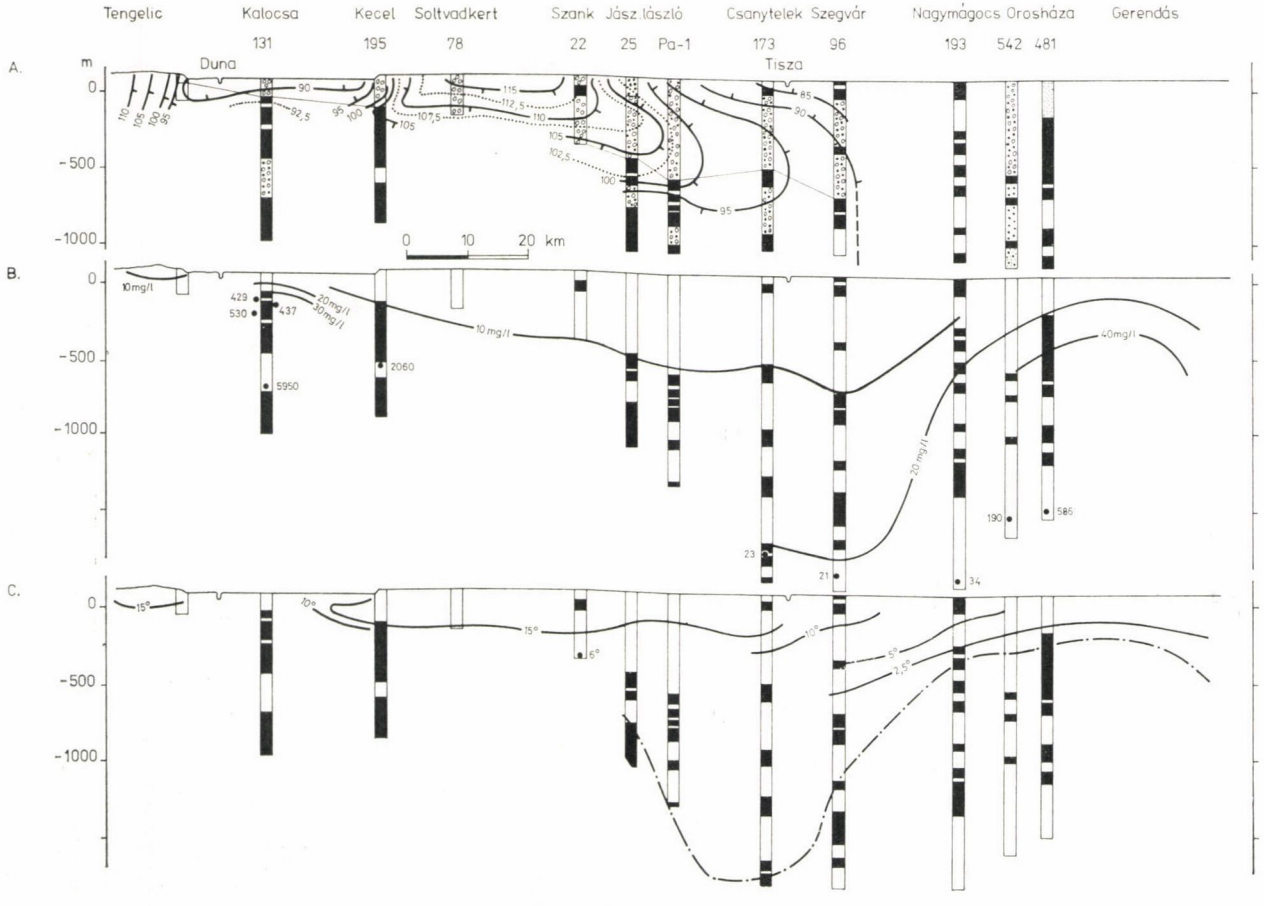
42. ábra


Szalkszentmárton
Kerekegyháza
Nyárlőrinc
B.szt.András
Endrőd
Dunaújváros
Kunadacs
Kecskemét
Lakitelek
Cserkeszőlő
Szarvas
Gyoma
Köröstarcsa
Vésztő
Mezőgyán
m
+100
0
-100
-500
-1000
Duna
Tisza
0
10
20 km
A.
B.
C.

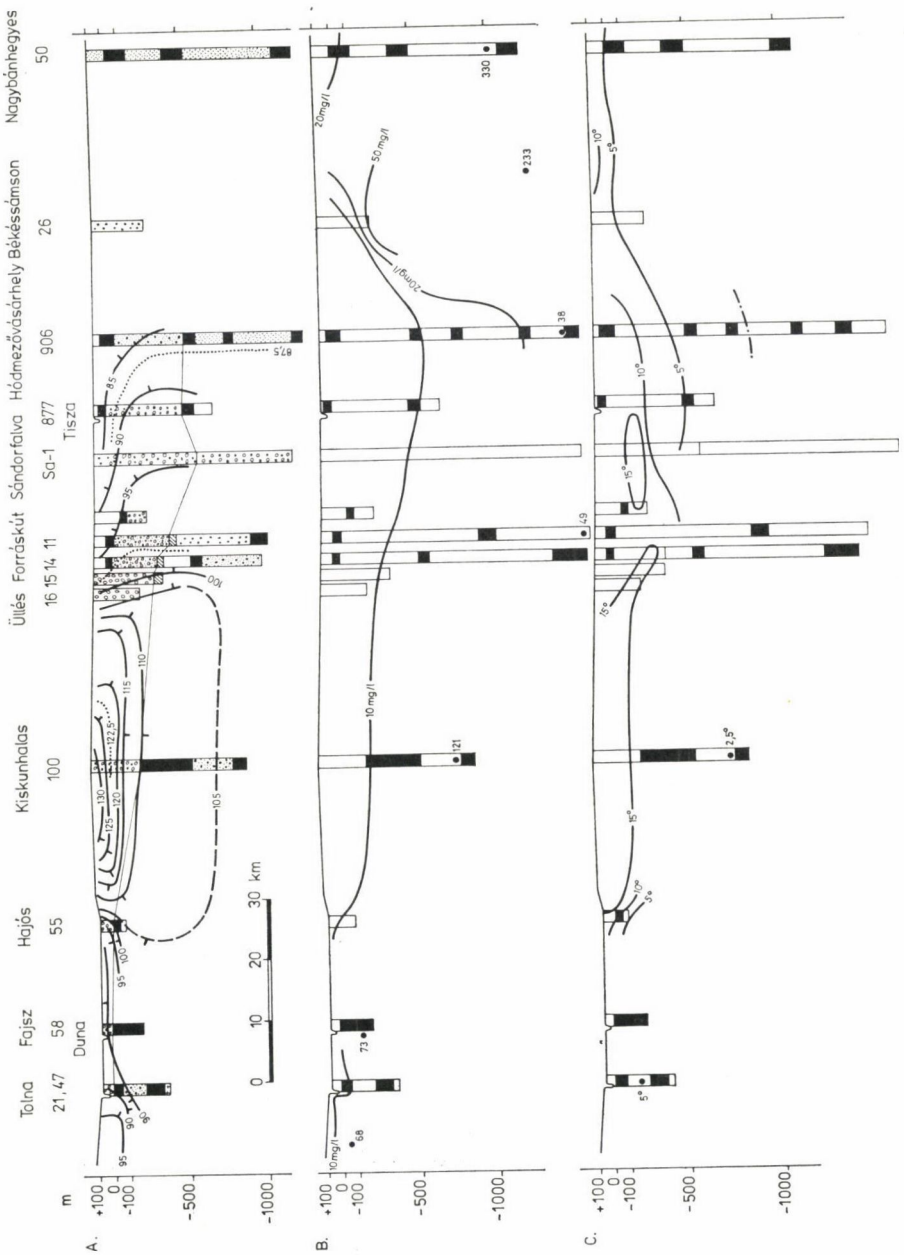
43. ábra


Paks Gederlak Dunapataj Kisköros Bugac Kiskunfélegyháza Csongrád Szentes Fábiánsebestyén Gádoros Békéscsaba
7372 14 81 10 81 20 BuNy1 93 90 72 561 498 57 60 34 953
Duna
Tisza
m
+100
0
-100
-500
-1000
A.
B.
C.
10mg/l
20mg/l
30mg/l
50mg/l
0 10 20 30 km

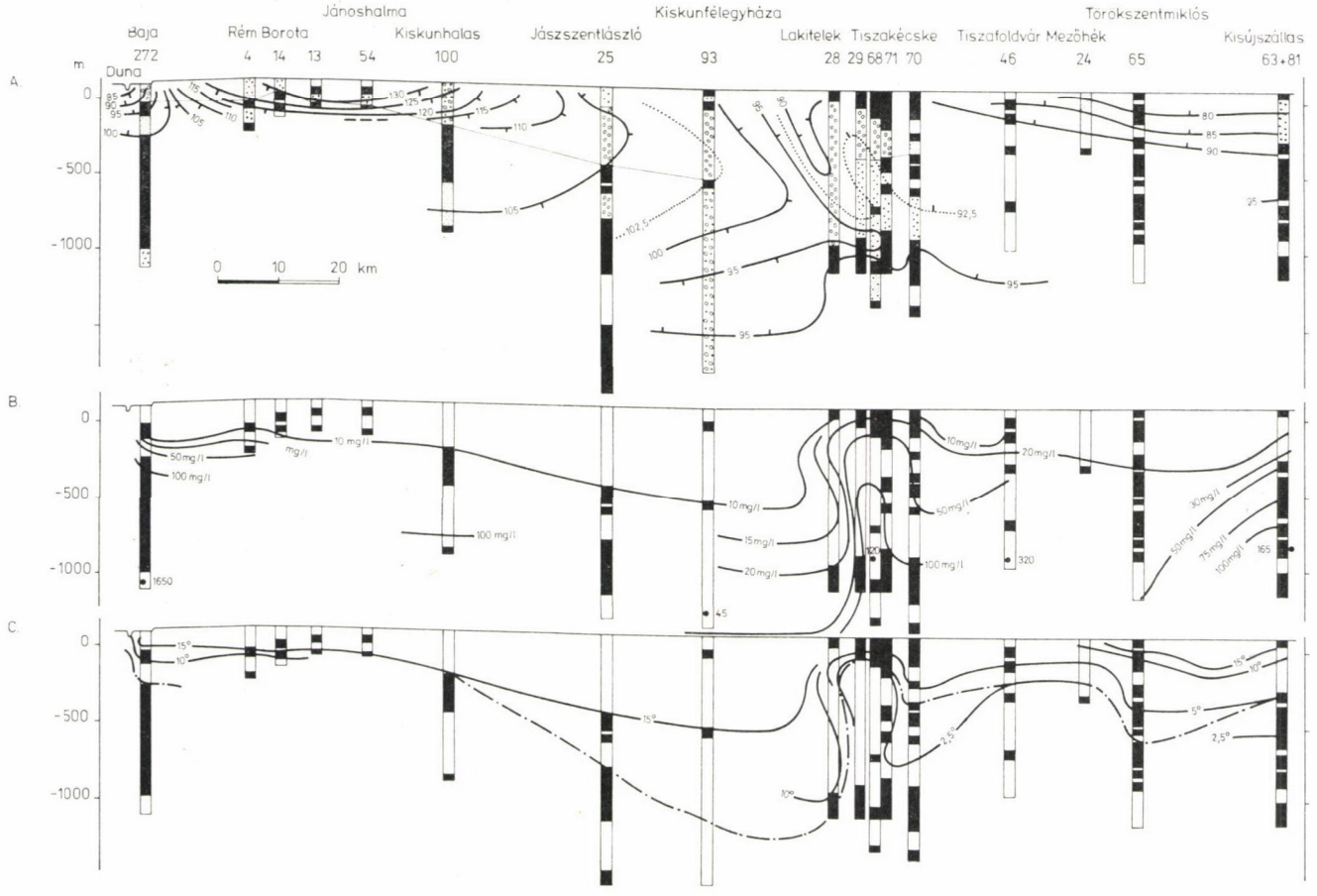
44. ábra


Tengelic
Kalocsa
Kecel
Soltvadkert
Szank
Jász.lászló
Csanytelek
Szegvár
Nagymágocs
Orosháza
Gerendás
131
195
78
22
25
Pa-1
173
96
193
542
481
Duna
Tisza
A.
B.
C.
m
0
-500
-1000
0 10 20 km
10mg/l
20mg/l
30mg/l
40mg/l
429
530
437
5950
2060
23
21
34
190
586
15°
10°
5°
2,5°

45. ábra


Tolna
Fajsz
Hajós
Kiskunhalas
Üllés
Forráskút
Sándorfalva
Hódmezővásárhely
Békéssámson
Nagybánhegyes
21,47
58
55
100
16 15 14 11
Sa-1
877
906
26
50
Duna
Tisza
m
+100
0
-100
-500
-1000
A.
B.
C.
0 10 20 30 km
10 mg/l
20mg/l
50 mg/l
10°
5°
15°
2,5°

46. ábra


Jánoshalma
Kiskunfélegyháza
Törökszentmiklós
Baja
Rém
Borota
Kiskunhalas
Jászszentlászló
Lakitelek
Tiszakécske
Tiszafoldvár
Mezőhék
Kisújszállas
272
4
14
13
54
100
25
93
28
29
68
71
70
46
24
65
63+81
m
Duna
A.
B.
C.
0
-500
-1000
0 10 20 km
50mg/l
100 mg/l
1650
10 mg/l
15 mg/l
20 mg/l
45
320
15°
10°
5°
2,5°

47. ábra

5.4.6. *Vízkémiai módszerek a gázolás területek hidrodinamikájának felderítésére*

A 100—400 m-es mélységű gázos kutak, ahogy ez természetes is, a lefelé növekvő nyomású területen vannak (18. ábra). Gázos kút nincs ott, ahol a jó vízvezető folyóvízi üledéksort laza homoktalaj fedi.

Gázos kutak területéről még mérsékelt pontosságú hidrodinamikai szelvények sem szerkeszthetők, mert a víz gáztartalma miatt a nyomásadatok megbízhatatlanok. Először is, mert a réteg gáztartalma rövid távolságon belül is nagyon különböző. Másodszor azért, mert kevés az igen pontos gáztartalom mérés és a mérések pontosságának semmi ismérve sincs, tehát a mérések eredményei alkalmatlanok a valódi nyomások kiszámítására. Ezért nincs más módszer, csak a vízkémia a szivárgási pályák felderítésére.

A réteg gáztartalmának rövid távolságon belüli változása legtöbbször szerkezeti eredetű (Scherf, 1948, 1967). Az Alföld gázos hátjainak térképe (18. ábra) arra mutat, hogy a gázos terület határa sok helyen szerkezeti irányokkal egyező.

Gázos kutak területén, ha kicsiny a víz gáztartalma, a sekélyebb kutak (kb. 200 m mélységig) nyugalmi vízszint adataiból még viszonylagosan jó nyomásszelvények szerkeszthetők (34. és 35. ábra). A vízmozgás irányát azonban a vízkémiai szelvény részletesebben ábrázolja. Lefelé haladva a gázos kutak nyomásadatainak használhatósága rohamosan csökken, ezért egyre inkább a közvetett módszereket kell alkalmazni. Különösen érvényes ez a hévizes régióra.

Vízkémiai módszerekkel lehetett elhatárolni az alsótiszai és a kőrösi részmedencék határsávját. Itt egy aránylag keskeny sávban találkoznak a két mély áramlási régió felszálló ágai, amit a felszínközeli rétegvíz feltűnő töménysége jelez (44., 46. és 48. ábra).

Békésben a felszálló vízmozgás a földtani szerkezet következménye. A délalföldi és a békési süllyedék között a kristályos alaphegység jóval közelebb van itt a felszínhez, mint a két süllyedékben s így meghatározza a rátelepült neogén rétegek geometriáját. Ennek az eltemetett rögvonulatnak irányában csökken mind a medence üledéksorának vastagsága, mind pedig annak hatékony hézagossága. Így mindkét részmedence rétegvize viszonylag keskeny sávban kényszerül felszivárogni.

A vízkémiai módszerek finomságát bizonyítja a 49B. ábra. Békéscsabától Ny-ra levő kis homoksávokról beszivárgó víz hígítását mutatja a kloridtartalom 10 és 20 mg/l-es vonalainak K felé és lefelé mutatkozó kis kiöblösödése.

5.4.7. *Vízkémiai módszerek a mélységi vízmozgás felderítésére*

Nagy üledékes medencék mélyebb rétegeire vonatkozó nyomásadatok gyakran hiányoznak, vagy kevés van belőlük, vagy pontatlanok (pl.: gázos kutak esetében). A vastag vízzáró formációk következtében az áramlási kép gyakran különösen bizonytalan. Nem marad más, csak a vízkémia.

A vastag vízzáró felsőpliocén formáció teljes elzárja-e felülről a hévizes áramlási régiót? Úgy látszik igen, különösen, ha a 41. ábrán szemléljük a Hajdúsámson—Mátészalka szakaszt és összehasonlítjuk a felső-pliocén hidrológiai tulajdonságát (5. ábra) az édesvizes formációéval (16. ábra).

A vízkémiai szelvényen (41B—C ábra) az édesvizes formáció megvastagodása azonban azt mutatja, hogy a felszíni vízutánpótlódás áthatolhat a „hévizes formáció" „vízzáró" felső-pliocén fedőjén kedvező potenciál viszonyok esetén, s egyensúlyt tarthat a mélységi áramlási régió felszálló vízével.

Mélyfúrási tapasztalatból tudjuk, hogy a kloridtartalom lefelé való hirtelen megnövekedése legtöbbször a rossz vízvezető képességű alsó-pannóniai kőzet közelségét jelzi. Az alsó-pannonban stagnáló és lassan kiszoruló nátriumklorid típusú víz a nagy kloridtartalom forrása. Ezt a kompakcióval kinyomódó vizet viszi magával a mély áramlás, mely azóta áll fenn, amióta a Magyar Medence mély süllyedékek területévé vált.

A legnagyobb felszínközeli sótartalom a Dunavölgyben található (43—46. ábrák). Ennek kettős oka van. Az egyik a fontosabb, a hidrodinamikai helyzet (igen erős felszálló vízmozgás, 15. ábra), a másik a viszonylag vékony felső-pannóniai réteg feltűnően gyenge vízvezető képessége, ezért benne pangó rétegvíz van. Ráadásul alatta közel van a tömény vízű alsó-pannon formáció is (3. ábra).

5.5. *A rétegvíz vegyi jellegének függőleges változása*

A 12. ábra a rétegvíz vegyi jellegének függőleges változásait mutatja. A részmedencék legmélyebb részét a felszínközeli sódúsulás (12. ábra) jellemzi. A sófelhalmozódás oka kettős: 1) a vízzáró szikes talaj (2. ábra), melyen át a felszínről nem jut víz a talajba, 2) a részmedencék belsejére jellemző erős felszivárgás (15. ábra).

A sótartalom nem mindig növekszik lefelé. Az áramlási régióban az ilyen rendellenességek oka könnyen felderíthető, ha az egész természeti környezetet vizsgáljuk.

A szikes mélyedmények vízminőségi szelvényének mélyebb részén, de egyebütt is (12A. és 12B. ábra) a kisebb sókoncentráció azt jelzi, hogy az utánpótlódás távolabbról, a medence pereméről jut a mélybe, onnan, ahol a jó vízvezető rétegek a felszínre érnek.

A rendellenes sótartalom oka mélységi sósvíz is lehet; ez törésvonalon vagy más áteresztő sáv mentén gyorsabban, vagy területileg lassú felfelé irányuló szivárgással éri el a felszínt, a laposokat.

A száraz éghajlat és a kőzettanilag eltérő víztartók miatt az is lehetséges, hogy bizonyos mélységig a sótartalom lefelé rendellenesen csökken. Több ilyen hely ismeretes. Két példa említése itt elégséges.

1) Az ausztráliai Nagy-medencében a sótartalom lefelé csökken. A mélyebb víztartók vize hígabb, mert csapadékosabb területről táplálódik. A medence belsejében viszont a talajvíz utánpótlódása helyi jelenség. A száraz, félszáraz helyi éghajlat és a sós felszíni üledékek miatt sósabb, mint a rétegvíz.

2) A lapos és száraz Turkomán Alföldön, a Kaszpi-tó délkeleti partján, a talajvíz nagyon sós. A talajvízben rohamosan növekedik a konyhasó menynyisége a Kaszpi-tó felé haladva. A mélyebb durvaszemcsés artézi vízadókat viszont nagy hozamú kutak édes vize jellemzi. Ezek tápterülete a Gorgán folyó medencéjét ÉK-től D-ig körülfogó félszáraz és nedves éghajlatú hegyvidék. Az artézi vízadókban folytatódnak ugyanis a pleisztocén durva görgeteges hegylábi törmelék felszínek és a nagy területű, durva törmelékes kőzetanyagú terraszok (a szerző saját megfigyelései).

A következőkben tárgyalt esetekben a mélységi víz sótartalma bizonyos mélységig csökken. Ebben semmi szerepe nincs az éghajlatnak, a talaj geokémiájának, vagy a földfelszín kisebb egyenetlenségeinek.

1. A 37. és 38. ábra mutatja, hogy a mélyebben települt felső-pannóniai víztartók az Alföld északi szegélyén a felszínre jutnak, tehát utánpótlódásuk kedvezőbb, de homokossági százalékuk is nagyobb, mint a pleiosztocén fedőé. A pannóniai feltárások sávjától az Alföld belseje felé eső területen a pleisztocén formáció egészében rossz vízvezető vagy gyakorlatilag vízzáró homokos iszapos agyag, melyet 2—25-es vízzáró felső-pleisztocén agyag borít. A Jászságban a pleisztocén formáció mélységi víztartói finomszemcsés, vékony, hosszan elnyúló, kis dőlésű homoklencsék (37. ábra). Felszínről való utánpótlódásuk csekély, a finomszecsés víztartókban a víz lassan áramlik, a lencsék közötti vízforgalom korlátozott. Mindezekért a sekélyebb pleisztocén rétegvíz általában „sósabb", mint a feküjében levő felső-pannóniai víztartók rétegvize (37B ábra).

2. Az Alföld északi szegélyén a pannóniai üledékes összlet mélyebb vízadó szintjei „rövidzárlat" miatt könnyebben kapnak utánpótlódást a vulkanikus kőzetű hegyvidékről, mint a sekélyebb vízadók. Ez az oka annak, hogy a Mátra alján a mélyebbi rétegvíz hígabb, mint a sekélyebb (KARÁCSONYI—SCHEUER, 1970A).

3. A 39B. ábra baloldalán Miskolcon a közepes mélységű rossz vízvezető miocén kőzetekben a víz töményebb, mint a feküjében levő karsztban és felette. A mélykarszt vizének hígítása az Alföld felé kb. 25 km-re terjed s Mezőcsáton még megmutatkozik. Innen a Tisza felé haladva már a mély süllyedék felszálló sósabb vize jut uralomra.

4. A Bakony ÉNy-i szegélyén a sótartalom lefelé ugyancsak csökken. Itt az aránylag vékony és finomabb szemcsézettségű pliocén homokrétegek vízében több az oldott só, mint a nagy áteresztőképességű s a felszíni karsztból pótlódó mély karsztvízben. Pápán a 380 m-es felszínalatti mélységből felszálló pannóniai rétegvíz klorid-tartalma 101 mg/l, ugyanitt a 472 m-ben kezdődő mélykarszt vize csak 12 mg/l-t tartalmaz. Itt ugyanis a karszt és a pliocén fedő között vízzáró összlet van.

Lefelé haladva a sótartalom hirtelen akkor növekedik meg, amikor a vízmozgás lelassulni kénytelen. Ennek diszkordancia is lehet az oka, de lehet nagy kiterjedésű vízzáró formáció is, vagy egy vízzáró réteg az üledékes formációban.

5.5.1. *Káros sók felhalmozódása a talajban*

Az Alföld talajvízének vegyi jellegét meghatározzák: a víztükör mélysége, a talaj és altalaj kőzettani és geokémiai viszonyai (Kovács, 1971; Széky—Szepesi, 1962; Várallyay, 1968).

A részmedencék mélyedményeinek talaja vízrekesztő szik. Ez részben a topográfia következménye. A mélyedményben halmozódik fel az az oldott anyag és finom hordalék, amit az árvíz hoz messzebbről, vagy a helyi csapadékvíz old ki s visz a belvizes laposba.

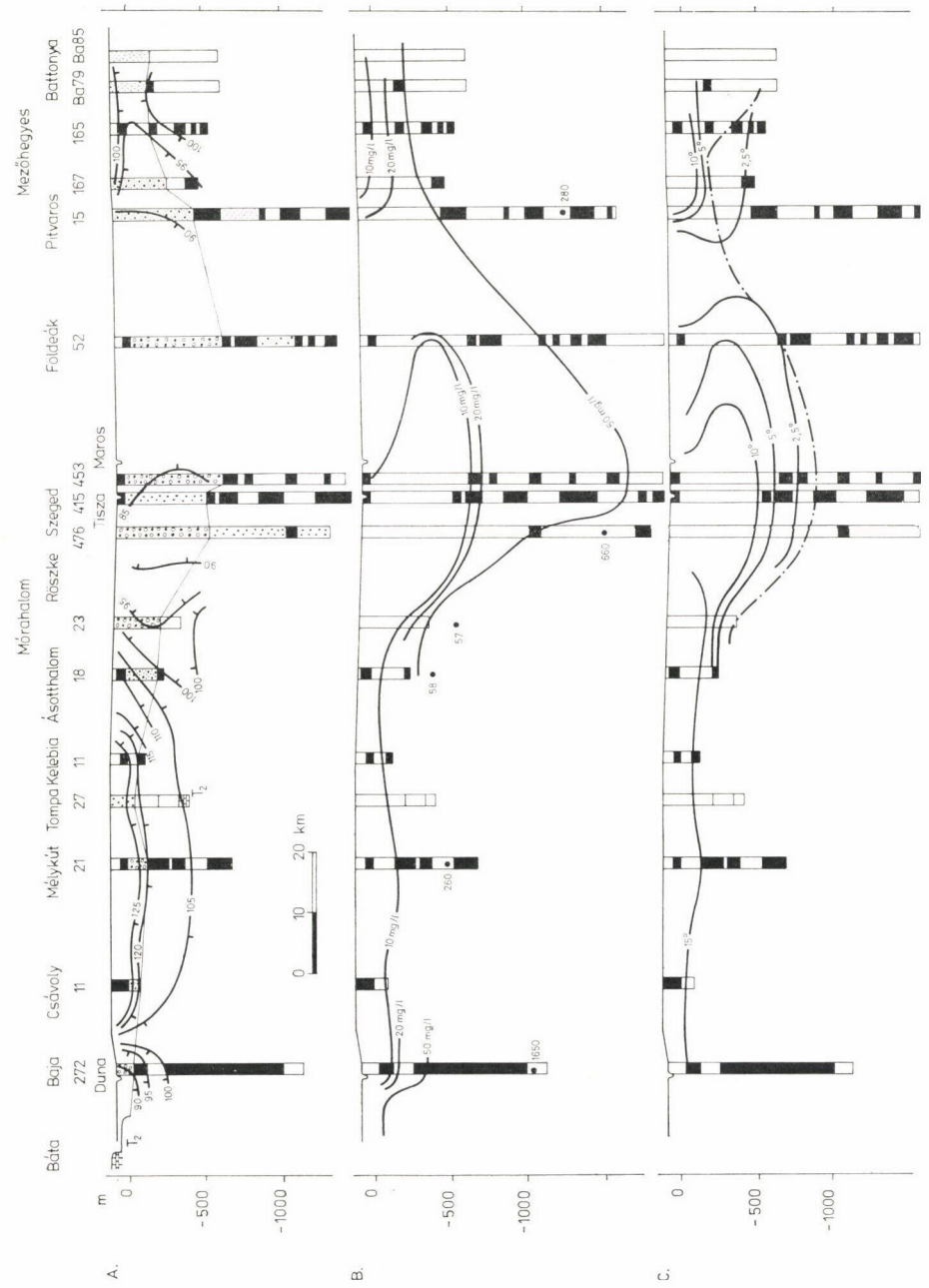
A topográfián kívül az Alföld félszáraz éghajlata is hozzájárul ahhoz, hogy a laposokban megrekedt árvíz és belvíz kiszárad a nyári félév közeledtével, a talajban a só évről-évre több lesz a természetes „megcsapolás" hiánya miatt.

A mélyedmények sziktalaja nyáron esetleg áteresztheti a felszínére hullott vizet, amikor a szik a szárazságtól megrepedezik. A repedés lehet 1—2 m mély és 8—10 cm széles is. Ilyen módon a talajvíz kap kevés utánpótlódást és felhígul.

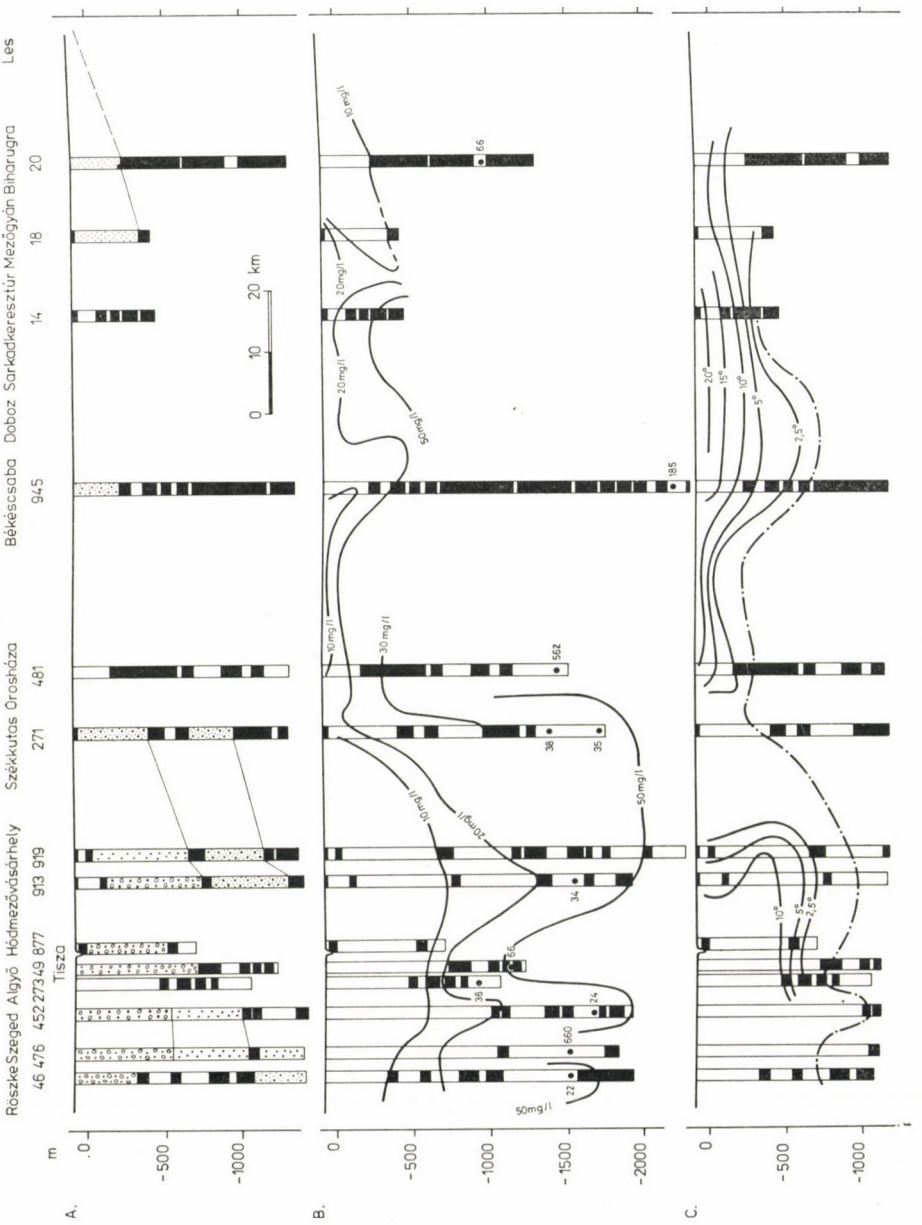
A sós talaj sóinak egy része azonban kétségtelenül mélységi eredetű, a felszivárgó rétegvízből származik.

A löszös agyagos alföldi felszínek talajvize leggyakrabban feszített tükrű. A nyomás mértéke ritkán több 50 cm-es vízoszlopnál. Sok sekély fúrásban azonban 1—2 m-t, kivételesen 4 m-t is emelkedhet a vízszint (Rónai, 1965). Rónai helyesen következtet, amikor a talajvízszint helyi nagy szintemelkedését a feküben levő nagyobb nyomással indokolja meg. Szerencsére vannak kivételek is.

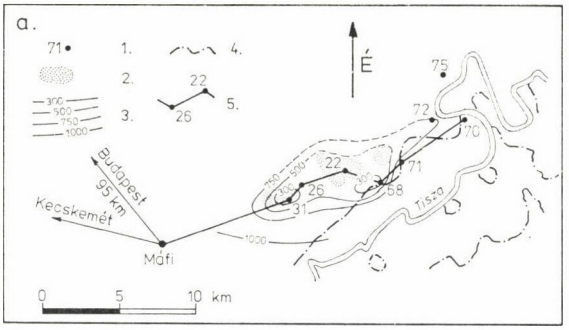
Az első vízadóig bevágódott folyó elviszi a felszálló töményebb vizet s így megakadályozza a talaj sósabbá válását (a 19/A. ábra mutat egy ilyen folyómedret). A talaj sósabbá válása akkor sem következik be, ha a felszínközeli összefüggő homokréteg felszíni kibúvásain (pl. 19A ábra) át beszivárgó csapadék felhígítja a környező talajvizet, a felszálló sósabb víz pedig keveredve


Báta
Baja
Csávoly
Mélykút
Tompa
Kelebia
Ásotthalom
Röszke
Szeged
Földeák
Pitvaros
Mezőhegyes
Battonya
Duna
Tisza
Maros
272
11
21
27
11
18
23
476
415
453
52
15
167
165
Ba79
Ba85
m
0
-500
-1000
A.
B.
C.
0
10
20 km
10mg/l
20mg/l
50mg/l
20 mg/l
50 mg/l
1650
260
660
280
15°
10°
5°
2,5°

48. ábra


Röszke Szeged Algyő Hódmezővásárhely Székkutas Orosháza Békéscsaba Doboz Sarkadkeresztúr Mezőgyán Biharugra Les
46 476 452 273 49 877 913 919 271 481 945 14 18 20
Tisza
0 10 20 km
m
A.
B.
C.
0
-500
-1000
-1500
-2000
10 mg/l
20 mg/l
30 mg/l
50 mg/l
20°
15°
10°
5°
2,5°
66
185
562
38
35
34
36
24
660
22

49. ábra


a.
É
Budapest
95 km
Kecskemét
Máfi
Tisza
0 5 10 km
b.
Nyárlőrinc
Kecskemét
Lakitelek
Tiszakécske
Máfi
< 10 %
10 - 25
25 - 45
45 - 60
> 60 %
0 10 20 km
c.
Máfi
0 10 20 km
d.
Máfi
0 10 20 km
e.
Máfi
0 10 20 km

50. ábra

ezen a rétegen át vagy a megcsapoló vízfolyáshoz jut el, vagy oda, ahol a fő fogyasztó a párolgás.

Kár, hogy a folyóvízi megcsapolás csak a fő folyók egyes szakaszaira korlátozódik, a felszínről bejutó víz hígítása pedig csak kisebb foltokon van meg.

Amikor a talajvíz nyomásszintje a finomszemcsés felszíni réteg kapilláris sávjában van, megkezdődik a talaj „elsósodása". Ez a helyzet gyakori, különösen a száraz és forró hónapokban.

Az alföldi löszös-agyagos felszíni réteg kapilláris zónája 1,5—2,5 m-es. Az Alföldön RÓNAI térképe szerint a talajvíz átlagos mélysége igen nagy területen 2—3 m, vagy ennél kisebb. Ez pedig a kritikus mélység. Ez átlagos mélység és ennél kisebb is lehet, megindulhat a kapilláris sószállítás. A talajvíztérkép szerint (RÓNAI, 1965) a szikesek területén az átlagos talajvízmélység legtöbbször 2 m vagy annál kevesebb.

Az Alföld igen termékeny löszfelszínei alatt a talajvíz mélysége 4—7 m. Öntözött területen megfigyelő kutak adatai szerint 1—3 m-t emelkedett a talajvízszint. Ez aggodalomra ad okot, mert a talajvízszint elérheti a kritikus mélységet.

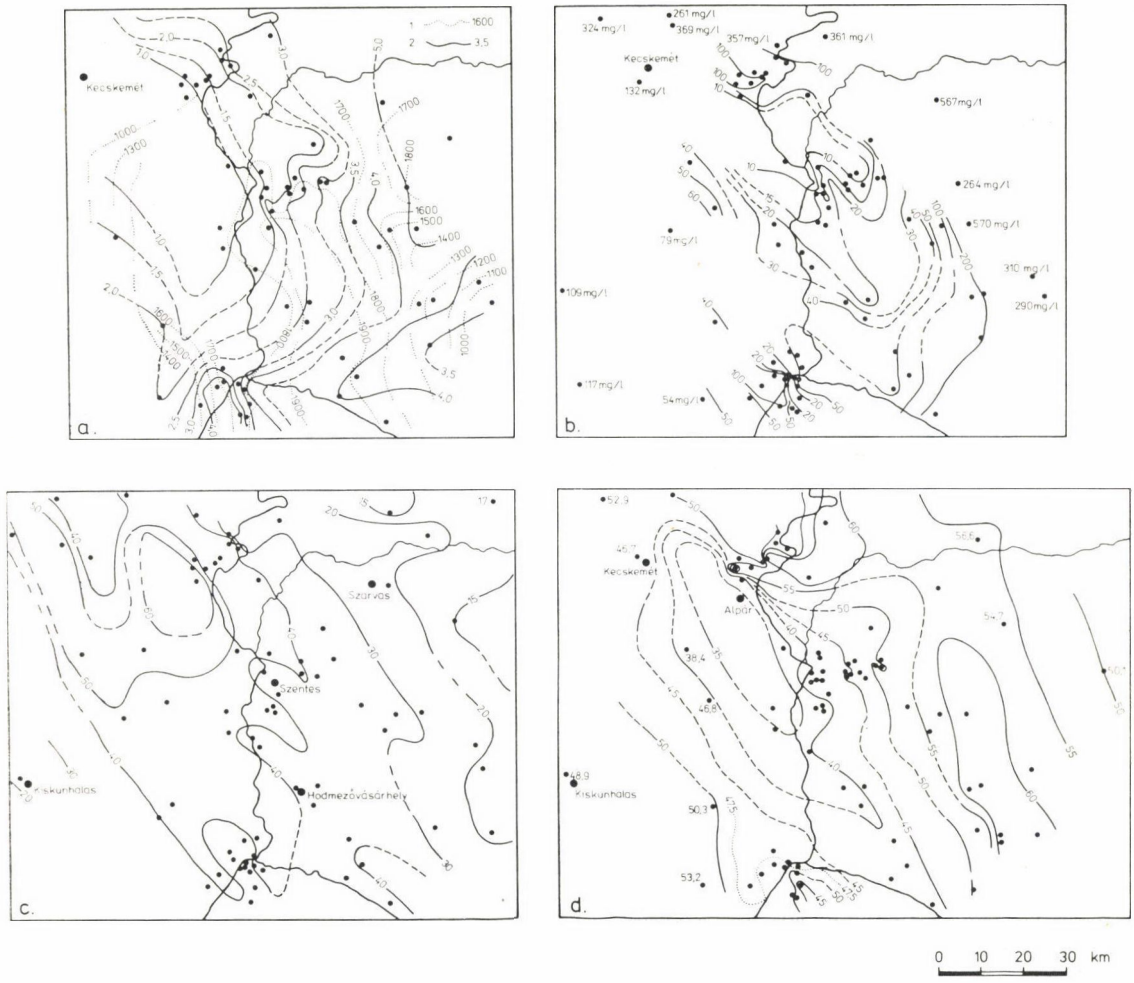
Az alföldi lösz ritkán vastagabb 3 m-nél. A lösz lefelé fokozatosan megy át folyami homokba. A lösz alatti homok áteresztő képessége legtöbbször kicsiny, tehát a talajvízszint káros emelkedését nehéz megakadályozni mind függőleges, mind pedig vízszintes drénezéssel.

A leszivárgó öntözővíz és a lösz altalajának általában kedvezőtlen szivárgási tulajdonságai miatt az öntözés súlyos károkat okozhat, hiszen a termékeny löszfelszín öntözése biztosítja a legnagyobb hasznot. Az öntözővíz minőségének gyors silányodása növelheti a talaj sósabbá válásának veszélyét.

A rétegvíz nyomástérképének (2. ábra) egyes részei is bizonyítják azt, hogy jelentős területen pangó mélységi víz van. A Hármas-Kőrös vidékén a 85 m-es nyomásszint szigete már magában is elég bizonyíték. Másik bizonyíték az, hogy a középső Tisza mentén a 85 és 95 m-es nyomásszintek közti 10 m-es különbség 140 km mentén oszlik el, ami 0,0007-es vízszintes gradiensnek felel meg. Hasonló kicsiny gradiens van a Duna mentén is (2. ábra).

←

50A—E. ábrák. A középső tiszai (Tiszakécske) geotermikus anomália térképe és szelvényei
50A. ábra. Térképvázlat: 1. hévízkút és hévízkutató fúrás sorszáma; 2. erős pozitív geotermikus anomália (ALFÖLDI—GÁLFI szerint, 1966); 3. az 50 °C-os víz mélysége; 4. az ártér határa; 5. a szelvények (50, B, C, D és E ábrák) helye
50B. ábra. Potenciál eloszlás és litológia
50C. ábra. A hévíz klorid tartalma mg/l-ben
50D. ábra. A hévíz összes keménysége német keménységi fokban
50E. ábra. Hőmérsékleti szelvény



51A—D. ábrák. Az alsótiszai részmedence hévízének térképi ábrázolása

51A. ábra. 1. A csőrakat perforált szakasza közepének mélysége a felszín alatt; 2. a hévíz anion + kation tartalma g/l-ben

51B. ábra. A hévíz klorid tartalma mg/l-ben

51C. ábra. A részmedence üledékeinek homok százaléka a felszín és az áramlási rendszer feküje között

51D. ábra. Geotermikus gradiens (°C/1000 m)

A pangó rétegvíz jelenlétét vízkémiai térképek (6., 7. és 13. ábra) igazolják, hiszen a legnagyobb sótartalmú rétegvíz majdnem mindig ott van, ahol azt a nyomástérkép (2. ábra) szintvonalai (85, 95 m tszf.) is jelzik.

5.5.2. *A rétegvíz sótartalmának növekedése*

A leggyakoribb ilyen minőségromlás oka a fúrott kút valamilyen hibája, mert ezáltal különféle vegyi összetételű és eltérő nyomású vizek keveredhetnek. A lefelé növekvő nyomású területen a sekélyebb jó minőségű vízhez keveredhet a nagyobb nyomású mélyebb sósvíz. Leggyakoribb okai ennek a keveredésnek: a csőrakat hiányos elcementezése, a tömszelence hibája, a cső korróziója, szakszerűen el nem tömött, főleg szénhidrogén kutató fúrások (SCHERF, 1967). Az áramlási régió felszálló ágában a vékony felszínközeli édesvizet a túlzott termelés veszélyeztetheti, amikor az utánpótlódás kisebb, mint a termelés, tehát a sósvíz front felfelé tart. 10—15 éve vannak már ilyenirányú hazai tapasztalataim. Még az igen vastag s kitűnő áteresztőképességű szegedi alsópleisztocén vízadó rétegben is észlelhető már a károsodás kezdete (LORBERE, 1977).

Békésben többször előfordult, hogy egykor kifolyóvízű kút ismét azzá lett, megnövekedett a kifolyóvízű kút hozama és gáztartalma (SCHERF, 1967). Valószínű, hogy a vidéken levő szénhidrogén kutatófúrásoknak tulajdoníthatók a gáz okozta jelenségek. Nem tudok arról, hogy a sótartalom is lényegesen változott volna.

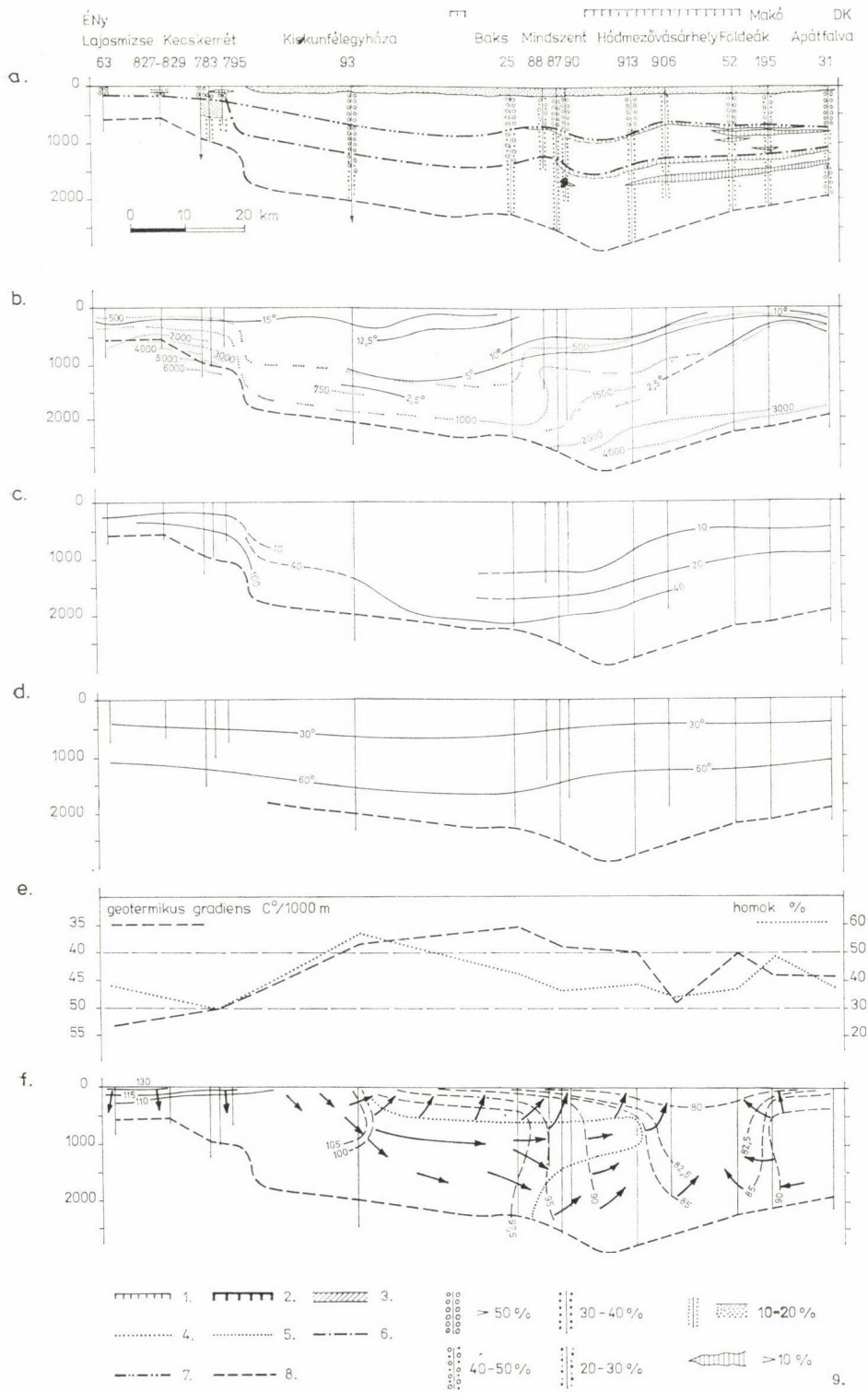
Szerencse az, hogy a szénhidrogén termelés során a sósvízű mély szintek nyomása a fedőrétegek nyomásánál kisebb lesz.

Vízminták megismételt elemzése a legjobb módszer a kezdődő „sósodás" kimutatására. A természetes egyensúly megbomlásával a semleges nyomásállapot sávja felfelé mozdul el. Észlelő kutakban végzett nyomás és vízminőség ellenőrzés időben megakadályozhatja a túltermelés káros következményeit.

Nyomás és vízminőségi szelvények összehasonlítása igazolja, hogy a vízkémiai adatokból szerkesztett áramlási kép általában összhangban van a valóságos áramlási viszonyokkal.

Megállapítható, hogy: 1) A felszíni és felszínalatti geológiai vizsgálat kiegészítve vízkémiai módszerekkel igen hatékony közvetett hidrodinamikai kutatási eljárás; 2) A vízkémiai adatokból szerkesztett feltételezett nyomáseloszlás a hidrogeológiai kutatás első fázisa akkor, amikor nincs nyomásadat, vagy kevés van, vagy pedig bizonytalan; 3) A vízkémiai módszerek igen alkalmasak nagy és mély üledékes medencék hidrodinamikai vizsgálatára, mert általában sokkal több a vízminőségi, mint a dinamikai adat; 4) A vízkémia igen hasznosnak bizonyult szabálytalan áramlási rendszerek vizsgálatára.

A leghasznosabb módszer a minél több vízkémiai szelvény szerkesztése. Így határolhatók el, deduktíve, valamely hidrogeológiai egységben, vagy annak egy részében a leszálló, a vízszintes és a felszálló vízmozgás területei.


ÉNy
Lajosmizse Kecskemét
63 827-829 783 795
Kiskunfélegyháza
93
Baks Mindszent Hódmezővásárhely Földeák Apátfalva
25 88 87 90 913 906 52 195 31
Makó
DK
a.
b.
c.
d.
e.
f.
0 10 20 km
geotermikus gradiens C°/1000 m
homok %
1. 2. 3.
4. 5. 6.
7. 8.
> 50 %
40-50 %
30-40 %
20-30 %
10-20 %
>10 %
9.

52. ábra

6. Mélységi vízáramlás és geotermia

Az áramlási régió zavartalan állapotában egyensúlyban levő hőcirkuláció. Az egyensúly kialakulhat a leszálló hidegebb bikarbonátos típusú víz (az utánpótlódási terület vize) és a felszálló melegebb, sósabb víz (a „megcsapolási" terület vize) között.

A tiszakécskei termális anomália különösen erős hőcirkuláció. Jól ismert már a 20-as évek óta (SÜMEGHY, 1929). Újabb feldolgozása során a hőanomália vízkémiai és vízhozamadatokkal való pontosabb elhatárolása történt meg (ERDÉLYI, 1964). Az erre következő részletes geofizikai és geológiai vizsgálatok teljesen tisztázták az anomália fizikai természetét (ALFÖLDI—GÁLFI, 1966, 1976).

Ez az erős termikus anomália a kedvező földtani helyzet következménye. Mély árokszerű süllyedéket vastag és durvaszemcsés üledéksor tölt ki, ez a rétegvízáramlás fő sávja (9., 10., 11., 43. és 45. ábrák).

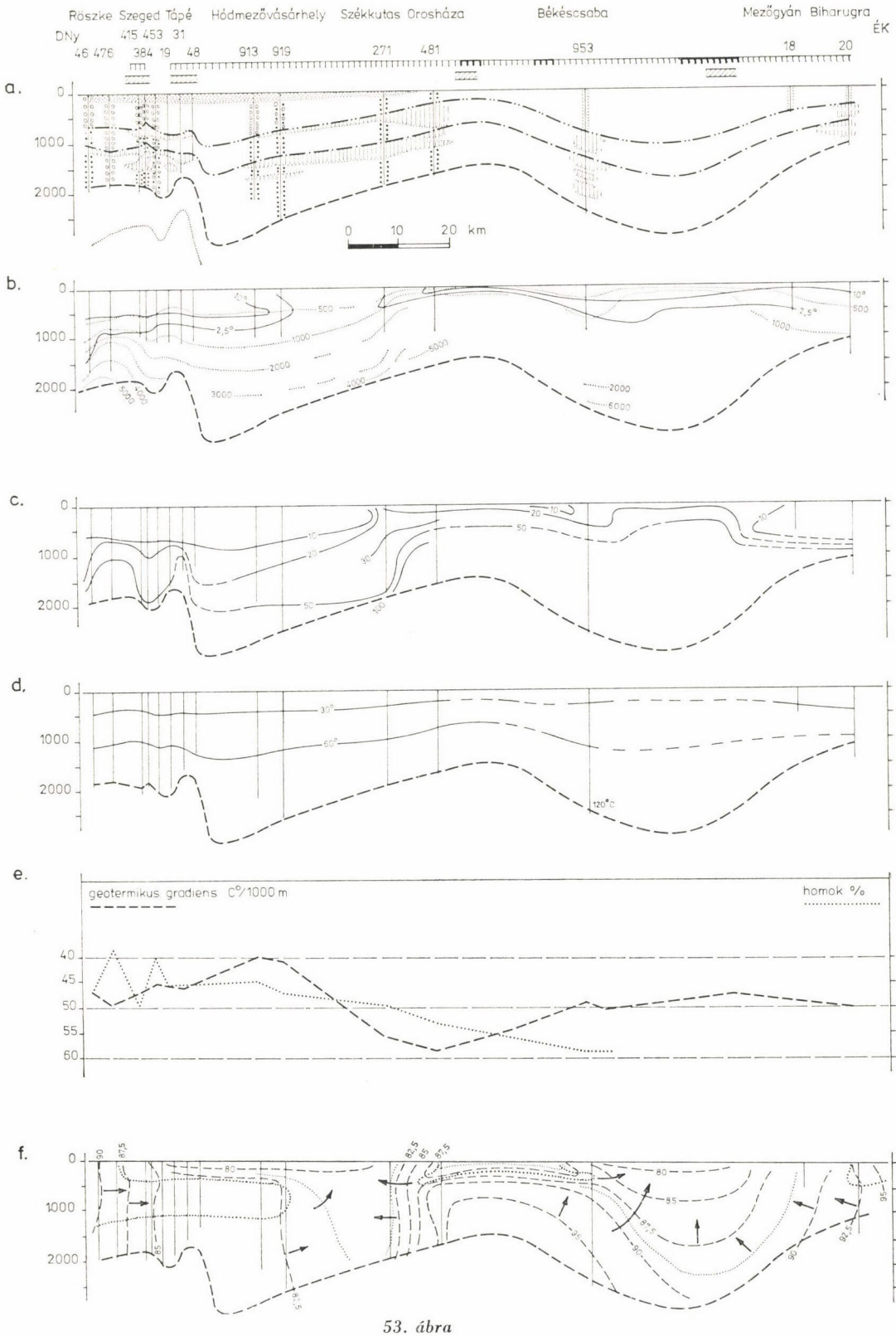
A felszálló hévíz kettős eredetű. Egyik része az a vízmennyiség, amit a Duna—Tisza-közi Homokhátról lefelé áramló hidegebb bikarbonátos típusú víz kényszerít felfelé. Másik része a felső-pannon hévize, melyet az erős artézi nyomás hajt fel a tiszántúli vízzáró felső-pliocén alól itt, ahol szerkezeti vonal mentén van az egyetlen „ablak" a vízzáró formációban (ERDÉLYI, 1964 és 1973).

A hidrodinamikai (50B. ábra) és a vízkémiai (50C és 50D ábra) szelvények bizonyítják az erős feláramlást, mely egy keskeny felszínalatti sávban történik. Így kis mélységben erős pozitív, jóval alatta pedig negatív hőanomália alakult ki (50E ábra).

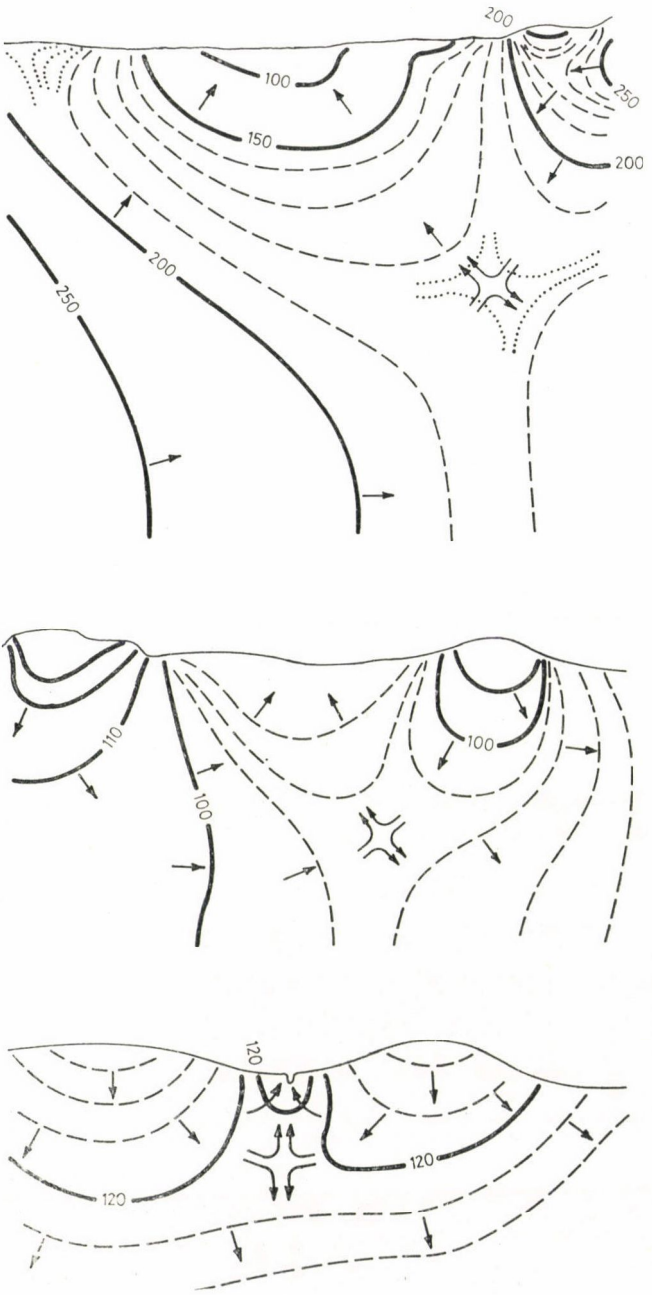
Az alsótiszai süllyedék térképsorozata bizonyítja a konvekciós hőszállítást. A konvekció másik bizonyítéka, hogy itt ugyanazon szűk mélységközben azonos a durvaszemcsés és finomszemcsés üledékek vízének kémiai összetétele.

A vastag és legjobban áteresztő medence kitöltés területén (51A és 51C ábra), amint az természetes, a leghígabb a hévíz (51A és 51B ábra) és a legkisebbek a mélységi hőmérséklet mérésekből számított geotermikus gradiensek (51D ábra). Ez a mély áramlási régió leszálló ága. K felé haladva a hévíz hőmérséklete és oldott anyagtartalma egyaránt növekedik, mert ugyanazon

52. és 53. ábrák. Magyarázó szelvények a délkeleti Alföldről az áramlási rendszernek a vízkémiai és geotermikus adatokból való megszerkesztésére. a. Geológia és homok százalék. b. Anion + kation tartalom mg/l-ben és összes keménység német keménységi fokban. c. Klorid tartalom mg/l-ben. d. Vízhőmérséklet °C-ban. e. Geotermikus gradiens (°C/1000 m) és a medence üledéksorának homok százaléka az áramlási rendszer feküjéig. f. Az áramlás megszerkesztett szelvénye. 1. 100—400 m-es mélységű gázos kutak; 2. a 100 m-nél sekélyebb kutak is gázosak; 3. ismert szénhidrogén előfordulás; 4., 5. az utánpótlódás szelvénye (az „f" ábrán). Rétegtani határok: 6. a felső-pannon; 7. a felső pliocén felszíne; 8. az áramlási rendszer feküje; 9. homok %


Röszke Szeged Tápé Hódmezővásárhely Székkutas Orosháza Békéscsaba Mezőgyán Biharugra
DNy ÉK
46 476 384 19 48 913 919 271 481 953 18 20
415 453 31
a.
b.
c.
d.
e.
f.
0 10 20 km
geotermikus gradiens C°/1000 m
homok %
120°C

53. ábra



54. ábra. Az áramlási rendszer pangó vizű részeinek szelvényei (TÓTH szerint, 1970)

irányban csökken a medence üledék áteresztőképessége és vastagsága (51C és 51A ábra). Az áramlási régió K-i szegélyén a mély rétegvíz felemelkedni kényszerül. Igazolja ezt, hogy itt a legtöményebb és a legmelegebb (51A, 51B és 51D ábra)

Csak egyetlen anomália van a hévíz ásványi anyagtartalmában, mégpedig a régió nyugati szegélyén. Itt ugyanis a rendellenesen nagy kloridtartalmú hévízben (51B ábra) a legkevesebb az oldott anyag (51A ábra). Ezen a sávon kénytelenek ugyanis a felső-pannon aljának hévízét hasznosítani, a minél nagyobb hőmérséklet biztosítására, mert itt egyrészt jóval vékonyabb a medenceüledék (51A ábra), másrészt negatív termikus anomália van (51D ábra). Az alsó-pannon lassan kiszoruló nátriumkloridos vize megnöveli a kloridtartalmat anélkül azonban, hogy észrevehetően növelné az oldott anyag mennyiségét. A nyugati szegélyen kevés a hévízkút, ezért a térképek szerkesztéséhez adataikat fel kellett használni, másutt azonban a felső-pannon aljából termelő kutak adatait nem használtam fel.

7. Természetes izotópok szerepe a hidrogeológiai kutatásban

A Magyar Medence hidrodinamikájának részletes kéziratos (Erdélyi, 1973) és rövidített nyomtatott változatai (Erdélyi, 1972, 1973, 1975) segítséget nyújtottak a nagy áramlási régiók megismertetésével az izotópos kutatás tervezéséhez és az adatok értékeléséhez.

Magyarországon az izotópos módszerek hidrogeológiai alkalmazása nem régen kezdődött. A kevés adat és néha bizonytalan eredmények miatt most még nem járul hozzá lényegesen ez a kutatási módszer a regionális rétegvíz kutatáshoz, ámbár vannak már igen jó eredmények is (Deák).

8. Hidrodinamikai módszerek gyakorlati vonatkozásai

A hidrodinamika jelentősége gyorsan növekedik nemcsak a rétegvíz, hanem a szénhidrogén kutatásában is.

A regionális hidrogeológiai értékelés lényegesen csökkentheti a szénhidrogén kutatás költségét a fúrási feltárás előtti fázisban. Ismeretes a szénhidrogén előfordulások kapcsolata a terület jelenlegi hidrodinamikai viszonyaival. Az áramlási rendszert pedig jó megközelítéssel meg lehet határozni a nyomástérkép megszerkesztésével, feltételezve, hogy a területen megvan a hidraulikai folyamatosság (Tóth, 1970).

Eredmények bizonyítják, hogy a szénhidrogén előfordulások az áramlási régiók következő részeivel kapcsolatosak: felszálló sávok és pangó vízű szaka-

szok. Ez gyakorisági sorrend is. A regionális rendszerekben természetesen sokkal gyakoribbak (Tóth, 1970).

Az Alföld szénhidrogén telepei az áramlási rendszer felszálló ágaihoz kapcsolódnak (53. ábra).

Az eddig megismert gyakorlati eredmények alapján a Magyar Medencében is lehet talán ezt a hidrodinamikai vizsgálati módszert alkalmazni. Ismeretes, hogy a Magyar Medence mélyében a mélyfúrások szerint a kristályos alaphegység felszíne igen változatos (Körössy). Gyakran még rövid távolságon belül az 1000 m-t meghaladó különbség is van, vagyis ugyanolyan bonyolult a szerkezete, mint a hegyvidéké. Igen valószínű, hogy a mély részmedencék eddig még részletesen meg nem kutatott szakaszain sem mások az alaphegység szerkezeti viszonyai. Feltételezhetjük, hogy az alaphegység fedője, elsősorban a vastag pliocén üledéksor, többé-kevésbé párhuzamosan helyezkedik el a mély medencékben is az alaphegység felszínével, mint a rétegek vastagságától és a litológiától függő tömörödés következménye. Az így keletkezett „buried hill" szerkezetre, álredős településre van jó néhány példa a Magyar Medence kisebb mélységű részeiből. Látható ilyen nagy szintkülönbségű szerkezet a fiatal fedő üledékben is, pl. Szeged környékén, ahol a szénhidrogén és hévízkutatás sok rétegtani-litológiai adatot szolgáltatott. Szegedhez hasonló szerkezetek lehetnek még a két alföldi mély süllyedék most még nem ismert részeiben is. A sekélyebb medencék kutatásai mind azt bizonyítják, hogy a rétegtani határok nagyjából párhuzamosan követik a fúrásokkal feltárt alaphegység felszínét (53. ábra). Mindkét süllyedék területén vannak ismert és lehetnek eddig még ismeretlen kisebb terjedelmű mély áramlások. Ezeknek felszálló ágai még meglepetéseket tartogathatnak. Az összefoglaló szelvény jelzi, hogy az áramlás felszálló szárnyában vannak az ismert szénhidrogén előfordulások. A vízkémiai szelvények szerint is Szegeden a nagyobb sótartalom mindig a szerkezeti kiemelkedések felett, a híg, kevés kloridtartalmú hévíz pedig a mélyebb vápákban van (49. ábra), tehát a vízkémiának szerkezetkutató szerepe is lehet.

A délalföldi süllyedék szelvényei (52. és 53. ábra) ábrázolják a mély áramlás rekonstruált képét. E területen a kutak nagyobb része gázos, így az áramlási képet földtani, litológiai, vízkémiai és geotermikus adatokból dedukcióval kellett megszerkeszteni a nyomásadatok pontatlansága miatt.

A pangó vízű terek az áramlási régiók között alakulhatnak ki, ahol a szivárgás sebessége a zérushoz közeledik (54. ábra).

Az Alföldön a pangó vízű tereknek tehát kisebb a jelentősége. A délkeleti Dunántúlon azonban a hidrodinamikai adatok újra való értékelése talán nem lenne felesleges.

A pangó vízű terek alkalmasak radioaktív és toxikus ipari hulladékok, meg a sósvíz tartós elhelyezésére.

A mély és nagy üledékes medencék hidrodinamikai megismerése csak interdiszciplináris kutatással lehetséges, hiszen kőzettani, hegységszerkezeti,

nyomás, víz- és geokémiai, geotermális vizsgálatokat kell végezni és adataikat értékelni. A szerző reméli, hogy ennek a felfogásnak itt bizonyítékát szolgáltatta.

A szerző célja nem volt más, mint egyszerűen ábrázolni és leírni a Magyar Medence magyarországi részének áramlási régióit. E célból több ezernyi vízszint és tízezernyi vízkémiai, néhány száz geotermikus adatot használt fel néhány ezer földtani és geofizikai furatszelvény mellett. Ezen adatok mellett minden fellelhető felszíni és felszínalatti földtani térképet. Előnyös helyzetben volt, mert földtani térképezéssel hosszú időt töltött el. Szándékosan nem tért ki a felszínalatti vízmozgás elméleti vonatkozásaira, mert azok az utóbbi másfél-két évtized szakirodalmában hozzáférhetők.

Munkámat, úgy érzem, egy hosszabb idézet magyar nyelvű szövegével zárhatom. „Összefoglalva: az elmúlt néhány évben sokan hírnevet szereztek, mint a felszínalatti vizek teoretikusai új problémák felvetésével és megoldásával, vagy a múltban már jól megoldott problémák elegáns vagy komputeres megoldásával. Eredményeik hasznosságát gyakorlati terepi alkalmazásuk sohasem bizonyította be. A vízgazdálkodó mérnök szempontjából eredményeik érdekesek, de alig hasznosak. Az új elméleti eredmények felhasználásának problémája annak megállapítása, hogy milyen hidrogeológiai viszonyokra alkalmazhatók, milyen mértékben módosítandók tekintettel a szabványos feltételezések és a geológiai realitások közti eltérésekre (R. G. KAZMAN: Ignorance and learning. Groundwater 4 : 2, 1966. április, 2—4 oldal)".

SZEMELVÉNYES IRODALOM

ALFÖLDI, L.-GÁLFI, J.: Hydrogeological and geophysical investigations of a geothermal anomaly in Hungary. Bull. I. A. S. H., **XII,** 1, 1966.

ALFÖLDI, L.—ERDÉLYI, M.—GÁLFI, J.—KORIM, K.—LIEBE P.: Hydrogeological and geophysical investigations of a geothermal anomaly in Hungary. II. Geothermal flow system in the Tiszakécske region. Hydrological Sciences Bulletin, **XXI,** 26, 1976.

BÉRCZI, I.—KÓKAI, J.: Hydrogeological features of some deep basins in SE-Hungary as revealed by hydrocarbon exploration. Hydrogeology of great sedimentary basins. Conference of Budapest, May/June 1976. Annales Inst. Geol. Publ. Hung. Budapest, **LIX,** 1978.

BOSWELL, E. H.—MOORE, G. K.—MAC CARY, L. M.: Cretaceous Aquifers in the Mississippi Embayment. U. S. Geol. Survey Professional Paper 448-C, Washington, 1965.

BROWN, I. C. (editor): Groundwater in Canada. Geol. Survey of Canada; Economic Geology Report, **24,** Ottawa, 1967.

Budapest Hévízei. Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet. Budapest, 1968.

CARVER, R. E.: Differential compaction as a cause of regional contemporaneous faults. Bull. Ass. Am. Petr. Geol., **52,** 3, 1968.

CHEBOTAREV, I. I.: Metamorphism of natural waters in the crust of weathering. Geochimica Cosmochimica Acta, **8,** 3, 1955.

CHORLEY, R., I. (editor): Water, Earth and Man. Methuen, London, 1969.

COOLEY, R. L.—HARSH, J. F.—LEWIS, D. C.: Principles of ground-water hydrology. Hydrologic Engineering Methods for Water Resources Development, Vol. 10. The Hydrologic Engineering Center Corps of Engineers, U. S. Army, Davis, California, 1972.

DEÁK, J.: Study of the recharge of deep groundwaters and their connection with shallow groundwater using environmental isotopes in the Nagykunság region, Hungary. Hydro-

geology of Great Sedimentary Basins, Conference of Budapest, May/June 1976. Annales Inst. Geol. Publ. Hung. Budapest, **LIX,** 1—4, 1978.

ERDÉLYI, M.: Tracing of the subsurface structure and fault-lines on sedimentary lowlands by using indirect geological methods. Acta Geologica Hungarica Budapest, **VIII,** 1—4, 1964.

ERDÉLYI M.: Magyarország rétegvízei. Atlaszkiadvány. Kézirat. Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet. Budapest, 1970.

ERDÉLYI, M.: The influence of hydrogeological factors on the quality of sub-surface waters. Hidrológiai Közlöny. Budapest, **51,** 5, 1971.

ERDÉLYI, M.: Hydrology of deep groundwater (in G. KOVÁCS—M. ERDÉLYI—P. MAJOR and K. KORIM: Hydrological investigation of subsurface water, pp. 90—158). International Post-graduate Course on Hydrological Methods for Developing Water Resources Management. **III**/1, Research Institute for Water Resources Management. Budapest, 1972.

ERDÉLYI, M.: Hydrodynamics of great sedimentary basins . . . Manuscript. Research Institute for Water Resources Management. Budapest, 1973 — I.

ERDÉLYI, M.: Hydrodynamics of the Hungarian Basin (Preliminary Report). Studies on the Material and Energy Flows of the Earth First. Contribution to the Work of International Commission on Geodynamics. Budapest, 1973 — II.

ERDÉLYI, M.: Reconstruction of paleogeography by means of hydrogeologic maps. Annales Univ. Sci. Budapest Sectio/Geogr., **VIII,** 31, 1973 — III.

ERDÉLYI, M.: A Magyar Medence hidrodinamikája. Beszámoló a VITUKI 1973. évi „Tudományos Napok" előadásairól. Budapest, 1973 — IV.

ERDÉLYI M.: A Magyar Medence hidrodinamiája. Hidrológiai Közlöny, **55,** 4, 146, 1975.

ERDÉLYI, M.: Hydrodynamics of the Hungarian Basin. Hydrogeology of Great Sedimentary Basins, Conference of Budapest, May/June 1976. Annales Inst. Geol. Publ. Hung. Budapest, **LIX,** 1—4, 146, 1978.

FARVOLDEN, R. M.: Geologic controls on groundwater storage and base flow. J. Hydrology, **50,** 3, 1964.

HEM, J., D.: Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. U. S. Geol. Survey, Water-Supply Paper 1473. Washington, 1950.

HUBBERT, M. K.: The theory of ground-water motion. Journal of Geology, **48,** 8, 1940.

KARÁCSONYI S.—SCHEUER GY.: A rétegvizek kémiai jellemzése Gyöngyös környékén. II. Vízminőségi és Víztechnológiai Kongresszus. Budapest, 1970/A.

KARÁCSONYI S.—SCHEUER GY.: Vízföldtani és vízkémiai adottságok az egri karsztvizeknél. II. Vízminőségi és Víztechnológiai Kongresszus. Budapest, 1970/B.

KAZMAN, R. G.: Ignorance and learning. Groundwater, **24,** 2, 1966.

KORIM, K.: The connate waters of the Hungarian Neogene. — Acta Geologica Hungarica Budapest, **X,** 1966.

KOVÁCS, G.: A szikesedés és a talajvízháztartás kapcsolata. Hidrológiai Közlöny, **40,** 2, 131, 1960.

KOVÁCS, G.: Salt accumulation in groundwater and in soil. Manuscript. (Lecture delivered on the IUGG General Assembly Symposium on Pollution. Moscow.), 1971.

KOVÁCS, G.: Hydrological investigation of shallow groundwater (in G. KOVÁCS—M. ERDÉLYI—P MAJOR and K. KORIM: Hydrological investigation of subsurface water, pp. 28—86). International Post-graduate Course on Hydrological Methods for Developing Water Resources Management. **III,** 1. Research Institute for Water Resources Management, Budapest, 1972.

KOVDA, V. A.—SLAVIN, P. S.: Pochvenno — geochimicheskie pokazateli neftenosti nedr. Izd. Akad. Nauk SSSR. Moszkva, 1951.

KÖRÖSSY, L.: Entwicklungegeschichtliche und paläogeographische Grundzüge des ungarischen Unterpannons. Acta Geol. Hung. Budapest, **XII,** 1—4, 1968.

KÖRÖSSY, L.: Entwicklungsgeschichte der Neogenen Becken in Ungarn. Acta Geol. Hung. Budapest, **14,** 421—429, 1970.

KÖRÖSSY L. társszerzők: BARTHA F.—KLEB B.—SZ. KILÉNYI É.—SZATMÁRI P.—SZÉLES M.—SZÉNÁS GY.—TÓTH K.): A magyarországi pannonkori képződmények kutatásai. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1971.

KÖTTER, K.: Die Chloridgehalte des Oberen Emsgebietes und ihre Beziehungen zur Hydrogeologie. Forschungsberichte des Wirtachafts- und Verkehrsministeriums Nordrhein-Westphalen. Westdeutscher Verlag, 1958.

LE BRETON, E. G.—JONES, J. F.: A regional picture of the groundwater chemistry in particular aquifers of the Western Plains. Proceedings of Hydrogeology Symposium. No. 3. Groundwater, Calgary, 1962.

LEVORSEN, A. I.: Geology of Petroleum. Freeman and Company, San Francisco, 1964.
LORBERER, Á.: Hidrogeológiai adatok a mélységi vizek mozgásviszonyainak ismeretéhez. Hidr. Közl., **57,** 9, 1977.
LOTZE, F.: Zur Frage der Beziehungen zwischen Chloridgehalt des Grundwassers und Tektonik. Forschungsberichte des Wirtschafts- und Verkehrsministerums Nordrhein-Westphalen. Westdeutascher Verlag, 1958.
Magyarország Hévízkútjai. I. k. (1965), II. k. (1971), III. k. (1977). Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Központ, Budapest.
Magyarország Mélyfúrású Kútjainak Katasztere. Szerk.: URBANCSEK JÁNOS. I—II. k. (1963), III. k. (1966), IV. k. (1971), V. k. (1973), VI. k. (1975), VII. k. (1975).
MAXEY, G. B.: Subsurface water — ground water. The Progress of Hydrology. Proceedings of the First International Seminar for Hydrology Professors. **II,** 787—815, 1969.
MEYBOOM, P.: Corrent trends in hydrogeology Earth Science Rerve **2,** 1966.
OZORAY, GY.: Rétegvíz emeletek az Alföldön. M. Áll. Földtani Int. Évi Jelentése 1963-ról.
RÓNAI A.—BÓCZÁN B.: Az Alföld talajvíz térképe. M = 1 : 200 000. M. Áll. Földtani Intézet Budapest, 1961.
RÓNAI, A.: Subsurface waters in deep Quaternary Basins. Acta Geologica Hungarica, Budapest, **IX,** 1965.
RÓNAI, A.: Caractere essentiel de la Grande Plaine hongroise. Hydrogeology of Great Sedimentary Basins, Conference of Budapest, May/June 1976. Annales Inst. Geol. Publ. Hung. **LIX,** 1—4, 462, 1978.
SCHERF E.: Szénhidrogének és sósvizek felkutatásának lehetősége a Duna—Tisza közén. Jelentés a Jövedéki Mélykutatás 1946. évi Sókutató Munkálatairól. Budapest, 1947.
SCHERF E.: A Szabolcs megyei sósvizek (Tiszagyulaháza stb.) geológiai, hidrológiai és kémiai viszonyai. Jelentés a Jövedéki Mélykutatás 1947/48. évi Munkálatairól. Budapest, 1948.
SCHERF E.: Mikrotektonikai és hidromorfológiai kapcsolatok az Alföld déli részén és ezeknek gyakorlati jelentősége. Hidrológiai Közlöny. Budapest, **47,** 6, 1967.
SCHMIDT, E. R.: Vereinigter Vorbericht über die im Jahre durchgefülhrten hidro- und gasgeologischen Forschungen. M. kir. Földtani Intézet Beszámolója 1936—39-ről. Budapest, 1939—40.
SCHMIDT, E. R. (szerk.): Magyarország Vízföldtani Atlasza. Magyar Állami Földtani Intézet. Budapest, 1962.
SCHOELLER, H.: Arid zone hydrology, recent developments; UNESCO, rept. **12,** 1959.
SHELTON, J. W.: Role of contemporaneous faulting during basinal subsidence. Bull. Ass. Am. Petr. Geol., **52,** 3, 1958.
STEGENA, L.: Compaction, heavy water content and water flow in the sediments of the Hungarian Basin. Annales Univ. Sci. Budapestiensis, Sect. Geologica, **XIII,** 1969.
STRINGFIELD, V. T.: Artesian Water in Tertiary Limestone in the Southeastern States, Geol. Survey Professional Paper 517. Washington, 1966.
SÜMEGHY, J.: Die geothermischen Gradienten des Alföld. M. Kir. Földtani Int. Beszámolója 1928-ról. Budapest, 1929.
SÜMEGHY J.: A Nagykunság felszíni képződményei. M. kir. Földtani Int. Évi Jel. 1929—32. Budapest, 1933. — I.
SÜMEGHY J.: A tiszaszederkényi kutató fúrások. M. Kir. Földtani Int. Évi Jelentése 1929—32. Budapest, 1933. — II.
SÜMEGHY J.: Medencéink pliocén és pleisztocén rétegtani kérdései. M. Áll. Földt. Int. Évi Jel. 1951-ről, 1953.
SZÁDECZKY-KARDOSS, E.: Die Haupttypen des artesischen Wassers der Ungarischen Gronen Tiefebene. Hidrológiai Közlöny, Budapest, **XXI,** 7—12, 1941.
SZÉKY-FUX, V.—SZEPESI, K.: The role of loess in alkali soil formation. Acta Geol. Hung., Budapest, **6,** 1962.
TÓTH, J.: A theory of ground-water motion in small drainage basins in central Alberta, Canada. Journ. of Geophysical Res., **67,** 1962.
TÓTH, J.: A theoretical analysis of ground-water flow in small drainage basins. Journ. of Geophysics Res. **68,** 1963.
TÓTH, J.: Relation between electric analog patterns of groundwater flow and accumulation of hydrocarbons. Canadian Journal of Earth Sciences, **7,** 988, 1970.
TREITZ P.: Jelentés az agrogeológiai felvételekről. A M. Kir. Földtani Intézet Évi Jelentései az 1905, 1906, 1907. évekről.
TURCAN, A. N. jun.—WESSELMANN, J. D.—KILBURN, C. H.: Interstate correlation of aquifers, SW Lousiana and SE Texas. — U. S. Geol. Survey, Professional Paper 550-D, Washington, 1966.

VÁRALLYAY, G.: Activity of the Subcommission in Salt Affected Soils of the International Society of Soil Sience. Supplementum, Agrokémia és Talajtan. Budapest, 1968.
WINOGRAD, I. J.: Interbasin movement of groundwater at the Nevada Test Site, Nevada. U. S. Geol. Survey, Professional Paper 450-C, 1962.

INVESTIGATIONS OF THE GROUND-WATER MOVEMENT USING INDIRECT METHODS SHOWN ON THE EXAMPLE OF THE HUNGARIAN BASIN

By

M. ERDÉLYI

Abstract

The hydrodynamics of flow-regions is in harmony with hydrochemistry and geothermics. A flow-region represents a thermal circulation system in equilibrium under natural conditions. The equilibrium is produced by the descendig cold bicarbonate water of the recharge area and by the ascending warmer salty water. In the same depth in the flow-region the descending limb shows lower water temperature, lower salinity and higher total hardness, whereas the ascending limb is of opposite characteristics and often contains gaseous water.

The harmony enables the application of indirect methods (hydrochemistry and gethermics for the determination of flow distribution in areas where lack, scarcity, uneven spatial distribution and unreliability of head measurements is a state of affairs.

In most groundwater investigations the expense and time requires to obtain head measurements are prohibitive. Hydrochemical and gethermal data, however, are generally much more numerous than hydraulic head measurements. The cross-sections show that head measurements can generally be substituted by hydrochemical and geothermal data in determining flow distribution (Figs 52 and 53).

In many deep sedimentary basins the natural gas in water wells is a very common phenomena making difficult the contruction of even moderately accurate equipotential cross-sections because of the unreliable head data.

High number of hydrochemical and gethermal data in the areas of gaseous wells (Fig. 18) in Hungary were used by the author to explain the deduction of ground-water flow-patterns by indirect means.

Hydrodynamics is becoming more and more an important tool for locating hydrocarbon resources. The study of regional ground-water hydrology prior to drilling may greatly reduce the costs of hydrocarbon exploration. It has been demonstrated that the existing distribution of hydrocarbon accumulations is related to the present pattern of ground-water flow. Results of studies indicate that the relative probability of hydrocarbons associated with the most important identifiable flow-pattern features are as follows: ascending limbs, stagnant zones and regional systems.

Hydrocarbon deposits in the Hungarian Basin are associated with the ascending limbs of the flow-system (Figs 52 and 53). The probability of the existence of stagnant zones in the deep south-western Transdanubian basin deserves a new appraisal of the hydro dynamic data of the area concerned.

The interdisciplinary approaches in the evaluation of lithologic, structural, pressure, hydrochemical and gethermal data are indispensable for the understanding of groundwater movement in deep sedimentary basins.

The author hopes to give evidence of this concept stressing the importance of indirect methods.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КОСВЕННЫМИ МЕТОДАМИ НА ПРИМЕРЕ ВЕНГЕРСКОГО БАССЕЙНА

М. ЭРДЕЙИ

Р е з ю м е

Гидродинамика регионов подземных потоков вод находится в гармонии с химизмом и геотермальностью вод. Регион представляет собою в естественном состоянии уравновешенную геотермальную циркуляцию. Равновесие имеет место между нисходящими более. шолодными бикарбонатными и восходящими более теплыми и более солоноватыми водами На той же самой глубине региона в области нисходящих вод наблюдается более низкая температура, меньшее содержание солей и большая жесткость воды, в противовес этому у восходящих вод противоположные свойства и воды часто насыщены газами.

Вследствие гармонии, для прослеживания движений вод могут применяться косвенные методы (гидрохимия и геотермика) там, где имеют место отсутствие, разреженность, неравномерное распространение по площади и некадежность измерений напора.

Измерение напора в большинстве случаев из-за своей стоимости и времяёмкости не может производиться. Данных по химизму и температуре вод намного больше, чем по гидравлическому давлению. Разрезы показывают, что при отсутствии данных напора вод направление движения вод можно реконструировать по гидрохимическим и гидротермальным данным (см. рис.).

В большинстве глубоких осадочных ассейнов часто встречаются газонасыщенные воды, поэтому имеются трудности при составлении даже очень небольшой точности разредов, т. к. вследствие газосодержания данные напора ненадежны.

На территории газонасыщенных скважин Венгрии автор использовал очень много гидрохимических и термальных данных, применяя косвенный метод при реконструкции движения вод (см. рис.).

Гидродинамика становится все более важным средством при разведке месторождений на нефть и газ. Региональное гидродинамическое исследования, проведенное до программы буровых работ, может сильно снизить расходы по разведочным работам. Известно, что существует связь между аккумуляцией нефти и газа и системой движений подземных вод.

В соответствии с результатами разведки вероятность месторождений нефти и газе в следующем порядке примыкает к гидродинамическим системам и их частям: восходящая часть региона, области застойных вод и региональные гидродинамические системы.

Месторождения нефти и газа Большой Венгерской Низменности связаны с восходящей частью региона подземных потоков вод. Вероятность областей застойных вод в глубоком Задунайском бассейна заслуживает оценки гидродинамических данных этой территории.

Оценка литологических, тектонических, гидрохимических, геотермических данных, а также давления интердисциплинарными методами исследования незаменима для понятия движения вод глубоких осадочных бассейнов.

Автор надеется, что смог доказать преимущества этих методов, сделав упор на полезность косвенных способов.

PSZEUDOPLASZTIKUS KŐOLAJ TURBULENS ÁRAMLÁSI VESZTESÉGEINEK VIZSGÁLATA

BOBOK ELEMÉR
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

NAVRATIL LÁSZLÓ

SZILAS A. PÁL
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

1. Bevezetés

Kőolajtávvezetékek tervezésének egyik alapfeladata a súrlódási nyomásveszteség meghatározása a térfogatáram függvényében, a szállítandó közeg és a csővezeték bizonyos várható üzemi paramétereinél. Ez a számítás viszonylag egyszerű, ha a csővezetékben a newtoni folyadéksúrlódási törvénnyel jellemezhető olaj áramlik. A gyakorlatban viszont sok olajmezőből nem-newtoni folyási tulajdonságú olajat termelnek és szállítanak el. Ezek izotermikus és lamináris áramlása esetén a feladat még mindig elég egyszerű [13]. Turbulens áramlásban — s a gyakorlatban adódó esetek többségére ez jellemző — azonban az áramlási nyomásveszteségek pontos meghatározása bonyolultabbá válik. Ismeretes, hogy az irodalomban számos ma adekvátnak tekinthető számítási eljárást találhatunk, amelyek több-kevesebb közelítő feltevés bevezetésével, s legtöbbször vizes CMC-oldatok laboratóriumi vizsgálatai alapján származtatják ellenállástényező formulájukat. Ezek túlnyomórészt hidraulikailag sima falú csőre vonatkozó összefüggések, bár érdes csőre megadott formula is ismeretes. Nyilvánvaló, hogy a különböző alapokra épülő, s különböző egyszerűsítő feltevésekkel levezetett összefüggések pontossága a közeg típusától s a REYNOLDS-számtól függően tartományonként eltérő.

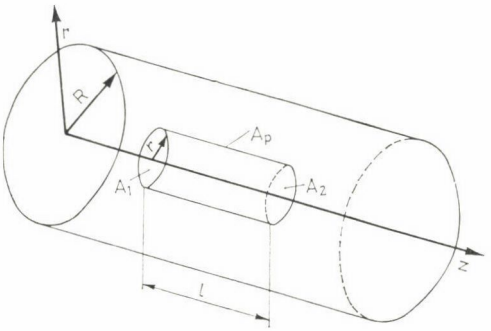
Első célunk az volt, hogy kellőképpen általános elméleti alapokról kiindulva, lehetőség szerint minél kevesebb közelítés felhasználásával az eddig ismerteknél pontosabb ellenállástényező-egyenletet vezessünk le időtől nem függő folyási tulajdonságú nem-newtoni folyadékok turbulens áramlására.

Másodszor a laboratóriumi és üzemi kísérletek eredményeinek alapján, a meglevő eljárásokkal egybevetve kívántuk minősíteni a nyert összefüggést.

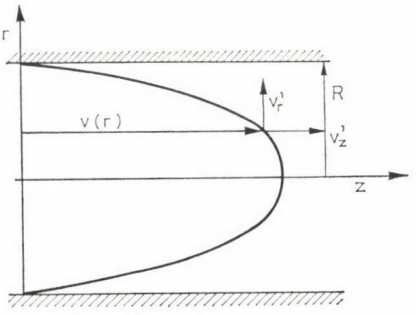
Először tehát az ellenállás-formula levezetése következik, amelyet a kísérleti munka ismertetése és kiértékelése követ.

A feladat matematikai megfogalmazása

A csővezeték ellenállásának minél pontosabb meghatározása céljából keressük az összenyomhatatlan, pszeudoplasztikus olaj csőben való turbulens áramlását leíró, lehetőleg minél kevesebb korlátozó feltevésre épülő alapegyenletet. A viszkozitás hőmérséklet- és nyomásfüggésének figyelembevételétől eltekintünk. A legszélesebb alapként a tömeg megmaradásának tétele, valamint az impulzus megmaradásának axiómája kínálkozik [1]. Tekintsük az 1. ábrán vázolt, teljesen általános helyzetű, egyenes, kör-keresztmetszetű csőszakaszt. A csőben stacionárius turbulens áramlás folyik, amelynek a REYNOLDS-féle idő-átlagolással nyert sebesség-értékei nem változnak az idővel, s csak a cső tengelyének irányába mutató komponensük van, amely a sugár függvénye [2]. Erre szuperponálódnak a turbulens fluktuáció-komponensek (2. ábra). Az áramlás tehát egydimenziós, hengerszimmetrikus. A mozgás potenciálos erőtérben zajlik. Vegyünk fel egy a cső tengelyével koaxiális, r sugarú, l hosszúságú körhenger-térfogatot, mint az alapegyenlet származtatásához szükséges ellenőrző felületet. Erre vonatkozóan írjuk fel a mozgás- és a kontinuitási egyenletet.



1. ábra. Csőszakasz az ellenőrző hengerfelülettel



2. ábra. A sebesség felbontása időbeli átlagértéke és turbulens ingadozásokra

Amint az ismeretes, a stacionárius turbulens áramlásra vonatkozó mozgásegyenlet integrál-alakja a következő:

$$\int_{(A)} \varrho \vec{v}(\vec{v} d\vec{A}) + \int_{(A)} \varrho \overrightarrow{\vec{v}' \circ \vec{v}'} d\vec{A} = \int_{V} \varrho \vec{g} dV - \int_{(A)} p d\vec{A} + \int_{(A)} \mathbf{S} d\vec{A} \tag{1}$$

Az egyenlet jelentése világos: az átlagsebességi mezőre vonatkozó konvektív impulzusváltozással, és a turbulens sebességingadozások miatt jelentkező irreverzibilis impulzustranszporttal a súlyerő, a nyomóerő és a súrlódó erő tart egyensúlyt. A jelölések a szokásosak, ϱ a folyadék sűrűsége, $\vec{v}$ az átlagsebesség, $\vec{v}'$ az erre szuperponálódó turbulens fluktuáció, $\vec{g}$ a gravitációs gyorsulás, p a nyomás, S a viszkózus feszültségek tenzora. A $\varrho \overrightarrow{\vec{v}' \circ \vec{v}'}$ diádot a látszólagos turbulens feszültségek, vagy REYNOLDS-feszültségek tenzorának is nevezik, elemei az ingadozások szorzatainak időátlagából tevődnek össze:

$$\mathbf{T} = -\varrho \overrightarrow{\vec{v} \circ \vec{v}'} = -\varrho \begin{Vmatrix} v_x' v_x' & v_x' v_y' & v_x' v_z' \\ v_y' v_x' & v_y' v_y' & v_y' v_z' \\ v_z' v_x' & v_z' v_y' & v_z' v_z' \end{Vmatrix} \tag{2}$$

Másik alapegyenletünk a tömeg megmaradását kifejező kontinuitás i egyenlet:

$$\int_{(A)} \varrho \vec{v} d\vec{A} = 0 \tag{3}$$

A potenciális erőtér feltételét a

$$\vec{g} = -\operatorname{grad} U = -g \operatorname{grad} [h(x, y, z)] \tag{4}$$

egyenlettel fogalmazhatjuk meg, ahol

$$U = gh(x, y, z) \tag{5}$$

a gravitációs tér potenciálja, h pedig a magasság-koordináta, amely általában nem esik egybe valamelyik koordinátatengellyel.

Miután a sebességvektorok a cső tengelyével párhuzamosak, az ellenőrző térfogat hengerpalást-felülete áramfelület, amelyre

$$\vec{v} d\vec{A} = 0 \tag{6}$$

Az összenyomhatatlanság következménye, hogy az áramkép bármely csőkeresztmetszetben azonos. Ilymódon

$$\int_{A_1} \varrho \vec{v} d\vec{A} = \int_{A_2} \varrho \vec{v} d\vec{A} \tag{7}$$

Itt A_1 és A_2 az ellenőrző henger felületének alap- ill. fedőlapja a be- ill. a kiáramlás keresztmetszete. Ezek alapján belátható, hogy a konvektív impulzusváltozást kifejező felületi integrál csak zérus lehet [12]:

Alakítsuk át a nyomóerőt kifejező felületi integrált térfogativá a GAUSS-tétel segítségével:

$$-\int_{(A)} p d\vec{A} = -\int_{V} \operatorname{grad} p \, dV \tag{8}$$

Mindezek figyelembevételével a mozgásegyenletet az alábbi formában írhatjuk fel:

$$-\int_{V} \operatorname{grad}(\varrho g h + p) dV + \int_{(A)} \mathbf{S} d\vec{A} - \int_{(A)} \varrho \overrightarrow{\vec{v}' \circ \vec{v}'} d\vec{A} = 0 \tag{9}$$

A POISEUILLE-áramláshoz hasonlóan itt is igazolható, hogy a $(\varrho g h + p)$ mennyiség csak a z koordináta lineáris függvénye [3]. Eszerint

$$-\operatorname{grad}(\varrho g h + p) = -\frac{d}{dz}(\varrho g h + p) = \varrho g J = \text{const.} \tag{10}$$

ahol J az ún. hidraulikai esés. Ezzel az első integrálra

$$-\int_{V} \operatorname{grad}(\varrho g h + p) dV = \varrho g J r^2 \pi l \vec{k} \tag{11}$$

adódik.

A súrlódó erőt kifejező felületi integrál kiszámítása is egyszerűvé válik, ha figyelembe vesszük, hogy a hengert lezáró két körlapon az egybevágó áramkép és az ellentétes irányú felületi normális következtében az integrálok kiesnek, s csak a palástra vett integrál ad zérustól különböző értéket [11]. A hatványtörvénnyel leírható pszeudoplasztikus közeg esetén hengerkoordinátarendszerben [5]:

$$\tau_{rz} = K \left| \frac{dv}{dr} \right|^{n-1} \frac{dv}{dr} \tag{12}$$

Mivel a sebesség a sugárral csökken, nyilvánvalóan

$$\frac{dv}{dr} < 0 \tag{13}$$

Az ellenőrző térfogatot határoló körhengerpaláston a sugár értéke állandó, így a τ_{rz} nyírófeszültség értéke is. Így az integrál kiszámítása valóban nem nehéz:

$$\int_{(A)} \mathbf{S} d\vec{A} = \tau_{rz} \vec{k} \int_{A_p} dA = -K \left| \frac{dv}{dr} \right|^{n} 2\pi r l \vec{k} \tag{14}$$

Végül a turbulens impulzuscseréből származó erő meghatározásához a harmadik integrált kell kiszámítanunk.

Fogadjuk el a határréteg-elméletből ismert nagyságrendi megfontolások alapján, hogy a csőben áramló folyadék látszólagos turbulens feszültségtenzorából elegendő a

$$\tau'_{rz} = -\varrho\overline{v'_r v'_z} \tag{15}$$

elem figyelembevétele [10]. Tételezzük fel továbbá ennek hengerszimmetrikus eloszlását, megengedve természetesen a sugár-, illetve a z-irányú változást.

A TAYLOR-féle korreláció-tétel [15] lehetővé teszi, hogy a sebességingadozások szorzatának idő-átlagát az ingadozások szorzatának hely szerinti integrálközépértékével fejezzük ki. Ez közvetlenül belátható, ha a $v'_r v'_z$ szorzatnak az l hosszúságon vett integrálközépértékét úgy vesszük, mint a $t_0 = l/v$ átlagolási idő alatt képzett időbeli átlagot.

E szerint

$$\int_{A_p} \varrho(\overrightarrow{v'} \circ \overrightarrow{v'})d\vec{A} = -\int_{A_p} \varrho\overline{v'_r v'_z}\vec{k}dA = -\overline{\varrho v'_r v'_z}\, 2\pi rl\vec{k} \tag{16}$$

Mindhárom kiszámított integrált összegezve, majd a $2\pi rl$ palástfelülettel osztva megkapjuk a csőben áramló pszeudoplasztikus közeg turbulens mozgásának differenciálegyenletét.

$$\frac{\varrho gJr}{2} - K\left|\frac{dv}{dr}\right|^n - \varrho\overline{v'_r v'_z} = 0 \tag{17}$$

Az alapegyenlet megoldása

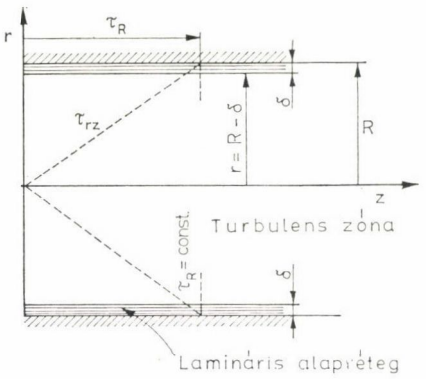
Ennek megoldása során két, fizikailag teljesen különböző sajátságokat mutató megoldási tartományt választhatunk szét.

Közvetlenül a fal mellett a turbulens impulzuscseréből származó REYNOLDS-féle feszültségek értéke zérus. Nyilvánvaló, hogy a falon, s annak közvetlen közelében a sebesség ingadozásának sem lehet sugárirányú komponense. Így ebben a zónában a differenciálegyenlet harmadik tagja nagyságrendekkel kisebb az első kettőnél, tehát azok mellett elhanyagolhatjuk [7]. A falhoz közeli lamináris alaprétegben tehát a

$$\frac{\varrho gJr}{2} - K\left|\frac{dv}{dr}\right|^n = 0 \tag{18}$$

differenciálegyenlet integrálása útján kaphatjuk meg a sebességprofilt. Mivel a lamináris alapréteg δ vastagsága a cső sugarához képest igen kicsiny, a viszkózus csúsztatófeszültség eloszlását lineáris helyett konstansnak, a falon adódó értékkel egyenlőnek vesszük (3. ábra):

$$\tau \cong \tau_R = \frac{\varrho gJR}{2} \tag{19}$$



3. ábra. A nyírófeszültség konstans értékének feltételezése (az alapréteg vastagsága erősen torzítva)

A falon adódó csúsztatófeszültség értékét a sűrűséggel osztva, gyökvonás után egy sebesség-dimenziójú paramétert kapunk, amelyet súrlódási sebességnek nevezünk [10]:

$$v_* = \sqrt{\frac{gJR}{2}} \tag{20}$$

Ezzel a

$$-\frac{dv}{dr} = \left(\frac{v_*^2 \varrho}{K}\right)^{\frac{1}{n}} \tag{21}$$

kifejezést kapjuk, amelyből a változók szétválasztása, integrálás és v_*-gal való osztás után a lamináris alapréteg linearizált sebességeloszlása dimenzió nélküli alakban

$$\frac{v}{v_*} = \left(\frac{v_*^2 \varrho}{K}\right)^{\frac{1}{n}} (R - r) \tag{22}$$

A megoldás másik tartományában a lamináris alaprétegen kívül a turbulens impulzuscseréből származó erők nagyságrendekkel nagyobbak a viszkózus súrlódóerőknél. Így a csőáramlás differenciálegyenletében a faltól távolabb a viszkózus tagot elhanyagolhatjuk, s a

$$\frac{gJr}{2} - \overline{v_r' v_z'} = 0 \tag{23}$$

egyenletet kell megoldanunk. A sebesség-fluktuációk szorzatának egyelőre ismeretlen időátlagát az áramlás mérhető, kinematikai jellemzőivel fejezhetjük ki, ha elfogadjuk KÁRMÁN ide vonatkozó feltételezését [6]. E szerint

$$\overline{v_r' v_z'} = \varkappa^2 \frac{\left(\frac{dv}{dr}\right)^4}{\left(\frac{d^2v}{dr^2}\right)^2} \tag{24}$$

Így jutunk az alábbi, ismeretlenként csupán a sebességet és a $\varkappa$ állandót tartalmazó másodrendű differenciálegyenlethez:

$$\frac{gJr}{2} = \varkappa^2 \frac{\left(\frac{dv}{dr}\right)^4}{\left(\frac{d^2v}{dr^2}\right)^2} \tag{25}$$

Vonjunk gyököt mindkét oldalából, s helyettesítsük be a súrlódási sebességre kapott [20] kifejezést. Az előjelre nézve figyelembe kell vennünk azt, hogy a sebességnek a csőben adódó szélsőértéke maximum, tehát a második derivált csak negatív előjelű lehet, ill. csak ez felel meg a fizikai igazságnak. Így adódik a

$$-v_* \sqrt{\frac{r}{R}} = \varkappa \frac{\left(\frac{dv}{dr}\right)^2}{\frac{d^2v}{dr^2}} \tag{26}$$

Ha mindkét oldal reciprokát vesszük, a kapott kifejezés könnyen integrálható:

$$\frac{\frac{d^2v}{dr^2}}{\left(\frac{dv}{dr}\right)^2} = \frac{\varkappa}{v_*} \sqrt{\frac{R}{r}} \tag{27}$$

Integrálás után az

$$\frac{1}{\frac{dv}{dr}} = \frac{2\varkappa}{v_*} \sqrt{Rr} + C \tag{28}$$

összefüggést nyerjük. Az integrációs konstans meghatározására azt a peremfeltételt írjuk elő, hogy a cső falán a sebességgradiens végtelenné válik:

$$\left(\frac{dv}{dr}\right)_{r=R} = \infty \tag{29}$$

Ez a feltételezés azért megengedhető, mert az $r = R$ hely már kívül esik a megoldás érvényességi körén. Így

$$C = \frac{2\varkappa R}{v_*} \tag{30}$$

Behelyettesítjük az állandót, majd az így adódó

$$\frac{1}{\frac{dv}{dr}} = -\frac{2\varkappa R}{v_*}\left(1 - \sqrt{\frac{r}{R}}\right) \tag{31}$$

egyenlet reciprokát vesszük és integrálunk, amely a

$$v = \frac{v_*}{\varkappa}\left[\sqrt{\frac{r}{R}} + \ln\left(1 - \sqrt{\frac{r}{R}}\right)\right] + C_1 \tag{32}$$

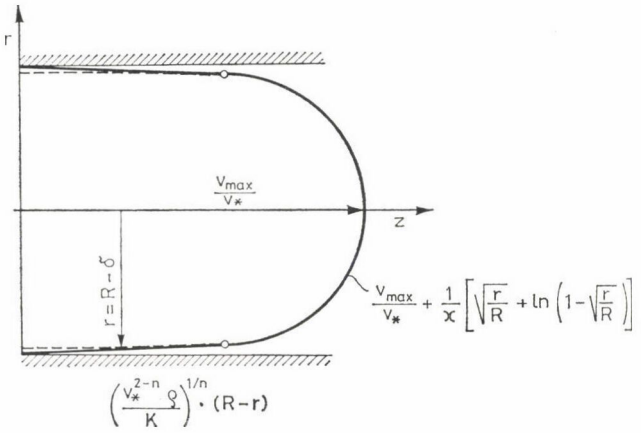
eredményre vezet. A C_1 integrációs konstans meghatározására azt a peremfeltételt írjuk elő, amely szerint a sebesség maximuma az $r = 0$ helyen, a cső tengelyében jelentkezik [16]. Ekkor

$$C_1 = v_{\max} \tag{33}$$

Így a csőben kialakuló sebességeloszlásra a következő, dimenzió nélküli kifejezés adódik:

$$\frac{v_{\max} - v}{v_*} = -\frac{1}{\varkappa}\left[\sqrt{\frac{r}{R}} + \ln\left(1 - \sqrt{\frac{r}{R}}\right)\right] \tag{34}$$

Ez az összefüggés jól leírja a sebességeloszlás jellegét, de $v_{\max}$ tulajdonképpen egy tetszőleges additív konstans, amelyet abból a feltételből határozhatunk meg, hogy a kapott sebességprofilnak törésmentesen kell illeszkednie az $r = R - \delta$ helyen a lamináris alapréteg sebességeloszlásához. Tehát az alapréteg határán a nem-newtoni viszkózus jelleg uralta lamináris alapréteg, valamint a belsőturbulens zóna sebességeinek egyenlőségét kell felírnunk. Ez utóbbi meghatározásánál eddig nem kellett figyelembe vennünk a folyadék



4. ábra. A lamináris alapréteg-beli és turbulens sebességprofilok csatlakozása

reológiai viselkedésének típusát. A következő illeszkedési feladaton keresztül épül be a pszeudoplasztikus jelleg a turbulens sebességprofilt meghatározó tényezők sorába. Így

$$\left(\frac{v_*^{2-n}\varrho}{K}\right)^{\frac{1}{n}} \varrho = \frac{v_{\max}}{v_*} - \frac{1}{\varkappa}\left[\sqrt{\frac{R-\delta}{R}} + \ln\left(1 - \sqrt{\frac{R-\delta}{R}}\right)\right] \tag{35}$$

Tekintve, hogy $\delta/R < 1$, az alábbi közelítések kézenfekvőek:

$$\sqrt{1 - \frac{\delta}{R}} \simeq 1$$

illetve

$$\ln\left(1 - \sqrt{1 - \frac{\delta}{R}}\right) \simeq \ln\left[1 - \left(1 - \frac{\delta}{2R}\right)\right] = \ln\frac{\delta}{2R}$$

Ezek révén az alábbi összefüggéshez jutunk:

$$\left(\frac{v_*^{2-n}\delta}{K}\right)^{\frac{1}{n}} \delta = \frac{v_{\max}}{v_*} + \frac{1}{\varkappa}\left(1 + \ln\frac{\delta}{2R}\right), \tag{36}$$

amelyből

$$\frac{v_{\max}}{v_*} = -\frac{1}{\varkappa}\left(1 + \ln\frac{\delta}{2R}\right) + \left(\frac{v_*^{2-n}\varrho}{K}\right)^{\frac{1}{n}} \delta \tag{37}$$

adódik.

A maximális sebesség kiszámításához eszerint ismernünk kellene a lamináris alapréteg vastagságát. PRANDTL [10] erre vonatkozó

$$N_{Re\delta} = \frac{v_*\delta}{\nu} = \text{const}.$$

alakban megfogalmazott, newtoni közegek esetén tett feltételezését a

$$N_{Repp\delta} = \frac{v_*^{2-n}\delta^n \cdot \varrho}{\frac{K}{8}\left(\frac{6n+2}{n}\right)^n} = \text{const}. \tag{38}$$

alakban általánosíthatjuk. Ez tulajdonképpen azt jelenti, hogy a lamináris alapréteg határán a fenti REYNOLDS-szám jellegű paraméter értéke állandó. Felhasználva a METZNER és REED által javasolt [8]:

$$N_{Repp} = \frac{c_*^{2-n} D^n \varrho}{\frac{K}{8}\left(\frac{6n+2}{n}\right)^n} \tag{39}$$

módosított REYNOLDS-szám összefüggését, a lamináris alapréteg vastagságára

$$\delta = \left(\frac{N_{Repp\delta}}{N_{Repp}}\right)^{\frac{1}{n}} \left(\frac{c}{v^*}\right)^{\frac{2-n}{n}} \cdot D \tag{40}$$

adódik. Itt c a cső keresztmetszetére vonatkoztatott átlagsebesség, míg $D = 2R$, a cső átmérője. Ezt az eredményt a [37] egyenletbe helyettesítve megkapjuk az átlagsebesség és a maximális sebesség közötti összefüggést:

$$\frac{v_{\max}}{v_*} = \frac{1}{n\varkappa} \ln\left[N_{Repp}\left(\frac{v_*}{c}\right)^{2-n}\right] - \frac{1}{\varkappa}\left(1 + \frac{\ln N_{Repp\delta}}{n}\right) + \frac{6n+z}{n}\left(\frac{N_{Repp\delta}}{8}\right)^{\frac{1}{n}} \tag{41}$$

Ez a kifejezés két konstansnak feltételezett, egyelőre ismeretlen paramétert tartalmaz. Mind $N_{Repp\delta}$ mind $\varkappa$ meghatározására kézenfekvőnek tűnik, hogy az $n = 1$ érték behelyettesítésével ezt a formulát a KÁRMÁN féle megoldásra redukáljuk, s NIKURADZE [9] *sebességprofil-méréseire* támaszkodva vegyük $N_{Repp\delta}$ és $\varkappa$ értékeit, s így határozzuk meg végül a pszeudoplasztikus ellenállás-összefüggést. Mi a következőkben más utat követünk. Az egyelőre ismeretlen $N_{Repp\delta}$-val és $\varkappa$-val meghatározzuk az ellenállás-képletet, majd a *mért csőellenállás-tényező értékek*ből számoljuk vissza a két állandót. Ez feltétlen célszerűbb megoldás, hiszen nyomásesést az áramlás megzavarása nélkül, kisebb hibával lehet mérni, mint sugár menti sebességeloszlást, különösen a fal közelében.

A (41) kifejezést a (34) egyenletbe helyettesítve megkapjuk a csőben kialakuló turbulens átlagsebességek sugár menti eloszlását:

$$\frac{v}{v_*} = \frac{1}{\varkappa}\left[\sqrt{\frac{r}{R}} + \ln\left(1 - \sqrt{\frac{r}{R}}\right)\right] + \frac{1}{n\varkappa}\ln\left[N_{Repp}\left(\frac{v_*}{c}\right)^{2-n}\right] - \\ - \frac{1}{\varkappa}\left(1 + \frac{\ln N_{Repp\delta}}{n}\right) + \frac{6n+2}{n}\left(\frac{N_{Repp\delta}}{8}\right)^{\frac{1}{n}} \tag{42}$$

Ebből a keresztmetszetre vonatkoztatott átlagsebesség dimenzió nélküli értékét a

$$\frac{c}{v_*} = \frac{1}{R^2\pi}\int_0^R \frac{v}{v_*} 2\pi r dr \tag{43}$$

felületi integrálközépérték adja. Mivel a (42) sebességeloszlásnak csupán a szögletes zárójelben levő első tagja függ a sugártól, elegendő az

$$I = \frac{2}{\varkappa R^2}\int_0^R \left[\sqrt{\frac{r}{R}} + \ln\left(1 - \sqrt{\frac{r}{R}}\right)\right] dr \tag{44}$$

integrált kiszámítani. Ezt két részben célszerű elvégezni

$$I_1 = \frac{2}{\varkappa R^{5/2}}\int_0^R r^{3/2} dr = \frac{1}{\varkappa}\frac{4}{5}, \tag{45}$$

ill.

$$I_2 = \frac{2}{\varkappa R^2} \int_0^R r \ln \left(1 - \sqrt{\frac{r}{R}}\right) dr \tag{46}$$

alakban. Ez utóbbit

$$X = 1 - \sqrt{\frac{r}{R}} \tag{47}$$

helyettesítéssel kiszámítva

$$I_2 = \frac{4}{\varkappa} \int_0^1 (1 - X)^3 \ln X dX = -\frac{100}{48\varkappa} \tag{48}$$

adódik. Az átlagsebesség dimenzió nélküli alakjára tehát a

$$\frac{c}{v_*} = \frac{v_{max}}{v_*} - \frac{1}{\varkappa}\left(\frac{100}{48} - \frac{4}{5}\right) \tag{49}$$

kifejezést nyertük, amely a

$$\frac{c}{v_*}\frac{1}{n\varkappa} \ln\left[\left(\frac{v_*}{c}\right)^{2-n} N_{Repp}\right] - \frac{1}{\varkappa}\left(\frac{548}{240} + \frac{\ln N_{Repp\delta}}{n}\right) + \frac{6n+2}{n}\left(\frac{N_{Repp\delta}}{8}\right)^{\frac{1}{n}} \tag{50}$$

egyenletre vezet.

Ebből az implicit összefüggésből kitűnik, hogy a c/v^* hányados csupán a pszeudoplasztikus REYNOLDS-szám függvénye, a súrlódási sebesség és az átlagsebesség között tehát a

$$\frac{v_*}{c} = \psi(N_{Repp}) \tag{51}$$

függvénykapcsolat áll fenn. Az n viselkedési index egy-egy konkrét közegre nézve állandó paraméter.

Ismeretes, hogy egy állandó keresztmetszetű csőszakaszon a hidraulikai esés a veszteségmagasságnak és a cső hosszának a hányadosa [17]:

$$J = \frac{h'}{L} \tag{52}$$

Másrészt a súrlódási sebesség definíciós egyenletéből

$$J = \frac{2v_*}{Rg} \tag{53}$$

E két kifejezés egybevetéséből a

$$h' = \frac{2L}{R}\frac{v_*^2}{g} \tag{54}$$

egyenlőség adódik. Felhasználva az (51) függvénykapcsolatot a veszteségmagasságra az átlagsebességgel vett összefüggést kapunk:

$$h' = \psi^2 \frac{2L}{R}\frac{c^2}{g} \tag{55}$$

Hasonlítsuk ezt össze a csőellenállásra vonatkozó klasszikus WEISBACH-egyenlettel [17]:

$$h' = \lambda \frac{L}{2R}\frac{c^2}{2g} \tag{56}$$

amelyben λ a keresett csőellenállás-tényező. Azt találjuk, hogy

$$\lambda = 8\psi^2 \tag{57}$$

tehát

$$\frac{v_*}{c} = \sqrt{\frac{\lambda}{8}} \tag{58}$$

Ha ezt behelyettesítjük az (50) egyenletbe, az állandók összevonása és tízes alapú logaritmusra való áttérés után az

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{0{,}8141}{n\varkappa} \lg\left(N_{Repp}\lambda^{1-\frac{n}{2}}\right) + 0{,}7532\,\frac{n-2}{2n\varkappa} + \\ + 0{,}3535\left[\frac{6n+2}{n}\left(\frac{N_{Repp\delta}}{8}\right)^{\frac{1}{n}} - \frac{1}{\varkappa}\left(2{,}283 + \frac{\ln N_{Repp\delta}}{n}\right)\right] \tag{59}$$

összefüggést nyerjük, amely szerkezetét tekintve az

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \alpha \lg\left(N_{Repp}\lambda^{1-\frac{n}{2}}\right) + \beta(n)$$

alakban írható fel. Ez $n = 1$ helyettesítéssel nyilvánvalóan a PRANDTL—NIKURADZE-féle

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} 2 \lg\left(N_{Re}\lambda^{\frac{1}{2}}\right) - 0{,}8 \tag{60}$$

összefüggésbe megy át, amelyet STANTON és PANNELL mérései igen nagy N_{Re}-értékekre is megerősítettek [10]. Így $N_{Repp\delta}$-ra és $\varkappa$-ra az alábbi egyenletrendszert kapjuk:

$$2\varkappa = 0{,}8141$$

$$0{,}3535\left[N_{Repp\delta}-\frac{1}{\varkappa}(2{,}283+\ln N_{Repp})\right]-\frac{0{,}7532}{2\varkappa}=-0{,}80$$

Ez az implicit egyenletrendszer csak iteratív úton oldható meg, amelynek eredményeképpen az

$$N_{Repp\delta}=12{,}087$$

$$\varkappa=0{,}407$$

gyökök adódnak. Mivel ezek függetlenek az anyagi minőségtől, felhasználásukkal a különböző n értékek mint paraméterek mellett meghatározhatjuk a $\lambda(N_{Re})$ eloszlás-görbéket.

Nyilvánvaló, hogy $n=1$ esetén megkapjuk a PRANDTL—NIKURADZE-féle (60) összefüggést. Ezt ugyan elfogadhatjuk, mint a bemutatott számítási módszer igazolását, de ez még csak a matematikai apparátus kontrollja. A módszer gyakorlati alkalmazhatóságáról akkor nyerhetünk képet, ha egyfelől egy távvezeték in situ mérési eredményeivel vetjük össze az általunk számítható λ-értékeket, másfelől meg kell vizsgálnunk, hogy a jelenleg adekvátnak tekinthető számítási eljárásokhoz képest jobb közelítést jelent-e, s ha igen, milyen REYNOLDS-szám tartományban.

A terepi mérések során nem hagyhatjuk figyelmen kívül a távvezeték belső felületének érdességéből származó ellenállás-növekedést sem. Bár a távvezeték aránylag nagy átmérője miatt a cső relatív érdessége kicsiny, a szóban forgó REYNOLDS-szám tartományban számításba kell vennünk, hogy λ mind a REYNOLDS-szám, mind a relatív érdesség függvénye. COLEBROOK jól bevált interpolációs formulája szerint [13] newtoni folyadékok átmeneti tartományában:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}=-2\lg\left(\frac{k}{3{,}71D}+\frac{2{,}51}{N_{Re}\sqrt{\lambda}}\right). \tag{61}$$

Az érdes tartományban, ahol λ független a REYNOLDS-számtól, kézenfekvőnek tűnik az a feltételezés, hogy pszeudoplasztikus közegekre is áll az

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}=2\lg\left(3{,}71\,\frac{D}{k}\right) \tag{62}$$

összefüggés. A sima csőre kiszámított

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}=\frac{2}{n}\lg\left(N_{Repp}\lambda^{1-\frac{n}{2}}\right)+1{,}511^{\frac{1}{n}}\left(\frac{0{,}707}{n}+2{,}121\right)-\frac{4{,}015}{n}-1{,}057 \tag{63}$$

összefüggéssel ez a COLEBROOK-formulával analóg

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}}=-2\lg\left[\frac{10^{-\frac{\beta}{2}}}{N_{Repp}^{\frac{1}{n}}\lambda^{\frac{2-n}{2n}}}+\frac{k}{3{,}71D}\right] \tag{64}$$

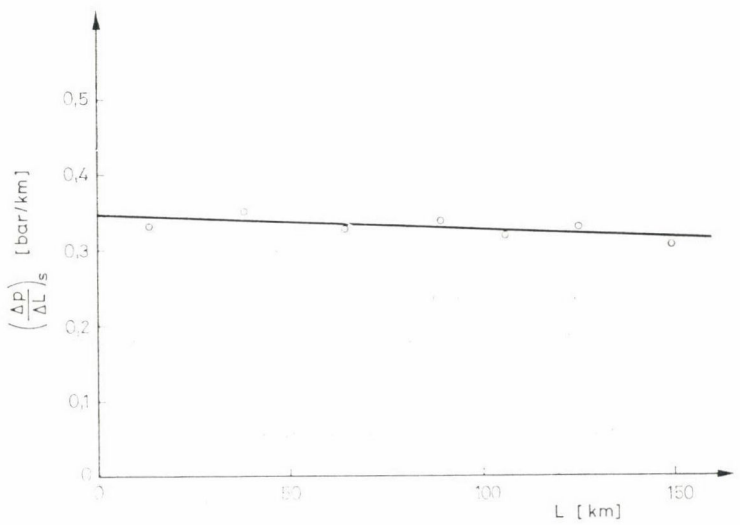
végeredményre vezet, amelyben

$$\beta = 1{,}511^{\frac{1}{n}}\left(\frac{0{,}707}{n} + 2{,}121\right) - \frac{4{,}015}{n} - 1{,}057$$

Ez az ellenállástényező-formula nem-newtoni folyadék érdesfalú csövekben végbemenő áramlására *először* ad az *átmeneti tartományban* is érvényes összefüggést. Kísérleti ellenőrzéséről az alábbiakban számolunk be.

A kísérleti vizsgálatok, s azok eredményei

A (64) összefüggés kísérleti ellenőrzése céljából az Algyő—Százhalombatta közötti 12"-es névleges átmérőjű, 161 km hosszúságú csővezetéken végeztünk méréseket. A vezetékben az áramlás irányában csökkenő hőmérsékletű pszeudoplasztikus kőolaj áramlik. A hőmérséklet csökkenésének hatására az olaj reológiai egyenletében levő n viselkedési index is változik, az áramlás irányában az olaj hőmérsékletével arányosan csökken. A csővezeték mentén, egymástól közel egyenlő távolságra nyolc mérőhelyet alakítottunk ki, ahol a nyomást és a hőmérsékletet mértük, változtatva a csőben folyó olaj térfogatáramát. A méréseket öt különböző időszakban ismételtük meg, változó talajhőmérsékleti viszonyok mellett [14]. Egyidejűleg a szállított olajból vett minták folyási tulajdonságait rotációs viszkoziméterrel mértük a megfelelő hőmérsékleten. Így határoztuk meg az olaj szóban forgó üzemállapotaira vonatkozó K és n



4. ábra.

paramétereket. Ezek ismeretében viszont már számíthatóvá vált az üzemállapotot jellemző REYNOLDS-szám. A kapott REYNOLDS-szám értékek a 10^4 és 10^5 közé eső intervallumban adódtak. Ez a tartomány kétségkívül a nem teljesen kifejlett turbulens áramláshoz rendelhető, amelyben λ mind a REYNOLDS-szám, mind az érdesség függvénye.

A nyomásmérések eredményeképpen meghatároztuk a súrlódási nyomásveszteség hosszegységre eső értékeit az egyes csőszakaszokra. Az 5. ábrán példaképpen egy méréssorozatban mért nyomásveszteség-gradienseket mutatjuk be. A leolvasási hibák csökkentése érdekében a mért pontok által meghatározott nyomásesés-vonalat egyenesnek vettük, s a legkisebb négyzetek módszerével egyenlítettük ki. Az öt méréssorozatban így kapott fajlagos nyomáseséseket az 1. táblázatban foglaltuk össze. Az egyes mérési szakaszokon a hőmérsékletvál-

1. táblázat

Mérőszakaszok	Nyomásgradiens bar/km				
	I.	II.	III.	IV.	V.
Algyő—Sövényháza	0,314	0,345	0,200	0,300	0,305
Sövényháza—Kiskunfélegyháza	0,310	0,340	0,205	0,306	0,304
Kiskunfélegyháza—Kecskemét	0,305	0,332	0,205	0,315	0,302
Kecskemét—Lajosmizse	0,302	0,328	0,205	0,320	0,300
Lajosmizse—Pusztavacs	0,300	0,325	0,205	0,325	0,300
Pusztavacs—Ócsa	0,300	0,320	0,207	0,330	0,300
Ócsa-Százhalombatta	0,295	0,318	0,210	0,335	0,300

tozás gyakorlatilag lineáris volt. Így a szakasz közepén a kezdeti- és véghőmérsékletének számtani közepével számoltunk.

A csőellenállási tényezők meghatározása a WEISBACH-egyenlet alapján történt:

$$\lambda = \frac{2gD}{\gamma c^2} \frac{\Delta p}{L} \tag{65}$$

A hét kísérleti szakasz öt alkalommal történt mérésének eredményei alapján 35 „mért" λ, súrlódási tényező értéket kaptunk. Ezen mért értékeket hasonlítottuk össze a BNS képlettel és négy, az irodalomban legjobban elterjedt (DODGE—METZNER, SHAVER—MERRILL, TOMITA—CLAPP) összefüggéssel számított értékekkel. Minden esetben kiszámítottuk a szórást, a relatív és abszolút átlaghibát. A számítás eredményét a 2. táblázat tartalmazza. Ebből kitűnik, hogy levezetett összefüggésünk látszik a legpontosabbnak. Az összefüggések egyértelmű értékeléséhez még további kiegészítések is szükségesnek látszanak.

2. táblázat

Súrlódási tényező					
Mért	S—M	D—M	TOMITA	CLAPP	B—N—S
0,0208	0,0190	0,0191	0,0191	0,0189	0,0208
0,0204	0,0205	0,0205	0,0207	0,0204	0,0218
0,0200	0,0192	0,0206	0,0220	0,0201	0.0212
0 0216	0,0180	0,0183	0,0183	0,0180	0,0201
0,0212	0,0183	0,0193	0,0200	0 0188	0 0205
0,0207	0,0165	0,0201	0,0230	0,0192	0,0200
0,0238	0,0204	0,0204	0,0204	0,0202	0,0218
0,0242	0,0217	0,0220	0,0228	0,0219	0,0228
0,0242	0,0208	0,0240	0,0276	0,0234	0,0226
0,0201	0,0196	0,0198	0,0198	0,195	0,0212
0,0204	0,0203	0,0206	0,0209	0,0204	0,0217
0,0209	0,0196	0,0212	0,0228	0,0207	0,0215
0,0191	0,0166	0,0172	0,0174	0,0168	0,0193
0,0189	0,0167	0,0177	0,0182	0,0172	0,0194
0,0187	0,0169	0,0185	0,0196	0,0179	0,0197
0,0198	0,0178	0,0210	0,239	0,0202	0,0206
0,0196	0,0173	0,0211	0,0243	0,0202	0,0205
0,0196	0,0181	0,0220	0,0255	0,0211	0,0210
0,0193	0,0142	0,0207	0,0257	0,0194	0,0193
0,0204	0,0154	0,0215	0,0264	0,0204	0,0199
0,0203	0,0142	0,0220	0,0282	0,0206	0,0195
0,0199	0,0138	0,0220	0,0285	0,0201	0,0193
0,0198	0,0120	0,0217	0,0292	0,0206	0,0186
0,0241	0,0230	0,0260	0,0301	0,0256	0,0239
0,0241	0,0217	0,0262	0,0315	0,0256	0,0232
0,0243	0,0209	0,0264	0,0325	0,0257	0,0229
0,0247	0,0219	0,0272	0,0334	0,0266	0,0234
0,0212	0,0178	0,0215	0,0248	0,0207	0,0208
0,0215	0,0170	0,0217	0,0256	0,0207	0,0205
0,0218	0,0176	0,0222	0,0263	0,0212	0,0208
0,0222	0,0193	0,0232	0,0270	0,0224	0,0217
0,0185	0,0154	0,0195	0,0226	0,0185	0,0195
0,0185	0,0150	0,0199	0,0235	0,0188	0,0194
0,0185	0,0128	0,0196	0,0244	0,0182	0,0186
0,0186	0,0134	0,0204	0,0255	0,0191	0,0190
Szórás	3,08	1,31	4,14	1,11	0,81
Relatív átlaghiba	—15,13	1,93	16,51	—1,75	—0,39
Absz. relatív átlag hiba	15,14	6,39	20,11	4,70	4,13

Az első három képletet simafalú csőre vonatkozólag vezették le. Ezek közül DODGE—METZNER

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{2}{n^{0,75}} \lg \left[N_{Repp} \left(\frac{\lambda}{4} \right)^{1-\frac{n}{2}} \right] - \frac{0,2}{n^{1,2}} \qquad (66)$$

összefüggését a dimenzióanalízis módszere alapján kapta (4), $n = 1$ helyettesítéssel a PRANDTL—KÁRMÁN féle sima csőre érvényes egyenletre redukálódik.

SHAVER—MERRILL a turbulens áramlásra érvényes súrlódási tényező számítására a

$$\lambda = \frac{0{,}316}{n^5 N_{Repp}^{\left(\frac{2{,}63}{10{,}5}\right)}} \tag{67}$$

egyenletet vezette le (5), amiből $n = 1$ behelyettesítéssel BLASIUS jól ismert összefüggését kapjuk.

TOMITA hasonlóságelmélet alapján vezette le

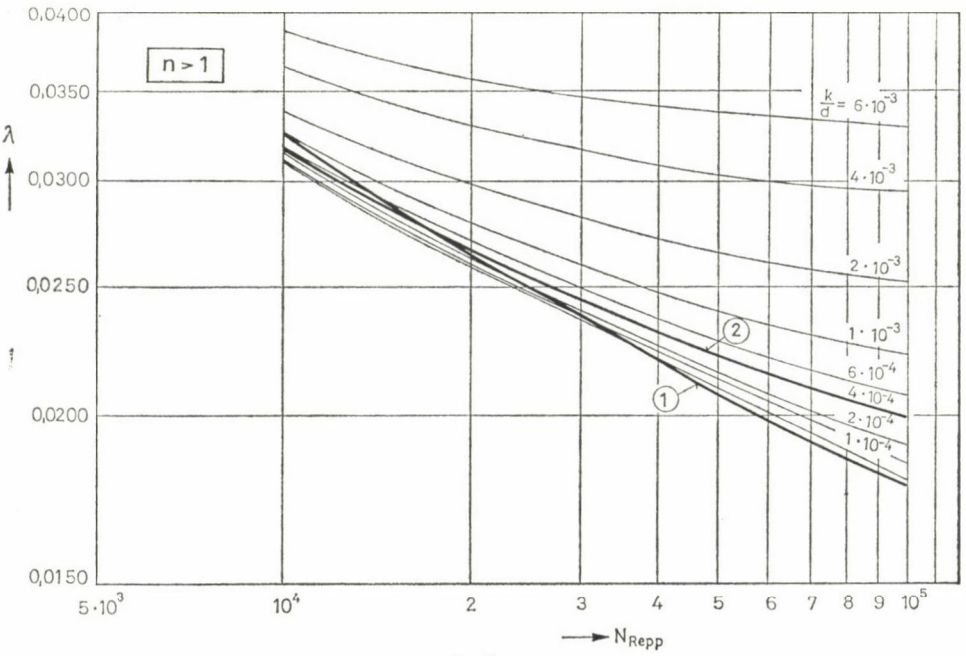
$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \left(N_{Repp} \frac{\sqrt{\lambda}}{2} \right) - 0{,}2 \tag{68}$$

összefüggését [5, 13].

CLAPP a PRANDTL—KÁRMÁN módszert követve határozta meg az

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = \frac{1{,}35}{n} - 1{,}48 + \frac{2{,}27}{n} \lg \left[N_{Repp} \left(\frac{\lambda}{4} \right)^{1-\frac{n}{2}} \right] + \frac{0{,}34}{n} (5n - 8) \tag{69}$$

egyenletet, amit érdes csőre tart érvényesnek (5). Könnyű átlátni, hogy adott REYNOLDS-számnál legfeljebb egy relatív érdességi értéknél lehet érvényes. $n = 1$ feltételezéssel a COLEBROOK diagramon ábrázolva látható, hogy az egyenletet ábrázoló görbe több $k/d = \text{const.}$ görbét metsz (6. ábra, 1. görbe).



6. ábra.

Kimutatható, hogy ilyen jellegű (elvben helytelen) összefüggést akkor kapunk, ha a sima csőre levezetett általános egyenlet állandó tagjának numerikus értékét érdes csövekben végzett kísérletek adataiból határozzuk meg. Az összefüggés kielégítő pontosságú csak akkor lesz, ha a kísérleti csővezetékével megegyező relatív érdességű és csővezetéknél hasonló áramtartományú szállításnál alkalmazzuk.

Az általunk levezetett (64) képlet k/d értékét a fentiekben vázolt üzemi kísérleteknél meghatároztuk, s ez esetünkben $4{,}10^{-4}$ volt. A görbét $n = 1$ behelyettesítéssel ugyancsak ábrázoltuk a COLEBROOK diagramon. Látható, hogy az összefüggés elvben helyes, teljes egészében rásimul egy meghatározott relatív érdességű COLEBROOK görbére (6. ábra, 2. görbe). A 2. táblázat BNS fejlécű oszlopának adatait a (64) összefüggéssel számítottuk ki a fenti k/d értékkel. Az összesítő adatokból kitűnik, hogy a BNS összefüggés mint a szórás, mint pedig az abszolút és relatív hiba alapján kedvezőbb, mint a többi összefüggés. Igaz, hogy a CLAPP-féle képlet pontosságát esetünkben csak kismértékben múlja felül, azonban könnyen átlátható, hogy további előnye nem csak elvi: más relatív érdesség esetén is jól alkalmazható.

IRODALOM

1. ASSZONYI, Cs.: Mechanical Theory of Continua. Acta Geod. et Ment., **8**, 323—360, 1974.
2. BATCHELOR, G. K.: An Introduction to Fluid Dynamics. Cambridge University Press, 1967.
3. BRADSHAW, P.: An Introduction to Turbulence and Its Measurement Pergamon Press, Oxford, 1971.
4. DODGE, D. W—A. B. METZNER: Turbulent Flow of Non-Newtonian Systems. A. I. Ch. E. Journal, **5**, 2, 1959.
5. GOVIER, G. W.—K. AZIZ: The Flow of Complex Mixtures in Pipes. Van Nostrand, New York, 1973.
6. KÁRMÁN, T.: Mechanische Ähnlichkeit und Turbulenz. Mat. Phys., Göttingen, 1930.
7. LOJCJANSZKIJ, L. G.: Mehanyika zsidkosztyi i gaza, Nauka, Moszkva, 1973.
8. METZNER, A. B.—J. C. REED: Flow of Non-Newtonian Fluids Correlation of the Laminar Transition und Turbulent Flow Regions. A. I. Ch. E. Journal, **1**, 434, 1955.
9. NIKURADZE, J.: Strömmungsgesetze in rauhen Rohren, VDI Forschungscheft, 361, 1933.
10. PRANDTL, L.: Führer durch die Strömungslehre. Braunschweig, 1956.
11. SCHLICHTING, H.: Boundary Layer Theory. Mc Graw Hill, New York, 1960.
12. STREETER, V. L.: Handbook of Fluid Dynamics. Mc Graw Hill, New York, 1963.
13. SZILAS, A. P.: The Transport and Production of Oil and Gas. Elsevier, Amsterdam, 1975.
14. SZILAS A. P.: Tixotróp pszeudoplasztikus algyői kőolaj reológiai és áramlási vizsgálata. MTA X. Osztályának Közleményei, **4**, 2—4, 1971.
15. TAYLOR, G. I.: The Transport of Vorticity and Heat through Fluids in Turbulent Motion. Proc. Roy, Soc., 1932.
16. TOWNSEND, A. A.: The Structure of Turbulent Shear Flow. Cambridge, University Press, 1956.
17. VARGA J.: Hidraulikus és pneumatikus gépek. Kézikönyv. Műszaki Kiadó, Bp., 1973.

A STUDY OF THE LOSS ON TURBULENT FLOW OF PSEUDOPLASTIC OIL

By

E. BOBOK — L. NAVRATIL — A. P. SZILAS

Abstract

Theoretical considerations and pilot tests have enabled the authors to find correlations giving the exact value of the resistivity factor λ versus the Reynolds number, the relative roughness and the rheological characteristics of the oil to be supplied for the case of the turbulent flow of non-Newtonian oil in a pipe line system. The reason for the accuracy is partly the fact that the least possible number of approximating assumptions was relied on in deduction, on the other hand, that the values of the constants that were to be determined by measurement were obtained from the results of in situ tests. This was the first time that the formula of the resistivity factor reflecting also the effect of roughness could be deduced in the range of a not completely developed turbulent flow. In the 10^4 to 10^5 Reynolds number range, very important for the practice as it is, the absolute relative mean error is 4.13%, the scatter 0.81%. Thus the relationship being dealt with has proved to be a better means for checking the design of pipe lines and the conditions of their operation than any other means known heretofore.

ИЗУЧЕНИЕ ПОТЕРЬ ПСЕВДОПЛАСТИЧНОЙ НЕФТИ В ПРОЦЕССЕ ТУРБУЛЕНТНОГО ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ

Е. БОБОК — Л. НАВРАТИЛ — А. П. СИЛАШ

Резюме

На основании теоретических соображений и опытов в производственных условиях авторам удалось найти такую зависимость, которая для турбулентного движения по трубопроводу ненютонской нефти дает значение коэффициента сопротивления λ в функции числа Рейнольдса, относительной шероховатости, а также реологических характеристик транспортируемой нефти. Причиной точности является частично является то, что при математической дедукции применялось возможно наименьшее количество приближений, с другой стороны, значения констант, определяемых измерениями, были получены из результатов исследований, проведенных на месте (in situ). Теперь удалось первый раз для псевдопластичной среды в диапазоне несовершенно развитого турбулентного движения изучаемой жидкости найти математическое выражение формулы сопротивления среды, отражающей и эффект шероховатости. В интервале чисел Рейнольдса от 10^4 до 10^5, важном с практической точки зрения, величина абсолютной относительной среднеквадратической ошибки составляет 4,13%, а величина рассеивания — 0,81%. Таким образом, рассматриваемая зависимость оказывается более точным, чем известные до сих пор, средством разработки проектов дистанционных трубопроводов и проверки их работы в производственных условиях.

KONTINUUMMECHANIKAI ESZKÖZÖK ALKALMAZÁSA A KÖZVETETT SZÉNHIDROGÉN-GENETIKAI KUTATÁSBAN

BOBOK ELEMÉR
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

SZALAY ÁRPÁD

Bevezetés

A szénhidrogén-kutatást története során és napjainkban is a szerkezetkutatás határozta és határozza meg. A kutatás e *közvetlen* módszere hatalmas fejlődést mutatott, melyet a geofizikai technika és interpretáció kibontakozása és részletes földtani elemzések tettek lehetővé. A felfedezett szénhidrogénelőfordulások döntő többsége a közvetlen kutatási módszer eredménye.

A módszer eredményessége miatt a megkutatandó szerkezeti anomáliák száma napjainkra jelentősen lecsökkent. A kutatás további perspektíváinak biztosítása már a közelmúltban serkentő igényként jelentkezett, és a lehetséges szénhidrogénlelőhelyek felkutatása más, *közvetett* kutatási módszereket hívott életre.

Az elsőként jelentkező geokémiai kutatás regionális és lokális méretekben használható, eredményes módszernek bizonyult. Segítségével tisztázhatók a szénhidrogéngenezis fontos mozzanatai: az egyes földtani — szerkezeti egységekben keletkező szénhidrogének keletkezési körülményei, az üledéktömegek szénhidrogén-produktivitása, a megtalált szénhidrogének származási kapcsolatai. Az üledékes medence egészére vonatkozó szénhidrogéngenetikai következtetések ellenére is szakadék van a keletkezés és felhalmozódás folyamatai között. A migráció, amely ezt a kapcsolathiányt kitölti, földtani felfogásban csak az általános szintjén írható le, a gyakorlati kutatás azonban a probléma konkrét megoldását kéri számon.

Ez a felismerés az utóbbi években sok kutatót és szénhidrogénipari szakembert vezetett a migrációs kérdések felvetéséhez és részbeni megoldásáh oz A kérdés megoldása interdiszciplináris kutatást és igen széles körű ismereti a[1]a-. pokat kíván. A migrációs körülmények tisztázása, a paleo-hidrodinamikai viszonyok rekonstruálása, a szénhidrogének mozgását meghatározó tényezők körülhatárolása adott esetekre alkalmazhatóan, előrevetíti a megtalálás, az előrejelzés, a konkrét prognosztizálás reményét.

A közvetett kutatási módszer a szénhidrogéngenezis folyamatát követő, rekonstruktív módszer lehet. Szintetizálnia kell a keletkezés, migrálás, felhalmozódás folyamatait; tisztáznia kell ugyanakkor azokat a határfeltételeket,

amelyek segítségével az általánosból a jelenségek konkrét megfogalmazásai is származtathatók.

Az elmúlt évek során számos hidrodinamikai modell született, amelyek a paleo-hidrodinamikai viszonyok tisztázása érdekében magukba foglalják a medence üledékföldtani folyamatainak feltárását, a medencesüllyedés és feltöltődés kapcsolatának elemzését, a hőmérséklet és nyomásviszonyok rekonstruktív leírását, a szervesgeokémiai eredmények felhasználását (MAGARA K., 1976; COUSTEAU, 1975).

A hidrodinamikai szemlélet szénhidrogén-geológiában való kialakítását HUBBERT (1966) már korábban igen határozottan felvetette: „... el kell jutni ahhoz a felismeréshez, hogy a kőolaj-földtan alapvető problémája elválaszthatatlan az olajnak és gáznak a kőzet és vízkörnyezet kombinációjában való fizikai viselkedésétől." Ugyanott hangsúlyozta, hogy a szerkezetkutatás monoton rutinját, a hidrosztatikus körülményeket alapulvevő szemléletet, fel kell váltsa a folyamatokat dinamikájában megértő és követő szemlélet. („A nem hidrosztatikus körülmények közt létrejött felhalmozódásokat csak véletlen olytán lehet megtalálni, ha a kutatást a hidrosztatikus szemlélet irányítja." HUBBERT, M. K.; AAPG, 50, 12, 2516 1966.)

A szemléleti és gyakorlati fejlődés közös sajátossága a fenomenológiai tárgyalás, ill. kutatási módszer, a jelenségek, megfigyelések bizonyos teljességre törekvő leírása és összekapcsolása. A természeti jelenségek változatossága miatt az egyes részjelenségeket leíró fizikai, kémiai és földtani modelleket kapcsolták össze a teljes genetikai kép felvázolása érdekében. A módszer kétségtelen hasznossága mellett alapvető hiányosság az egészet átfogó, leíró, rendszerező struktúra hiánya. Az egyes részmodellek mechanikus összegzése mozaikszerű képet adhat, de fennáll annak a veszélye, hogy a teljes kép ismeretének hiányában, a mozaikok rossz helyre kerülnek vagy hiányosan összegződnek. A valóságról így torz képet kapunk. (Ezt példázza a szénhidrogének primér migrációjával kapcsolatos bizonytalanság, ami a fizikai-kémiai jelenségek hiányos vagy helytelen egymás mellé rendezéséből ered. A pórusokban kialakuló túlnyomás egyik legfontosabb tényezőjére, a hőtágulásból fakadó nyomás növekedésre csak 1972 óta, BARKER tanulmányát követően figyeltek fel.)

Célunk tehát az, hogy a kőzet-folyadék-gáz rendszer mozgását, állapotait leíró általános modellt állítsunk fel, amely a végbemenő folyamatok teljességét magában hordozza és amelyből adott határfeltételek esetén a parciális részek származtathatók, s alkalmas az egyes részterületeken összegyűlt, empirikus adatrendszer rendezésére, értékelésére.

Többkomponensű kontinuum-modell

Modellalkotásunk során az első feltétel, hogy a rendszer állapotváltozásai fizikai és kémiai állapotváltozások eredőjeként adódnak. Meg kell keresnünk azokat a közös törvényeket, amelyek minden fizikai és kémiai folyamat leírásának alapjául szolgálnak.

A vizsgált *rendszer* a végtelen anyagi féltér általunk tetszés szerint (de célszerűen) körülhatárolott része. A rendszer és *környezete* között *kölcsönhatások* ébrednek. A rendszer viselkedése *determinisztikus*, adott környezeti hatásra mindig meghatározott módon reagál. A rendszer állapota véges számú fizikai és kémiai változóval meghatározható. Ezek a rendszer *állapotjellemzői*. A vizsgált térrész minden pontjához, minden időpillanatban az állapotjellemzők mindegyikének meghatározott értéke tartozik. Matematikailag ezt úgy fejezhetjük ki, hogy az állapotjellemzők a hely és az idő négy független változójához rendelt *térfüggvények*. Vizsgálataink során a konkrét anyagot a fizikai és kémiai állapotjellemzők eloszlásfüggvényei helyettesítik. Ez az anyag *kontinuum*-modelljének lényege. Kőzetmechanikai alkalmazása Asszonyi (1974) nevéhez fűződik.

A hipotetikus modell-közeg, a kontinuum végtelenül osztható, anélkül, hogy elveszítené tulajdonságait. A végtelen anyagi félteret kitöltő kőzetanyagok viszont szemcsés szerkezetűek, vagy repedezettek, tehát az anyag folytonos modellje csak egy bizonyos nagyságrend-tartományon felül lehet adekvát. Nyilvánvaló, hogy egy rezervoár vagy valamely formáció méretei mellett egy ahhoz képest „pontbeli", infinitézimális térfogatelem még mindig elegendően nagy ahhoz, hogy a pórusok térfogataránya egy jól definiálható statisztikus átlagértékként adódjon benne. Makroszkopikus nagyságú diszkontinuitások (pl. vetők) figyelembe vételére is lehetőség nyílik a nem-folytonos mérlegegyenletek használatával. Fizikai modellünkben azt is figyelembe kell vennünk, hogy a kőzetpórusokat, repedéseket valamilyen folyadék vagy gáz tölti ki. A kőzet és a pórusaiba zárt fluid fázis állapotváltozásainak leírásához egy új matematikai-fizikai modellt kell használnunk. Ennek alapjait Kapolyi (1976) vetette meg, egyes analízisbeli kérdéseit Richter és Bobok (1978) munkálták ki. Végül a szintézis (Kapolyi, 1980) a teljes rendszer egyöntetű leírásmódjának lehetőségét hozta.

A *komplex kontinuum* modell lényege, hogy a teret kitöltő anyag fázisainak megnövekedése az állapotjellemzők eloszlásfüggvényeinek megsokszorozódására vezet. A tér minden egyes pontjában szimultán jelentkeznek a kőzet-, folyadék- és gázfázisra jellemző eloszlásfüggvények. Ezeket a porozitás fogalmának általánosításaként nyert

$$n = \frac{dV_{hézag}}{dV}$$

új térfüggvény segítségével kapcsolhatjuk össze. Ha a pórusokat egyetlen folyadékfázis tölti ki, ennek az elemi térfogatba zárt mennyisége

$$dV_f = ndV,$$

míg a kőzettérfogat

$$dV_k = (1 - n)dV.$$

Ha a pórusokat többfázisú folyadék-gáz keverék tölti ki, nyilvánvalóan

$$n = \sum_{i=1}^{k} \alpha_i,$$

ahol

$$\alpha_i = \frac{dV_i}{dV},$$

tehát a szóban forgó fázis térfogataránya az infinitézimális dV térfogaton belül. E definíciókat matematikai formularendszerünk megfogalmazásánál igen gyakran használni fogjuk.

Ismeretes, hogy egy anyagi rendszer állapotjellemzőinek egy része a térfogathoz hasonlóan transzformálódik. Ezek az *extenzív* állapotjellemzők Az extenzív paramétereknek a szóbanforgó fázis elemi térfogatba zárt mennyiségére vonatkozó értékét a térfüggvénnyé általánosított porozitás (ill. térfogatarány) segítségével fejezhetjük ki. Például az elemi térfogatú kőzet pórusaiba zárt telepfolyadék tömege

$$dm_f = n\varrho_f dV,$$

a kőzetmátrixé

$$dm_k = (1 - n)\varrho_k dV,$$

a teljes infinitézimális tömeg pedig

$$dm = [(1 - n)\varrho_K + n\varrho_F]\, dV.$$

Az *intenzív* állapothatározók eloszlásfüggvényei a kiterjedéstől, így a porozitástól is explicite függetlenek.

Mérlegegyenletek

A *termodinamika nulladik főtétel*eként ismert az a GUGGENHEIM-től származó törvény, amely szerint az *egyensúly* szükséges és elégséges feltétele az intenzív állapothatározók *homogén eloszlás*a Az intenzívek *inhomogén eloszlás*a viszont az extenzívek *áramá*ra vezet. Az állapotváltozásokat mennyiségileg az extenzívek mérlegegyenleteivel írhatjuk le.

Tapasztalat szerint az extenzív állapotjellemzők nagy része megmaradó mennyiség. Ilyen pl. a tömeg, az impulzus, az energia. A mérlegegyenletek felírá-

sának fizikai alapját tehát az ismert megmaradási axiómák jelentik. A megfogalmazás módjának lehetőségét a klasszikus térelmélet biztosítja. A vektor- és tenzoranalízis alapjaiban némi jártassággal rendelkező Olvasó bizonyára nehézség nélkül át tudja tekinteni a komplex kontinuumok KAPOLYI (1980) által levezetett mérlegegyenleteit.

A következőkben ennek nyomán írjuk fel fázisonként a tömeg, az impulzus, az impulzusnyomaték, az energia és entrópia mérlegeket. A levezetések részletes ismertetésétől eltekintünk, célunk az apparátus bemutatása, ezen belül csak az egyes tagok fizikai jelentésére és néhány szembetűnő, s gyümölcsözően kiaknázható analógiára hívjuk fel a figyelmet.

Általánosságban valamely extenzív mennyiség Φ sűrűségére vonatkozóan a következő *transzportegyenlet* írható fel:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \operatorname{div}\left(\Phi \vec{v} + \sum_{j=1}^{m} L_j \operatorname{grad} \Psi_j = \xi\right)$$

Ebben az első tag Φ *lokális* megváltozását jelenti a tér egy tetsző leges pontjára illesztett egységnyi térfogaton belül. Ezután áll a térfogatot határoló felületen át $\vec{v}$ sebességű makroszkopikus *áramlás* illetve a ψ_j intenzív inhomogenitása miatt létrejött *vezetés* következtében Φ értékében beálló megváltozás eredője. A jobb oldalon levő ξ a térfogategységen belüli *forrás*erősséget jelenti. Tehát valamely térmennyiség egy bizonyos pontbeli értékének megváltozása hozzá-, ill. eláramlás,-vezetés, valamint a szóbanforgó mennyiség keletkezése (ill. fogyása) miatt következik be. Valamennyi mérlegegyenletünknél ugyanezt a szerkezetet találjuk. A tömeg-mérleg a kőzet-, folyadék- és gázfázisra tehát így írható:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left[(1-n)\varrho_k\right] + \operatorname{div}\left[\varrho_k \vec{v}_k - D_k \operatorname{grad} \varrho_k - D_k^* \operatorname{grad} T_k\right] = \xi_{kF} + \xi_{kg}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_f \varrho_f) + \operatorname{div}\left[\varrho_f \vec{v}_f - D_f \operatorname{grad} \varrho_f = D_f^* \operatorname{grad} T_f\right] = \xi_{fk} + \xi_{fg}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_g \varrho_g) \operatorname{div}\left[\varrho_g \vec{v}_g - D_g \operatorname{grad} \varrho_g - D_g^* \operatorname{grad} T_g\right] = \xi_{gk} + \xi_{gf}$$

Az egyenletek fizikai jelentése nyilvánvaló. A bal oldal első tagja egyenletenként az egységnyi térfogatban található kőzet, folyadék, ill. gáztömeg időegység alatti megváltozását adja. Az egységnyi térfogatot határoló felületen $\varrho \vec{v}$ sűrűségű *konvektív* áram, valamint a sűrűség- és a hőmérséklet-inhomogenitás következtében kialakuló diffúzió révén makroszkopikus mozgás nélküli *konduktív* tömegáram okozta tömegváltozás áll a div operátorhoz tartozó tagokban. D a diffúziós, D^* a termodiffúziós együttható. A ξ_{kf} forrás a folyadékból szilárd fázissá váló tömegmennyiséget adja az egységnyi térfogaton belül, ha pl. víz fagy meg. Olvadáskor nyilvánvalóan $\xi_{kf} < 0$. A ξ_{kg} tömegforrás a gázfázisból szilárddá váló anyagmennyiséget jelenti, ξ_{fg} a gőzből kicsapódó folya-

dékmennyiséget s. i. t. Nyilvánvaló, hogy

$$\xi_{kf} = -\xi_{fk},$$

$$\xi_{kg} = -\xi_{gk},$$

$$\xi_{fg} = -\xi_{gf},$$

tehát a három fázisra vonatkozó tömegmérlegeket összeadva valamennyi forrás-tag kiesik. Ez jól mutatja, hogy csak a teljes tömeg megmaradó mennyiség, az egyes fázisoké csak akkor lenne az, ha a fázisok közötti anyagátadást kizárnánk.

Mérlegegyenleteink felírásánál egyaránt használhatjuk az imént felírt differenciálegyenlet-alakot, és a most bemutatásra kerülő integrálegyenlet-formát. Ez utóbbit véges térfogatú, teljesen általános alakú tartományokra kiterjeszthetjük, s ez az egyedül használható forma, ha megszakad a végtelen anyagi féltér folytonossága pl. vetőzónák szabdalják a kőzettömeget. Ebben az esetben a vetőt az integráció határának alkalmas felvételével kizárjuk a vizsgálati tartományból, s az így adódó kétszeresen összefüggő tartományt valamilyen felmetszéssel újra egyszeresen összefüggővé tehetjük. A GAUSS tétel felhasználásával kapjuk tehát a

$$\int_V \frac{\partial}{\partial t}[(1-n)\varrho_k]dV + \int_{(A)}[\varrho_k \vec{v}_k - D_k \operatorname{grad} \varrho_k - D_k^* \operatorname{grad} T_k]\, d\vec{A} = \int_V (\xi_{dk} + \xi_{kg})dV$$

$$\int_V \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_f \varrho_f)dV + \int_{(A)} \varrho_f \vec{v}_f - D_f \operatorname{grad} \varrho_f - D_f^* \operatorname{grad} T_f]d\vec{A} = \int_V (\xi_{fk} + \xi_{fg})dV$$

$$\int_V \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_g \varrho_g)dV + \int_{(A)} (\varrho_g \vec{v}_g - D_g \operatorname{grad} \varrho_g - D^* \operatorname{grad} T_g)d\vec{A} = \int_V (\xi_{gk} + \xi_{gf})dV$$

Ebben a megfogalmazásban — használhatóságán túlmenően — különösen szembetűnően nyilvánul meg az egyenlet fizikai tartalma: a térfogaton belüli tömegváltozással a térfogatot határoló (A) felületen átadódó $\vec{v}$ sebességű makroszkopikus mozgással járó konvektív áram és a makroszkopikus mozgás nélkül diffúzióval történő konduktív tömegáram tart egyensúlyt.

Ezek a valóban elég bonyolult egyenletek még semmilyen közelítő feltevést nem tartalmaznak. Általános érvényük ára a bonyolultság. Konkrét esetekre vonatkozóan számos egyszerűsítő feltevéssel élhetünk. Merevnek tekintett szilárd váz esetében $\vec{v}_k \equiv 0$, gyakran úgy tekinthetjük, hogy $T_k \equiv T_F \equiv T_g$, a diffúziót is számos esetben figyelmen kívül hagyhatjuk. Így az érvényességi kör szűkül, de az egyenlet könnyebben kezelhetővé válik.

Az *impulzus mérlegegyenlete* eszköztárunk következő darabja. Ha az általános transzportegyenletben Φ helyére a $\varrho\vec{v}$ impulzussűrűséget helyettesítjük,

a konduktív impulzusáramot az **F** feszültségtenzorral vesszük figyelembe, az impulzus forrásaként pedig a külső erőtér $\vec{f}$ térerősségvektorát vehetjük (Asszonyi 1975). A komplex kontinuumra általánosítva ez az alábbi egyenletrendszerként jelentkezik (Kapolyi 1980):

$$\frac{\partial}{\partial t}[(1-n)\varrho_k\vec{v}_k] + \mathrm{Div}\,[(1-n)(\varrho_k\vec{v}_k \circ \vec{v}_k - \mathbf{F}_k)] = (1-n)\varrho_k\vec{f}_k + \vec{k}_{kf} + \vec{k}_g$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_F\varrho_f\vec{v}_f) + \mathrm{Div}\,[\alpha_f(\varrho_f\vec{v}_f \circ \vec{v}_f - \mathbf{F}_f)] = \alpha_f\varrho_f\vec{f}_f + \vec{k}_{fk} + \vec{k}_{fg}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_g\varrho_g\vec{v}_g) + \mathrm{Div}\,[\alpha_g(\varrho_g\vec{v}_g \circ \vec{v}_g - \mathbf{F}_g)] = \alpha_g\varrho_g\vec{f}_g + \vec{k}_{gk} + \vec{k}_{gf}$$

Az impulzus-mérleg forrás-tagjai kiegészülnek a

$$\vec{k}_{kf} = -\vec{k}_{fk}$$
$$\vec{k}_{kg} = -\vec{k}_{gk}$$
$$\vec{k}_{fg} = -\vec{k}_{gf}$$

erőkkel, amelyek közül

$\vec{k}_{kf}$ az egységnyi térfogatban levő kőzetmátrixra a folyadékfázis által kifejtett kölcsönható erők eredője

$\vec{k}_{kg}$ ugyanez kőzetváz-gázfázis viszonylatban

$\vec{k}_{fg}$ a gáz által a fázishatárfelületeken a folyadékra gyakorolt erők eredője. A másik három erő ezek reakció-erői a III. Newton-axióma szerint.

Az integrálegyenlet-alakot is könnyen felírhatjuk:

$$\int_V \frac{\partial}{\partial t}[(1-n)\varrho_k\vec{v}_k]dV + \int_{(A)}(1-n)\varrho_k\vec{v}_k \circ \vec{v}_k - \mathbf{F}_k)d\vec{A} =$$

$$= \int_V [(1-n)\varrho_k\vec{f}_k + \vec{k}_{kf} + \vec{k}_{kg}]dV$$

$$\int_V \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_f\varrho_f\vec{v}_f)dV + \int_{(A)}\alpha_f(\varrho_f\vec{v}_f \circ \vec{v}_f - \mathbf{F}_f)d\vec{A} = \int_V (\alpha_f\varrho_f\vec{f}_f + k_{fk} + \vec{k}_{fg})dV$$

$$\int_V \frac{\partial}{\partial t}(\alpha_g\varrho_g\vec{v}_g)dV + \int_{(A)}\alpha_g(\varrho_g\vec{v}_g \circ \vec{v}_g - \mathbf{F}_g)d\vec{A} = \int_V (\alpha_g\varrho_g\vec{f}_g + \vec{k}_{gk} + \vec{k}_{gf})dV$$

Ez az alak szintén igen világosan mutatja fizikai tartalmát. A lokális megváltozás a konvektív impulzusáram (sűrűsége $\vec{} \circ \vec{v}$ miatt másodrendű tenzor) és a konduktív impulzusáram (sűrűsége a Cauchy által definiált klasszikus feszültségtenzor) eredőjével, valamint az impulzus forrásaival tart egyensúlyt.

Minden egyes vektoregyenletünk három-három skalár komponens-egyenletre bontható. Ebben a megfogalmazásmódban bármilyen folytonos mozgásra, bármilyen reológiai tulajdonságokkal bíró közegre érvényes az impulzustétel. Ez a tömör koordinátamentes alak valamilyen feladat numerikus kiszámításához természetesen terjedelmesebb, a választott koordinátarendszertől függő parciális deriváltakkal felírva jelenik meg. Ebből a legáltalánosabb impulzusmérlegből az egyes speciális esetekre vonatkozó alakok minden különösebb nehézség nélkül származtathatók.

A mechanika további ismert axiómája az *impulzusnyomatéki tétel*, amely szerint valamely anyagi rendszer impulzusnyomatékának időegységre eső megváltozása egyenlő a ráható erők nyomatékainak összegével. Bizonyítható, hogy az impulzusnyomatéki tétel ekvivalens a feszültségtenzor tükrösségének feltételezésével. Az

$$\mathbf{F} \equiv \mathbf{F}^{(T)}$$

posztulátum tehát fázisonként három-három skaláregyenlettel ér fel.

Az *energia megmaradásának tétele* az energia-mérleg felírásának alapja. A közeg teljes energiája a *kinetikus-*, a *belső-* a *kémiai-* és az itt elhanyagolhatónak tűnő *elektromos energia* összege. Ez a *teljes energia* megmaradó mennyiség. Ahogyan korábban tettük egy-egy megmaradási tételből kiindulva, most is levezethetjük az energia-mérleg szokásos alakját mind a három fázisra vonatkozóan. A lokális megváltozást konvektív és konduktív áramok, valamint az energia forrásai idézik elő. Tehát:

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial}{\partial t}\left[(1-n)\varrho_k\left(\frac{v_k^2}{2}+\varepsilon_k+\varphi_k\right)+\alpha_f\varrho_f\left(\frac{v_f^2}{2}+\varepsilon_f+\varphi_f\right)+\alpha_g\varrho_g\left(\frac{v_g^2}{2}+\varepsilon_g+\varphi_g\right)\right]+\\
&\quad+\operatorname{div}\left\{(1-n)\left[\varrho_k\vec{v}_k\left(\frac{v_k^2}{2}+\varepsilon_k+\varphi_k\right)-\mathbf{F}_k\vec{v}_k+\vec{q}_k\right]+\right.\\
&\qquad+\alpha_f\left[\varrho_f\vec{v}_f\left(\frac{v_f^2}{2}+\varepsilon_f+\varphi_f\right)-\mathbf{F}_f\vec{v}_f+\vec{q}_f\right]+\\
&\qquad\left.+\alpha_g\left[\varrho_g\vec{v}_g\left(\frac{v_g^2}{2}+\varepsilon_g+\varphi_g\right)-\mathbf{F}_g\vec{v}_g+\vec{q}_g\right]\right\}=\\
&\qquad=(1-n)\varrho_k(\vec{f}_k\vec{v}_k+h_k)+\alpha_f\varrho_f(\vec{f}_f\vec{v}_f+h_f)+\alpha_g\varrho_g(\vec{f}_g\vec{v}_g+h_g)
\end{aligned}$$

Ebben a skalár-egyenletben ε a belső, φ a kémiai energia tömegegységre vonatkozó fajlagos értéke. A div operátor mögött a konvektív és a konduktív energiaáramok állnak: a feszültségtenzor és a sebesség vektorikus szorzata adja a mechanikai energia vezetési áramát, míg a q hőáramvektor a belső energia konduktív sűrűsége. A h skalár függvény a belső energia forrását jelenti, amely a kémiai reakciók endoterm, vagy exoterm jellegétől függően forrás, vagy nyelő.

Ezek lennének a komplex kontinuumra vonatkozó megmaradási tételeket kifejező mérlegegyenletek. Itt felírt alakjuk rendkívül tömör, koordinátamen-

tes alakjukról bármilyen koordinátarendszerre konkretizálva igen terjedelmes, sok parciális deriváltat tartalmazó egyenletekhez jutunk. Ez már önmagában is előre vetíti számos matematikai nehézség árnyát, de a fő gond az, hogy *egyenleteink száma kisebb az ismeretlen függvények számánál.* A feladat zárttá tétele céljából tehát *további egyenletek szükségesek.*

Vezetési törvények

A konduktív áramok az inhomogén eloszlású intenzív mennyiségek kiegyenlítődési tendenciájának következményei.

ONSAGER első vezetési törvénye szerint az extenzívek konduktív áramát *valamennyi* intenzív változó inhomogenitása *egyidejűleg* váltja ki, s az áram iránya olyan, hogy az inhomogenitást kiegyenlíteni törekszik. Általánosságban:

$$j_i = \sum_{k=1}^{n} L_{ik} \nabla y_{ik} .$$

Itt j_i az i-edik extenzív áramsűrűsége, y_k a k-adik intenzív változó, L_{ik} pedig a megfelelő vezetési tényező. A második ONSAGER-törvény szerint a vezetési tényező minden esetben *szimmetrikus* mátrixszal bír, lehet skalár, tenzor, de mindig *pozitív definit:*

$$L_{ik} \equiv L_{ki} .$$

Az ONSAGER-törvények formai szempontból végtelen sokféle konduktív áramot állítanak elő. Ezek közül nyilván csak azok realizálódhatnak, amelyek azonos tenzori rangú, dimenzionálisan homogén, ellentmondásmentes és egyértelmű megoldásra vezető áramokat határoznak meg.

Megfigyelhető, hogy a kontinuumok a környezet hatására bekövetkező állapotváltozása nem csupán az általános érvényű alaptörvényektől, hanem a folyamatban résztvevő közeg anyagi minőségétől is függ. Ismernünk kell tehát olyan fenomenologikus összefüggéseket, amelyek a különböző anyagok szerkezeti eltéréséből adódó makroszkopikus következményeket is figyelembe veszik. Ezek az anyag szerkezetéből következő makroszkopikus eltérések elsősorban az extenzív mennyiségek konduktív áramaiban jelentkeznek. Azt az összefüggést, amely megszabja az extenzívek konduktív árama, és az azt előidéző intenzívek közötti függvénykapcsolatot, *anyagegyenlet*nek nevezzük.

Az anyagegyenlet tulajdonképpen egy *posztulátum*, amely egyúttal egy *hipotetikus közegmodell definíciója.*

Az ONSAGER-féle vezetési törvény speciális esetei a DARCY-, FICK-, FOURIER- vagy OHM-törvény, továbbá a különböző reológiai egyenletek, az ideális folyadék egyszerű

$$\mathbf{F}_f = -p\mathbf{I}$$

definíciós egyenletétől, a STOKES-féle

$$\mathbf{F}_f = -p\mathbf{I} + \varkappa \operatorname{div} \vec{v}\mathbf{I} + \mu(\vec{v} \circ \nabla + \vec{v} \circ \nabla)$$

összefüggésen át a bonyolultabb közegmodellekig.

Összefoglalás

Eképpen a megfelelő kezdeti és peremfeltételekkel együtt meghatározhatjuk a szóban forgó fizikai modellt, amely a jelenségnek feltétlenül egyszerűsített, de fő vonásaiban hű képét adja.

Ez a modell kétségtelenül bonyolult, de lehetővé teszi, hogy áttekintsük a lejátszódó mechanikai-, termikus-, kémiai stb. kölcsönhatások egész rendszerét. Megfelelő elméleti alap a partikuláris megoldások értékeléséhez, s további, új megoldások kereséséhez.

A matematikai analízis megoldási lehetőségei a közegmodell bonyolultságához képest szegényesnek tűnnek. A numerikus módszerek — véges differenciák, vagy a véges elemek módszere — már több reménnyel kecsegtetnek. Végül, de nem utolsósorban az empirikus módszerekre támaszkodhatunk. A megfigyelés, vagy a kísérlet hatékonyságát megsokszorozza, hogy nem ötletszerű, önkényes elképzelések szerint, hanem egy jól kirajzolódó, kvalitatíve tiszta kép birtokában *tervezhető* a kísérleti munka.

A dolgozatban kifejtettek csupán szerény első lépését jelentik egy lehetséges új szénhidrogén-kutatási módszernek. Ennek segítségével kívánjuk vizsgálni a kompakció és a földi hőáram hatására bekövetkező pórusfluidum-mozgásokat, s a kőzetmátrix feszültségállapotainak változásait is.

A szerzők remélik, hogy ennek az alternatívának e kezdeti stádiumban történt felvázolása sem hiábavaló. A modell végleges kiépítése nagy feladatnak ígérkezik. Talán sikerül a továbbfejlesztéshez néhány értékes gondolatot ébresztenünk elképzeléseink mostani közzétételével.

IRODALOM

ASSZONYI, Cs.: Mechanical theory of continua. Acta Geodaetica, Geophysica et Montanistica, **8**, 3—4, 1974.

ASSZONYI Cs.: Kőzetkontinuumok reológiai elméletéről. Doktori értekezés, Tatabánya, 1975.

ASSZONYI, Cs.—R. RICHTER: The Continuum Theory of Rock Mechanics. Transtech Publications, New York, 1979.

BOBOK, E.: New concept to describe flow through porous media. Siamos, Granada, II, 693—706, 1978.

COUSTEAU, H.: Formation waters and hydrodynamics. J. Geochem. Exploration, **7**, 213—241, 1977.

ERINGEN, C.: Nonlinear Theory of Continuous Media. Mc Grow Hill, New York, 1962.

HUBBERT, M. K.: History of petroleum geology and its bearing upon present and future exploration. A. A. P. 6. Bull., **50**, 12, 1966.

JAEGER, J. C.—N. G. W. COOK: Fundamentals of Rock Mechanics. Chapman and Hall, London, 1976.

KAPOLYI, L.: New trends and research in protection against mine water. Proc. 7th. Conf. Mine Water, Bp., 1976.

KAPOLYI L.: Rendszerszemléletű kutatás a bányászatban. Akadémiai székfoglaló előadás, (1980).
MAGARA, K.: Water expulsion from clastic sedimento during compaction. AAPG Bull., **60,** 4, 543—553, 1976.
ODEN, J. T.: Finite Elements of Nonlinear Continua. Mc Graw Hill, New York, 1964.
ONSAGER, L.: Reciprocal relation in irreversible processes, I., II. Phys. Rev., **37, 38,** 405, 2265, 1931.
RICHTER, R.—E. BOBOK: Complex continuum model for description of the simultaneous solid-fluid movements. Siamos, Granada, 883—897, 1978.
SZILAS, A. P.: Production and Transport of Oil and Gas. Elsevier, Amsterdam, 1975.
ZIENKIEWICZ, O. C.: Finite Element Method in Engineering Science. Mc Graw Hill, New York, 1971.

THE USE OF CONTINUUM MECHANICAL MEANS IN INDIRECT INVESTIGATION OF HYDROCARBON GENESIS

By

E. BOBOK—Á. SZALAY

Abstract

Continuum mechanical means combined with proper initial and marginal conditions and assumptions will enable us to determine the physical model in question, a model giving a certainly simplified picture of the phenomenon, but one truly depicting its main features.

This model is undoubtedly complicated, but it enables us to review the entire system of the mechanical, thermal, chemical etc. interactions involved. It provides proper theoretical basis for the interpretation of particular solutions to the problem and for finding out new ones.

The possiblities for solution in mathematical analysis appear rather poor compared to the complexity of the environmental model. Numerical methods, in turn, i. e. the method of finite differences or finite elements, are already much more promising. Last, but not least, the methods we can rely on are the empirical ones. The efficiency of observation or experiment is multiply increased by the fact that the experimental work is not one starting from spontaneous and quite arbitrary imaginations, but it can be very well designed and planned on the basis of a distinct and qualitatively pure image.

The ideas expounded in the paper are only the first, modest step towards the development of a possible new method of hydrocarbon exploration. The authors hope that to outline this alternative in its this initial stage is not useless. To develop the model in its final form appears to represent a great objective to achieve. By publishing their ideas, the authors hope to suscite some valuable comments as to the ways in which its further development could be achieved.

О ПРИМЕНЕНИИ КОНТИНУО-МЕХАНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В КОСВЕННОМ ИССЛЕДОВАНИИ ГЕНЕТИКИ УГЛЕВОДОРОДОВ

Е. БОБОК — А. САЛАИ

Резюме

Путем применения континуо-механических средств представляется возможность для определения рассматриваемой физической модели, дающей, правда, упрощенное, но в основных чертах правомерное изображение изучаемого явления.

Рассматриваемая модель является безусловно сложной, но она дает возможность для обзора всей системы имеющих место механических, термических и т. д. взаимодействий. Она служит подходящей основой для оценки тех или других подходов к решению проблем, а также для поисков дальнейших новых подходов.

По сравнению с сложностью модели среды возможности решения математического анализа кажутся бедноватыми. Нумерические методы — метод конечных дифференций или конечных элементов — оказываются уже более обнадеживающими. Наконец, но не в последнюю очередь, мы можем опираться на эмпирические методы. Эффективность наблю-

дений или эксперимента многократно повышается тем, что план экспериментальных работ можно разработать не по каким либо произвольным, субъективным соображениям, а на фоне четкой, качественно ясной картины.

Изложенные в статье основные положения представляют собой лишь скромный первый шаг в создании возможного нового метода поисков углеводородов. Авторы надеются, что несмотря на начальную стадию этих разработок, все же не будет бесполезным дать их схематичное изложение. Однако, окончательная разработка модели кажется огромной задачей. Опубликованием этих соображений, повидимому, удастся побуждать ценнейшие идеи для усовершенствования модели.

TARTALOM

ÉRTEKEZÉSEK

Erdélyi Mihály: A felszínalatti vízmozgásának vizsgálata közvetett módszerekkel a Magyar Medence példáján (Investigations of the Ground-water movement, Using Indirect Methods, Shown on the Example of the Hungarian Basin). (Иссле дование движений подземных вод косвенными методами на примере Венгерского Бассейна) 3

Bobok Elemér—Navratil László—Szilas A. Pál: Pszeudoplasztikus kőolaj turbulens áramlási veszteségeinek vizsgálata (A Study of the Loss on Turbulent Flow of Pseudoplastic Oil). (Изучение потерь псевдопластичной нефти в процессе турбулетного движения жидкости) 75

Bobok Elemér—Szalay Árpád: Kontinuummechanikai eszközök alkalmazása a közvetett szénhidrogén-genetikai kutatásban (The Use of Continuum Mechanical Means in Indirect Investigation of Hydrocarbon Genesis). (О применении континуо-механических средств в косвенном исследовании генетики углеводородов) 95

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója

Műszaki szerkesztő: Sándor István

A kézirat nyomdába érkezett: 1981. V. 27. — Terjedelem: 9,45 (A/5) ív

81.9701 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György

Ára : 25 Ft

ISSN 0230—368X

Megjelent 1981. XII. 22.

Index 26.510

316.418

AZ MTA FÖLD- ÉS BÁNYÁSZATI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

14. kötet
2–4. szám
1981

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
FÖLD- ÉS BÁNYÁSZATI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK

KÖZLEMÉNYEI

FŐSZERKESZTŐ
MARTOS FERENC

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG
BERNÁT TIVADAR, GRASSELLY GYULA, HOMORÓDI LAJOS,
MESKÓ ATTILA, MÉSZÁROS ERNŐ, PÉCSI MÁRTON,
SZÁDECZKY-KARDOSS ELEMÉR, TÓTH MIKLÓS

SZERKESZTŐ
PÉCSINÉ, DONÁTH ÉVA

A Magyar Tudományos Akadémia Föld- és Bányászati Tudományok Osztályának Közleményei változó terjedelmű füzetekben jelennek meg. Négy füzet alkot egy kötetet. Évenként általában egy kötet jelenik meg.

A kéziratok a következő címre küldendők:

1051 Magyar Tudományos Akadémia
Föld- és Bányászati Tudományok Osztályának Közleményei
Budapest V., Münnich Ferenc utca 7.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

A közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttatja a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért vagy továbbításáért nem vállal.

A Közlemények előfizetési ára kötetenként 100 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó (1363 Budapest, Alkotmány utca 21. Pénzforgalmi jelzőszámunk: 215—11 488), külföldi megrendelések a KULTÚRA Külkereskedelmi Vállalat, 1900 Budapest, Fő utca 32. Pénzforgalmi jelzőszám: 218—10 990 útján eszközölhetők.

A Magyar Tudományos Akadémia Föld- és Bányászati Tudományok Osztályának idegen nyelvű kiadványai az *Acta Geologica* és az *Acta Geodetica, Geophysica et Montanistica* c. folyóiratok. E lapok hivatottak a magyar föld- és bányászati tudományok eredményeinek legjavát, egyes kiváló külföldi tanulmányokkal együtt, a külföldnek tolmácsolni. A cikkek angol, német, francia vagy orosz nyelven jelennek meg (lehetőleg a szerző kívánsága szerint), a cikk nyelvétől eltérő nyelvű összefoglalóval. A cikkeket magyar vagy a szerző választotta idegen nyelven (és magyar nyelven) kell a szerkesztőségek címére (1051 Budapest, Münnich Ferenc u. 7.) beküldeni.

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA FÖLD- ÉS BÁNYÁSZATI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

14. KÖTET

2—4. FÜZET

1981

MACVAR
JUGOSLAVIJOS AKADEMIJA
KNJIŽEVNOSTI

BEVEZETŐ MARTOS FERENC, AZ MTA RENDES TAGJA SZÉKFOGLALÓ ELŐADÁSÁHOZ

PÉCSI MÁRTON
AZ MTA RENDES TAGJA

Az ősrégészeti leletek azt igazolják, hogy a bányászati tevékenység — például Magyarország területén is — a történelem előtti időkbe nyúlik vissza. Az ősember legősibb eszközeinek, fegyvereinek előállításához a kovakövet, majd az aranyat, rezet, ezüstöt mint tiszta fémet, eleinte a folyók hordalékaiból, torlatokból gyűjtögette, később a gazdagabb telephelyekről pedig bányászta.

Az írásos történelmi adatok szerint a bányászat mint őstermelés mintegy ötezer évre nyúlik vissza; az egyiptomiak már i. e. 3000 évvel rezet bányásztak a Sinai-félszigeten. A piramis-építkezéshez pedig a kőbányászat is nagyon korán (i. e. 2600 körül) kialakult és technikailag is fejlett őstevékenység volt. A Khufu piramishoz 2,3 millió olyan mészkő és vörösgránit kőtömböt használtak, amelyek súlya elérte a 14,5 tonnát. E hatalmas kőtömböket a bányászok nemcsak lefejteni, hanem a Níluson átszállítani is képesek voltak.

A legrégibb bányaművelési módszertan a német Georgius Agricolától származik (1556). A „De re metallica"-jában már részletezi az aknák, tárók építését, ismerteti a bányaművelési eszközöket és használatukat, továbbá a bányaszellőztetési és víztelenítési műveleteket, ill. a vágatbiztosítási eljárásokat is.

Az ipari forradalom kibontakozását követően a bányászat technológiája és termelési volumene rohamos léptekkel fejlődött. A robbantások, fúrók, légkalapácsok, nagy teljesítményű fejtő- és szállítóberendezések alkalmazásával napjainkban pl. csak a szénbányászat 3 milliárd tonnát termel. A hazai széntermelés ennek kb. 1%-át éri el, amely ugyancsak nem kis teljesítmény, és a hazai energiabázis alapvető tényezője, amely ismert tartalékainkat is figyelembe véve száz évet is meghaladó időtartamra elegendő. Így tehát a szénbányászat nyújtotta előnyökkel, ill. az egyre nehezebb természeti feltételek mellett történő bányaművelés káros hatásaival, a bányakárok minimalizálására irányuló kutatómunkával foglalkozni még hosszú ideig időszerű és fokozódóan szükséges feladat.

Martos Ferencnek, az MTA Föld- és Bányászati Tudományok Osztályelnökének székfoglaló előadásához bevezetőként két aktuális körülmény kihangsúlyozását tartom szükségesnek előrebocsátani.

MTA X. Osztályának Közleményei 14/2—4, 1981

1. Az elmúlt években a természeti erőforrások és közöttük főleg az energiahordozó ásványi nyersanyagok szerepe a nemzetközi és a hazai gazdasági életben igen jelentős mértékben megnövekedett, és úgy látszik, hogy árucsere- és használati értékük tartós felértékelődésével kell számolnunk. A világméretekben kibontakozó új gazdasági tendenciák hatása a hazai termelésirányításban is változást vont maga után. Gondolunk itt elsősorban a magyar szénbányászatnak a korábbi tervperiódusban történt visszafejlesztésére, majd az energiakrízis kibontakozását követően a szénbányászat rekonstrukciójának szükségességét célul kitűző újkeletű gazdaságpolitikára, mely az energiahordozók fokozott, de ugyanakkor racionális kitermelésére és felhasználására törekszik.

2. Az előbbivel szoros kapcsolatban áll a másik hangsúlyozandó körülmény, éspedig az, hogy a természeti erőforrások igénybevétele, felhasználása során — a termelés, a bányászat folyamatában — az emberi környezet ne rombolódjék, ne károsodjék. A természeti táj átalakulása, károsodása az őstermelés viszonyai között sehol sem vált visszafordíthatatlanná. Az a kritikus állapot, hogy a környezetkárosodás helyenként a népességre, ill. a termelőerőkre is veszélyes lett, a termelés technikai forradalma kezdetére következett be.

A gazdaságfejlesztési és környezetvédelmi politika szoros összhangjának a megteremtése össztársadalmi érdek, amelynek megvalósításához egyszerre több körülménnyel és tényezővel kell számolni. Ennek érzékeltetésére törekszik a mai székfoglaló előadás, amely a szénbányászatnak a természeti, ill. a művi környezetben okozott káros hatásainak alapvető típusait vizsgálja és tesz javaslatokat azok csökkentésére.

MARTOS FERENC tudományos tevékenységének fő területe a bányaművelés és a kőzetmechanika. E kutatási területeken belül részleteiben vizsgálta a föld alatti üregkialakítás hatására a kőzetkörnyezetben lejátszódó fizikai folyamatokat, éppen a jelenségek összefüggéseinek meghatározása érdekében. E vizsgálatainak gyakorlati célkitűzése pedig az, hogy az adott kőzetben a bányaüreg és az azt megtámasztó biztosítórendszer egymásra hatásának pontosabb megismerése és szabályozhatósága alapján a föld alatti üregek optimális alakja és mérete tervezhetők lehessenek.

Kiterjesztette továbbá vizsgálatait a kőzetekben tárolt folyadékok és gázok mozgástörvényeinek megismerésére a föld alatti nagy robbantások hatásának elemzésével kapcsolatban.

Új magyar iskolát teremtett a „bányakártan" irányzata kifejlesztésével. Számítási módszerei alkalmasak a külszínen és a föld alatt megnyitandó bányaüregek következtében a kőzetrétegek elmozdulása és a felszín deformálódása mértékének előzetes kiszámítására. Eljárását több külföldi intézmény is átvette, és a környezethez adaptált formában ma is alkalmazzák.

A hidraulikus páncélpajzs konstruálásával részese, ill. kezdeményező közreműködője a modern szénfejtési technológia kifejlesztésének. Több szaba-

dalmaztatott bányaműszaki eszköze és eljárása mellett a páncélpajzs szabadalomnak is résztulajdonosa, s fontos szerepet vállalt ennek külföldi elterjesztésében (főleg a Ruhr-vidéken).

Szakirodalmi tevékenysége gazdag, mintegy 150 magyar és idegen nyelvű tanulmányt tett közzé. Köztük két könyvnek szerkesztője és társszerzője is. A „Vízveszély és vízgazdálkodás a bányászatban" c. könyv 1976-ban nívódíjat kapott. 1976 óta főszerkesztője az MTA, Föld- és Bányászati Tudományok Osztályának Közleményei folyóiratnak.

MARTOS FERENCet tudományos munkássága és széles körű tudományszervező tevékenysége elismeréseként az MTA 1973-ban levelező taggá, 1979-ben rendes tagjává választotta; 1976 óta a X. Osztály elnöki teendőit is ellátja. E feladatkörben és korábban a Bányászati Kutató Intézetben mint igazgató (1966—1978) és legutóbb az egyesített Központi Bányászati Fejlesztési Intézetben, mint kutatási vezérigazgató helyettes, igen számottevő tudománypolitikai tevékenységet fejtett ki. A tudományszervező munkája során a kutatási eredmények gyakorlatban való hasznosítását állította előtérbe. Ilyen törekvések vezérelték azoknak a közép- és hosszútávú kutatási terveknek a kidolgozásánál, ill. irányításánál, amelyek a hazai ásványi nyersanyagok fokozottabb igénybevételét szorgalmazták.

Osztályelnöki tevékenységét nagy körültekintéssel és odaadással végzi, tervszerűen törekszik a tudománypolitikai és népgazdasági célkitűzések megvalósítására. Az Osztály és különböző bizottságai, valamint a tudomány és a gazdaság legfelsőbb irányító szervei között eredményes kapcsolatokat létesít, amelynek következményeként az Osztály véleményét, állásfoglalását mind többször igénylik és figyelembe is veszik.

Kiterjedt hazai tudományos közéleti tevékenységet folytatott évtizedeken keresztül — az MTA Bányászati Tudományos Bizottságának 1960-tól titkára, majd 1973—76 között elnöke, tagja volt több akadémiai bizottságnak, köztük a TMB-nek is. Az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesületnek főtitkára (1954—1960), majd alelnöke volt 1976-ig. Hosszú időn át részt vett az egyetemi oktatásban is. A Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen már az 50-es évek végétől bányaműveléstant, műszaki földtant, majd bányakártant oktatott, 1967-től mint c. egyetemi tanár.

Nemzetközi kapcsolatai is számottevőek, több fontos bányászati bizottság tagja, és elnöke a Nemzetközi Kőzetmechanikai Társaság (ISRM) Magyar Nemzeti Bizottságának, amelyen keresztül a szűkebb tudományterülete nemzetközi kapcsolatait is irányítja.

A fentebb ismertetett eredményes tudományos kutató tevékenységéért tudományirányító, továbbá az ugyancsak sokoldalú közéleti munkásságáért és ezen belül pártmunkájáért is, számos állami és társadalmi kitüntetésben részesült. Kétszer is elnyerte a Magyar Népköztársasági Érdemérem arany fokozatát, valamint a Szocialista Munkáért Érdemérmet; birtokosa a Fel-

szabadulási Jubileumi Emlékéremnek, a Honvédelmi Emlékéremnek, a Mikoviny Emlékéremnek, kitüntették a Bányász Szolgálati Érdemérem bronz, ezüst és arany fokozatával; továbbá a Munkaérdemrend ezüst és arany fokozatával.

MARTOS FERENC személye, egyénisége, tevékenysége sokunk előtt régóta ismert, mégis ezeknek csak rövid vázlatos felsorolása is újra megerősíti bennünk az iránta való megbecsülésünket.

Ezekután felkérem székfoglaló előadásának megtartására.

BÁNYAKÁR ÉS KÖRNYEZET*

MARTOS FERENC
AZ MTA RENDES TAGJA

Naturae rerum vis atque Majestas in omnibus momentis fide caret, si quis modo partes eius, ac non totam complectatur animo. (A természetnek mindenütt jelenlevő ereje és méltósága elvész, ha csupán részeit látjuk, de nem tekintjük át az egészet.)

PLINIUS: *Historia Naturalis, VII.*

Bevezető

Amikor a bányászatról beszélünk, akkor az ásványi nyersanyaggazdálkodásnak a kutatástól a hasznosításig terjedő komplex folyamatából azt, a még mindig eléggé összetett szakaszt emeljük ki, amely az ásványi nyersanyagelőfordulások feltárását, kitermelését és az előkészítés egyes fázisait foglalja magába. Ez a tevékenység a *társadalmi hatások*kal és összefüggésekkel bővített *természeti környezet*ben megy végbe. Az ipari termelés olyan ágazata, amely a környezettel a legbonyolultabb kölcsönhatásokat hozza létre. E kölcsönhatások rendszerével, ill. annak egyes specifikus részleteivel több kutató is foglalkozott és foglalkozik. A rendszert alkotó elemek függvényszemléletű kapcsolatait átfogóan, az ásványi nyersanyagokra koncentrálva KAPOLYI fogalmazta meg [1]. PÉCSI [2], LÁNG [3], TÓTH [4] és mások a természeti erőforrások és a társadalom bonyolult viszonyát egyéb aspektusokból elemezték. Többek között ennek a széles körű, eredményes kutatómunkának köszönhető az a körülmény, hogy létrejött, ill. kialakulóban van a *„Természeti erőforrások átfogó tudományos vizsgálata"* c., országos szintre kiemelt kutatási főirány.

Előadásom tárgya ennek a nagy és bonyolult témának csupán egy viszonylag erősen leszűkített fejezetére szorítkozik. A „bányakár és környezet" viszony, még ha önmagában eléggé összetett jelenség is, a fő témakörnek, a természeti erőforrások és azok hasznosítását képező rendszernek, csupán egyik részlete.

Ezt a témaválasztást — a mottóként felírt pliniusi gondolat sokat ígérő tartalma után — két körülménnyel szeretném motiválni.

Az első. Minden, ún. „egész" végül is „részek"-ből áll. Egyesek lehetnek kevésbé fontosak, de mindig vannak közöttük lényegesek, és szükségszerűen akadnak olyanok, amelyek a folyamat és a végeredmény számára meghatározóak.

A bányaművelés és a környezet kapcsolatát legalábbis a fontos, a lényeges részletek csoportjába sorolhatónak vélem.

* Az 1980. december 15-én megtartott székfoglaló előadás rövidített anyaga.

A második ok — az előzőhöz képest — már sokkal szubjektívebb töltésű. Éppen 30 éve annak, hogy hozzányúltam ehhez, az akkor éppen senki által nem művelt témához. A bányászat és a föld alatti térkiképzés akkoriban egyre nagyobb területekre terjedt ki. A bányakárok elemzése a kőzetmechanikai kutatások egyik fontos, szinte központi kérdésévé vált. Sok megfigyelés, mérés, sok kísérlet (a természetben és laboratóriumi modelleken) alapján kialakult a bányakárok akkor mindenképpen korszerűnek minősült ismeretanyaga. Ezek alapján sok gyakorlati feladat vált megoldhatóvá (különböző építmények, műtárgyak alápfejtése). Azóta természetesen újabb ismeretek gyűltek össze, fejlődtek a vizsgálati módszerek és a szemlélet is. Ezért most arra szeretnék rámutatni, hogy a tudományos kutatás újabb eredményeinek tükrében, a technikai fejlődés adta újabb lehetőségek birtokában, hogyan kell újra fogalmazni egyes, korábban helyesnek és elégségesnek bizonyult megállapításokat, hogyan kell figyelembe venni a változó társadalmi környezet hatását; fogalmak tartalmának korrigálásával, ill. bővítésével. Egyszóval: hogyan kell *ma* értelmezni, kezelni, továbbfejleszteni a bányakártant.

A bányakárfogalom újszerű értelmezése

A témának Magyarországon jelentős hagyományai vannak. Így például a Budapest—Bécs közötti vasút alápfejtése Tatabányán, 1914—24 között, az akkori idők nagyszabású és sikeresen megoldott gyakorlati vállalkozása volt. Tudományos alapjai a nemzetközi színvonallal együtt, néhány részletkérdésben azt meg is előzve, az 1950-es évek elején alakultak ki. Azóta sok irányban, sokrétűen fejlődtek. Ma, amikor a többfázisú közeg (kőzet, víz, gáz) mozgásjelenségeinek együttes vizsgálata alapján keressük gyakorlati kérdések megoldásához az elméleti megalapozást, a bányakár-téma fejlődésének ismét újabb szakaszába lépett.

Az 1960. évi III. törvény (Bányatörvény), valamint annak végrehajtási utasítása [5], amelyben a bányakárral foglalkozó részletek elsősorban az általam vezetett kutatások eredményeire támaszkodtak — mint ismeretes — úgy fogalmaz, hogy bányakárról egyértelműen akkor beszélhetünk, ha az ún. káreset és a bányászati tevékenység (kutatás, művelés) között okozati összefüggés van, ilyen kapcsolat egyértelműen kimutatható. A kőolaj- és földgázbányászat fejlődése ezt a „tézist", de főleg a fogalmak értelmezési körét, a gyakorlat követelményeinek megfelelően, szélesítette, elsősorban a kőolaj- és földgázszállító csővezetékek létesítésével és üzemeltetésével összefüggő káresetek figyelembevételével. Mindenesetre már akkor is le lehetett és le kellett rögzíteni azt, hogy bányaművelés, s az ehhez kapcsolódó műveletek nélkül nem jöhetnek létre bányakárok; a fordított eset azonban már nem ilyen egyértelműen szükségszerű. Vagyis: valamely területen a bányászat puszta „jelenléte", bányászati tevékenység folytatása, nem jelenti azt, hogy ott elkerülhetetlenül

bányakárok jelentkeznek. Ahhoz, hogy a bányakár valóban bekövetkezzék, meghatározott feltételek szükségesek. A két szélső helyzet között természetesen sok az átmeneti jelenség. Ezért az egyes esetek megítélése sok vitára adott akkor, és adhat azóta és ma is alkalmat.

A bányakárokat nagyon összetett (multidiszciplináris) témaként kell kezelni, vizsgálni, értelmezni és megoldani. Ehhez

— a földtudományi (földtani, teleptani, hidrogeológiai stb.)
— a műszaki tudományi (bányászati, talaj- és kőzetmechanikai, hidraulikai, mély- és magasépítési stb.)
— az agrártudományi (talajtani, növénytermesztési, erdőgazdálkodási stb.)
— a gazdaság- és jogtudományi (közgazdasági, ipargazdasági, jogi stb.)

ismeretek együttes igénybevételére lehet szükség. Fontos szerepet kap itt a geodézia és a bányamérés, mint olyan diszciplínák, amelyek a jelenségek megfigyelésének nélkülözhetetlen eszközei.

Az előbb a Bányatörvényre utaltam, mint olyan forrásra, mely tartalmazza a bányakár-fogalom definícióját. Ma már úgy vélem, hogy ezt a fogalmat más aspektusból, más „alapállásból" kell megközelíteni, sőt: ma már minden részletét csak egy, alapjaiban megújított szemlélettel lehet tárgyalni. Mi ennek a szemléletnek a lényege?

A bányakár *az ember*, ill. a *társadalom*, valamint a *természeti környezet* kapcsolatának egy sajátos terméke. Ez a „termék", vagyis a bányakárnak nevezett jelenség, a társadalom termelő tevékenységének folyamatában, s e folyamat környezetre gyakorolt hatásának rendszerében foglal helyet. Mint sok más hasonló jelenség a rendszer egyes elemeinek befolyásolásával, esetleg szabályozásával, többé-kevésbé alakítható, „kézben tartható". A befolyásolhatóság, szabályozhatóság lehetősége és megoldása a tudomány fejlődésével, a tudományosan rendszerezett ismeretanyag bővülésével alakult és fejlődött eddig is és fog fejlődni — a most már sokkal szélesebb körű kutató-fejlesztő munka nyomán — a jövőben. Utalok arra, hogy míg korábban elsősorban az üregnyitás és üregfelhagyás hatására kialakuló kőzetmozgás-jelenségre koncentráltunk, addig ma már a kőzetben jelenlevő fluid fázisok (víz, gáz) szerepét, hatását is bevonjuk a vizsgálatok körébe.

Föld alatti üregek hatása a külszínre

A bányakárok okai között, bár korántsem az egyetlen, de a legfontosabb, a legjellemzőbb ok a Föld szilárd kérgében kialakított üregek rendszere és ennek következményei.

Az üregrendszer különböző elemei változó sebességgel jönnek létre és élettartamuk néhány naptól (pl. fejtések) néhány évtizedig tarthat (pl. aknák). Ez az üregrendszer az a „csapolórendszer", amely megbontja a környezet rela-

tív egyensúlyát. A kőzet, amely megtörik, fellazul „szemcsézettebbé" válik, mozgásnak indul, „áramlik", természetesen az üreg felé. Áramlik akár egy nagy belső súrlódással jellemzett anyag. Az üregnyitás hatására a fluid fázisok (folyadék, gáz), mint a kőzetnél sokkal mobilisabb elemek szintén mozognak, és ugyancsak az üregek irányába. A pórusokban, ill. a repedések, a törésvonalak mentén. Végül is, valamilyen módon és adott feltételek esetén, a szilárd és fluid anyagnak ez az összetett mozgása a Föld felszínén is mérhetővé, láthatóvá, következményeiben a legváltozatosabb formákban érzékelhetővé válhat. Gyakorlatból ismert tény, hogy amennyiben a mozgás a külszínt eléri, a mozgásban levő terület általában nagyobb, mint az azt előidéző föld alatti üreg területe (vetülete).

Részletezésre itt nem térek ki, csupán emlékeztetek arra, hogy a Föld felszíne más okok miatt is változik, alakul, tehát: mozog. E mozgások okai a napsugárzástól a földrengésekig nagyon is széles skálát fognak át. Mértékük és sebességük igen szélsőséges eltéréseket mutathat; hatásuk úgyszintén. A bányakárok mozgásjelenségei ezekre a mozgásokra szuperponálódnak, kölcsönösen befolyásolhatják egymást. Egy kisebb földrengés is lehet valamilyen — esetleg idő előtti, vagy a vártnál fokozottabb mértékű — bányakár bekövetkezésének oka. (Az irodalomban találunk olyan közleményt — csak példaként utalok rá, minden ellenőrzés nélkül — hogy a Kárpát—Balkán—Dinári térség tektonikai sajátosságai miatt, a nevezetes skopjei földrengéssel egyidőben a pálházai perlitbányában, Tokajhegyalján, kettős halálos balesetet előidéző omlás történt [6].)

Az üregkiképzés tekinthető tehát az elsődleges és a legjellegzetesebb bányakároknak. Nemcsak a föld alatti nagy kiterjedésű, gyorsan mozgó *fejtés* az „üreg", hanem a *külfejtés* is az, és a kutatást vagy a termelést szolgáló *fúrólyukak* is ide tartoznak.

Tekintsük át röviden azokat a bányakárformákat, amelyeket az ember természeti környezetében a bányászat okoz vagy okozhat.

I. *Külszíni műveletek*	*Jellemző káresetek*
1. Kutatás	— Szeizmikus erőhatások
	— Zöldkár
2. Külfejtés	— Vízelvonás
	— Robbantás miatti károk (pl. kőbányászat stb.)
	— Termőtalaj és a külszín jellegének változásai
3. Szállítás	— Zöldkár
	— Olajszennyezés talajban
	— Olajszennyezés vízben
	— Tűzesetek

II. *Föld alatti műveletek*	*Jellemző káresetek*
1. Szénbányászat	— Talajsüllyedés, horpák
	— Építmények, műtárgyak rongálódása
	— Vízelvonás vagy tóképződés, mocsarasodás
2. Érc- és ásványbányászat	— mint II/1-nél
Kő- és kavicsbányászat	— Nagy robbantások szeizmikus hatása
3. Fluidumbányászat	— Mint II/1 és II/2-nél

A külszínen vagy a föld alatt végzett, jellegzetesen bányászati tevékenységek következményein kívül, eredményezhet a bányászat olyan környezeti hatásokat is, mint bármely más ipari termelő-folyamat. Ilyenek lehetnek pl. a légszennyezés, a talaj- és vízszennyezés, a zajártalom stb. Ezekkel kapcsolatban ugyanazok a szabályok érvényesek, ill. olyan intézkedések szükségesek, mint bármely más ipari, a környezetet károsan befolyásoló művelet esetében.

A következőkben, a szemelvényenként bemutatandó néhány esetet, a mélyműveléses és a külfejtéses bányászat területéről veszem. (Egy részük az irodalomból már ismert, s itt csupán az összefüggések jobb áttekinthetősége miatt szerepelnek, igen általános formában [7]).

Az alaphelyzet az, hogy a nagy föld alatti üregek kialakításának és megszüntetésének hatására (fejtési üregek hatására) alakul ki a kőzetkörnyezetben az a fizikai-anyagi mozgásmező, amely egyaránt tartalmazza mindhárom fázis (szilárd kőzet, víz, gáz) mozgáselemeit. Vastag, több szeletben fejtett telepek, lencsék stb. esetén az elmozdulás értéke fokozottan növekszik és a kis és közepes mélység esetén (200—800 m) a külszínen is méter nagyságrendben jelenhet meg a süllyedés, ill. a csúszás (a mozgásvektor függőleges, ill. vízszintes komponensei). A károkat, különösen a külszínen is megjelenő nyílt törésvonalakat és a mesterséges szerkezetekben (építmények) bekövetkező súlyosabb rongálódásokat azonban nem annyira az elmozdulások abszolút nagysága, hanem azok hely és idő szerinti fajlagos differenciahányadosai (alakváltozások és sebességek) okozzák. A tektonika adott esetben növelheti (néha csökkentheti) a mozgás által érintett terület kiterjedését. A vízmozgás rendszerint növeli a távhatást.

Régebben — még az ötvenes évek végén, a hatvanas évek elején is — a föld alatti üregek által előidézett bányakárok csökkentésére vagy elkerülésére, rendszerint a következő bányászati műszaki-technológiai lehetőségeket ajánlottuk (a külszíni építmények akár előzetes, akár utólagos megerősítésének különféle lehetőségeivel itt most nem foglalkozom):

1. a mozgások és alakváltozások csökkentése a kifejtett üreg tömedékelésével,

2. a külszín mozgásának csökkentése az egyébként műrevaló ásványi anyagból visszahagyott (veszített) pillérekkel (itt nem a bánya fontos létesít-

ményeinek, pl. az aknák, ill. bizonyos külszíni építmények ún. védőpilléreiről van szó),

3. a fejtésmód megválasztása és az egyes fejtések sajátságos térbeli elhelyezése és időbeni ütemezése,

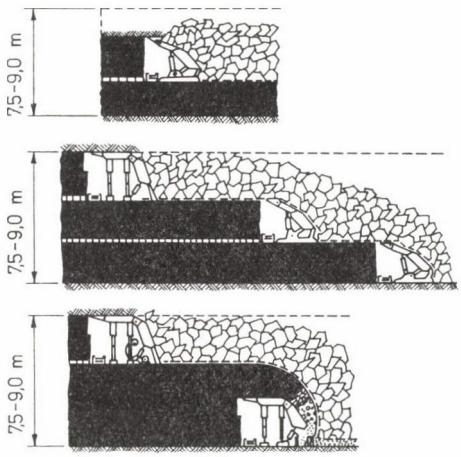
4. optimális lefejtési sebesség kialakítása,

5. kombinált módszerek.

Ma már nem ajánlanám valamennyi lehetőséget egyforma súllyal és határozottsággal. Veszített pilléreket az ércbányászatban lehet alkalmazni, különösen akkor, ha a fémtartalmú ásvány térbeli eloszlása egyébként is olyan, hogy a gyengébb minőségű részeket, a kőzetkörnyezet elmozdulásának csökkentésére vagy megakadályozására, különösebb ércveszteség nélkül is vissza lehet hagyni. Hasonlóképpen ritka kivételként javasolnám az idegen tömedékanyag alkalmazását is. Az előkészítő-művek meddőjének visszaadása, a föld alatti fejtési üregekbe, kivételt képezhet, hiszen ez tulajdonképpen egyféle bányakár-elhárítás, ill. környezetvédelem! Nem képződik meddőhányó, iszaptároló stb.

A fejtésmód megválasztása és a nagy sebességű lefejtés azonban most is — sőt még inkább — fontos bányakár-csökkentő tényező.

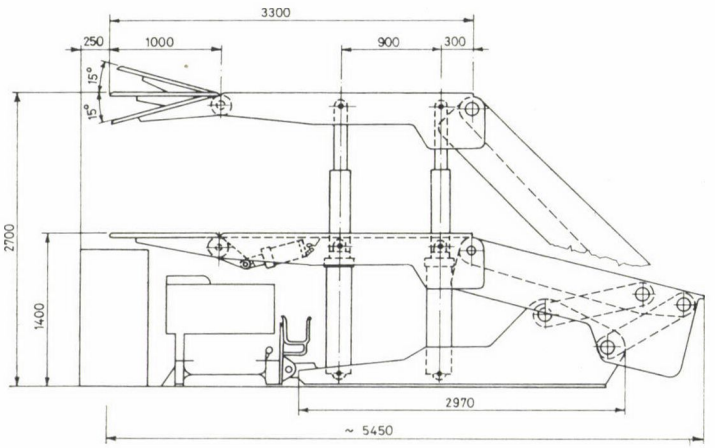
A széleshomlokú, gyorsan haladó fejtésmódok, a gépesített frontok azok, ahol a jövesztőgép és a biztosítószerkezet, tehát a korszerű technológia lehetőségei a maximálisan kihasználhatók. Vastag telepben, a minél kevesebb szelet érdekében indokolt a szeletvastagság növelése. A termelékenység emelése érdekében pedig a lefejtés sebességének fokozása. Az „eocén"-bányák esetében ez a téma nagyon is aktuális lesz. Vastag telepek szeletfejtéseinek egyfajta megoldását mutatja az 1. ábra. Ilyen megoldás alkalmazásáról már az irodalomban is találunk tájékoztatást [8, 9]. A 2. ábra egy hazai tervezésű, hidraulikus pán-



1. ábra. Vastag széntelep fejtése több szeletben, pajzsos biztosítással

célpajzs vázlatát mutatja. Az említett fejtési technológiákban ennek a biztosítószerkezetnek kulcsszerepe van [10].

A lefejtés sebességével kapcsolatos korábbi — túl általános — álláspontot pontosítani kell.



2. ábra. A VHP-621 típusú pajzsegység vázlata

A lefejtés sebességének növelése nem mindig és nem mindenütt olyan tényező, amely kedvezően hat a külszíni alakváltozásokra. A fejtési sebesség növelése általában valóban csökkenti a külszín megnyúlását és összenyomódását, elsősorban a lefejtés haladási irányával egybeeső szelvényben. Nem befolyásolja viszont az erre merőleges (tehát a fejtési homlokkal párhuzamos) szelvényben kialakuló torzulásokat, mint ahogyan a végállapotban, a horpa peremi tartományában kialakulókat sem.

Ezt a megállapítást nemcsak azzal a gondolatmenettel lehet alátámasztani, amely szerint amikor a lefejtés sebessége igen nagy ($v_f \to \infty$), és ennek megfelelően a lefejtés időtartama nagyon kicsi ($t \to 0$), akkor egy, az ún. „kritikus felület"-et elérő vagy azt meghaladó lefejtett terület esetében, a földfelszín egyszerre lezökken, lesüllyed — a peremektől eltekintve — minden alakváltozás nélkül. A lefejtési sebesség növelésének alakváltozást csökkentő hatását (e gondolati „modell"-en kívül) az akkor nálunk, de külföldön is általánosan alkalmazott, és számos mérés anyagának feldolgozásával kapott közelítő (félempirikus) összefüggések is alátámasztották. Idézzünk fel néhányat ezekből. Miután csak az egyenletek jellegéről van szó, a legegyszerűbb formákban mutathatók be.

A süllyedés a hely függvényében:

$$s = s_0 \exp(-C_1 x^2).$$

Egy pont süllyedése az idő függvényében:

$$s = s_0[1 - \exp(-C_2 t^2)].$$

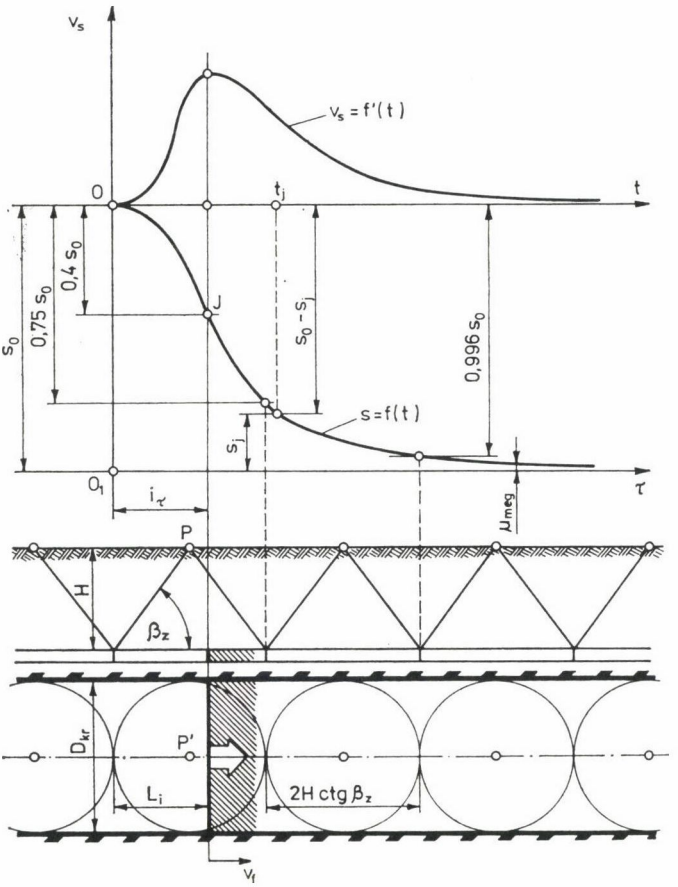
Itt már figyelembe vehető a fejtési sebesség is:

$$s = s_0[1 - \exp(-C_3 v_f^2)].$$

Az $s(t)$ összefüggés a 3. ábrán látható. Ez azt a gyakorlati megfigyelésekkel egyező eredményt adta, hogy a lefejtés sebességének növelésével növekszik a süllyedés sebessége, és természetesen csökken a maximális süllyedés bekövetkezésének időtartama. A különféle fejtési sebességekhez tartozó görbéket a 4. ábra mutatja.

A fajlagos külszíni alakváltozásokat a következő formában írhattuk föl, figyelembe véve, hogy a süllyedés és a csúszás (vízszintes elmozdulás) között érvényesnek bizonyult feltevés szerint:

$$u = \frac{s}{H^+} x,$$



3. ábra. Egy felszíni pont süllyedése az idő függvényében

vagyis

$$\varepsilon = \frac{du}{dz},$$

illetve

$$\varepsilon = \frac{s}{H^{+}}\left[1 - \left(\frac{x}{C}\right)^2\right].$$

A képletből a megnyúlások és összenyomódások a hely függvényében számíthatók. A C, C_1, C_2, C_3 különféle geometriai és kőzetmechanikai paramétereket jelenthetnek.

Amíg a mozgás az üreg közvetlen környezetéből a külszínig kiér bizonyos T_k idő telik el, ami önmagában is több tényezőtől függ (mélység, a fedőkőzetek tulajdonságai, azok állapota stb.). Ennek figyelembevételével az alakváltozások a lefejtés irányával egyező szelvényben (dinamikus szelvény) a következő típusú összefüggéssel közelíthetők:

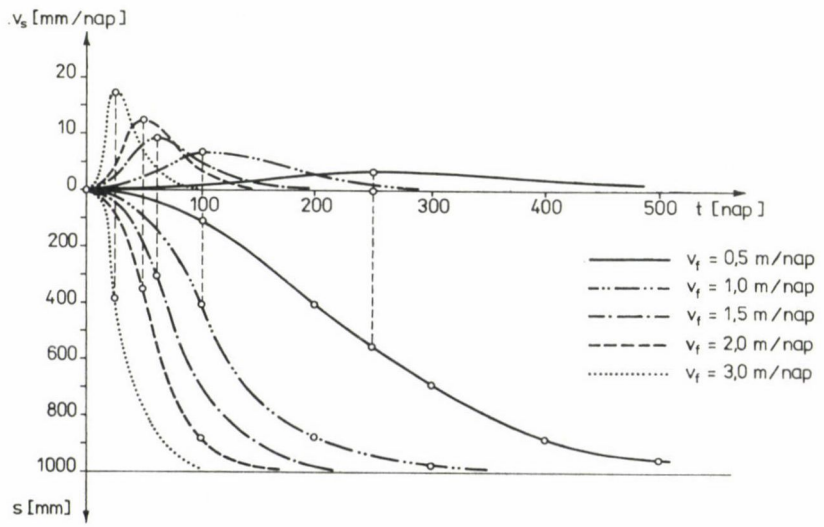
$$\varepsilon^{\pm}(t) \cong 1 - \exp\left(-\frac{C_0 - T_k \cdot v_f}{C_0^1}\right)^2.$$

Vagyis a lefejtés sebességének növelésével az alakváltozások csökkennek. Elvileg létezik az a határeset, amikor is:

$$v_f = \frac{C_0}{T_k}$$

és

$$\varepsilon^{\pm} = 0.$$



4. ábra. Egy felszíni pont süllyedése a lefejtés sebességének változása esetén

Azt már csak a gyakorlatból vett adatokkal végzett számítások mutatják, hogy ez a határeset valóban csak elvileg létezik, mert a legkorszerűbb technikával sem érhető el — a kritikus felület teljes szélességében — egy, a $C_0 : T_k$ értékű fejtési sebesség. Csak a nagyságrend érzékeltetésére: egy csupán 100 m mélységben fekvő szintes telep esetében, mintegy 150 m széles fronthomlokkal kellene kis szilárdságú, homogén és tektonikailag is zavartalan fedőkőzetek alatt kb. 14—15 m/nap fejtési sebességet elérni ahhoz, hogy a horpa középvonalában váltakozó előjelű alakváltozások ne keletkezzenek.

Az elvileg ideális körülményeket közelítő esetekben azonban a fejtési sebesség növelésének lehetnek a külszín részleges védelmét eredményező hatásai.

A külszíni megnyúlások természetesen csak a kőzetek húzószilárdságának eléréséig tudják meghagyni a külszíni horpa áthajló jellegét. Ha a törés bekövetkezik a repedezett kőzetösszlet már más jellegű mozgásfolyamatot követ. Ekkor csak még sokkal lazább korreláció mutatható ki a számított és a valóságban mért mozgáselemek között. Gyakorlati célokra azonban gyakran ez a megközelítés is elégséges lehet.

Még jobban bonyolódik a helyzet, ha a külszínen különböző építmények találhatók. A bányakárok vizsgálata gyakran éppen ilyen esetekben válik szükségessé.

A külszíni építmények méretei, szerkezetük, a talajjal, ill. a felszínközeli kőzetrétegekkel való kapcsolatuk módja nagyon különböző. A külszín elmozdulásainak következtében kialakuló görbületet és az alakváltozások közül főleg a megnyúlást általában nem tudják folyamatosan követni. Ilyenkor a külszín elmozdulásának időfolyamatán kívül figyelembe kell venni egy másik időtényezőt is, amelyet konszolidációs időtényezőnek is szoktak nevezni. Ilyen jelenségek lefolyásának vizsgálatával is többen foglalkoztak már [11]. A teljesen megfelelő, szabatos megoldást még nem sikerült megtalálni. A jelenségek elemzéséhez a következőket lehet figyelembe venni.

Általában — amint azt megfigyeléseink is igazolták, az aláfejtett épületeken látható törésvonalak helyzetének elemzése révén — ha egy, lényegében merevnek tekinthető szerkezetnek nincs elég ideje arra, hogy a felszínnel együtt süllyedjen, mégpedig úgy, hogy mindenkor kövesse is az elmozduló külszín alakját, akkor a szerkezetre, főleg annak alapjaira különféle hajlító nyomatékok fognak hatni. Ilyenkor — a külszín görbülete miatt — a fejtési sebesség növelése nem mindig lesz előnyös. Különösen kis mélységben és rideg fedü alatt fekvő telep esetében fordulhat elő, hogy éppen a lefejtés haladásának irányában lesz a nyomaték, s így a bányakár is nagyobb, mint a fejtési homlokkal párhuzamos szelvényben. Más a helyzet a megnyúlással.

Az épületkárok szempontjából fontos a külszín megnyúlásának mértéke és sebessége. Mély alapok esetében számottevő különbségek adódhatnak a mélység szerinti vízszintes mozgáskülönbségek között. A vízszintes konszolidáció

kialakulásának feltételeiből most is arra az eredményre lehet jutni, hogy míg a fejtési homlokkal párhuzamos szelvényekben megnyúlásból származó többletigénybevétel nincs, vagy csak elhanyagolható mértékben, addig a lefejtés irányában, a fejtési sebesség növelése, egy bizonyos határig, még növeli a megnyúlásból származó többletterhelést, de annak további fokozása már a károk csökkenését eredményezheti.

A vizsgálatok még ezen a téren sem zárultak le. Annyi azonban bizonyos, hogy a korábbi megállapítások pontosítását a kétféle időfolyamat együttes vizsgálatával elvileg el lehet végezni. A számításokra is elegendő közelítéssel alkalmazható összefüggések megadásához azonban több gyakorlati megfigyelésre, mérésre lenne még szükség. A nem széleshomlokú fejtésmódokat alkalmazó és nagy mélységben települt előfordulásokat művelő ércbányászatra pedig a kőzetmozgás folyamatának újabb modelljeit kell még kidolgozni.

A kis- és közepes mélységű, telepes előfordulásokat művelő bányászatban a lefejtés optimális sebességének megállapítása és alkalmazása a környezet védelmét is szolgálhatja. Itt szerencsés módon találkoznak különböző érdekek, hiszen a fejtési sebesség növelése a föld alatti termelékenység emelésének is egyik eszköze. Minden más eljárás, amely műveléstechnikai, technológiai eszközökkel — tömedékeléssel, pillérek visszahagyásával stb. — kívánná a káros környezeti hatásokat csökkenteni, egyben vagy teljesítménycsökkentő, vagy ásványvagyon-veszteségeket növelő hatású. Ezért ezeket lehetőleg mellőzni kell.

Alapelvként kellene elfogadni azt az álláspontot, hogy a bányakárok megelőzése, csökkentése, ill. helyreállítása ügyében ma azoknak a megoldásoknak kell elsőbbséget adni, amelyek a kompromisszumot úgy teremtik meg, hogy a föld alatti teljesítmény növekedjék, az ásványvagyon-veszteség pedig csökkenjen. A bányakárok megelőzését vagy a mégis bekövetkezett károk helyreállítását a külszínen alkalmazható módszerekkel és eszközökkel kell elvégezni. Erre az agrotechnikai, településtervezési és építészeti-statikai megoldások egész sora áll már ma is rendelkezésre, de a műszaki fejlesztés újabbak kialakítását is lehetővé teheti.

Mindez korántsem jelenti azt, hogy egyes esetekben — különösen ha nagyobb jelentőségű objektumokról van szó — mellőzni lehet a körültekintő döntéselőkészítő vizsgálatokat. (A bevezetőben említettem, hogy gyakran a természettudományok, a műszaki- és agrártudományok, valamint a közgazdasági- és jogtudományok együttes igénybevétele szükséges egy-egy feladat vizsgálatához és megoldásához!) A megoldással kapcsolatban is „kompromisszum"-ról szóltam. Mindez igaz; csak úgy vélem ma, amikor a hazai ásványi nyersanyagok fokozottabb igénybevételét szorgalmazzuk, és ezt a kötelezettséget magas szintű állásfoglalások és rendelkezések is aláhúzzák, akkor a minden fontos tényezőt mérlegelő vizsgálat utáni döntések is a hazai ásványi nyersanyagtermelés primátusát kellene tükrözzék.

Minden „döntés" különféle ellentétek kompromisszum útján történő feloldása, és itt a „kompromisszum"-nak semmiféle elmarasztaló tartalma nincs, sőt ez jelentheti végső fokon a népgazdasági optimumot. A nyersanyagtermelés és a bányakár esetében az ellentétes irányban ható tényezők azonban két merőben más minőségű kategória között lépnek föl. Az ásványokról mint nem reprodukálható nyersanyagokról, s a külszíni kultúrákról, ill. objektumokról mint rövid időn belül, sőt ismételten is újratermelhető, tehát folyamatosan is reprodukálható tényezőkről van szó. Ennek a minőségi különbségnek is fontos szerepet kell tulajdonítani az ásványi nyersanyag minél hatékonyabb és minél kevesebb veszteséggel való lemővelése melletti állásfoglaláskor. Azt persze ismét csak nem lehet figyelmen kívül hagyni, hogy mikor merülnek föl a többletköltségek, hogy az ásványvagyon később is rendelkezésre tud-e állni, helyettesíthető-e avagy sem és hozzáférhetővé tud-e maradni egy, a későbbiekben is korszerűnek minősülő (esetleg a jelenleginél is korszerűbb) művelési technika, technológia alkalmazása számára.

Ebben a gondolat-csokorban számos kutatási téma „rejtőzik". Előbb-utóbb ki kell őket fejteni. Külön a mélyműveléses, külön a külfejtéses bányászat eseteire.

Bányakár és vízgazdálkodás

A bányászat és a környezet kapcsolatának vizsgálata során a víz jelenlétének és szerepének a korábbinál nagyobb jelentőséget kell tulajdonítani. Az üregnyitás hatására a kőzet elmozdul, de ezzel együtt a benne tárolt fluid fázisok is mozognak és az üregek felé áramlanak.

A víz útját gyakran már igen kisméretű kőzetmozgás is megnyitja; nemcsak a fedü nagy mozgásai, hanem a fekü kisebb mozgásai is (pl. feküvízbetörések). A kőzetmozgás által kiváltott vízmozgás érinthet külszíni víztárolókat (tó, folyó, tenger) és föld alatti víztárolókat (pl. karsztvíztárolókat, víztároló homokokat, régi bányaműveleteket).

A külszíni víztárolók megcsapolásának sokkal inkább lehet káros, gyakran katasztrofális hatása a bányászatra, mint magára a víztárolóra. Ezért a külszíni víztárolók megcsapolását kerülni kell.

A föld alatti víztárolókat a bányaműveletek által kiváltott kőzetmozgáson kívül az erre a célra létesített berendezések is csapolják. Hatásuk leginkább a következőkben jelentkezik:

— természetes források és mesterséges vízművek, kutak, vízaknák elapadása, hozamuk csökkenése,
— növényzet károsodása a talajvízszint csökkenése miatt.

A vízkárok jellege lényegében független attól, hogy a víztároló megcsapolását termelő bányaműveletek vagy kifejezetten e célból létesített üregek végzik. A spontán megcsapolás hatása gyakran kisebb, viszont alig vagy csak

nehezen szabályozható. Ezzel szemben a tervszerű, megelőző megcsapolás mindig szabályozható. Viszont gyakran nagyobb beavatkozást jelent a természet vízháztartásába, mint a spontán megcsapolás.

Nemcsak a vízelvonás okozhat károkat, hanem annak ellenkezője, a vízelvonás megszüntetése is. A talajvízszint megemelkedésével növényi kultúrák, építmények károsodhatnak, ha azok az alacsonyabb talajvízszintű állapotra voltak felkészítve. (A Dunával nagyjából párhuzamosan futó É-Pest felé tartó Metró-vonal nyitott árokban épülő szakaszát megfelelő létesítmények védik a talajvíz ellen. A vonaltól K-re eső részen a talajvíz visszaduzzad és átmenetileg kisebb károkat is okoz.)

Kőzetmozgás olykor csupán a vízelvonás hatására is jelentkezhet anélkül, hogy a tényleges kőzetmozgás meginduljon. Ugyanis a bányászat a kőzetekben tárolt víz nyomásállapotát is megváltoztatja. Mivel a terhet a kőzet és a víz közösen viselik, a víz nyomásának csökkenése mozgást okoz. Ez a mozgás lágy, porózus kőzetekben agyagos, homokos összletekben jelentős. A jó vízvezető karsztos kőzetek és a homokok azok, amelyekben viszont a víznyomásváltozás messze kiterjed és a velük közvetlenül érintkező agyagok állapotváltozása révén a mozgásokat távoli területekre is kiterjesztheti.

Lényegében ugyanezek a jelenségek játszódnak le vízzel telt bányaüregek kőzetkörnyezetében, ha a bányaüregekből a vizet lecsapolják, vagy annak nyomását csökkentik. Az így összeomló üregek hatása jelenhet meg a külszínen kárt okozó kőzetmozgások formájában.

A károk csökkentésére, ill. megelőzésére ebben az esetben is több lehetőség kínálkozik. A bányaművelés módjának változtatása, a kőzet vízjáratainak tömítése, a külszíni kultúrák, ill. létesítmények védelme, ill. e módszerek valamilyen kombinációja.

A védendő külszíni létesítményt, ill. a területet megfelelő eszközökkel, eljárásokkal bizonyos mértékig alkalmassá lehet tenni a várható, kőzet- vagy vízmozgások elviselésére. A mezőgazdaságban a termesztett növények vagy a művelési ág változtatása lehet eredményes. Számos növényi kultúra ugyanis nem a talajvízből, hanem a felszínközeli talaj ún. függő vizéből táplálkozik, és gyökérzetük sem egyformán érzékeny a talajmozgásokra.

A végső elemzés, amely a műszaki-agrotechnikai lehetőségek közötti választáshoz nyilván nem nélkülözheti a gazdasági megfontolásokat sem, ebben az esetben is a bányászati termelés termelékenységének prioritását kellene szem előtt tartsa. Az indoklást már az előző témakörrel kapcsolatban kifejtettem.

A vízelvonásos bányakárok legjellegzetesebb esetei a Dunántúli Középhegység szén- és bauxitbányászatában fordulnak elő, ahol a bányászat által kiemelt vízmennyiség a tároló tartós utánpótlódását meghaladja és a vízszintsüllyedés az egész közép-dunántúli térségre kiterjed.

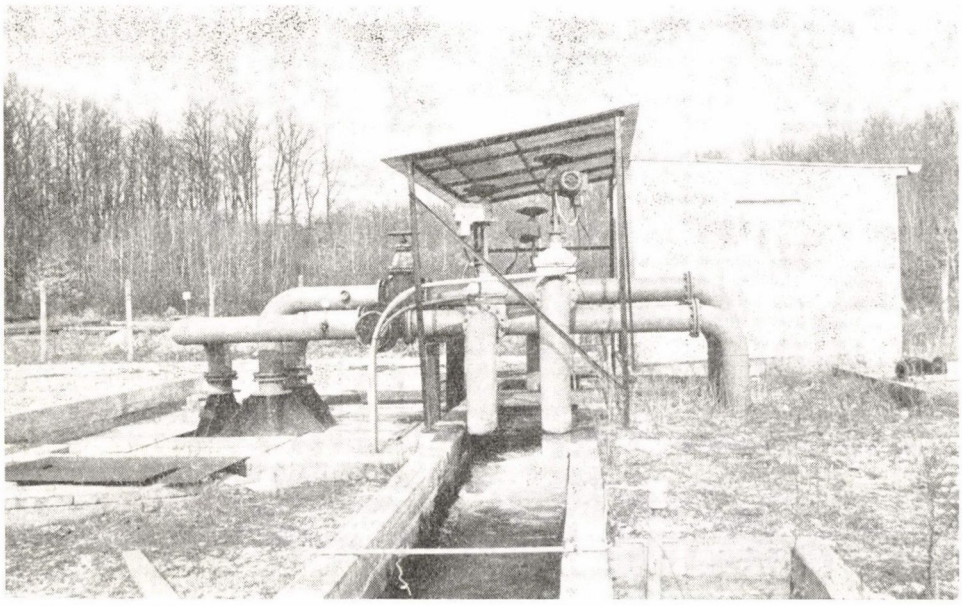
A következőkben példaként a bányászati vízgazdálkodásnak azt az esetét mutatom be, ahol jelenleg a föld alatti tárolóból a legnagyobb mennyiségű

vizet vonják ki, és ahol azt a külszínen okozott károk helyreállítása érdekében igen gondosan kezelik.

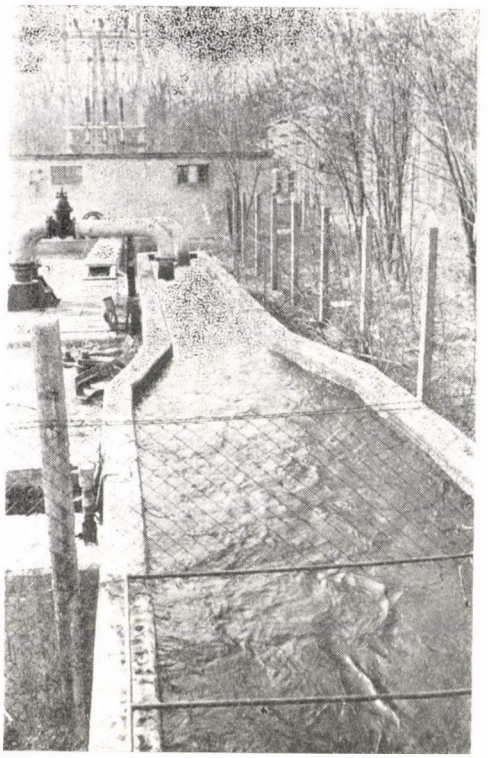
A Nyirád környéki bauxitbányászatról van szó, ahol a bauxittermelés, az ún. aktív vízvédelem módszereivel és eszközeivel lesüllyesztett karsztvízszint következtében, megfelelő biztonságban és jó teljesítménnyel folytatható. A minél jobb hatásfokkal leművelendő bauxitvagyon védelme érdekében a külszínen okozott vízkárokat a bányászat helyreállítja. Ebben az esetben tulajdonképpen még a vizet mint fontos nyersanyagot is „védjük", s csak a viszonylag rövid időn belül utánpótlódó készlet keretein belül igyekszünk a bányakár és környezet ellentétes kölcsönhatásait feloldani.

Az 5. ábra a területen telepített számos vízakna közül mutatja az egyiket, illetve annak „külszíni szerelvényeit". A három nyomócsőhöz három búvárszivattyú tartozik, amelyek 150—200 m mélységből egyenként 7,5 m^3/min mennyiségű vizet emelnek. Mégpedig olyan vizet, amely a művelést szolgáló bányatérségekkel nem találkozik, s ezért ivóvíz minőségű. E kutakkal végzett vízemelés hatására a területen a karsztban levő eredeti vízszint kereken 100 m-rel süllyedt.

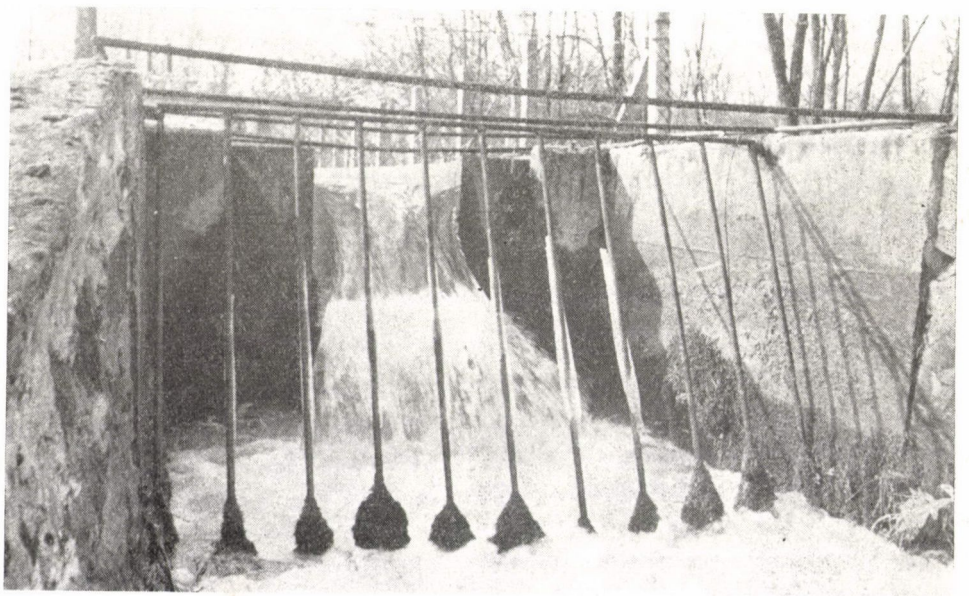
A 6. és 7. ábra a vízmű részleteit mutatja. A kutak működését központi vezérlőállomás ellenőrzi és szabályozza. Egy-egy kút tehát kb. 25 m^3/min teljesítményű és az összes emelt vízmennyiség a területen kb. 300 m^3/min. Másképpen szólva itt minden egyes tonna bauxittermelésre kb. 170 m^3 víz jut.



5. ábra. Vízakna külszíni szerelvényei



6. ábra. Vízmű-részlet és az emelt víz elvezetése



7. ábra. Vízelvezető csatorna

8. ábra. Vízelvezetés szabad árokban

A bauxitbányászat átlaga természetesen ennél jóval kisebb, mintegy 70 m^3/tonna.

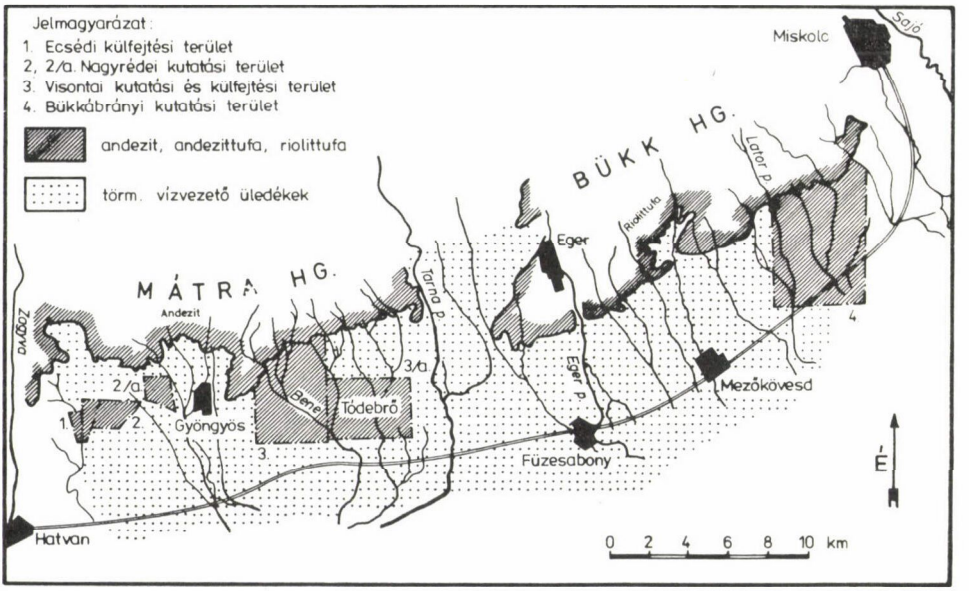
Az emelt víznek jelenleg mintegy 20%-a hasznosul, tehát kb. 60 m^3/min. Ez regionális vezetékeken Ajka, Pápa, Tapolca és a Balaton É-i partjának településeit, ill. ipari létesítményeit látja el. A többi egyelőre elfolyik és nagyrészt a Balaton vízutánpótlását szolgálja, ill. a mezőgazdaságban hasznosul.

A bányászat által így termelt víz nagy része még hatékonyabb hasznosításra vár (haltenyészet már működik). A 8. ábra imponáló mennyiségű vízfolyást mutat, amelynek hasznosítása még várat magára.

Külszíni bányászat és rekultiváció

A külső szemlélő számára a „legdrasztikusabb" beavatkozást a környezetbe egy nagy külszíni fejtés látványa nyújtja. Nálunk a visontai külfejtés, a maga évi kb. 6,5 Mt termelésével tartozik ebbe a kategóriába. Ehhez a széntermeléshez mintegy 30—35 Mm^3 földet kell megmozgatni. 40—50 ha az a terület, ami elpusztul. Ez is egyik formája a bányakárnak. A 9. ábra mutatja a már felhagyott ecsédi, a működő visontai és megnyitásra váró bükkábrányi területeket.

A műszaki és agrotechnikai vizsgálatok eredményeként azonban ma már az üregbe visszatöltött és rendezett hányón új élet virágzik, és nem csak a szó



9. ábra. Külfejtésre alkalmas területek a Mátra, ill. a Bükk lábánál

átvitt értelmében. A komplex rekultiváció eredményeit mutatják a következő képek (sajnos nem színesben).

A 10. ábrán látható a rozs aratása a volt külső hányón, háttérben a Gagarin Erőmű hűtőtornyaival.

A 11. ábra őszibarack-termést mutat a külfejtés rekultivált régi hányóján.

További feladatok

A bemutatott anyag szemelvényeket idézett a bányaművelés és a környezet bonyolult kapcsolatának, egymásrahatásának rendszeréből. Részletekbe nem bocsátkoztam; egy készülő monográfia fogja mindezt, és az eredmények mögött most csak alig érintett háttérkutatást is bemutatni. Az 50-es évek elején megtett kezdeti lépések óta ugyanis, ma már fizikai alapra épülő matematikai modellek, szimulációk, véges-elem és más módszerek, valamint az ehhez nélkülözhetetlen gépi apparátus is segíti a problémák megoldását. Ha szubjektív megítélésünk és szándékaink szerint nem is kellő ütemben, de mégis — objektíve — jelentősen fejlődött és fejlődik a bányászat, a művelés technikai-technológiai apparátusa.

Úgy vélem ha mást nem, de egyet talán sikerült ezekkel a szemelvényekkel is igazolni, hogy — visszatérve a mottóra — ha olyan rész-törvényszerűségek sorozatát sikerül megfogalmazni, amelyek a természet jobb megismerését,

10. ábra. Rozsaratás a külszíni fejtés rekultivált területén

11. ábra. Őszibarackos a rekultivált hányón

mint egy egységes egésznek az ismeretét helyesen, a valóságnak megfelelően szolgálják, akkor ez valamilyen magasabbrendű igény kielégítését eredményezheti. A további kutató és fejlesztő munka ezt a célt hivatott szolgálni.

Az nem baj, ha nem „csak" a tudományos ismereteket gyarapítja, hanem a társadalom jobb közérzetének alakításához „kézzel foghatóan" is hozzájárul.

Az ásványi nyersanyagkutatás, termelés és felhasználás s az emberi környezet kapcsolódása ilyenfajta tevékenységre számos lehetőséget nyújt.

IRODALOM

1. Kapolyi László: Komplex nyersanyag-gazdálkodás ásványvagyonunk hasznosítására. Bányászati és Kohászati Lapok. Bányászat, **114**, 3, 149—160, 1981.
2. Pécsi Márton—Stefanovits Pál—Martos Ferenc: A társadalom környezetének hasznosítási lehetőségei. Agrártudományi Közlemények, **39**, 145—161, 1980.
3. Láng István: Biológiai forradalom — hazai realitások. Korunk tudománya. Akadémiai Kiadó, Budapest, 154, 1978.
4. Tóth Miklós: Az energiahordozók közötti gazdasági verseny feltételrendszerének alapjai. Geonómia és Bányászat, **11**, 3—4, 177—184, 1978.
5. Bányatörvény. 1960. évi III. törvény. Magyar Közlöny, **112**, 753—760. 1960. december 18.
6. Bendefy László: Bányabeli kőzetomlások és földrengések kapcsolata. Bányászati Lapok, **1**, 6—17, 1967.
7. Martos Ferenc: Bányakártan. Tankönyvkiadó, Budapest, (Egyetemi jegyzet) 212, 1965.
8. Gapanovics L. N.: Vastag, lapos széntelepek fejtési technológiájára vonatkozó kísérletek komplex gépesítés alkalmazásával (oroszul). Ugolj. **6** (555), 1—5, 1972, június.
9. Thick seam sublevel caving with a heading machine. (Szerző nélkül) Colliery Guardian, **228**, 11. (November) 490—491, 1980.
10. Barcza Géza: A pajzsfejlesztés fő irányai és a kialakított legújabb pajzstípusok bemutatása. Várpalotai Kutatási Ankét. Szénbányászati Tudományos Kutatás, **1**, 5—14, 1979.
11. Solymosi Sándor: Az időtényező hatása a bányakárra. Bányászati Lapok, **7**, 447—450, 1966.

TUDOMÁNYOS ÉRTEKEZÉSEK

A GÁZKITÖRÉSEK TERMÉSZETI KÖRÜLMÉNYEI ÉS FELTÉTELEI A HOMOKKŐ MELLÉKKŐZETEKBEN

KOVÁCS FERENC
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

SOMOSVÁRI ZSOLT
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

A szénképződés során keletkezett gázok — elsősorban metán — jelentős része nem a széntelepekben, hanem a gáztárolásra alkalmas mellékkőzetekben halmozódott fel. A repedezett, porózus mellékkőzetekben a gáztárolás mértéke, a gázveszélyesség foka — adott körülmények között — esetenként nagyobb lehet, mint a széntelepekben. A mellékkőzetekben tárolt gáz mennyisége döntő részben a porozitástól, a pórusgáznyomástól és a kőzet gázadszorpciós képességétől függ.

A bányászati műveletek mélység felé hatolása során a terhelés növekedése következtében a gáztartalmú meddőkőzetek is kitörésveszélyessé válhatnak. A tapasztalatok szerint elsősorban a nagyobb porozitású homokkövekben jelentkezik a kitörésveszély. A homokkő mellékkőzetekben jelentkezett kitörésekről a Szovjetunióban, az NSZK-ban, Csehszlovákiában és Jugoszláviában vannak tapasztalatok. A kitörések a nagyobb szilárdságú homokkövekben 700—800 méter mélységben jelentkeztek először.

A kérdés vizsgálata hazai vonatkozásban is aktuális. A mecseki területen a mellékkőzetek jelentős része gáztárolásra alkalmas homokkő. Meddővágatok hajtása során már eddig is több alkalommal jelentkezett gázfelhalmozódás. A művelési mélység növekedésével arra lehet számítani, hogy a gázkitörésveszély nálunk is jelentkezni fog. Ezért célszerű a külföldi tapasztalatok alapján elemezni a meddőkőzetekben jelentkező gázkitörésveszély kérdéseit, a kőzetparaméterek és a veszély kapcsolatát. Az elemzés eredményei alapján kijelölhetők azok a földtani jellemzők, amelyek meghatározása már a geológiai kutatás során fontos annak érdekében, hogy a gázkitörésveszély várható mértékéről már a feltárást megelőzően is tájékoztatást kapjunk.

Az irodalmi adatokból megszerezhető külföldi tapasztalatok elemzése mellett röviden tájékoztatást adunk a mecseki homokkő mellékkőzetek vizsgálati eredményeiről is.

A kitörések *jelentkezési mélységét* elemezve megállapítható, hogy a széntelepekben a váratlan szén- és gázkitörések a gázos zóna megjelenésével együtt mutatkoznak, a helyi adottságoktól függően 100—500 m művelési mélységben. A kitörésveszélyes telepek szilárdsága általában kicsi, maximálisa 30—40 MPa az egyirányú nyomószilárdság.

A homokkő mellékkőzetekben a Donyec-medence Proletarszkaja-Glubokaja és Cseglovkaja-Glubokaja bányáiban 850—860 m mélységben jelentkeztek az első kitörések [1, 2]. A Ruhr-vidéken 600—700 méteres mélységben jelentkezett homokkőben a gázkitörésveszély [3]. Az 1000 m körüli mélységben már hat telep feküjében és egy telep fedő homokkőrétegében jelentkezett a kitörésveszély [17]. Az Osztrava-karvina-i medence Stazic bányájában 420 m-es mélységben a vegyes szelvényű vágat fekü homokkőpadjából jelentkezett a kitörés [16].

Rövid időn belül a mecseki területen is elérik a feltárási munkák ezt a mélységet. Ezért is indokolt a kérdés átfogó elemzése. Ha a veszély jelentkezésével számolni kell, szükséges a prognózis lehetőségek feltárása, a védekezési módszerek fejlesztése is.

A kőzetadottságokat elemezve részletesen foglalkoznak a szerzők a kitörésveszélyes homokkövek *ásványos összetételével.*

A [4] irodalom megállapításai szerint a kitörésveszélyes és a nem veszélyes homokkövek fizikai, mechanikai tulajdonságai lényegesen eltérhetnek egymástól. A kitörésveszélyes homokkövek döntő többsége kontakt típusú, szericites-kvarcos összetételű. A szemcseméret általában 0,10 mm-nél nagyobb, a kitörésveszélyes homokkövek kőzetanyaga ún. nagyszemcséjű.

Az [1] tanulmány szerint a Donyec-medencében a Petrovszkaja-Glubokaja bányában a kitörések leggyakrabban ott jelentkeznek, ahol a vágathajtás víz alatti hordalék eredetű, illetőleg meder homokkövekben folyik. A vizsgált homokkövek ásványtani összetétele a földpát-kvarcos anyagoktól az erősen kvarcos anyagokig terjed, utóbbiak különösen veszélyesek. A vizsgált területen a kitörésveszélyes anyagok kvarctörmelék tartalma 46—62%, a regenerációs kvarctartalma 7—11%. Az agyagásványok mennyisége 12—25%, a földpát és karbonátok aránya maximálisan 40%-ig terjed. A kitörésveszélyes homokkövek kontakt-porózus típusok. A kitörések szempontjából veszélytelen homokköveknél az aprószemcsés szerkezet a jellemző, a kvarctartalom kisebb, 36—54%, az agyagásvány és karbonáttartalom növekszik, 14—38%. A kitörésveszélyes homokkövek durvább szeműek, az átlagos szemnagyság 0,15—0,23 mm, a veszélytelenek esetében 0,09—0,19 mm.

A kérdéssel foglalkozó más tanulmányok megállapítása szerint is kvarcos, szericites-kvarcos anyagú, kontakt típusú kötőanyagú homokköveknél jelentkezik a kitörésveszély [2, 5, 6].

A Német Szövetségi Köztársaságban szerzett tapasztalatokról a [3] és [17] tanulmány számol be. A széntelepes összlet homokkő mellékkőzeteinek ásványtani vizsgálata alapján azt találták, hogy a kőzet porozitása és a kitörésveszélyesség emelkedik a kvarc- és földpáttartalom növekedésével, csökken viszont a filoszilikát- és karbonáttartalom emelkedésével. Minél nagyobb szerepet kap a kovasav mint az egyes szemeket összekötő anyag, annál kisebb a kőzet húzó- és nyomószilárdsága. A homokkövek jellegzetes kötőanyagát

képező filoszilikát és karbonátok részarányának növekedése ellentétes hatást eredményez. A kitörésre hajlamos homokkövekre jellemző még az is, hogy bennük a kvarc szemnagysága mintegy kétszer akkora, mint a kitörésre nem hajlamos kőzetben. A kitörések helyén vett fúrómagok anyagának permeabilitása igen nagy volt.

A Ruhr-vidéki adatokra hivatkozik a [7] tanulmány is. Megállapítása szerint a homokkövek áteresztőképessége a kvarctartalom növekedésével emelkedik, az agyagos és sziderites kötőanyag viszont csökkenti a permeabilitást.

A homokkövek porozitását és fajlagos felületét döntően befolyásolja az ásványi összetétel. A vizsgálatok szerint 15—25% agyagásvány tartalomnál a homokkövek porozitása 7—20%, fajlagos felülete 3,5—6,2 m^2/g. Ezzel szemben 70—99%-os agyagásvány tartalmú palásanyagok porozitása csak 4—9%, a fajlagos felülete viszont 14—19 m^2/g. Jó összehasonlító adat, hogy az őrölthomok (kvarc) fajlagos felülete 0,03 m^2/g, a kaolinos agyagé viszont 78 m^2/g.

Több szerző foglalkozik a *földtani viszonyok és a tektonika* kérdésével, a kitörésveszélyességet meghatározó szerepével. Az [1] tanulmány szerzője a Donyec-medencei adatok elemzése alapján a tektonika hatásoknak és a metamorfózisnak a szerepét abban látja, hogy ezek szabják meg azokat a fontosabb természeti tényezőket, amelyek a feszültségi állapot, a szilárdsági és deformációs tulajdonságok, a struktúra és gáztartalom alakulása kapcsán meghatározzák a kitörésveszély mértékét. A strukturális tektonikai viszonyok a homokkövekben kitöréseket elsősorban a lapos antiklinális gyűrődések és a boltozati szárnyak olyan területein eredményeznek, ahol a fő csapásra merőleges, harántirányú rátolódások és flexurák találhatók.

Az [5] tanulmány megemlíti, hogy veszélyfokozó szerepe van a rétegzettségtől eltérő irányú repedéseknek és mikrogyűrődéseknek.

A Ruhr-vidéki Ibbenbühren szénbányában szerzett tapasztalatok alapján a [3] tanulmány azt közli, hogy a homokkövekben jelentkezett kitörések döntő többsége vágathajtás során következett be, általában zavart tektonikai övezetekkel kapcsolatban. A tektonika közvetlen kitörést kiváltó szerepét azonban nem tudták bizonyítani, mivel a kitörések helye a vetőktől 70—120—360 m távolságban volt. Ugyanakkor a keresztvágatoknak a vetőhöz közelebb eső szakaszain nem jelentkezett kitörés. A szerző ezért a homokkő kitörések esetében megkérdőjelezi a vetők közvetlen szerepét. A [7] tanulmány szerint is igen bonyolult a tektonika és a kitörésveszély kapcsolata. A tektonikai elemek (vetők, gyűrődések) általában a kőzet természeti jellemzőinek megváltoztatása kapcsán vannak hatással a kitörésveszély jelentkezésére.

A tapasztalatok és a tönkremenetel feltételeit elemző vizsgálatok szerint a kitöréseknél igen jelentős szerepe van a *homokkövek szilárdságának*. A kitörésveszélyes homokkövek fizikai-mechanikai tulajdonságainak átfogó elemzése alapján általános tapasztalatként a [4] tanulmány szerzői megállapítják, hogy

a kitörésveszélyes homokkövek szilárdsága kétszer kisebb, mint a veszélytelen kőzeteké.

A kitörésveszélyes homokkövek szilárdsági jellemzőit laboratóriumi mérések alapján adja meg az [5] tanulmány. Az egyirányú nyomószilárdság 60—113 *MPa* határok között változott, az átlagos érték 80 *MPa*. A húzószilárdság értéke a rétegződéssel párhuzamosan 8—9,8 *MPa*, 8,5 *MPa* átlagos értékkel, a rétegződésre merőlegesen 4,7—9,2 *MPa*, 6,3 *MPa* átlagos értékkel. A nyírószilárdság 13,4—15,5 *MPa*, átlagos értéke 14,5 *MPa*. A statikus rugalmassági modulus $E = 14\,200—16\,300$ *MPa*. Feszültségi mérések alapján a szálban álló homokkő statikus rugalmassági modulusát 17 000 *MPa*-nak mérték.

Az [1] tanulmány közlése szerint a rugalmas és a nem rugalmas deformációs jellemzők jelentősen különböznek az eltérő veszélyességű homokköveknél. A kitörésveszélyes szakaszokon a homokkövek Protogyakonov szilárdsági száma 8—9, a szomszédos területeken, ahol nem jelentkezett a veszély, jellegzetesen magasabb 11—12-es értéket mértek. A homokkő részleges tehermentesítése, gáztartalmának csökkentése után a korábbi kitörésveszélyes és veszélytelen szakaszok is közel azonos szilárdsági jellemzőket (12—13-as Protogyakonov számú) mutattak.

A Stazic bányában a világosszürke homokkő egyirányú nyomószilárdsága 22—154 *MPa* között változott, a rugalmassági modulus $E = 3500—46\,700$ *MPa*. A bekövetkezett kitörés környezetében csökkent szilárdságú szakaszok voltak. Külön említi a szerző, hogy a kisebb szilárdságú homokkő minták rugalmassági modulusa viszonylag magas: $\sigma_D = 24$ *MPa*, $E = 14\,700$ *MPa* és $\sigma_D = 64$ *MPa*, $E = 12\,500$ *MPa* értékeket mértek [16].

A kitörésveszélyes kőzetek *gázdinamikai jellemzőit* is elemezték a homokkövekben jelentkezett kitörések kapcsán. A Donyec-medencei elemzések során a [4] irodalom megállapítja, hogy a kitörésveszélyes homokkövek fokozott pórusossággal jellemezhetők, *porozitásuk* általában kétszer nagyobb, mint a nem veszélyes homokköveknél. Ugyanezen a területen végzett elemzésekről számol be az [1] tanulmány is.

A porozitás mértékét összefüggésbe hozzák az ásványi összetétellel, a geológiai szerkezet sajátosságaival, az üledék felhalmozódási feltételeivel, a katagenetikus hatásokkal. Azonos katagenetikus hatások esetén legnagyobb porozitással az aluviális delta homokkövek rendelkeznek, az átmeneti és tengeri fácieseket kisebb porozitás jellemzi. A kitörésveszélyes homokkövek porozitása a mérések szerint 2,7—13,1% határok között változik, az átlagos porozitás 7,5%. A kitörések szempontjából veszélytelen homokköveknél az átlagos porozitás 5,1%. A metamorfózis által kevésbé érintett területeken a homokkövek porozitása a mélység növekedésével csökken. A krasznoarmejszki területen 100—400 m mélységben a porozitáscsökkenés gradiense 100 méterenként

2,5%. A csökkenés mértéke nagyobb mélységekben mérséklődik, 1300—1600 m-nél már csak 0,4—0,3%.

A mélység porozitáscsökkentő hatását a [2] tanulmány szerzői is megállapítják. A metamorf hatásoknak kitett területen 1000 m mélységben a homokkövek porozitása 2,5—4,0%. Általános értékelésként megállapítják a szerzők, hogy a gáztartalmú, kontakt típusú kötőanyagú szericites-kvarcos durvaszemű gázkitörésveszélyes homokkövek porozitása mindig nagyobb 6%-nál.

A Ruhr-vidéken tett megfigyelések, illetőleg vizsgálat alapján is hasonló eredményre jutottak a porozitás értékét illetően. A homokkövek porozitása 2,7—6,9% között változott azokon a szakaszokon, ahol a kitörésveszély nem jelentkezett. Ezzel szemben a kitörésveszélyes szakaszokon 9,9—14,1%, illetőleg 10,2—14,3% porozitásértékeket mértek. A vizsgálatok szerint a porozitás a kvarc- és földpáttartalom növekedésével emelkedik, a karbonát- és filoszilikáttartalom változása ezzel szemben ellentétes hatást eredményez, amint már a kőzet ásványtani összetételének elemzésénél erről említést tettünk.

Az Ostfeld bánya É-i akna mélyítése során bekövetkezett kitöréseknél a veszélyes szakaszokon a homokkő porozitása 8,9—9,2; 5,7—6,3; 6,3—9,2 és 5,4—7,7% között változott [16].

A saarbrücheni vizsgálatok szerint a kőzettani összetétel által meghatározott porozitás a mélység felé haladva 100 méterenként 2—4%-kal csökken, mivel a terhelés fokozódása a makropórusok jelentős részét összeroncsolja.

A gázdinamikai jellemzők között a *gáztartalom* és a *gáznyomás* is fontos szerepet játszik.

A Donyec-medencei vizsgálatok során megállapították, hogy a széntelepes összletben található minden homokkő gáztartalmú. A kitörésveszélyes homokkövek pórusaiban a gáz viszonylag nagy nyomás alatt található, a gáznyomás esetenként meghaladja a 100 bar-t (10 *MPa*) [4]. A homokkövekben kitörések csak a gázos zóna megjelenése alatti mélységben történtek. A homokkő kitörések az osztályon felüli besorolású bányákban jelentkeztek, a veszélyes szakaszok fokozott gáztartalommal rendelkeztek. A gáztartalom 0,7—4,0 m^3/t volt, 83,8—95,1%-os metántartalommal. A gázkitörésveszélyes homokkövek nagyobb szorpciós kapacitással tűnnek ki. A sztratigráfiai vizsgálatok szerint elsősorban a gázkitörésveszélyes széntelepek homokkő mellékkőzetei veszélyesek. A gáznyomás helyi adottságoktól függően széles határok között változik, gyakran eléri a 100 bar értéket is [1]. A Donyec-medencében a [2] tanulmány már idézett adatai szerint is 40—100 bar gáznyomás értékek jelentkeztek.

A gáz szerepének vizsgálata kapcsán a [9] tanulmány azt közli, hogy 28—36 bar gáznyomás alatt a vágathajtásnál nem jelentkezett veszély. Ugyanakkor a 40—50 bar fölötti gáznyomás már potenciális, illetőleg ténylegesen jelentkező veszélyt eredményez.

A Ruhr-vidéki tapasztalatok szerint is a fokozott mértékű gázfelszabadulás jellemzi a kitörési helyeket. A megfigyelt kitöréseknél a gáznyomás 60 bar

körüli érték volt, a kitörésveszélyes homokkő gáztartalma 2,7—3,6 m^3/t. A gázminták elemzési adatai szerint a metántartalom 84,4—98,2%.

Az Ostfeld bánya kitöréseinél a gáznyomás értékeket számítás alapján 85—100 bar-nak adták meg. A kitöréseknél mért fajlagos gázhozam 6,8; 1,1; 26,5; 3,7; 24,0; 7,0 és 2,0 m^3/t, átlagos értékként 10,1 m^3/t. Ez az érték 2,7—3,8-szerese a kitörésveszélyes homokkövek átlagos gáztartalmának. Ugyanaz a jelenség tehát — kisebb fajlagos gázhozam mellett —, amiről a széntelepek gázkitöréseinek elemzésénél a [18] tanulmány beszámol.

A csehszlovákiai Stazic bánya homokkő kitöréseinél is szokatlanul magas gázfejlődést észleltek [16].

A homokkő mellékkőzetekben bekövetkezett kitörések tapasztalatainak összegzése és elemzése mellett több szerző beszámol a *gázkitörésveszély jelentkezési feltételeinek elvi alapon történő* vizsgálatáról is. E vizsgálatok során a fő természeti paraméterek között a művelési mélység, a kőzet- és gáznyomás, a jelentkező terhelés és feszültség, a pórustérfogat és a gáztartalom, a szilárdság, a rugalmassági állandó szerepel. A megfigyelések értékelése, a kísérleti mérések minősítése során külön kiemelt jelentőséget kap a kőzetek szilárdságának, valamint a gáztartalom és a gáznyomás kapcsolata. Úgy tűnik, hogy a szilárdabb, nagyobb porozitású kőzetek tönkremeneteli feltételeinek kialakulásánál e kérdésnek döntő szerep jut.

A gáztartalom, a gáznyomás, valamint a szilárdsági és tönkremeneteli jellemzők kapcsolatát a homokkövek tulajdonságait elemezve részletesen vizsgálták a Donyec-medencében. A [4] tanulmány szerzői arról számolnak be, hogy a gáztartalom befolyásolja a kőzetek tulajdonságait és terhelés alatti viselkedését. Megállapításuk szerint a homokkövek szilárdsága és törékenysége metánnal való telítés hatására változik. A gáztartalom befolyásolja, meghatározza a feszültségi-deformációs állapotot. A gázok szerepe a belső feszültségek fokozásában, az anyag szilárdsági jellemzőinek csökkentésében és a szétrombolt anyag bányatérségbe való kivetésében nyilvánul meg.

A [10] előadás megállapítja, hogy a gáztartalom és a gáznyomás a kitörésveszélyes homokköveknél jelentősen befolyásolja a felületi energia nagyságát, ez a tényező számottevően módosítja a határ szakítófeszültséget. Adott feszültségállapot esetén a gáztényező elősegíti a tönkremenetelt, növeli a gázkitörésveszélyt. A metántartalom, a gáznyomás módosítja a homokkövek tönkremeneteli, törési energiáját. A metán szerepe nemcsak abban nyilvánul meg, hogy a pórusnyomás szétfeszítő hatást fejt ki. A nagy gáztartalom, illetőleg gáznyomás esetén a tényleges felületi energia növekedése azt tanúsítja, hogy a pórusteret és a repedéseket megtöltő metán a kőzetet ridegebbé teszi, a kőzetek ridegebbé válásával csökken a szakító- és törőszilárdság, a repedések és elválások mentén feszültség koncentráció növekedést eredményez, ennek következtében fokozott tönkremenetelt vált ki.

Az [1] tanulmány szerzői kísérletekkel igazolták, hogy a gázkitörésveszé-

lyes zónák homokkő anyagának szilárdsága 20—60 bar gáznyomás hatására átlagosan 30%-kal csökken. Nem kitörésveszélyes helyek kőzetanyagánál ugyanakkor ilyen hatást nem érzékeltek. Hasonló eredményeket kaptak a deformációs jellemzők vizsgálata során is. A kitörésveszélyes zónák homokkő anyagának próbatestjei deformációs foka a gáztelítettség növekedésével észrevehetően fokozódott.

Bányabeli vizsgálatokat is végeztek a kitörésveszélyes és a veszélytelen zónákban levő homokkő szilárdsági tényezőjére vonatkozóan. A fúrhatóságadatok alapján a kitörésveszélyes zónák gáznyomás alatti szakaszán a PROTODYAKONOV szám 8—9 volt, a veszélytelen zónákban 10—12. A veszélyes szakaszok gázmentesítése, föléfejtéssel való feszültségmentesítése után a vizsgált területen a szilárdsági tényező 12—13-as értékeket vett fel.

A homokkő mellékkőzetekben jelentkező kitörések körülményeinek vizsgálata alapján a [17] tanulmány megállapítja, hogy a kitörésveszély szempontjából legfontosabb jellemző a porozitás. A porozitás adott értéke teremt lehetőséget a gáztárolásra, csökkenti ugyanakkor a kőzet szilárdságát is. A karbonátos kötőanyag csökkenése, a szericites alkatrészek növekedése ugyancsak fokozza a veszélyt. Ezeken túlmenően az adott helyen jelentkező veszély mértékét befolyásolja a kitörésveszélyes réteg vastagsága, a jövesztés módja, a bányatérség jellege és a réteghez viszonyított helyzete.

A kitörések keletkezésének fizikai-mechanikai feltételeit meghatározó elvi vizsgálatok a kőzet-gáz kettős rendszer együttdolgozásának, terhelésfelvételének elemzése során a terhelés értékek és a teherviselő képesség (szilárdság) felírása alapján indultak el [4, 10, 11, 12, 13, 14].

A vizsgálatok során figyelembe vették, hogy a mélység növekedésével a gáztartalom, a kőzethőmérséklet emelkedik, a pórustérfogat, a gázáteresztőképesség csökken és ezek összhatásaként a pórusgáznyomás nő. A feszültség, az alakváltozás, a tönkremenetel kérdéseinek részletes elemzése alapján a gázkitörések keletkezési feltételeivel kapcsolatban rámutatnak a pórusgáznyomás és szilárdság szerepére, a pórustérfogat kitörésveszélyt befolyásoló hatására. Az elvi vizsgálatok alapján — hasonlóan a széntelepek vizsgálata során kapott eredményekhez — megállapították, hogy a kitöréseknél a pórusgáznyomásnak és a kőzetszilárdságnak alapvető szerepe van. A gáztartalom, a pórusnyomás számottevően csökkenti a szilárdságot. Ha ez a hatás nagyobb, mint a gáznyomás tehermentesítő hatása, akkor a feszültségállapot közelebb kerül a tönkremenetelhez, fajlagos térfogatcsökkenés esetén meggyorsítja, esetenként robbanásszerűvé teszi a tönkremeneteli folyamatot. A tönkremenetel feltételei kialakulásánál döntő szerepe a kezdeti hézagtényezőnek (porozitás), a pórusgáznyomásnak, az egyirányú nyomószilárdságnak és a rugalmassági modulusnak van.

A gázkitörések keletkezésének feltételeit és körülményeit fizikai-mechanikai elvi alapokon állva a [13] és [14] tanulmány szerzője határozza meg.

Ezekből az eredményekből kiindulva a [19] jelentésben adtuk meg azokat az összefüggéseket, amelyekkel a kitörésveszély feltételeit kijelölő természeti paraméterek számíthatók.

Ásvány- és kőzettani és mechanikai vizsgálatokat végeztünk abból a célból, hogy a mecseki liász terület vonatkozásában tájékozódjunk a homokkő mellékkőzetek gázkitörésveszélyességét illetően. A homokkő minták Pécsbánya és Zobák bányaüzemből származtak, a részletes vizsgálati eredményeket a [19] jelentés tartalmazza.

A minták anyaga szürke, tömött, középdurva szemű, ekvigranuláris, rétegzetlen homokkő volt.

A kőzet cementanyaga kripto-mikrokristályos kova — amelybe helyenként 0,05—0,20 mm átmérőjű kalcedon szferolitok ékelődnek —, és szericit, amely szálak, rostos kötegek és hajolt-préselt lemezek formájában részben az „alapanyag" ásványos komponenseinek egyike, részben az allitogén földpátok bomlásterméke. A kovás-szericites alapanyagba kalcit fészkek és karbonátos-pelites, kriptokristályos mezők ékelődnek. Ezek mérete általában 0,1—0,3 mm. A karbonátos anyag mennyisége 3—5%.

A kőzetben a cementanyag 30—38%, ebből 5—20% a kovás részlet, átlagban 10% a szericit.

A törmelékanyag 20—35%-a 0,20—0,40 mm átmérőjű, szögletes, nagyformájú, 0,05—0,20 mm-es egymásba fogazódott, kataklasztos szövetű kvarcokból álló kvarcit töredék, amelyekben a kvarcszemcsék között helyenként káliföldpát és szericit is felismerhető. Az anyag 20—37%-a kvarc egykristály töredék. Méretük 0,15—0,74 mm átmérő méretek között változik. Kataklasztos szövetű, szögletes kontúrú egyedek. A földpát, káliföldpát és plagioklász töredék 8—15%, amelyek mérete 0,15—1,03 mm átmérő között változik. Ezek kétharmad része legalább félig, de gyakran egészen szericitesen elbontódott. Egy százaléknál kevesebb a szericit-fillit és a kriptokristályos, porfiros szövetű, vulkanogén kőzettörmelék. Felismerhető elegyrészei földpát lécek és kvarc fenokristályok. A vizsgált kőzetben a törmelékszemcsék érintkezése 10%-ban hosszú, 60%-ban tangenciális és 30%-ban úszó.

A mechanikai vizsgálatok eredményei szerint a különböző helyekről származó homokkő minták egyirányú nyomószilárdsága 32—123 *MPa* szélső értékek között változik, a munkahelyenkénti átlagos értékek: 73, 82 és 84 *MPa*. Az egyirányú húzószilárdság 4—13 *MPa* értékek között változik, az átlagos érték 8—9 *MPa*. A kőzet ridegségét, ill. szívósságát kifejező q tényező (a folyáshatár és a nyomószilárdság hányadosa) 0,50—0,65—0,85. A belső súrlódási szög 50—54°. A rugalmassági modulus $E = 5500—5900—6400$ *MPa*. A Poisson-féle szám $m = 6{,}5—6{,}8—7{,}0$. A porozitás szélső értékei 1,65—5,71% között változnak, az átlagos értékek 2,0—2,6—3,4%.

A *gázkitörésveszélyes homokkövek* jellemzői és *hazai* elemzési adatok *összehasonlítása* alapján megállapítható, hogy az ásvány-kőzettani összetétel közel

azonos, bár a külföldi adatok ilyen vonatkozásban csak általános jellemzést adnak. (Magas kvarc-szericit, alacsonyabb karbonát, filoszilikát tartalom.) Az egyirányú nyomószilárdság és húzószilárdság adatai gyakorlatilag megegyeznek. Feltűnő ugyanakkor, hogy a rugalmassági modulus a pécsi—komlói homokköveknél csak fele-harmada annak, amit az irodalom a kitörésveszélyes homokkövekre megad. Igen jelentős eltérés van a porozitásra vonatkozó irodalmi adatok (6—14%) és a hazai kőzetek azonos jellemzői között. A vizsgált mecseki homokkövek maximális porozitás adata is kisebb (5,7%), mint amilyen értéket az irodalom a kitörésveszélyesség alsó határának megad. Az általunk mért átlagos értékek (2—3%) 4—6-szor kisebbek, mint a kitörésveszélyes homokkövek porozitása. A mellékkőzetek fajlagos gáztartalmát, a homokkövekben uralkodó pórusgáznyomást nem mértük. A mecseki tapasztalatok szerint a primér gáznyomás 2—6 bar, egy nagyságrenddel kisebb, mint a kitörésveszélyes körülményekre jellemző külföldi adatok.

A [13] és [14] tanulmány elvi vizsgálata alapján felírt összefüggések felhasználásával a [19] kutatás során megvizsgáltuk a *kitörések feltételeit.*

Először az összehasonlítás alapját adó donyeci kitörésveszélyes homokkövek adataival írtuk fel a kitörés feltételét az alábbi jellemzőkkel:

$$\bar{\sigma}_D = 60—113\ MPa \qquad \bar{\sigma}_z = 8—10\ MPa \qquad \bar{B} = 7—11$$

$$\bar{E} = 14\,200—16300\ MPa \qquad B = 8 \text{ (becsült érték)}$$

$$q = 0{,}7 \text{ (becsült érték).}$$

A $\bar{\sigma}_D = 86\ MPa$; $\bar{B} = 9$; $B = 8$ *és* $q = 0{,}7$ átlagértékekkel a kitörés létrejöttéhez szükséges pórusgáznyomás:

$$P_{max} > 3{,}5\ MPa = 35\ bar.$$

A tapasztalatok szerint a donyeci homokkő mellékkőzetekben $p_{max} = 40—100\ bar$, átlagértékben $p_{max} = 70\ bar$, ezért a kitörés feltétele kielégül.

Vizsgálataink szerint a mecseki homokkőmintáknál:

$q = 0{,}50—0{,}85$ $\quad \bar{\sigma}_D = 32—123\ MPa$ $\quad \bar{\sigma}_z = 4—13\ MPa$

$\bar{B} = 9—17$ $\quad \varnothing = 44—54°$ $\quad B = 6—9$

$E = 5500—6400\ MPa$ $\quad m = 6{,}8—8{,}2.$

A $\bar{\sigma}_D = 114\ MPa$; $q = 0{,}68$; $\bar{B} = 13$ és $B = 7{,}5$ átlagértékekkel a kitörés létrejöttéhez szükséges pórusgáznyomás

$$p_{max} > 4{,}3\ MPa = 43\ bar.$$

Ismereteink szerint az eddigi „in situ" pórusgáznyomás mérések $H = 500$ *m* körüli mélységben $p = 2-6$ *bar* körüli értékeket adtak. Ezen adatok alapján a műveletek jelenlegi mélységében a mecseki homokkövekben gázkitörés jelentkezése nem várható.

Az eddigi pórusgáznyomás adatok száma viszonylag csekély. Ezért kívánatos, hogy a jövőben minél több pórusgáznyomás mérést végezzenek a prognosztizálás megbízhatósága növelése érdekében.

Ismeretes az is, hogy a pórusgáznyomás a mélységgel sztochasztikus jelleggel növekszik. A mecseki területre vonatkozó adatok birtokában az adódik, hogy $H = 1000$ *m* mélységben $p = 15-20$ *bar* pórusgáznyomás várható. Ennek alapján megbízhatóan valószínűsíthető, hogy a mecseki liász medence eddig művelésbe vont területein még 900—1000 m mélységben sem lesz olyan pórusgáznyomás, ami a homokkövekben kőzet- és gázkitörést okozhatna.

A kitörésveszély elleni védekezéssel kapcsolatos kutatásokat ezért elsősorban a széntelepekben lejátszódó folyamatok, ill. jelenségek vizsgálatára, az ellenük való védekezés fejlesztésére kell irányítani. Ezzel párhuzamosan az új területek geológiai kutatása, a hagyományos bányaterületek művelése során arra kell törekedni, hogy a gáztartalmú homokkő mellékkőzetek kitörésveszélyességét meghatározó legfontosabb természeti paramétereket: az „in situ" állapotban mérhető maximális pórusgáznyomást (p_{max}), a kőzet egyirányú nyomószilárdságát (σ_D), belső súrlódási szögét ($\varnothing$), a kőzet ridegségét, ill. szívósságát kifejező nyomószilárdsági-folyási határ hányadost (q), az eredeti pórustérfogatot (e_0), a rugalmassági modulust (E) és a POISSON számot (m) a lehető legszélesebb körben és megbízható módszerekkel meghatározzuk.

IRODALOM

1. ABRAMOV F. A.—DIHTJAR A. A.: A kőzet- és gázkitörések vizsgálata a Donyec-medence bányáiban. Az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága által 1974. október 20—25 között Donyeckben rendezett szimpóziumon elhangzott előadás, 1974.
2. NIKOLIN, V. J.—J. J. KACSAN: Nyekotorüe fiziko-mehanicseszkie szvojsztva vübroszoopasznüh peszcsannyikov Donbassza. Fiziko-tehnicseszkie problemü razrabotki poleznüh iszkopaemüh. Akademija Nauk SzSzSzR Szibirszkie Otgyelenyie, **2**, 1969.
3. PAUL, K.: Outbursts of sandstone and methane from the adjacent strata of coal seams in the Federal Republic of Germany. Az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága által 1974. október 20—25. között Donyeckben rendezett szimpóziumon elhangzott előadás, 1974.
4. NIKOLIN V. J.—BOLSINSZKIJ, M. J.: A kitörésveszélyesség előrejelzése és a kőzet- és gázkitörések elleni küzdelem problémáinak főbb megoldásai a Donbassz mélybányáiban. Az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága által 1974. okt. 20—25. között Donyeckben rendezett szimpóziumon elhangzott előadás, 1974.
5. OSZIPOV SZ. N.—KESZSZARIJSZKIJ JU. V.: Kriogén folyadékok alkalmazási perspektívái a gázdinamikai jelenségek és a bányalevegő magas hőmérséklete elhárítása terén mély bányákban. Az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága által 1974. október 20—25 között Donyeckben rendezett szimpóziumon elhangzott előadás, 1974.
6. NIKOLIN, V. J.—B. A. LÜSZIKOV—V. L. SZVERZSEVSZKIJ: O procsnosztnüh szvojsztvah peszcsannyikov na bolysih glubinah. Sahtnoje Sztroityelsztvo, **3**, 1965.
7. FEJÉR L.: Szemelvények a bányagáz földtanából. A Mecseki Szénbányák 1973—74. évi küzdelme a váratlan szén- és gázkitörések ellen. 3 Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.

8. ZALESZSZKIJ, B. V.—J. P. TIMCSENKO: Harakterisztika fiziko-mehanicseszkih szvojsztv nyekotorüh tipov masszivnüh szusesztvenno kvarcevüh porod. „Szbornyik Szoprotyivljennoszty gornüh porod razrusenyiju pri dobüvanyii." Izdatyelysztvo AN SzSzSzR, 1962.
9. VOLOSIN N. E.—V. L. POLISCSUK—A. F. KLISKANY—E. J. TYIMOFEJEV—JU. P. ZUBARJEV: Rolj gaza v vübroszah porodü. Szbornyik trudov V. Vszeszojuznovo naucsno-tehnicseszkovo szovescsanyija po borbe sz vnyezapnümi vübroszami uglja i gaza. Izdatyelysztvo Nyedra. Moszkva, 1970.
10. ALEKSZEJEV A. D.—POLJAKOV N. Sz.: Az USzSzK Tudományos Akadémiája Intézetének munkái a „Szén-kőzet- és gázkitörések problémáival kapcsolatban." Az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága által 1974. október 20—25 között Donyeckben rendezett szimpóziumon elhangzott előadás, 1974.
11. PETUHOV I. M.—LINYKOV A. M.—SZIDOROV V. Sz.: A védőtelepek alkalmazásának elmélete, gyakorlata és hatékonyságának értékelése. Az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága által 1974. október 20—25 között Donyeckben rendezett szimpóziumon elhangzott előadás, 1974.
12. NME Földtani-Teleptani Tanszék: Zobák bányán a pillérhatásnak kitett területek kőzetfeszültségének feloldása a bányaművelés irányításával. Szm. 286-V-23/1975. Mecseki Szénbányák részére készített kutatási jelentés, 1975.
13. SOMOSVÁRI Zs.: Investigation of the deterioration of the rock-gas system to clarify the cause of rock and gas outbursts. Acta Geodaet., Geophys. et Montanist. Acad. Sci. Hung., **15**, (2—4), 257—269, 1980.
14. SOMOSVÁRI Zs.: Investigation of the load assumption of rock-gas systems, aiming at the detection of the causes of rock and gas outbursts. Acta Geodaet., Geophys. et Montanist. Acad. Sci. Hung., **15** (2—4), 271—294. 1980.
15. NME Bányaműveléstani Tanszék: A természeti paraméterek kapcsolata a gázkitörésveszéllyel és a védekezési módszerek eredményességével. Miskolc, 1978. december. Mecseki Szénbányák részére készített kutatási jelentés, 1978.
16. KOLASZA K.—L. CVIK: Vübrosz porodü i gaza na sahte Csehoszlovakii. Sahtnoe Sztroityelysztvo 7, 1974.
17. MENNEKING F.: Bányagáz-homokkő kitörések Északrajna Vesztfália Tartomány kőszénbányászatában. A váratlan szén- és gázkitörések X. kollokviuma, Pécs, 1979. szeptember 12—14.
18. KOVÁCS F.: Connection between the gas content and strength of rocks exposed to gas outburst danger. Acta Geodaetica, Geophysica et Montanistica, **16** (1), 115—130, 1981.
19. NME Bányaműveléstani Tanszék: A gázkitörésveszély jelentkezése a mellékkőzetekben A NIM Műszaki Fejlesztési Főosztály megbízása alapján készített Szm. 6-IV-1/1978. számú kutatási jelentés, 1978.

NATURAL CONDITIONS OF GAS RUNS IN SANDSTONE HOST ROCKS

F. KOVÁCS—ZS. SOMOSVÁRI

Abstract

Based on literature data the determination of mineralogical-petrological, mechanical and gas-dynamic characteristics are dealt with concerning sandstones of gas run. The parameter ranges in which the occurrence of gas run is expected, are given.

Based on the analytical data of the sandstone samples of the Liassic coal basin in the Mecsek Mountains the characteristic parameters of sandstones of Pécs and Komló are discussed.

Using the relationships between the conditions and realization of gas runs discussed in the related studies the pore gas pressure values producing the gas runs are c aculated. Based on this calculation it can be stated that e. g. in the Donetz-region the pore gas pressure is responsible for the rock destruction. At the same time, in the Mecsek area, in the mining depths of H = 600 to 1000 m no gas runs are expected according to the existing or expected pore gas pressure. Finally, suggestion is made to the systematic measurement of parameters determining the danger of gas runs.

The study was completed by using the material of the report No. 19.

НАТУРАЛЬНЫЕ ОБСТОЯТЕЛЬСТВА И УСЛОВИЯ ГАЗОВЫХ ИЗВЕРЖЕНИЙ В ПЕЩАНЫХ ВМЕШАЮЩИХ ПОРОДАХ

Ф. КОВАЧ—Ж. ШОМОШВАРИ

Резюме

В статье автор на основе литературных данных подробно занимается определением минералого-петрологических и газоводинамических характеристик газово-изверженно-опасных пещанников. Опишет те области параметров, в которых опасность извержения ожидается.

На основе данных анализа пещанных образов лиас области в районе Мечек излагаются характеристические параметры печских и комлойских песчанников.

Используя работы занимающиеся условиями возникновения и происхождения извержений, автор вычисляет значение давления газа в порах, вызивающий извержение. На основе данных можно определить, что давление газа в порах, например в донецкой области достаточно для того, чтобы вызвал испорчение породы. Однако в мечекской области при эксплуатационной глубине H—600—1000, найденное или ожиданное давление газа в порах таково, что не надо считать извержением пещанника. В статье предлагается систематически измерять параметры определяющих опасность извержения.

Работа включает в себя материал отчета [19].

ADALÉK
A HAZAI ERŐMŰÉPÍTÉSI PROGRAMHOZ

TARJÁN GUSZTÁV
AZ MTA RENDES TAGJA

Az OMFB 3-7901/1-T „*A hazai természeti erőforrások áttekintése*" l. Primer nyersanyagok (1980. szept.) tárgyú tanulmánya szerint az erőműépítési programban 50—50%-os atomerőmű-szénerőmű arány 2025-ig tartható, ha a teljes szénvagyont erőművi célra vesszük igénybe, és 2010—2015-ig tartható, ha a szén egyéb célú felhasználását is figyelembe vesszük. A szénkészletek kimerülési idejének hosszabb távra kitolásával ez időkig sem tartható az 50—50%-os részarány, s a „reálisabb" megoszlás különböző változatait a 2000. és 2030. évre a 14. táblázat tartalmazza (p. 130)*. Eszerint a szén- és atomenergia százalékos mennyisége:

	Szén%	Atom%	Együtt%
2000-ben	19—27	16—22	35—49
2030-ban	13—21	36—43	49—64

lesz. Vagyis a szén %-os részaránya a szén + atom energia összegében 2000-ben 19/35 = 54%, ill. 27/49 = 55% körüli lenne, és 2030-ban 13/49 = 27% és 21/64 = 33% között ingadozna.

Az 1980. évi 3,25 GW villamosenergia csúcsterheléssel szemben a későbbi csúcsterhelések, ill. addig megépítendő új erőmű kapacitások: (p. 128)

Év	Csúcs GW	Új erőmű GW
1990	8,7	4,2
2000	12,8	9,3
2010	18,8	16,5
2020	26,0	26,5
2030	36,0	38,0

A *jelenleg ismert* erőművi technológia mellett a teljes szénvagyonra létesíthető maximális szénerőművi kapacitás 15 GW, s ebben a lignit 9,5 GW (p.

* p. 130 (stb.) az OMFB-tanulmány oldalszámát jelzi.

128). A már épülő Paksi 1,7 GW-os atomerőművel együtt a hazai 15 GW szénerőmű kapacitás — további atomerőművek (és szénhidrogén bázisú erőművek) építése nélkül — 2010-ig fedezheti a villamos energiaszükségletet!

A (jelenleginél olcsóbb beruházású) nyomott tűzterű gőzkazánok *szénelgázosításhoz* kapcsolódó kombinált erőműtípusának fejlesztése máris előrehaladott stádiumban van, de az ezredfordulóig várhatóan a *tüzelőanyag cellás* erőművek is realizálásra érettek lesznek. A szénbázisú áramtermelés hatásfoka a jelenlegi kb. 33%-ról az első technológiával 40—42%-ra, a másodikkal 50% fölé (a jelenleginek 124, ill. 150%-ára) emelhető (p. 109). Vagyis a jelenlegi szénerőművi technológia 15 GW összes kapacitása 18,6, ill. 22,5 GW-ra (a Paksi 1,7 GW-tal 20,3, ill. 24,2 GW-ra) nőhet, azaz a ~2015—2018. évekig kitolódhat a pusztán hazai szénbázison alapuló erőműépítési program.

A hazai *uránérctermelés* — plutónium visszatáplálás nélkül — 4 GW erőművi kapacitásnak lehet bázisa (p. 50). A (Pakson is épülő) víz-víz típusú reaktorok helyett a távlatilag elkerülhetetlen szaporítóreaktorok és (a hagyományosakhoz képest olcsóbb) gyorsreaktorok alkalmazására (valamint a kiégett fűtőelemek reprocesszálására) nálunk csupán az ezredforduló után kerülhet majd sor. (Ezekben az urán energiatartalmából kb. 60-szor több hasznosítható, mint a könnyűvizes reaktorokban. Más bázison való atomenergia felszabadítás (pl. fúziós reaktor) gyakorlati megvalósítása 50 éven belül nem remélhető.)

A tanulmány 4. táblázata (p. 40) szerint 1979-es árszinten a villamosenergia fajlagos feldolgozóművi beruházási költsége (kFt/kW), feldolgozási költsége (f/kWh) s ebben az amortizáció százalékos részaránya (Am%), valamint az erőművek η% hatásfoka:

4500	3000	1500	urán
kcal/kg szén			
20,5	21	22	30 kFt/kW
98	100	105	143%
68	70	73	100%
66	69	73	93 f/kWh
96	100	106	135%
71	74	78	100%
83	81	79	85 Am%
33,0	31,8	30,7	31,8 η%

Eszerint a szénerőművek beruházási költsége az atomerőművekének 68—70—73%-a, fajlagos átalakítási költsége az atomerőművének 71—74—73%-a, s e költségnek szénnél 83—81—79%-át, uránnál 85%-át a beruházás amortizációja adja! A szenes erőmű (átlagos) beruházása a teljes vertikumének 71%-a, s a bányászaté annak 29%-a (p. 28, 2. táblázat). Vagyis az átlagos szénbánya

beruházási költsége 21 · 29/71 = 8,6 kFt/kW, s a teljes vertikumé ~21/0,71 = = 29,6 kFt/kW. Az uránbánya fajlagos beruházási költsége a szénbányákénak felére, ~4,3 kFt/kW-ra becsülhető, amivel a hasadóanyagos vertikumé 30 + + 4,3 = 34,3 kFt/kW-ra adódik. 29,6/34,3 = 86,5%, ill. 34,3/29,6 = 116% a szenes, ill. urános vertikumok viszonylagos beruházási költsége a szén javára. A tüzelőanyag fajlagos termelési költsége szénnél ~50, uránnál ~25 f/kWh, s a vertikumoké ~69 + 50 = 119, ill. 93 + 25 = 118 f/kWh, vagyis gyakorlatilag mindegyikre azonos.

Ámde a szenes erőművek és a szénbányák fajlagos beruházási költsége egyaránt a tanulmányban közölt számértékek alá szorítható.

A *hőerőmű* beruházását évi 1 tonna salak csökkenés (1976. évi) ~50 $-ral csökkenti [1]. Az erőművek fajlagos beruházási költségei az 1976-os adatokból 10%/év költségnövekedési faktorral számolhatók át 1979-es árszintre (p. 130). Azaz az 1976. évi 50 $ 1977-ben 55, 1978-ban 60,5, 1979-ben 66,5 $ értéket képvisel. A bánya és hőerőmű közé a szén hamutartalmát lecsökkentő szénelőkészítőművet építve, ennek költségét bőven fedezi a hőerőmű beruházásában elérhető megtakarítás. Pl. a 800 MW-os GAGARIN Hőerőmű évi 7,5 Mt nedves (n = 46%, h = 23%) = 4 Mt száraz (h_{sz} = 43%) szén elégetésével 4 · 0,43 = = 1,72 Mt salakot termel. 80% súlykihozatallal h_{sz} = 30%-ra csökkentve dúsítással a szénhamut, az évi salakmennyiség 0,8 · 4 · 0,30 = 0,96 Mt-ra csökken. Az 1,72 — 0,96 = 0,76 Mt/év salakcsökkenés (á 66,5 $) 50 M$ = 2,5 GFt erőműi beruházás-megtakarítással jár (50 Ft/$-ral számolva). 1000 MW-nál 3,1 GFt, 1 kW-nál 3,1 kFt erőműi megtakarítás adódik. 1000 MW-hoz tartozó nedves (ülepítőgépes vagy nehézszuszpenziós) széndúsítómű beruházása ~0,65 GFt-ra (száraz légszérelőműé ~0,3 GFt-ra) becsülhető. Az összes feldolgozóművi beruházás-megtakarítás 2,45 —(2,8) GFt/1000 MW = 2,45 —(2,8) kFt/kW. Vagyis az 1500 kcal/kg fűtőértékű lignit hőerőművének 22 kFt/kW-os fajlagos beruházási költsége 22 — 3,1 = 18,9 kFt/kW-ra (18,9/22 = 86%!), s a széndúsítómű beruházásával együtt nedves előkészítésnél ~19,55 (száraz előkészítésnél ~19,2) kFt/kW-ra (a dúsítás nélkülinek 89 (ill. 87)%-ára) csökken. A jövőben kiépíthető lignites erőművek együtt 9,5 GW-ot képviselnek (p. 128); a lignitdúsítással elérhető 9,5 · 2,45 = 23,3 (ill. 9,5 · 2,8 = 26,6) GFt feldolgozóművi beruházás-megtakarítás egymaga fedezi egy 1230 MW-os (ill. 1400 MW-os) hőerőmű beruházását!

A vertikum beruházási költségében 29% = 8,6 kFt/kW az átlagos *bánya* beruházási költsége. Ez is jelentősen csökkenthető (az üzemi költség egyidejű lényeges csökkenése mellett), ha a lignittelepek agyagos-homokos takarórétegének letakarítását — a jelenleg (THOREZ-bányán is) alkalmazott gépmonstrumláncok helyett — hidraulikusan, nagynyomású vízsugárágyúkkal végezzük. Az ilyen technológia minden más gépesítési megoldásnál egyszerűbb; beruházási költsége 5—7-szer kisebb (!), fajlagos teljesítménye 2—3-szor nagyobb (a kis kiszolgáló létszám miatt), önköltsége 2—3-szor kisebb, mint az egyéb

technológiáké. A különböző technológiák önköltségének alakulása szovjet adatok szerint: [2]

	letakarítás	szállítás	önköltség	
			kopek/m³	%
a	exkavátor	teherautó	72 ± 25	330
b	exkavátor	vasút	58 ± 12	260
c	bagger, közvetlen átrakással		48 ± 18	220
d	hidromechanizáció		22 ± 8	100

Mindezek alapján — ha az OMFB-tanulmány és [1], [2] számadatai helytállóak — nyilvánvaló a villamosenergia-termelés vertikumának minél kisebb beruházási és termelési költséggel való minél gazdaságosabb megvalósítása érdekében levonható következtetés: 1. Az ezredfordulóig — a már építés alatt álló Paksi atomerőműtől eltekintve — csakis szénbázisú hőerőművek épüljenek; további atomerőművek építésére csak az ezredforduló után kerüljön sor (amikor már szaporító és gyorsreaktorok alkalmazhatók). 2. A bánya és erőmű közé az erőműbe kerülő szén hamujának lecsökkentése céljából mindenütt (s ha lehetőség van rá, hazai konstrukciójú nagy teljesítményű légszérekkel) szénelőkészítőmű építendő. 3. A külfejtéses lignitbányák meddő takarórétegének letakarítása hidraulikus technológiával történjék.

IRODALOM

1. Quillan, R. M.—S. Venkateran: Economics count in coal preparation. Coal Mining and Processing, 1976. Sept., 81—83.
2. Patvaros J.: Hozzászólás dr. Tarján Gusztáv: „Hidraulikus technológia kell Bükkőbrányban?" című tanulmányához. BKL-Bányászat, **113**, 48—49, 1980.

A NYERSVASÉRC DÚSÍTÁSÁNAK GAZDASÁGOSSÁGÁRÓL

TARJÁN GUSZTÁV
AZ MTA RENDES TAGJA

Hazai nagyolvasztóink nyersérc ellátásának zöme (~84%-a) a krivojrogi (SZU) vasércből való. A különböző Fe%-tartalmú krivojrogi aglóhematit ércek SiO_2% tartalma $SiO_2\% \cong 0{,}75\,(100 - Fe\%/0{,}7)$ képlettel számítható, és 1 t nyersvas termeléshez a nagyolvasztóban

$$k \cong 480 + 460(SiO_2/Fe) = 480 + (345 - 494\,Fe)/Fe = 34\,500/Fe\% - 14 \text{ kg}$$

kokszfogyasztás tartozik. A kohókoksz jelenlegi ára 170—180 $/t között változik; 50 Ft/$-ral számolva 8500—9000 Ft/t, s a közepes 175 $/t-val ~8750 Ft/t koksz-ár adódik. Az 1. táblázat különböző Fe% tartalmakhoz tartozó SiO_2%, k kg/t nyersvas és A Ft/t nyersvas kokszköltség értékeket mutat.

1. táblázat

Fe%	SiO_2%	k kg/t	A Ft/t
49	22,5	691	6050
50	21,4	677	5920
54	17,2	627	5490
60	10,7	562	4920
64	6,4	526	4610
66	4,2	509	4450
68	2,1	494	4320

A k kg/t fajlagos kokszfogyasztás az 1. táblázatban közölt értékeknél alacsonyabbra is szorítható a nagyolvasztó üzemeltetésében végrehajtott különböző intézkedésekkel, amilyenek pl. a fúvószél nedvességének csökkentése, hőmérsékletének és oxigéntartalmának növelése, földgáz vagy más tüzelőanyag injektálása, nagyobb gáznyomás alkalmazása, önjáró bázikus zsugorítmánykeverék, mészkő helyett égetett mész vagy oltott mész alkalmazása, a koksz-minőség javítása (kisebb hamu és kéntartalomra), a zsugorítmány portartalmának csökkentése (kiszitálása), ill. granulometriai osztályozása stb. Mindezeknek az „egyéb" intézkedéseknek *együttes* alkalmazása a gyakorlatban kb. további 100 kg/t-val csökkentheti a fajlagos kokszfogyasztást.

1978-ban a hazai nagyolvasztók $k = 689$ kg/t nyersvas fajlagos kokszfogyasztással dolgoztak, 2,4 Mt/év nyersvastermeléshez 1,654 Mt 14,46 GFt értékű kokszot használva el. Az 1. táblázat adatai szerint ~49% Fe és ~22,5% SiO_2 körüli lehetett az 1978-ban feladott nyersérc átlagos minősége. Pl. 1973-ban még ~54% Fe, 17% SiO_2 volt a krivojrogi átlagos ércszállítmány. Ilyen összetételű nyersércből — a NME Ásványelőkészítési tanszékén végzett vizsgálatok szerint — 0,6 mm alá őrlése után erősmezős nedves mágneses szeparálással $s = 76\%$ súlykihozatallal és $m = 90\%$ Fe-kihozatallal 64% Fe, 6,4% SiO_2 tartalmú koncentrátum nyerhető. A meddőtermék ekkor 22,5% Fe-tartalmú. (Finomabbra őrléssel a Fe-kihozatal 2—3%-kal megnövelhető!) (A tanszéken — szabadalommal védett — hazai konstrukciójú erősmezős nedves mágneses szeparátort is kifejlesztettek.)

Azonos (64% Fe, 6,4% SiO_2) minőségű koncentrátum 49% Fe-tartalmú nyersércből — ha a meddőtermék változatlanul 22,5% Fe-tartalmú lesz — 64% súly- és ~83,5% Fe-kihozatallal, s ha a meddő Fe-tartalma — a nyersérc minőségével arányosan változva — $22{,}5 \cdot 49/54 = 20{,}4\%$ lesz, 65,5% súly- és 85,6% Fe-kihozatallal várható. A számtani közepesekkel számolhatunk: $s = 64{,}75\%$ és $m = 84{,}6\%$.

2,4 Mt nyersvas 3,74 Mt 64% Fe-tartalmú koncentrátumból nyerhető, amit 4,95 Mt 54% Fe, ill. 5,78 Mt 49% Fe-tartalmú nyersérc dúsításával kapunk:

Fe%	100	64	54	49
100/Fe	1,0	1,56	1,85	2,04
m%		100	90	84,6
(100/Fe)/m		1,56	2,06	2,41
Mt/év	2,4	3,74	4,95	5,78

~6,5 Mt/év kapacitású (autogénőrlő malmokkal, erősmezős nedves szeparátorokkal berendezett) dúsítómű beruházási költsége ~1,5 GFt-ra becsülhető. 49 (ill. 54) Fe%-tartalmú nyersérc helyett 64 Fe%-os koncentrátummal dolgozva a nagyolvasztóban a fajlagos kokszfogyasztás $\Delta k = 165$ (ill. 101) kg-mal, s a kokszköltség $\Delta A = 1440$ (ill. 880) Ft-tal csökken pro t nyersvas. 2,4 Mt/év nyersvasnál 0,396 (ill. 0,242) Mt/év a kokszfogyasztás és 3,46 (ill. 2,12) GFt/év a kokszköltség csökkenése. (A dúsítómű beruházását tehát pusztán a kokszköltségben jelentkező megtakarítás is $<0{,}5$ (ill. ~0,7) év alatt megtéríti!)

[Ennél jóval komplikáltabb technológiájú szovjet tervjavaslat szerint (kúpostörőkkel 10 mm-re aprított érc átlagosítása és ülepítőgépeken dúsítása, a maradvány golyósmalmokkal 70% <70 μm alá őrlése, gyengemezős, majd erősmezős mágneses szeparálása) évi 4 Mt 49% Fe (65% hematit, 6% magnetit, 22% kvarc, 7% egyéb ásvány) tartalmú krivojrogi érc dúsítóművének beru-

házási költsége 97 MRbl (≃2,0 GFt), amit egyéb kapcsolódó beruházások (lakótelep, bányaépítés a dúsítási meddővel elvitt fémveszteség pótlására stb., 164 MRbl-re (≃3,2 GFt) növelnek. A szovjet technológia szerinti dúsítás 72,3% súly-, 87,4% Fe-kihozatallal 59,6% Fe, 11% SiO_2-tartalmú koncentrátumot eredményez a tervjavaslat szerint.]

A 3,74 Mt/év dúsítmánynak kb. 60%-a (= 2,25 Mt) 100 μm-nél finomabb; ennek darabosítására pelletezőmű építése szükséges. (A 100 μm-nél durvábbszemű 1,5 Mt a meglevő zsugorítószalagokra mehet.) 2,3 Mt/év kapacitású pelletezőmű beruházási költsége 1975-ben 30 M$ volt, jelenleg ennek kb. másfélszerese (~45 M$ ≃ 2,25 GFt) lehet. A dúsító és pelletező művek együttes beruházása 1,5 + 2,25 = 3,75 GFt, ami a kokszköltségben elérhető 3,46 (2,12) GFt/év megtakarítással 1,1 (1,8) év alatt megtérül.

A dúsítás révén nemcsak kokszmegtakarítás jelentkezik, hanem a nagyolvasztók termelékenysége is jelentősen (1,6—1,8-szorosára!) növekedik. A kokszmegtakarítás és a termelékenység növekedés a nagyolvasztók üzemi költségét jelentős mértékben csökkenti.

49% helyett 64% Fe-tartalmú érc adagolásakor a nyersvastermelésben 1978-ban felhasznált 1,654 Mt kohókoksszal — újabb kohók építése nélkül — 2,4 Mt helyett 2,4 · 691/526 = 3,16 Mt/év nyersvasat lehetne termelni, amihez 5,78 · 3,16/2,4 = 7,60 Mt (49% Fe-tartalmú) nyersérc dúsítására lenne szükség. A termelékenység ~1,7-szeres növekedésével számolva — újabb kohó építése nélkül — 1,7 · 2,4 = 4,1 Mt/év nyersvas nyerhető a meglevő nagyolvasztókban, 5,78 · 4,1/2,4 = 10 Mt/év 49% Fe-tartalmú nyersérc 64% Fe-tartalmú koncentrátummá dúsítása útján, 4,1 · 0,526 = 2,16 Mt (~19 GFt költségű) kohókoksz felhasználásával.

Acélgyártás a nagyolvasztókban kohókoksz felhasználásával előállított nyersvasból SIEMENS—MARTIN kemencékben (SM) vagy oxigénes konverterekben (Ox), és acélhulladékból vagy kis (<2%) SiO_2-tartalmú szuperkoncentrátum ill. ebből készített pellet vasszivaccsá preredukált anyagából ívfényes elektrokemencékben (El) — a kohókokszot fogyasztó nagyolvasztó teljes kikapcsolásával — a szokványos (SM vagy Ox) acélgyártásnál kisebb primerenergia felhasználással történhet. A preredukálás szilárd vagy gázalakú redukálószerrel 1000 C° körüli hőmérsékleten történik, amikor is a vasoxid oxigén tartalma nagy részétől megszabadul és fémes vasszivaccsá alakul.

Az egyes acélgyártási technológiák összes primerenergia szükségletét a gyártás folyamán keletkező kohógázok hőenergiájának 100%-os hasznosításával (A), ill. enélkül (B) a 2. táblázat közli. (FARKAS OTTÓnak az MTA 1980. évi közgyűlési tudományos ülésén tartott előadása, és RÉPÁSI GELLÉRTnek a BKL-Bányászat 1978. évi 5. számában megjelent közleménye szerint.) Az A-adatok a kohógázok energiájának hasznosításával jelenleg elérhető optimális értékek, a B-adatok az USA 1969. évi (a kohógázok energiájának hasznosítása nélküli) tényadatai. A hazai acélgyártás teljes primerenergia felhasználása

2. táblázat

	GJ/t	
	A)	B)
SM	18,67	24,3
Ox	19,61	26,3
El a)	16,60	21,8
El b)	6,31	11,5

a) vasszivaccsal
b) acélhulladékkal

1978-ban 30 GJ/t volt. A kohókoksz- és nyersvastermelésre a teljes (B) primerenergia-felhasználásnak SM-nél 21 + 42 = 63%-a, Ox-nál 20 + 38 = 58%-a esik. Nem igényel nyersvasat és kohókokszot az El-eljárás, amelynek összes (B) primerenergia igénye vasszivacs esetében ~21,8/25,3 = 86%-a (acélhulladék feldolgozásakor ~45%-a) csupán a nagyolvasztó nyersvasát feldolgozó szokványos (SM vagy Ox) acélgyártásének. (1 kWh villamos energiát — a hőerőművek ~33%-os hatásfokára tekintettel — 3,6 MJ helyett 3 · 3,6 = 10,8 MJ primerszén-energiával számolva!)

Nyomott tűzterű gőzkazánok szénelgázosításához kapcsolódó kombinált erőműtípusával — ilyenek fejlesztése máris előrehaladott stádiumban van — az áramtermelés hatásfoka a jelenlegi ~33%-ról 40—42%-ra növelhető. Az ezredfordulóig az 50%-nál is jobb hatásfokú tüzelőanyag-cellás erőművek is realizálásra érettek lesznek. A szénbázisú erőművek áramtermelését 33% helyett ~41, ill. 50%-os hatásfokkal számolva az El-acélgyártás fajlagos primerenergia szükséglete 10,8 MJ/kWh-ról 8,8, ill. 7,2 MJ/kWh-ra (a jelenleginek 81, ill. 66%-ára) csökken, s a primerenergia igény 21,8 GJ/t-ról 17,5, ill. 14,3 GJ/t-ra változik. Vagyis ekkor az El-acélgyártás primerenergia igénye csupán 70, ill. 57%-a lesz a 25,3 GJ/t energiaigényű (SM + Ox)-eljárásokénak. (Az Sm és Ox eljárások között egyébként B) esetben 108, (ill. 93)%, A) esetben 105, (ill. 95)% eltérés mutatkozik az SM javára! Az Ox-eljárás a legnagyobb primerenergia igényű.)

A 3. táblázat a SM: Ox: El acélgyártási eljárások 1980. évi %-os megoszlását mutatja a világ acéltermelésében, s annak a KGST és „egyéb" (kapitalista) részében; egyes országok adatait külön is felsorolva. A „többi" ország közül 1980-ban SM > 40%-os volt: Lengyel 47, NDK 63, Jugoszlávia 40, Török 52, India 58; SM = 0%-os: Anglia, Belgium, Hollandia, Luxemburg Finnország, Norvégia, Portugália, Dél-Afrika, Tajvan; El > 40%-os: Anglia 41, Itália 53, Dánia 76, Svéd 44, Norvég 46, Spanyol 49, Mexikó 42, Argentína 54, Chile 98, Venezuela 65, Tajvan 67; Ox = 0%-os — Magyarország mellett — csupán Dánia és Venezuela.

A 4. táblázat különböző években közli az acélgyártási eljárások %-os megoszlását az USA-ban és Magyarországon. Látható, hogy az SM eljárás

rohamosan csökken, s az 1990-re tervezett hazai megoszlás kb. az USA 1970. évi állapotának felel meg. (BKL-kohászat, 1981. 12. sz. o. 521 és 536.)

A szokványos (SM és Ox) eljárások helyett vasszivacsos El-eljárást alkalmazva jelenleg (33% hőerőmű hatásfoknál) ~25,3—21,8 = 3,5 GJ/t (s a hazai 1978. évi 30 GJ/t tényleges értékhez viszonyítva ~8,2 GJ/t) primerenergia megtakarítás adódik. A hazai ~4 Mt/év acéltermelésben az El-részesedést pl. 10—20—30%-kal növelve rendre 1,4—2,8—4,2 PJ/év (s az 1978. évi 30 GJ/t-val számolva 3,5—6,6—9,8 PJ/év) lenne a primerenergia megtakarítás. (50%-os áramtermelési hatásfoknál Δ = 25,3—14,3 = 11 GJ/t lévén, a megtakarítás PJ/év számadatai 11/3,5 = 3,14-szer nagyobbak lesznek, vagyis rendre 4,4—8,8—13,2 PJ/év értékekre jutunk.)

Számos direktredukciós technológia van, legelterjedtebb közöttük jelenleg a Midrex-eljárás. (1979-ben 9, 1980-ban 16 ilyen üzemelt, 15 építés alatt, 11 rendelés alatt volt; 1982/83-ig előreláthatólag ~40 Midrex lesz üzemben a 0,5—1,2 Mt/év kapacitással. A direktredukciós üzemek 1980. évi 50 Mt összes kapacitása 1985-ig 80 Mt/év körüli értékre nőhet. (Tonindustrie-Zeitung 1978, Heft 2, o. 58 és TIZ 1979, Heft 2, o. 85 és 118, BKL-Kohászat 1981, 11. sz., o. 497.) A Midrex-üzem fajlagos beruházási költsége ~40%-kal kisebb a szokványos eljárásénál. Az üzemi költség is lényegesen kisebb kohókoksz nem kell, a munkáslétszám kisebb, az organizáció egyszerűbb), egyéb

3. táblázat

	SM	Ox	El	1980	
				Mt	%
Világ	23	55	22	651*	100
KGST	59	30	11	196	30
Egyéb	7	68	25	455	70
SZU	61	29	10	149	22,9
Japán	—	75	25	111	17,1
USA	12	61	27	102	15,7
NSzK	2	78	20	44	6,8
Itália	2	45	53	27	4,1
Magyar	91	—	9	4	0,6
Többi	14	61	25	214	32,8

* A világ össztermelésének ~90%-a

4. táblázat

	Év	SM	Ox	El
USA	1965	72	19	9
	1969	42	44	14
	1975	19	62	19
	1980	12	61	27
Magyar	1975	92	—	8
	1980	91	—	9
	1985*	47	42	11
	1990*	30	51	19

* Tervezett

előnyök mellett az üzembiztonság és a szabályozási lehetőség is kedvezőbb, mint a szokványos acélgyártási technológiáké. Direktredukciós El-eljárás alkalmazásával tehát jelentős energia-, beruházási és üzemi költség megtakarítás érhető el!

A NME Ásványelőkészítési tanszékén végzett labor-kísérletek bizonyítják mármost, hogy a krivojrogi aglóhematitból (célszerűen annak 64% Fe-tar-

talmú előkoncentrátumából, továbbőrlés utáni mágneses szeparálással) 2%-nál kisebb (akár 0,5—1%) SiO_2-tartalmú szuperkoncentrátum is előállítható. Pl. a 64% Fe-tartalmú előkoncentrátumból s = 30—40—50 súly%-kal választva le 68,5% Fe, 1,6% SiO_2-tartalmú szuperkoncentrátumot, a (100 — s) = 70—60—50 súly% maradvány Fe-tartalma sorban 62—61—59,6% lesz (s a nagyolvasztóba fémveszteség nélkül feladható). Vagy pl. 25—30—35% Fe-tartalmú (eldobható) meddőterméket választva le a 64% Fe-tartalmú előkoncentrátumból, a 68,5% Fe, 1,6% SiO_2-tartalmú szuperkoncentrátum súlykihozatala rendre s = 89,6—88,4—85,6%, fémkihozatala m = 95,9—94,6—91,6% lesz. (A 49% Fe-tartalmú nyersércre vonatkoztatva s = 58,0—57,3—55,5% és m = 81,1—80,1—77,6%.)

Hazai acéltermelésünk fejlesztése jelenleg (az elavult SM-eljárás helyett) Ox-acélművek építésével történik. A jövő fejlesztés útja az El-acélgyártásnak a lehetőség szerint minél kiterjedtebb alkalmazása, a nagyolvasztókban előállított nyersvas helyett vasszivaccsá preredukált szuperkoncentrátum feldolgozásával. S a meglevő nagyolvasztókat „addig is" 49% Fe-tartalmú nyersérc helyett ~64% Fe-tartalmú koncentrátummal kell üzemeltetni, a vasércdúsítómű mielőbbi megvalósításával.

METEOROLÓGIAI TUDOMÁNYOS NAPOK 1980. NOV. 20—21.

ÉGHAJLATI VILÁGPROGRAM — AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁSOK KUTATÁSÁNAK JELENTŐSÉGE, LEHETŐSÉGEI ÉS PROBLÉMÁI

GÖTZ GUSZTÁV
A FÖLDTUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

Bevezetés

BRADBURY egyik tudományos-fantasztikus novellájában az időutazó véletlenül lelép arról az anyagtalan „járdáról", amely megakadályozza, hogy a múltban járva kárt okozzon abban. Lelép, és agyontapos egy pillangót, amely egy madár tápláléka lenne. A madár nem lakik jól, s így nem lesz tápláléka egy . . . Végeredményben, mire az utazó visszatér ezer évekkel későbbi korába, megváltozott az emberek külseje, történelme — az agyontaposott pillangó miatt.

A novella, műfajának szabályai szerint, fantáziaképpel illusztrálja az ember és a természeti környezet kapcsolatát. Ám hogy ez a kölcsönhatás létezik, valamint annak a lehetősége, hogy az emberi tevékenység — esetleg visszafordíthatatlanul — a jövő számára kedvezőtlen irányban változtatja meg a környező világot, már régen nem csupán fantázia.

Az emberi környezettel foglalkozó első jelentős nemzetközi konferencia az ENSZ kezdeményezésére 1972 júniusában ült össze Stockholmban. Ezen a konferencián a szakértők hangsúlyozták, hogy Földünk éghajlata a természeti környezet részét képezi, és mint ilyen, alapvető fontosságú az ember léte és jóléte szempontjából. A konferencia fontos dokumentuma volt az ún. *SMIC-jelentés*, amelyben vezető amerikai tudósok fejtették ki véleményüket az embernek az éghajlatra gyakorolt hatásáról (SMIC, 1971). Az éghajlat változékonysága és lehetséges változása mind ez ideig lényegében előrejelezhetetlen — állapították meg a résztvevők —, pedig az ilyen típusú prognózisoknak igen nagy haszna volna mind az iparosodott, mind pedig a fejlődő országok gazdaságának folyamatos fejlesztésében. Ezért a konferencia 79d számú határozatában javasolta, hogy a WMO az ICSU-val együttműködve:

„. . . folytassa a Globális Légkörkutatási Program (GARP) végrehajtását a légkör általános cirkulációjának és a klímaváltozás okainak jobb megértése érdekében, továbbá annak eldöntése céljából, hogy vajon ezek az okok természeti eredetűek-e, vagy az emberi tevékenység követ kezményei".

A határozat szövegében szereplő *Globális Légkörkutatási Program* az 1970-es évtized nagyszabású nemzetközi tudományos együttműködése volt, amelynek lebonyolításáról a WMO és az ICSU 1967-ben állapodott meg (GÖTZ,

1977). A GARP első célkitűzéseként a légkör tranziens viselkedésének a megismerését és ezen keresztül a rövid- és középtávú előrejelzések megbízhatóságának a javítását jelölték meg. Második GARP-célkitűzésként ugyan ott szerepelt a Program definíciójában a klímával kapcsolatos problémakör vizsgálata, komolyabb figyelemben csak a stockholmi ENSZ-konferenciát követően részesült.

A GARP irányító testületének a javaslatára a WMO és az ICSU az ENSZ környezetvédelmi programjának (UNEP) bevonásával 1974 nyarán nemzetközi tanulmányi konferenciát hívott össze a Stockholm melletti Wijkben az éghajlat és az éghajlat-modellezés fizikai alapjaival összefüggő kérdések megvitatására. A konferenciáról kiadott zárójelentés (GARP, 1975) minden korábbi anyagnál részletesebben és alaposabban foglalt össze olyan aktuális problémákat, mint

— az éghajlati rendszer megfigyelt változékonysága;
— a klíma-modellezés alapelvei;
— a klíma-modellek tervezése és azok alkalmazása az érzékenységi és előrejelezhetőségi vizsgálatokban; illetve
— a klíma-modellekbe beépítendő fizikai, kémiai és biológiai folyamatok;

és kidolgozta a globális éghajlat modellezéséhez nélkülözhetetlen adatok gyűjtésének programját.

A zároközlemény leszögezi: az éghajlat a múltban számos alkalommal változott, és ezért joggal tételezhetjük fel, hogy a jövőben is változni fog. Az éghajlat évszázadokon, évezredeken keresztül formálta a civilizációkat, melyeknek jelenlegi jellegzetességei (elsősorban az élelmiszer termelése) az elmúlt évtizedek, illetve évszázad klímájához igazodtak. Számos példa igazolja, hogy Földünk éghajlatának ingadozásai milyen súlyosan érintik az emberiséget, annak életét és jólétét. Ez a jövőben is így lesz, még akkor is, ha egyedül a természeti eredetű klímaváltozások maradnak jelentősek. Ám maga az ember szándékolatlanul is hozzájárulhat ilyen változásokhoz vagy ingadozásokhoz.

A wijki konferencia által javasolt széles körű nemzetközi együttműködés kialakítása érdekében a GARP irányító testülete 1974 novemberében Budapesten tartott ülésén kidolgozta a Globális Légkörkutatási Program *klímadinamikai alprogramját*, a WMO Végrehajtó Bizottságának 27. ülése (1975) pedig újra életre hívta az éghajlatváltozások szakértői bizottságát. Miközben a szervezési munka párhuzamos szálakon szövődött, számos tekintélyes konferencia — a többi között az 1974-es római világélelmezési konferencia, az 1976-os vancouveri településügyi konferencia, az 1977-es Mar del Plata-i vízügyi konferencia, valamint az ugyancsak 1977-ben Nairobiban az elsivatagosodás problémáit tárgyaló konferencia — sürgetett hatékonyabb nemzetközi tevékenységet az éghajlati ismeretek bővítése és azoknak a társadalmi-gazdasági tervezésben történő alkalmazása terén.

A WMO Végrehajtó Bizottsága a 29. ülésén (1977) fontos határozatot hozott. Felkérte a Világszervezet főtitkárát, hogy eszközöljön megfelelő intézkedéseket részben egy magas szintű tudományos és technikai *éghajlati világkonferencia* összehívása, részben pedig egy *éghajlati világprogram* kidolgozása érdekében.

Az *Éghajlati Világkonferencia*, több mint 350 szakértő részvételével, 1979 februárjában ült össze Genfben. A konferencia első hetében felkért előadók 24 áttekintő előadást tartottak a klíma különböző problémáiról, majd a második héten 120 meghívott szakértő tanulmányozta a javasolt Éghajlati Világprogram komponenseit érintő kérdéseket. A Világkonferencia egy deklaráció megfogalmazásával zárult, amely kéréssel fordult a világ nemzeteihez: hasznosítsák a lehető legteljesebb mértékben az éghajlatról már megszerzett ismereteket, tegyenek lépéseket eme ismeretek jelentős bővítésére, lássák előre és akadályozzák meg mindazokat a potenciális ember-okozta éghajlatváltozásokat, amelyek ártalmasak lehetnek az emberiség jólétére (WMO, 1979a).

A deklaráció záró szavai így hangzanak:

„Az emberiség hosszú időre szóló fennmaradása a társadalom és a természet harmóniájának megteremtésétől függ. Az éghajlat csak az egyik jellemzője természeti környezetünknek, amelyet bölcsen kell hasznosítanunk. A környezet összes eleme közvetlenül és közvetetten egyaránt kölcsönhatásban áll egymással. A társadalom a környezet egyik nemzeti vagy földrajzi térségében bekövetkező romlásával szemben sem lehet közömbös, mivel az befolyásolhatja más tájak éghajlatát. A világ nemzeteinek együtt kell munkálkodniok azon, hogy megőrizzék a talajok termőképességét, hogy megakadályozzák a világ vízkészleteinek, erdőségeinek és termőterületeinek ésszerűtlen kihasználását, hogy megfékezzék az elsivatagosodást, továbbá hogy csökkentsék a légkör és az óceánok szennyeződését. A nemzetek ezen tettei nagy elszántságot és megfelelő anyagi forrásokat igényelnek, értelmet pedig csak akkor nyerhetnek, ha a világ békében él."

Az Éghajlati Világprogram

Az Éghajlati Világprogram létrehozását a Meteorológiai Világszervezet VIII. Kongresszusának (Genf, 1979) 29. sz. határozata mondja ki (WMO, 1980). A Program kialakításában a Kongresszus résztvevőit a következő szempontok vezérelték:

— Bármely földrajzi térségnek, vagy a Földnek mint egésznek az éghajlata számos erő érzékeny és örökké változó egyensúlyának a következménye. Ezen erők között ott szerepel a Nap, a légkör, az óceánok, a poláris tartományok hó- és jégtakarója, a sivatagok, valamint az élőlények összességének rendszere.

— Ebben az egyensúlyban és az eredő éghajlatban változások igen széles időskálán jelentkezhetnek: a változások az évek közötti ingadozásoktól az évtizedeket, évszázadokat és évezredeket felölelő fokozatosabb klímaváltozásokig terjednek.

— Az éghajlat ingadozásai és annak változása az emberi tevékenység széles köre, különösen pedig a világ élelmiszer-előállítása szempontjából komoly horderejű tényezők.
— Az ember tevékenysége valószínűleg egyre növekvő hatást fejt ki a globális éghajlatra.
— Sürgősen szükség van behatóbb kutatásra annak érdekében, hogy alaposabban megértsük a klíma változásának és ingadozásainak a természetét, és ezen ismeretek birtokában képesek legyünk kifejleszteni az éghajlati előrejelzések módszereit.
— Az ilyen jellegű kutatás multidiszciplináris természetű és más nemzetközi testületeknek a WMO-val történő együttműködését igényli.
— Az Éghajlati Világkonferencia deklarációja felhívással fordul az összes nemzethez, hogy a legteljesebb mértékben támogassa a Meteorológiai Világszervezet Éghajlati Világprogramját.
— A nemzeteknek azonnali szükségük van arra, hogy alkalmazzák az éghajlatról és az éghajlatingadozásokról már meglevő ismereteket a társadalmi és gazdasági fejlődés tervezése során.
— Az Éghajlati Világprogramot csak békés célokra szabad felhasználni, és — összhangban az Egyesült Nemzetek Szövetsége Alapokmányának cikkelyeivel, valamint a Meteorológiai Világszervezet szellemével és hagyományaival — kellő figyelmet kell fordítani az országok nemzeti szuverenitására és biztonságára.

Az Éghajlati Világprogramot a következő négy összetevő alkotja:

1. *Éghajlati adatprogram*

Az Éghajlati Világprogram ezen komponensének a célja az, hogy javítsa a megbízható adatok hozzáférésének lehetőségeit a program célkitűzéseinek megvalósítása érdekében.

A klímakutatás céljaira a szakértők az adatok három típusát különböztetik meg:

a) meteorológiai, oceanográfiai, hidrológiai és geofizikai adatok;
b) biológiai és ökológiai adatok;
c) szociológiai és ökonómiai adatok.

A nemzetközi együttműködés elsődleges feladatát az (a)-típusú adatok beszerzése képezi, mivel ezek jelentik az alapját a világ múltbeli és jelenlegi éghajlati képe dokumentálásának. Az éghajlati hatások elemzése, valamint az elért kutatási eredmények alkalmazása ezen kívül igényel még (b)- és (c)-típusú adatokat is; ezeknek a begyűjtése olykor túlnő a WMO kompetenciáján, és ezért a megfelelő nemzetközi szaktestületek közreműködését követeli meg.

2. *Az éghajlati alkalmazások programja*

A világ számos részén immár elegendő információ gyűlt össze ahhoz, hogy segítségével hasznos alkalmazott klimatológiai szolgáltatásokat lehessen végezni. Ezek a szolgáltatások igen értékesek lehetnek a szociális és gazdasági fejlődés tervezésénél és a napi döntések meghozatalánál. Az éghajlati információ alkalmazásával ugyanis a tervezők és kivitelezők mérsékelhetik a társadalomnak az éghajlati szélsőségekkel szembeni érzékenységét. Ezen a téren azonban még csak a kezdetnél tartunk: a fejlődő országokban általában hiányoznak az adatok és a kellő tapasztalat, míg máshol a klímával kapcsolatos kérdéseknél alkalmazandó hatékony módszerek várnak kidolgozásra.

Az alkalmazási program fő célja, hogy ráirányítsa az emberek — és elsősorban a döntések meghozatalára jogosult személyek — figyelmét: mekkora értéke van az alkalmazott klimatológiai ismereteknek a szociális és gazdasági problémák megoldásában, továbbá, hogy biztosítsa ezeknek az ismereteknek a hozzáférhetőségét.

A tervezési és végrehajtási tevékenység tág köre érzékeny az éghajlatra; ezek között talán a leginkább az élelmiszertermelés, az energia- és vízkészletgazdálkodás, valamint az emberi egészség- és településügy emelhető ki. Nyilvánvaló tehát, hogy ennek a programnak az eredményes végrehajtása csakis széles körű együttműködéssel — klimatológusok, mezőgazdászok, mérnökök, orvosok s. í. t. összefogásával — remélhető.

3. *Az éghajlati hatások tanulmányozásának programja*

Az ember és a természeti környezet kölcsönhatásának tényéről már előadásunk bevezetőjében említést tettünk. *Kölcsönhatásról* lévén szó, kérdésfeltevésünk kettős lehet:

— milyen hatást fejt ki az éghajlat változása és változékonysága a társadalomra?

és

— mi a társadalom hatása az éghajlat változására és változékonyságára?

Az *első kérdést* illetően előadásunkban már több utalás történt. Az éghajlat befolyásolja egészségünket és munkavégző képességünket, lakóhelyünk, településünk jellegzetességeit, a mezőgazdaság összes típusát, a fakitermelést, a halászatot, az energia termelését és felhasználását, az ipari és kereskedelmi tevékenységet, a szállítást, a távközlést, továbbá a közszolgáltatások számos formáját. Az éghajlat hatásának a jellege egy adott térségben részben a klímafluktuáció természetétől, részben pedig a társadalom természetétől függ. Így például az extrémumok fellépésének lehet közvetlen, azonnali hatása (árvizek vagy fagyok), és lehetnek fokozatos következményei (mint pl. a szárazság vagy az örök fagy esetében). Ami pedig a társadalmi sajátosságokat illeti, a

klíma ingadozása különösen érzékenyen hat a gazdaságilag fejletlen országokban, a háború sújtotta területeken, továbbá ott, ahol a lakosság nagy része írástudatlan és szegénységben él, az ország tartalékai korlátozottak, a technika elmaradott, hiányoznak a szakemberek és az ország felkészületlen az elemi csapások által okozott ínség elleni küzdelemre. Az ilyen országokban az éghajlat változékonysága könnyen vezethet gazdasági katasztrófához és súlyos szenvedéshez, különösen a lakosság szegényebb rétegeinek a körében. A klímának a társadalomra gyakorolt hatása tehát összetett kérdés, és — miként az az Éghajlati Világkonferencia előadásaiból és a viták során is kitűnt — az éghajlat felfogható *erőforrásként*, amelyet meg kell tanulnunk okosan kiaknázni, de jelentkezhet olyan *problémaként* is, amely sürgős megoldásra vár (WMO, 1979b).

Tekintsük most a *második kérdést*. A civilizáció megszületése óta az emberiség tanúja az éghajlat változásainak, de mindmáig soha nem lehetett semmiféle olyan nagytérségű változást kimutatni, ami egyértelműen az emberi tevékenységre volna visszavezethető. A népesség nagy száma és gyors ütemű növekedése, továbbá a cselekvési kör rohamos szélesedése azonban mára elvezetett oda, hogy az ember képesnek látszik bolygónk éghajlatát a következő néhány generáción belül szándékolatlanul olyan mértékben megváltoztatni, ami már összevethető a természeti eredetű nagyobb klímaváltozásokkal. A legfontosabb ilyen jellegű tevékenység sorába tartozik a széndioxid (és más, az infravörös sugárzást elnyelő gázok) emissziója, a talajfelszín jellegének a megváltoztatása, a felső légkör kémiai összetételének (pl. ózontartalmának) a megváltoztatása, a levegő szennyezése, a hőkibocsátás, az időjárás mesterséges befolyásolása és (potenciális veszélyként) a kérdés háborús vonatkozásai.

Az éghajlatról alkotott tudományos ismeretek mai állása nem teszi lehetővé azt, hogy megbízhatóan előrelássuk az emberi tevékenységből fakadó valószínű változásoknak akár a természetét, akár pedig a mértékét. A legújabb becslések arra utalnak, hogy az éghajlat jövőjét, legalábbis a század végéig, még főleg a természetes geofizikai folyamatok fogják irányítani. Azt azonban már ismereteink jelenlegi szintjén is határozottan állíthatjuk, hogy ha meghatározott tevékenységi körök a mostani intenzitással folytatódnak vagy netán fokozódnak, akkor azok a későbbi évtizedekben olyan változásokat indukálhatnak éghajlatunkban, amelyeknek már komoly hatása lesz az emberiség sorsára.

Az említett problémákkal önmagában egyetlen nemzet sem birkózhat meg. A kedvezőtlen klimatikus hatások bölcs kivédése, az éghajlatváltozásokra való tervszerű felkészülés és a károsnak, esetleg végzetesnek tűnő tevékenységek felszámolása kizárólag nemzetközi összefogással valósítható meg. Ennek végrehajtására hivatott az éghajlati hatások tanulmányozásának programja.

4. *Az éghajlatváltozás és az éghajlatingadozások kutatásának programja*

Az Éghajlati Világprogram kutatási összetevőjének keretében arra a kérdésre kell választ találni, hogy a klíma ingadozásai és változásai miért, hogyan és hol lépnek fel, s e válaszok birtokában meg kell kísérelni jövőbeli fellépésük előrejelzését. Ennek megfelelően a kutatásoknak két fő célja van: az éghajlat előrejelezhetőségének a vizsgálata, valamint annak a problémának a tisztázása, hogy milyen mértékben hat az ember az éghajlatra.

Hogy ez a két célkitűzés elérhető legyen,

a) tökéletesíteni kell ismereteinket a globális és regionális éghajlatok vonatkozásában, fel kell tárnunk az éghajlatok időbeli változásait és azokat a mechanizmusokat, amelyek e változásokért felelősek;

b) bizonyítékokat kell keresni arra, hogy vannak-e szignifikáns trendek az éghajlat globális és regionális alakulásában;

c) olyan fizikai-matematikai modelleket kell kidolgozni, illetve tökéletesíteni, amelyek a tér-idő skála széles tartományában alkalmasak az éghajlati rendszer szimulálására és előrejelezhetőségének megbecslésére;

d) vizsgálni kell az éghajlatnak a lehetséges természeti és ember okozta kényszerekkel szembeni érzékenységét, és fel kell mérni azokat a klímaváltozásokat, amelyeket egyes meghatározott diszturbáló hatások kiválthatnak.

Státusát tekintve az Éghajlati Világprogram kutatási összetevője különbözik a másik három komponenstől. A klímakutatási célkitűzések megvalósítására ugyanis a WMO az ICSU-val 1979 őszén hosszú lejáratú egyezményt írt alá, amely a téma irányítására vonatkozóan egy egyesített WMO/ICSU tudományos bizottság létrehozásáról intézkedik. Az egyezmény szövegében a közös terv *Éghajlatkutatási Világprogram* néven is szerepel, ami szintén ennek az összetevőnek a megkülönböztetett helyzetét hivatott kifejezni.

Az egyezmény 1980. január 1-i hatállyal lépett érvénybe, felváltva a két szervezetnek a Globális Légkörkutatási Program lebonyolításáról szóló 1967-ben kötött megállapodását. Ami az egyezmény megkötésének hátterét illeti, e helyen elég két szempontot említenünk. Egyrészt az Éghajlatkutatási Világprogram tennivalói és az 1980-as évek *klímadinamikai dekáddá* nyilvánításának a gondolata már évekkel korábban, a GARP klímadinamikai alprogramjának a keretében megfogalmazódtak. Másrészt a GARP bebizonyította, hogy hatékony nemzetközi *tudományos* együttműködést csak a nemzeti szolgálatokat összefogó, kormányszinten működő testület (a WMO), és a nemzeti tudományos akadémiákat, egyetemi intézményeket és egyéb kutatóhelyeket egyesítő unió (az ICSU) szoros kooperációjával lehet elérni.

A klímakutatás lehetőségei

A klimatológia hosszú időn keresztül a kiválasztott térség megfigyelési adatsorainak statisztikai rendezését és az eredmények területi összehasonlítását (az éghajlat osztályozását) jelentette. Leíró és összehasonlító jellege olyannyira dominált, hogy műveléséhez nem is kellett valakinek okvetlenül meteorológusnak vallania magát; a tudományág hovatartozását illetően ma is gyakran találkozunk azzal a nézettel, hogy Földünk éghajlata a *geográfiának* képezi szerves részét.

A „fordulat esztendeje" ez esetben pontosan kijelölhető: 1955. Ennek az évnek az októberében NEUMANN JÁNOS kezdeményezésére konferenciát rendeztek a princetoni *Institute for Advanced Study*-ban annak a kérdésnek a megvitatására, hogy miként alkalmazható a numerikus integrációs technika az általános légkörzés problémájának a vizsgálatában. Ezen a konferencián mutatta be NORMANN A. PHILLIPS a légkör általános cirkulációjának első számítógépes modelljét, megnyitva ezzel az utat az objektív, oknyomozó éghajlattan előtt (PHILLIPS, 1960).

Hangsúlyozzuk, hogy a *klímadiagnosztika* a kutatás nélkülözhetetlen alapja: a Föld éghajlatának átfogó kvantitatív leírása az Éghajlatkutatási Világprogramnak is az egyik feladatát képezi. Természetesen a kutatásokhoz az éghajlatnak a hagyományos klimatográfiai módszerekkel elértnél teljesebb statisztikai jellemzésére van szükség — így például ahhoz, hogy az éghajlati rendszerre ható perturbációk következményeit elemezni lehessen, a magasabb statisztikai momentumokat is meg kell határozni. Be kell vonni továbbá ebbe a vizsgálati körbe az óceánokat is. Marad a létjogosultsága az ún. szinoptikus klimatológiai vizsgálatoknak: a kutatási tervek igénylik az ismeretét annak, hogy vajon jelentkeznek-e hirtelen eltolódások a ciklonpályákban, változások a blocking gyakoriságában stb. Végül a légköri állapotjelzők és a légkörön kívüli paraméterek (pl. napállandó, hó és jégtakaró, tengerhőmérséklet) közötti korrelációk kiszámítása segít majd annak a problémának az eldöntésében, hogy az éghajlat megfigyelt változékonysága milyen mértékben származik az éghajlati rendszer véletlenszerű belső fluktuációiból, és milyen mértékben a különböző külső kényszerekből.

A modern klímakutatásnak azonban a diagnosztikánál tovább is kell lépnie. Mindenekelőtt azt kell felderítenie, hogy melyek a *klimatológiailag szignifikáns folyamatok*. Kvalitatív ismereteink alapján könnyű azonnal sorolni ilyeneket: az óceánok folyamatai, a különböző biogeokémiai ciklusok, a felhők és azok sugárzási folyamatai, az aerozolok és azok különböző vonatkozásai, a hidrológiai ciklus, a talajfelszín és a krioszféra folyamatai vagy a naptevékenység — ám annál nehezebb ezek kvantitatív szerepét eldönteni. Ezen kívül választ remél a társadalom az *éghajlat előrejelezhetőségét* illetően, továbbá arra a kérdésre is, hogy *milyen érzékeny az éghajlat* a különböző határfeltételekre

(napsugárzás, albedó, vegetáció, az óceán és a légkör érintkezési felületének folyamatai stb.), a légkör összetételére (széndioxid, ózon, halogénezett szénhidrogének stb.), valamint ez utóbbihoz kapcsolódva az emberi behatásokra.

Jelenlegi elképzeléseink szerint erre a továbblépésre a lehetőséget az *éghajlati modellek* kifejlesztése teremti meg. A modellezési technika alkalmazása az, amely kvantitatív formában teszi lehetővé az éghajlati rendszerben ható és az éghajlatot kollektíve meghatározó különböző fizikai, kémiai és biológiai folyamatok leírását.

Az éghajlati prognózisok problémájának első objektív megfogalmazása NEUMANN JÁNOStól származik. A már említett 1955-ös princetoni konferencián elhangzott előadásának néhány mondatát érdemes szó szerint idézni:

„Az előrejelzés problémáját vizsgálva célszerű a légköri mozgásokat a prognózis időskálájától függően három különböző kategóriába sorolni. Az első kategóriába azok a mozgások tartoznak, amelyeket lényegében a kezdeti feltételek határoznak meg, s ezért ebben az esetben a kezdeti tendenciák egy rövid időszakra extrapolálhatók. A második kategóriában az ellenkező véglet van, nevezetesen azok a mozgások, amelyek gyakorlatilag függetlenek a kezdeti feltételektől. Ha e mozgások előrejelzését tűzzük ki feladatul, tulajdonképpen azoknak a cirkulációknak a jellemvonásaira vagyunk kíváncsiak, amelyek átlagosan mindig jelen vannak. Mármost mindannyian tudjuk, hogy teljes mértékben soha semmilyen mozgás nem független a kezdeti feltételektől. Ha például elkészítünk két előrejelzést, mindkettőt ugyanazoknak az egyenleteknek és ugyanazoknak a kényszerfüggvényeknek a segítségével, de az egyik előrejelzésnél egy jelenlegi időjárási helyzetnek megfelelő kezdeti feltételeket választunk, míg a másiknál a kezdeti feltételek egy százmillió évvel ezelőtt volt időjárási helyzetnek felelnek meg, akkor adott időszak után teljesen különböző prognosztizált mozgásképekhez juthatunk. Általában azonban úgy véljük, hogy azok a különböző lehetséges kezdeti állapotok, amelyeken a légkör áthalad, valahogyan csoportokat alkotnak, olyanformán, hogy mindegyik csoport hosszú távon ugyanahhoz a statisztikai átlaghoz vezet, míg két különböző csoport két szignifikánsan különböző átlagot eredményez. Így különböző általános éghajlati feltételekhez jutunk, attól függően, hogy kezdeti feltételeink melyik csoportba tartoznak.

E két szélsőséges eset között van a mozgásoknak egy harmadik kategóriája. Ennél a kategóriánál már elegendően távol vagyunk a kiindulási állapottól ahhoz, hogy a kezdeti feltételek részletei ne tükröződjenek világosan abban, ami kifejlődött. Ezért szóba se jöhet az, hogy a végső állapotból visszakövetkeztessünk a kezdeti feltételekre. Ugyanakkor azonban a kezdeti feltételek bizonyos jellegzetességei jelentős hatással vannak a cirkuláció később felvett formájára. A 30-tól 180 napra szóló előrejelzések problémája — tehát például az, hogy megmondjuk: egy évszak miként fejeződik majd be, vagy a következő évszak hogyan kezdődik el, ismerve azt, hogy az évszak milyen formában indult — olyan mozgásokhoz kapcsolódik, amelyek ebbe a kategóriába tartoznak.

Az általános tapasztalat szerint teljesen plauzibilis, hogy bármely matematikai problémánál a legkönnyebb a rövidebb periódusokra érvényes megoldást meghatározni, tehát az olyan periódusokra szóló megoldást, amelyeknél az extrapolációs paraméter aránylag kicsiny. A rangsorban a megoldás következő nehézségi fokát az aszimptotikus feltételek meghatározása képezi — tehát azoknak a feltételeknek, amelyek olyan periódusokon át érvényesülnek, amelyekre az extrapolációs paraméter igen nagy, mondjuk közel végtelen. Végül a legnehezebb a közbeeső táv problémája, amelynél az extrapolációs paraméter sem nem igen kicsiny, sem nem nagyon nagy" (NEUMANN, 1960).

NEUMANN JÁNOSnak ez a nagyon világos problémafelvetése, amelyet tragikus halála előtt alig tizenöt hónappal fejtett ki, s amelyet a későbbi konkrét kutatások csak megerősítettek, bennünket is kötelez. Használjuk ezért ki a magyar nyelvben rejlő lehetőségeket, és fogadjuk el a következő definíciókat.

Adott területen

— az *idő* a légkör pillanatnyi állapota,
— az *időjárás* a légköri állapotok egymásutánja,
— az *éghajlat* a légköri állapotok összessége.

Az éghajlatnak ez az egyszerű — különben a „hivatalosan" elfogadottal (WMO, 1966) is egyező — meghatározása felvet egy fontos kérdést, nevezetesen az *időbeliség* problémáját. Erre a kérdésre a következő fejezetben még visszatérünk; most elég annyit említenünk, hogy éghajlatként a *véges, de elegendően hosszú időszak* során fellépett légköri állapotoknak az összességét tekintjük. Az időszakot *végesnek* kell megválasztanunk, mert ellenkező esetben az éghajlat ingadozásai vagy változásai értelmüket vesztik. Az *elegendően hosszú* időszak kimondásának szintén „technikai" oka van: a légköri állapotok összességének *leírására* matematikai statisztikai módszereket alkalmazunk, az állapotok eloszlásfüggvényeinek ismeretlen állandóira vonatkozóan azonban reális következtetés csak elegendően nagy számú minta alapján tehető.

Az elmondottak szerint a klíma modellezésének a metodikája az, hogy a kiválasztott éghajlati modell alapegyenleteit elegendően hosszú időintervallumra integrálva előállítjuk a légköri állapotoknak azt a sokaságát, amelynek a statisztikai paraméterei remélhetőleg megközelítik a tényleges éghajlat statisztikai paramétereit. Mivel a kezdeti feltételektől független „éghajlati állapot" az extrapolációs paraméter növelésével aszimptotikusan áll be, ezért az ilyen típusú számításokat *aszimptotikus számításoknak* is szokták nevezni.

Az éghajlat modellezésének gyökerei az 1950-es és 60-as évek első általános cirkulációs modelljeihez nyúlnak vissza. Ezeknek a kezdeti modelleknek az egyszerű (de a maguk idejében igen ambiciózus) céljuk az volt, hogy feltárják a baroklin instabilitás szerepét az index-ciklusban, és viszont: az index-ciklus szerepét a sugárzási gradiens kiegyensúlyozásában. A durva elhanyagolások ellenére ezekkel a modellekkel számos éghajlati sajátosságot sikerült reprodukálni: a felszíni nyomás meridionális eloszlását, az ehhez kapcsolódó csapadékprofilt és a szabad légkör más karakterisztikáit, beleértve az energia és az impulzus egyensúlyának szétválasztását. A feladat annak a kérdésnek az eldöntése volt, hogy vajon az ilyen viszonylag egyszerű modellek alkalmasak-e az általános cirkuláció és az éghajlat tulajdonságainak — tehát egy bizonyos időszakos éghajlati aszimptotikus állapotnak — a szimulálására. Hidrodinamikailag a kezdeti modellek legegyszerűbb típusa is sokkal bonyolultabb volt a mai „egyszerű éghajlati modelleknél". Sokan kételkedtek is abban, hogy már elegendő ismeretanyag gyűlt egybe ahhoz, hogy ezekben a modellekben a baroklin instabilitást és az index-ciklust parametrizálni lehessen. De — mint SMAGORINSKY (1979) visszaemlékezik —

„. . . . bíztunk a nyers erőszakkal történő közelítésben, abban, hogy a részletek néhány perces időlépcső alkalmazásával történő integrálása egy lehetséges útja a halmazkarakterisztikák előállításának".

Az azóta eltelt húsz esztendő hatalmas fejlődést hozott. Az éghajlati modellek különböző típusainak gyakorlatilag folytonos spektrumát dolgozták ki, a hierarchia alján álló egydimenziós (vertikális) modellektől, amelyek csak a sugárzás és a konvekció egyensúlyát hivatottak leírni, egészen a fizikailag igen összetett háromdimenziós, időfüggő modellekig. A mai nézetek szerint ugyanis nem létezik egyetlen, minden célra alkalmas modell. Bármelyik modellnek megvannak a maga különleges előnyei és hátrányai — tehát azok a tulajdonságok, amelyek a szóban forgó modellt a kitűzött feladat megoldására különösen alkalmassá teszik. Ez az általános igazság fokozottan érvényes azoknak az extrapolációs paramétereknek az esetére, amelyeket a statisztikai egyensúly eléréséhez alkalmaznunk kell.

A klíma modellezésének mai fő feladata a szimulált statisztikai egyensúly érvényességének az elemzése; ez az ún. *validitás problémája*. A problémakör a többi között felöleli a szimulált éghajlat részletes évszakos és térbeli szerkezetének vizsgálatát, az átlagok és a varianciák analízisével együtt, valamint a szimulált hidrológiai ciklus összes komponensének részletes vizsgálatát. Egy másik kiemelt feladat az óceán-légkör-krioszféra rendszer állandó kölcsönhatásainak a reprodukálása.

A klímakutatás problémái

Az éghajlat kutatása a lehetőségek mellett egy sor komoly problémát is előtérbe helyez. Most ezek közül tekintünk át néhányat.

Az első probléma, amint arra már az előző fejezetben is utaltunk, az *éghajlat definíciójával* függ össze. Ott az éghajlatot „a véges, de elegendően hosszú időszak során fellépett légköri állapotoknak az összességeként" definiáltuk, azaz időbeliségét tekintve egy olyan kompromisszum bevezetésével, amely *még* megengedi az éghajlatnak a múló idővel való változását, de *már* lehetővé teszi a légköri állapotok többváltozós idősorai összes statisztikai tulajdonságának (átlagértékek, varianciák, időbeli és térbeli kovarianciák, és az összes magasabb momentumok) kiszámítását, azaz az így definiált éghajlat leírását. A gyakorlatban általánosan követett konvenció az, hogy a tekintett időszakot 30 évnek választjuk. Leith (1977) azonban kifejtette, hogy az éghajlatnak egy ilyen kompromisszumos, az időszak hosszának megválasztását illetően teljesen önkényes definíciója célszerűtlen és alkalmatlan arra, hogy a klímaelmélet precíz matematikai kereteit felépítsük. Rámutatott arra, hogy itt tulajdonképpen ugyanazzal az általános nehézséggel állunk szemben, mint amikor több mint egy évszázaddal ezelőtt a termodinamika statisztikus mechanikai alapját igyekeztek megformulázni. Ennél az analógiánál a gázmolekulák egyedi mozgása felel meg a légköri állapotok egymásutánjának, azaz az időjárásnak, a gáz statisztikai tulajdonságai (amilyen a hőmérséklet vagy a nyomás) pedig az éghaj-

lat tulajdonságainak. Tehát ott is az a helyzet, hogy ha olyan eseteket kívánunk vizsgálni, amelyekben a hőmérséklet és a nyomás változik, nem szabad azokat végtelen időátlagok segítségével definiálni.

A statisztikus mechanikában ezt a nehézséget úgy kerülték meg, hogy bevezették a *halmaz* elméleti koncepcióját. A *halmaz* az eredeti dinamikai rendszer tagjainak lényegében végtelen számú kollekciója, azok mindegyike az időben a maga természetes módján fejlődik. Mindegyik tag dinamikai állapota nagyszámú változó értékeinek a megadásával jellemezhető, azaz a többdimenziós dinamikai fázistérben egy ponttal reprezentálható. Bármely időpillanatban a halmaz tagjait olyan fázispontokban találjuk, amely pontok az egész fázistérben valamilyen valószínűségi eloszlás szerint rendeződnek el. Az idő múlásával a fázispontok mozognak, s ezzel általánosságban a valószínűségi eloszlás változik. A statisztikus mechanika problémája az, hogy megkeresse azt az egyensúlyi valószínűségi eloszlást, amely a fázispontok természetes mozgása révén nem változik, és statisztikai tulajdonságokat (hőmérséklet, nyomás stb.) definiáljon a megfelelő halmazátlagok segítségével. Ha ez sikerült, akkor értelmes kérdések tehetők fel arra vonatkozóan, hogy miként képesek a változó külső hatások a statisztikai tulajdonságokat a halmaz egyensúlyi valószínűségi eloszlásának módosításán keresztül megváltoztatni.

Ennek az általános koncepciónak kézenfekvő az éghajlati rendszerre történő alkalmazása. Képzeljük el a földtekék sokaságát, amelyek mindegyikét ugyanazok a külső hatások érik, mindegyikén ugyanaz a kontinensek és az óceánok elrendeződése, és a légköri állapotok mindegyik földtekén a maguk normális fluktuációival, tehát függetlenül az összes többitől követik egymást. Képzeljük most el, hogy a légköri állapotok halmazbeli eloszlását sikerül úgy megválasztani, hogy a valószínűségi eloszlást az individuális tagok állapotváltozásai nem módosítják. Ekkor a valószínűségi eloszlás kizárólag a külső hatások viszonylag lassú megváltozásának az eredményeképpen változik. Az éghajlatot ebben az esetben az ezen halmazra képzett átlagok segítségével írhatjuk le.

Nyilvánvaló, hogy ez a halmazra átlagolt „valódi" klíma olyan elvont elméleti koncepció, amely nem vezethető le direkt megfigyelésekből, mint ahogy gyakorlatilag a végtelen időszakra vonatkoztatott „valóságos" éghajlat sem állítható elő. Elméleti szempontból azonban igen fontos probléma, hogy egy olyan dinamikai rendszer esetében, amelyre változatlan külső kényszerek hatnak, ez a két „valóságos" éghajlat megegyezik-e egymással. Ha igen, akkor a dinamikai rendszert *ergodikusnak* vagy *tranzitívnak* nevezzük. Arra a kérdésre, hogy vajon a mi Föld-légkör rendszerünk tranzitív-e, a későbbiekben még visszatérünk.

Fejtegetésünknek ennél a pontjánál az az ellenvetés tehető, hogy a halmazra átlagolt „valóságos" éghajlat nem az a klíma, amelyre bárki is igazából kíváncsi. Az emberiség végeredményben csak egy földtekén él, amelyen az idő-

járási események egyetlen sora zajlik, és az embert természetesen sokkal inkább érdekli ennek az egyetlen rendszernek a jövőbeli viselkedése, mint az elképzelt halmaz valamilyen átlagolt viselkedése. Ennek megfelelően az éghajlat előrejelzésének legközvetlenebb módja az lenne, hogy előrejelezzük az időjárást, majd azt időben átlagoljuk. Csakhogy az időjárás változékonyságának többségét ma még nem tudjuk néhány napnál hosszabb távra prognosztizálni. Ezen felül az elméleti vizsgálatok arra utalnak, hogy létezik egy olyan néhány hetes határ, amelyen túl még egy tökéletes előrejelzési modellel sem lehet hasznos prognózist készíteni, részben a légkör instabilis természete, részben a kezdeti állapot megadásának elkerülhetetlen hibái miatt.

Ezért el kell fogadnunk azt a nézőpontot, hogy az éghajlat a légköri állapotok olyan ideális halmaza, amelynek a statisztikai tulajdonságait a rendelkezésünkre álló *véges számú* mintából kell megbecsülni. Ez a feladat példája annak az ismert statisztikai problémának, amikor egy nagy populáció valószínűségi karakterisztikáit véges számú minta alapján becsüljük meg. A statisztikai mintavételezés és becsléselmélet ilyenformán az éghajlat leírásának fontos matematikai fegyverévé lép elő.

Az egyik probléma, amelyet ez a vizsgálati módszer közvetlenül felvet, az éghajlati paraméterekre vonatkozó véges időátlag-becslések várható hibájának a meghatározása. A becslési hiba a légköri állapotok előrejelezhetetlen statisztikai fluktuációiból ered, és ezért azt — az információelmélet terminológiáját alkalmazva — *éghajlati zajként* szokták emlegetni.

A minták szóródásának talán a legismertebb példája a pénzdobálgatásnál fordul elő. Bár nagyszámú dobás esetén a fejek és a dobások számának aránya várhatóan 1/2-hez tart, senki nem lepődik meg igazán, ha húsz dobás 7 fejet és 13 írást eredményez. Ha azonban 200 dobás eredményezne 70 fejet és 130 írást, akkor már kételkedni kezdenénk az érme korrektségében. Az ilyen fluktuációk elmélete jól ismert és bármely valószínűségszámítási tankönyvben megtalálható.

Hasonló példa, amely jobban kapcsolódik az éghajlati rendszer folytonos változásaihoz, ha n számú x értékű független mintát veszünk egy olyan végtelen halmazból, amelynek μ az átlagértéke és σ a szórása. A minta $\bar{x}$ átlaga általában különbözik μ értékétől, és könnyen kimutatható, hogy a mintavételezés nagyszámú ismétlése az $\bar{x}$ átlagok olyan eloszlásához vezet, amelynek középértéke μ, az átlagok szórása pedig $\sigma_n = \sigma/n^{1/2}$.

Egy meteorológiai idősor T időszakra képzett átlagai hasonlóan fluktuálnak a végtelen populáció középértéke körül, de ebben az esetben az egymást követő megfigyelések, ha elegendően sűrűek, kölcsönösen nem függetlenek egymástól. Ez könnyen kifejezhető a két független minta közötti

$$T_0 = \int_{-\infty}^{+\infty} R(\tau)\, d\tau$$

tényleges függetlenségi idővel, amelynek képletében $R(\tau)$ az idősorban egymástól τ időintervallumnyira levő két érték közötti korreláció. Ha a T átlagolási időszak elegendően hosszú a T_0 időhöz viszonyítva, akkor $n = T/T_0$ a ténylegesen

független minták számát fejezi ki. Az idő szerint képzett átlagok σ_T szórását és az idősor σ szórását a

$$\sigma_T = \sigma/n^{1/2} = \sigma(T_0/T)^{1/2}$$

formula kapcsolja össze. Ilyenformán a T_0 idő fontos szerepet játszik az éghajlati zaj szintjének a meghatározásában (LEITH, 1979).

Mivel a T_0 idő a legtöbb légköri állapotjelzőre vonatkozóan 6 nap körül van, ezért például egy $T = 90$ napos évszakos átlag fluktuációja a halmazátlag körül

$$\sigma_T = 0{,}258\ \sigma,$$

azaz a napi fluktuációknak körülbelül az egynegyede. Mármost, mivel a részletes napi fluktuációk ilyen időtávra előrejelezhetetlenek, ezért nyilván egy előrejelezhetetlen zajkomponens fogja terhelni az évszakos átlagot is. Ezzel szemben joggal remélhetjük, hogy a klímamodellek lehetőséget nyújtanak a *lassan változó halmazátlag* $\Delta\mu$ értékének a prognosztizálására, amelyet *éghajlati jelként* szokás emlegetni. Az ilyen előrejelzések gyakorlati haszna természetesen a $\Delta\mu/\sigma_T$ hányadostól, azaz a jelnek és a zajnak az arányától függ: ha ez az arány nem nagyobb 0,5-nél, akkor a T időszakra szóló $\Delta\mu$ előrejelzésnek nincs különösebb értéke. Mivel σ_T a $T^{-1/2}$-del csökken, ezért elegendően hosszú T időszakra a $\Delta\mu$ előrejelzés értékessé válik (LEITH, 1975). Az elmondottakból az is következik, hogy ha sikerülne egy olyan statisztikus-dinamikai modellt szerkeszteni, amellyel a légkörnek kizárólag a statisztikai tulajdonságait számítanánk ki, nem pedig annak naponkénti fluktuációit, akkor a mintavételi fluktuációk tovább már nem okoznának problémát.

A kutatási célokra kellőképpen precíz klímadefiníció keresése során egy további kérdés is felmerül. Nevezetesen: hogyan határoljuk le az *éghajlati rendszert* annak érdekében, hogy annak belső viselkedését meg tudjuk különböztetni a külső kényszerhatásoktól? Elvileg ezt úgy kell megtenni, hogy a külső kényszerek függetlenek legyenek a belső rendszer állapotától. Ilyen kényszernek tekinthető például a kontinensek elrendeződése, vagy a légkör felső határához érkező szoláris sugárzás intenzitása. Számos éghajlati modellkísérlet számára azonban célszerű sokkal nagyobb számú kényszerhatást definiálni (ilyen például a légköri CO_2-tartalom, a tengerfelszín hőmérséklete, a jégtakaró vastagsága, a felszíni albedó), amelyeket ezekben a kísérletekben külső kényszerként tekintenek. Noha a belső éghajlati rendszer és az azt vezérlő külső rendszer közötti elhatárolás számos módon megtehető, nem szabad elfelejteni, hogy a belső rendszernek a külső rendszerre kifejtett bármiféle reaktív hatását vagy figyelmen kívül kell hagyni, vagy halmazátlag értelemben kell kezelni. Ellenkező esetben ugyanis a külső rendszer is nyer a belső rendszer előrejelezhetetlen véletlenszerű viselkedéséből, és már nem lesz pontosan specifikálható.

Ha sikerül józan döntésre jutni a külső és a belső rendszerek közötti választóvonal meghúzásában, akkor ez közvetetten segít az időjárási és a különböző éghajlati változások időskálájának az elhatárolásában is. Így azokat az előnyöket, amelyeket az átlagolási időskálának egy explicit megválasztásától remélünk, megtalálhatjuk úgy, hogy a belső rendszert olyannak választjuk meg, amely az összes viszonylag gyorsan változó komponenseket tartalmazza, a külső rendszer pedig csak a viszonylag lassú folyamatokat. Ha például azt kívánjuk, hogy az időskála-szeparáció néhány hétnél legyen, akkor a belső rendszernek a légkört és a talajfelszín változó hőmérsékletét kell tartalmaznia, míg tengerfelszín hőmérsékletét már külső kényszerként kezeljük. Általában hasznos iránymutató az ilyen elhatárolásoknál, ha a megfigyelésekből meghatározzuk a teljes éghajlati rendszer különböző változó komponenseinek az energiaspektrumát és keresztkorrelációit.

Az előbbiekben vázolt mintavételi probléma és az éghajlati rendszer lehatárolásának kérdése a meteorológiában akkor került előtérbe, amikor néhány esztendővel ezelőtt megkezdődtek az ún. *klímaérzékenységi vizsgálatok*. Ezeknek a vizsgálatoknak, mint korábban már utaltunk rá, az a céljuk, hogy megállapítsák: hogyan reagál az éghajlati rendszer bizonyos határfeltételek vagy külső kényszerek előírt megváltozására, tehát például az óceán felszínének hőmérsékletváltozására, a CO_2-koncentráció növekedésére, vagy a beérkező napsugárzás intenzitásának módosulására. Az ilyen típusú számításokat LORENZ (1975) nyomán *másodfajú éghajlati előrejelzéseknek* nevezzük. Módszerük meglehetősen lényegretörő. Első lépésként egy ún. *kontroll-állapotot* generálnak, amely a külső kényszerek meghatározott formájának felel meg. Ezután a vizsgált külső kényszer előírt megválasztásával a modell statisztikai tulajdonságainak egy új készletét állítják elő, amelyet összehasonlítva az eredeti kontroll-állapot statisztikai paramétereivel eldönthető lesz, hogy miként reagál a modellezett éghajlati rendszer a külső kényszernek erre a változására.

A vázolt módszer koncepciójának természetesen csak akkor van létjogosultsága, ha a kontroll-állapot és a perturbált állapot közötti különbség *egyértelmű*, vagy más megfogalmazásban: ha az éghajlati rendszer *ergodikus (tranzitív)*. Noha általában azt reméljük, hogy ez az eset igaz, LORENZ (1968) némi kételyt támasztott az éghajlati rendszer tranzitivitását illetően, megkérdőjelezve azt az állítást, hogy a légköri folyamatokat kormányzó fizikai törvények *egyetlen* éghajlatot határoznak meg.

A probléma — amely az ergodelmélet körébe tartozik — lényegében abban a már NEUMANN JÁNOS által is érintett kérdésben foglalható össze, hogy a légköri állapotok határeloszlása valóban független-e a kezdeti állapottól. Léteznek ugyanis olyan dinamikai rendszerek, amelyeknél a kormányzó egyenletek időfüggő megoldását a végtelen időszakra kiterjesztve, a kezdeti feltételek véletlenszerű megváltozásától függően kettő vagy több statisztikai paraméterkészlet adódik. Az ilyen rendszereket *intranzitív rendszereknek* nevezzük; lé-

tezésük laboratóriumi folyadékkísérletekkel és numerikus kísérletekkel egyaránt igazoltható.

Intranzitív-e az éghajlati rendszer? Nem tudjuk. Olyan nagymértékben interaktív fizikai rendszerekre, mint amilyen a légkör is, amelyekben sok folyamat áll egymással kölcsönhatásban és amelyeket a kormányzó differenciálegyenletek nem-lineáris rendszere ír le, az ergodelmélet még a „végső állapot" létezését sem tudja bizonyítani. De az a körülmény, hogy az éghajlatot, gyakorlati megfontolások alapján, nem végtelen, hanem hosszú, de véges időszak statisztikai paramétereivel írjuk le, LORENZ-t a tranzitív rendszer egy speciális típusának a koncepciójához vezette el — ez a *kváziintranzitív* (vagy *csaknem intranzitív)* rendszer. Egy ilyen rendszerben a végtelenül hosszú időszakokra vonatkozó statisztikai paraméterek függetlenek a kezdeti feltételektől, míg a véges, de elegendően hosszú időszakokra vonatkozók erősen függenek a kezdeti feltételektől. Másképpen fogalmazva: egy végtelen időszakra kiterjesztett partikuláris megoldás egymást követő olyan hosszú periódusokat tartalmaz, amelyekre a statisztikai paraméterek lényegesen különböznek egymástól.

LORENZ szerint nem tekinthető eleve kizártnak, hogy a valóságos légkör ilyen csaknem intranzitív rendszer, azaz az éghajlatváltozás okai ebben a körülményben keresendők. Ha ez igaz, akkor a múlt éghajlatváltozásait (és a jövőjét is) maga az éghajlati rendszer involválja, azokat nem külső kényszerek hozzák létre.

LORENZ érvelésétől függetlenül SMAGORINSKY (1979) a másodfajú éghajlati előrejelezhetőség koncepciójának jogosultságát más oldalról kérdőjelezi meg. SMAGORINSKY a problémák egyikét abban látja, hogy amíg a kontroll kísérlet (amennyiben az a jelenlegi rendszert képviseli) verifikálható, addig a perturbációs kísérlet általában nem verifikálható. (Ebben a vonatkozásban nyilvánvaló kivételt képez az az éghajlati eltolódás, amelyet a vulkanikus por idéz elő a természet — a Washington-állambeli Mount Saint Helens vulkánjának működése nyomán éppen napjainkban hajtott végre egy ilyen hasznos klímaérzékenységi kísérletet.) Ezenkívül problémát jelent az is, hogy a perturbációs kísérlet olyan aszimptotikus klímaállapotot eredményezhet, amely már kívül esik a modell érvényességi körén.

Befejezésül szóljunk néhány szót magának az éghajlati rendszernek az előrejelezhetőségéről, tehát az olyan típusú előrejelzésekről, amikor a rendszer belső állapotának természetes változékonyságát — változatlan külső kényszerek feltételezésével — adott kezdeti feltételekből kiindulva prognosztizáljuk. LORENZ (1975) a számításoknak ezt a típusát *elsőfajú éghajlati előrejelzésnek* nevezte. Itt az előrejelzendő időszak hossza a szinoptikus előrejelezhetőség néhány hetes határánál kezdődik, és mondjuk, a jégkorszakok ismétlődésének periódusáig terjed.

Bármelyik időtávot is tekintjük, ma még alig tudunk valamit az ilyen típusú előrejelezhetőségről. A kezdeti vizsgálódások alapján úgy tűnik, hogy ebben az esetben a tudományos akadályok száma kisebb, mint az érzékenységi vizsgálatoknál. Könnyebbséget jelent az, hogy — legalábbis elvileg — itt lehetőség nyílik a számítások direkt verifikálására, továbbá, hogy — legalábbis a rövidebb távokon — itt felhasználhatók a teljesen átfogó általános cirkulációs modellek.

LORENZ (1975) szerint a ma alkalmazott éghajlati modellek „túlságosan determinisztikusak". Szerinte a jövő éghajlati modelljei — és valószínűleg az első olyanok, amelyek eredményesen fogják a jégkorszakokat be- és kikapcsolni — sztochasztikus jellegűek lesznek, azaz véletlen számok fognak valahol az időderiváltak között megjelenni. „Bizonyára vannak olyanok" — írja LORENZ —, „akik számára egy ilyen eljárás távolról sem kielégítő. Valaki például érvelhet úgy, hogy véletlen számok segítségével kellő idő után bármilyen kívánt éghajlat reprodukálhatóvá válik. Sőt, esetleg idézheti is a gyakran hallott mondást: ha egy majmot az írógép elé ültetünk, az végül is reprodukálhatja SHAKESPEARE egyik művét. — Ám amit ehhez általában elfelejtenek hozzáfűzni, az, hogy a mű megjelenésének valószínűsége egyetlen majom várható életén, vagy akár az egész faj fennmaradásán belül $10^{-1\,000\,000}$ körül körül mozog. Ha tehát tényleg körültekintően vezetjük be véletlen számainkat, úgy biztosíthatjuk magunkat: végtelen kicsiny szám lesz a valószínűsége annak, hogy akkor produkálunk jégkorszakot, amikor annak nem szabadna kialakulnia".

Záró gondolatok

Szerénytelenségnél is több lenne azt állítanunk, hogy az eddigiekkel sikerült felvázolnunk az Éghajlati Világprogram összes aspektusát vagy a klímakutatás minden lehetőségét és problémáját. De az elfogulatlan krónikás szerepét sincs jogunk felvenni, hiszen a kelleténél talán több figyelmet szenteltünk az éghajlat tanulmányozásának matematikai modellezésével összefüggő kérdésre, mint az egyéb, szintén hasznos módszerek elemzésére.

Előadásunk bevezető sorai a sci-fi világából származnak. Befejezésként talán nem érdektelen utalnunk arra, hogy a matematika módszere visszavezethet bennünket ebbe a világba. Mert ha igaz az, hogy Földünk éghajlati rendszere valóban intranzitív — márpedig nem tudjuk az ellenkezőjét bizonyítani —, akkor igaz az is: ha egy földöntúli hatalom képes lenne leállítani az általános légkörzés gépezetét, hogy azután újra kezdődjön minden, nem biztos, hogy az éghajlat ismét a mai arculatát öltené fel.

De vajon a matematika valóban valami fundamentálisat fejez ki ismereteinkről? Ha igen, akkor mindaz, ami matematikailag nem írható le, nem tarthat igényt az ismeret, a tudás nevére. Léteznek ilyen, egészen PLATÓNig visszavezethető filozófiai irányzatok, amelyek azt vallják, hogy a világ logikai és matematikai törvények szerint van megalkotva. Ezzel szemben HANS HAHN neves matematikus, a *Bécsi Körként* emlegetett filozófiai társaság tagja azon a véleményen volt, hogy ez a racionalista felfogás teljesen tarthatatlan.

Szerinte „a matematikai állítások ugyanolyan típusúak, mint a logikaiak: tautologikusak, egyáltalán semmit sem jelentenek ki a tárgyakról — amelyekről beszélni akarunk —, hanem csak arról a módról szólnak, ahogyan ezekről beszélni akarunk" (HAHN, 1933).

Amíg ismeretelméleti szinten az empirizmus és a racionalizmus így csap össze, a gyakorlati kutató a leghelyesebben akkor cselekszik, ha a megismerés egyik formáját sem fetisizálja. Ezért örömmel állapíthatjuk meg, hogy az előttünk álló másfél napos program előadásaiban a kutatás legkülönbözőbb módszereinek felhasználásával elért eredményekről hallhatunk.

Ennek a gondolatnak a jegyében nyitom meg az 1980. évi Meteorológiai Tudományos Napokat.

IRODALOM

GARP: The physical basis of climate and climate modelling. Report of the International Conference in Stockholm, 29 July—10 August 1974. GARP Publications Series, **16**, 265, 1975.

GÖTZ G.: A Globális Légkörkutatási Program (GARP). Meteorológiai Tanulmányok, **17**, Budapest, 93, 1977.

HAHN, H.: Logik, Mathematik und Naturerkennen. Einheitswissenschaft, **2**, GEROLD und Co., Wien, 1—20, 1933. (Magyar nyelven, ALTRICHTER FERENC fordításában megjelent *A Bécsi Kör filozófiája* c. kötetben, Gondolat Kiadó, Budapest, 217—242, 1972.)

LEITH, C. E.: The design of a statistical-dynamical climate model and statistical constraints on the predictability of climate. GARP Publications Series, **16**, 137—141, 1975.

LEITH, C. E.: Some objectives for climate research. In: Report of the First Meeting of the JOC Board for the Climate Dynamics Subprogramme, Geneva, 22, 1977.

LEITH, C. E.: Review of atmospheric general circulation models. GARP Publications Series, **22**, I, 13—22, 1979.

LORENZ, E. N.: Climate determinism. Meteorological Monographs, **8**, 30, 1—3, 1968.

LORENZ, E. N.: Climatic predictability. GARP Publications Series, **16**, 132—136, 1975.

NEUMANN, J.: Some remarks on the problem of forecasting climatic fluctuations. In: Dynamics of Climate (edited by R. L. PFEFFER), Pergamon Press, Oxford, 9—11, 1960.

PHILLIPS, N. A.: The general circulation of the atmosphere: a numerical experiment. In: Dynamics of Climate (edited by R. L. PFEFFER), Pergamon Press, Oxford, 18—23, 1960.

SMAGORINSKY, J.: Overview of the climate modelling problem. GARP Publications Series, **22**, I, 1—12, 1979.

SMIC: Inadvertent climate modifications. Report of the Study of Man's Impact on Climate. MIT Press Cambridge, Mass., 308, 1971.

WMO: International Meteorological Vocabulary. WMO-No. 182. TP. 91, Geneva, 276, 1966.

WMO: World Climate Conference — a conference of experts on climate and mankind —, Declaration and Supporting Documents. Geneva, 50, 1979a.

WMO: World Climate Conference — Extended summaries of papers presented at the Conference. Geneva, 317, 1979b.

WMO: Outline Plan and Basis for the World Climate Programme, 1980—1983. WMO-No. 540, Geneva, 64, 1980.

WORLD CLIMATE PROGRAMME — THE IMPORTANCE, POSSIBILITIES AND PROBLEMS OF INVESTIGATING CLIMATE CHANGE

GUSZTÁV GÖTZ

Abstract

The vast international scientific collaboration of the 1970's, known as the Global Atmospheric Research Programme (GARP), was a programme devoted mainly for studying the transient behaviour of the atmosphere, i. e., obtaining the knowledge which would lead to an increased accuracy of weather forecasts over periods from one day to several weeks. At the same time, however, the problems associated with the variability of climate and its stability began to attract more and more attention. The serious (in some regions of the earth even disastrous) consequences of the variations of climate experienced during the late 1960's and early 1970's,

the narrowing margin that has developed between the supply and demand of vital resources, and the recognition of the fact that man's activities themselves may alter climate inadvertently, resulted in a striking and rapidly growing realization by governments, as well as by the general public: climate *is* a part of the natural environment that defines national economies and human welfare.

The World Climate Programme — and within its frames the World Climate Research Programme which will gradually take over the place of GARP — is a major international scientific undertaking of the next decade. The paper gives a general account of the problems and possibilities in research on climate change and variability.

ВСЕМИРНАЯ КЛИМАТИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА — ЗНАЧЕНИЕ, ВОЗМОЖНОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Г. ГЭТЦ

Р е з ю м е

Обширное международное научное сотрудничество 70-ых гг., известное под названием «Программа исследований глобальных атмосферных процессов (ПИГАП)» было направлено, в основном, на изучение переходного проведения атмосферы и тем самым на повышение точности прогнозов погоды на периоды от одного дня до нескольких недель. В то же время вопросу об изменчивости и устойчивости климата началось уделяться все больше внимания. В связи с серьезными (а в некоторых районах Земли даже катастрофическими) следствиями изменения климата, наметившимися в конце 60-ых, в начале 70-ых гг., с заботами по снабжению все более растущего населения продовольствием, а также с обнаружением того, что деятельность самого человека может привести к необратимому изменению климата, провительства стран и все общество стали осознавать, что климат является составной частью природной среды, определяющей хозяйственную жизнь и благосостояние человечества.

Всемирная климатическая программа — и в ее рамках Всемирная программа исследования климата, постепенно занимающая место ПИГАП-а — представляет собой громадную международную задачу на следующее десятилетие. В настоящей работе в общих чертах излагаются проблемы и возможности исследования изменения и изменчивости климата.

A GLOBÁLIS ÉGHAJLAT STATISZTIKAI-DINAMIKAI MODELLEZÉSE

MIKA JÁNOS

Bevezetés

Az éghajlat globális modellezése a geofizikai tudományok történetének eddigi legösszetettebb feladata. Az éghajlati rendszer állapotának statisztikai jellemzőire, vagyis az éghajlatra a folyamatok rendkívül széles térbeli és időbeli skálán hatnak. Ugyanakkor minden egyenletrendszert értelmes véges idő alatt meg kell oldani, ezért bizonyos folyamatokat reális időfüggésüknél és valóságos összetettségüknél egyszerűbben, a legfontosabb modell-változók tapasztalati függvényeként, parametrizálva veszünk figyelembe.

Az éghajlati rendszeren belül a légkör termo- és hidrodinamika folyamatainak karakterisztikus ideje mintegy egy hónap, ami azt jelenti, hogy ennyi idő alatt egyensúlyba kerül az éghajlati rendszer többi — ez idő alatt változatlan — komponensével, továbbá ezen időszakon túl önmagában a légkör kezdeti állapota nincsen hatással a későbbi állapotra.

Kézenfekvő, hogy ezen — az éghajlati változásokhoz képest — gyors lefutású folyamatokat csupán a lassúbb folyamatokra gyakorolt hatásaik statisztikai következményein keresztül modellezzük.

Azokat a modelleket, melyek egyenleteit az éghajlati rendszert leíró hidrotermodinamikai egyenletek 1 hónapot meghaladó átlagolásával származtatunk, statisztikai-dinamikai modelleknek nevezzük. A statisztikai-dinamikai modelleket további három csoportba sorolhatjuk. Ezek a sugárzási-konvektív modellek, az energia-egyensúlyi modellek és a momentum modellek. A sugárzási konvektív modellek figyelmen kívül hagyják a horizontális impulzus-, hő- és vízgőztranszporttal kapcsolatos folyamatokat. Az éghajlati rendszert egy alulról valamilyen hatékony felszínnel határolt légoszloppal modellezik, legfőképpen a sugárzásátvitel pontos szimulálására törekedve. E modellek emiatt a természetes és antropogén eredetű hatások elsődleges szimulálására alkalmasak. Az energia-egyensúlyi modellek valamennyi éghajlatalakító kölcsönhatás egyszerű parametrizálására törekszenek a térbeli és időbeli felbontás szabta határok között. E modellek az elsődleges következmények finomítására használhatók, mert számos visszacsatolást is figyelembe vesznek. A momentum modellek az előző két csoporttal ellentétben tartalmazzák a horizontális mozgásegyenletek valamilyen egyszerűsített alakját is az átlagos cirkulációs kép szimulálása céljából. A momentum modellek az energiameg-

maradás mellett az impulzusmomentum megmaradását is biztosítják, ami lehetővé teszi, hogy segítségükkel a cirkumpoláris örvény és légköri hosszú hullámok helyzetét meghatározó tényezőket is vizsgáljuk.

Hazánkban az e célra összevonható tudományos pontenciált és számítástechnikai kapacitást figyelembe véve nem lenne reális egy általános cirkulációs modell létrehozásának a célkitűzése. A stochasztikus, illetve a statisztikai-dinamikai modellek azonban a rendelkezésünkre álló eszközökkel is megvalósíthatók. Bizonyítékul az alábbiakban ismertetünk egy energia-egyensúlyi modellt, melynek fejlesztésén kisebb megszakításokkal 1978 óta dolgozunk MIKA (1979).

1. *A modell*

1.1. Az energia-mérleg komponensei

Modellünk alapegyenlete az óceán 10—100 méter vastag, kvázi-izoterm hatékony felszínére felírt energiamérleg:

$$R_S = R_L + LE + H + B, \tag{1}$$

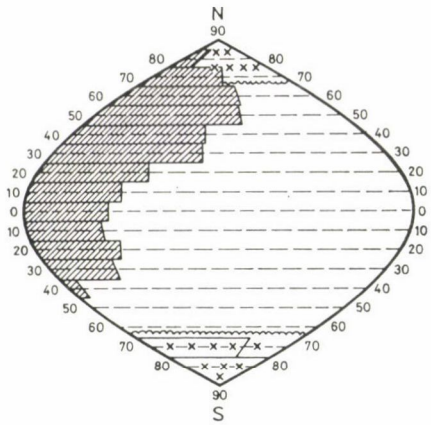
amely a sugárzási mérleg két komponensének, a párolgásnak, a szenzibilis hőnek valamint a vertikális irányban a mélyóceánnal, horizontálisan pedig a szomszédos rétegekkel folytatott hőcsere stacionárius egyensúlyát írja le.

A Földünket borító háromféle felszín — kontinens, óceán és szilárd H_2O — közül explicite csak az óceánt modellezzük az 1. ábrán bemutatott sematikus alakban, a tengeri jég kiterjedésétől függő felületen.

A hatékony felszín és a vele kölcsönhatásban álló felszín-közeli légréteg zonálisan átlagolt állapotát 10° földrajzi szélességenként szimuláljuk. A kontinensek feletti állapotok figyelmen kívül hagyását első közelítésben a szárazföldek csekély hőkapacitása és hővezető képessége indokolja. A tengeri jégfelszín feletti határréteg elhagyása viszont az alkalmazott térbeli és időbeli felbontás (stacionaritás) következménye. Nem találtunk ugyanis kielégítő parametrizációs megoldást, mely a zonálisan átlagolt, évi középértékekre vonatkozó stacionárius modell változóinak függvényeként adekvát módon tükrözné a jégképződés folyamatait.

Az energiamegmaradás törvénye a természeti folyamatoknak csupán szükséges feltétele, a megoldás egyértelművé tételéhez további összefüggéseket kell a modellben előírni. Elsőként fejezzük ki az energia-komponenseket az éghajlati elemek évi átlagának tapasztalati függvényeként. (A jelölések magyarázatát lásd a Függelékben.)

A rövidhullámú sugárzási mérleg parametrizálásának kulcs-mennyisége a Q_0 maximálisan lehetséges besugárzás, amely megmutatja, hogy adott föld-



1. ábra. A kontinensek, az óceánok és a sarki jégtakaró övezetes részaránya

rajzi szélességen, derült időben mekkora a globálsugárzás évi összege, amely természetesen függ a légoszlop optikai tisztaságától:

$$R_S = (1 - A) \cdot Q_0 \cdot (1 - an - bn^2) \qquad \text{(2)}$$

BERLJAND (1961)

A hosszú hullámú mérleg parametrizálásában GIRDJUK nyomán felhasználtuk, hogy az óceán felett a hőmérséklet és a páranyomás szoros korrelációban van.

$$R_L = \varepsilon \cdot \sigma T_w^4 - \varepsilon\left(1{,}63\sqrt{\sigma T^4} - 0{,}775\right) \cdot (1 + k_{R_L} \cdot n^2) \qquad \text{(3)}$$

GIRDJUK és MALEVSZKIJ-MALEVICS (1973)

A párolgás és a turbulens hőátadás közös vonása, hogy mindkettő transzportfolyamat eredménye, vagyis egyenesen arányos a megfelelő intenzív mennyiségek gradiensével. Az arányossági tényezők függenek a szélsebességtől, valamint egy szélességenként változó tapasztalati konstanstól:

$$E = k_E \cdot u \cdot (q_w - q) \qquad \text{(4)}$$

$$H = c_p \cdot k_H \cdot u \cdot (T_w - T)\,. \qquad \text{(5)}$$

A B maradéktag többféle folyamat eredője, melyet a feladat egyszerű lezárása érdekében turbulens diffúziós hővezetésként fogunk fel:

$$B = b_B \cdot K \cdot \nabla^2 T_w\,. \qquad \text{(6)}$$

Az energia egyenlet megoldásával megkaphatjuk pl. a T_w vízhőmérséklet földrajzi eloszlását olyan, előre megadott belső tényezők rögzített értékeire, mint

a léghőmérséklet, felhőzet, szélsebesség stb. Az éghajlat módosulásakor azonban ezek értékei is változnak, vagyis a hőmérséklet-változás visszacsatolással van az azt meghatározó többi éghajlati elemre. A térbeli és időbeli felbontás adott keretei között igyekeztünk e visszacsatolások közül minél többet parametrizálni, mivel így talán elkerülhető, hogy egy kevésbé pontos parametrizáció az egész modell érzékenységét eltávolítsa a reálistól.

1.2. Lokális visszacsatolások

Megkülönböztetünk lokális- és globális visszacsatolásokat aszerint, hogy egy földrajzi pontra jellemző éghajlati elemek közötti összefüggésről, vagy pedig planetáris léptékű változások valamennyi pontban megjelenő következményéről van szó.

Ismert, és TER-MARKARJANC táblázatos formában közreadott számításai (KONDRATJEV, 1965) alapján tapasztalati egyenlettel leírható, hogy az óceán albedója függ a globálsugárzás beesési szög szerinti eloszlásától, melyet a felhőzet mennyisége szabályoz a direkt és diffúz komponens arányán keresztül:

$$A = A_0 \cdot \exp\left(k_a \sqrt{1-n}\right) \quad \text{(TER-MARKARJANC nyomán)} \tag{7}$$

A rövid hullámú komponens Q_0 tényezője a felszín és a légkör közötti többszörös visszaverődésen keresztül függ az albedótól.

Az optikai tisztaságot befolyásoló tényezők közül modellünk a vertikális légoszlop vízgőztartalmát állítja elő explicit módon, így

$$Q_0 = \frac{1}{1-0{,}2A} \cdot S_\varphi(1 - Cw^{0{,}3}) \tag{8}$$

(AVERKIEV és MÖLLER nyomán)

A hosszú hullámú kisugárzás felhőzetfüggésében szereplő k_{R_L} hőmérséklet-függése BUDIKO (1978) táblázata alapján jó közelítéssel

$$k_{R_L} = 0{,}35 \cdot exp\,(-0{,}0316\,t) \quad \text{(BUDIKO nyomán)} \tag{9}$$

Az óceán feletti hőmérséklet és relatív nedvesség évi átlagainak 10°-onkénti földrajzi eloszlása alapján a felhőzet változásait az alábbi kétváltozós lineáris regresszió segítségével parametrizáltuk

$$n = -0{,}30 \cdot f - 0{,}0085 \cdot t + 1{,}02 \tag{10}$$

Maga a relatív nedvesség az óceán felszíne közelében szoros összefüggésben van a szélsebességgel (SZERGIN—SZERGIN 1978):

$$f = 1{,}0 - 0{,}024 \cdot u \quad \text{(SZTOLOVNYIKOVA nyomán)} \tag{11}$$

A képlet szerint hosszú ideig tartó teljes szélcsend esetén a levegő elérné a telítést, ami megegyezik a tapasztalattal.

A vertikális légoszlop vízgőztartalma REITAN tapasztalati képlete szerint (SELLERS 1973) a felszíni páranyomástól függ:

$$w = 0{,}124 + 0{,}16 \cdot e. \tag{12}$$

A fenti lokális visszacsatolásokkal a belső tényezők közül már csak kettőt kell előre rögzíteni ahhoz, hogy a T_w-re nézve másodrendű közönséges differenciálegyenlet megoldható legyen a jéghatárra vonatkozó határfeltételek kirovása után.

A légköri és óceáni cirkuláció intenzitás-változásaival kapcsolatos globális visszacsatolások egyrészről megengedik a két belső tényező klímafüggő változásait, másrészről pedig tovább egyszerűsítik a feladat matematikai szerkezetét anélkül, hogy a modellben szimulált fizikai folyamatok szegényebbé válnának.

1.3. Számítási algoritmus, globális visszacsatolások

Az algoritmus első lépéseként — figyelembe véve, hogy a hőmérséklet közelítőleg

$$t(\varphi) = t_E - \Gamma \sin^2 \varphi \tag{13}$$

alakú függvénye a szélességnek — kezdeti t_E és Γ megadása után kiszámítjuk a hőmérséklet kezdeti eloszlását.

Ezután a (7)—(12) lokális visszacsatolásokon keresztül előállítjuk a belső tényezők földrajzi eloszlását, és szelő módszerrel T_w-re megoldjuk az energiaegyenletet. Az így kapott T_w értékekre legkisebb négyzetek módszerével meghatározzuk mindkét féltekére a

$$t_w(\varphi) = t_{wE} - \Gamma_w \cdot \sin^2 \varphi \tag{14}$$

közelítő egyenlet t_{wE} és Γ_w paramétereit.

Az eljárás nyomán az új jéghatár az a φ_j szélesség, ahol $t_w(\varphi)$ éppen a kritikus $+0{,}8$ C fok mindkét féltekén.

A levegő hőmérsékletének közelítő egyenletének t_E paraméterét a vízhőmérséklettel való szoros összefüggés

$$t_E = t_{wE} - 0{,}15 \tag{15}$$

alapján számoljuk, Γ pedig akkora, hogy a φ_j jéghatáron éppen a kritikus $t_j = 0{,}0\ ^\circ C$ legyen a hőmérséklet.

A tengerszinti szélsebességről évi átlagban feltételezhető, hogy arányos az általános cirkuláció zonális komponensével, ami a trópusi szélességeket leszámítva arányos a meridionális hőmérsékleti gradienssel (termikus szél). Ennek alapján SZERGIN és SZERGIN (1978) modelljéhez hasonlóan feltételezzük, hogy az u szélsebesség arányos a Γ együtthatóval.

Az óceán hőmérsékletének szélesség szerinti második deriválltja (14) szerint arányos a Γ_w hőmérsékleti gradiens négyzetével. A horizontáis diffúz hőszállítás mélysége (az átkeveredés vastagsága) pedig az u_* dinamikus sebességen keresztül egyenesen arányos a szélsebességgel (KITAJGORODSZKIJ, 1970). Emiatt

$$B \sim \Gamma \cdot \Gamma_w^2 . \tag{16}$$

A globális visszacsatolások miatti változások figyelembevételével véget ér az iterációs algoritmus egy ciklusa és az eljárás kezdődik elölről. Az energiaegyenlet újbóli megoldása akkor marad el, ha a víz- és léghőmérsékletek globális eloszlását leíró (13) és (14) egyenletek paramétereiben beálló változás kétszer egymás után adott érték alatt marad.

Valamely, a jelenkoritól eltérő klímát úgy állítunk elő, hogy az iterációsorozatot a kiváltó okokhoz tartozó modell-bemenők mellett újra futtatjuk az új egyensúly beállásáig. Ehhez 20—50 lépésre van szükség. A jelenlegi és egy másik egyensúlyi állapot együttes előállítása a Műszaki Egyetem R-40-es számítógépén 30—40 másodperc CPU időt igényel. Nincs tehát gyakorlati akadálya, hogy modellünkkel nagy tömegben készítsünk másodfajú prognózisokat.

2. *Teszt-kísérletek*

Modellünket eddig három kísérlet végrehajtásával teszteltük. Mindhárom esetben hipotetikus napállandó-változás modellbeni következményeit vizsgáltuk a pólusok közelében kirótt határfeltételek és a jég-albedó visszacsatolás variálásával. Az első változatban a jéggel borított óceáni területek semmilyen hatással nem voltak az alacsonyabb szélességekre, a jéghatárt a jégtől szabad területek vízhőmérsékleteire illeszkedő (14) lineáris összefüggés alapján extrapolációval határoztuk meg. A jég-albedó visszacsatolás ily módon hiányzott a modellből. A második és harmadik kísérletben az Északi félteke 90 °N és a Déli félteke 80 °S pontjaiban alacsony —3,6, ill. —6,6 C-os kezdeti vízhőmérsékleti értékeket definiáltunk biztosítandó, hogy legyen jég mindkét féltekén. Ezek, a továbbiakban változtatható értékek és a jéghatárt jellemző 0,8 °C közé a jéggel borított területek rácspontjaiban is előállítottunk vízhőmérsékleti értéket $sin^2 \varphi$ szerinti lineáris interpolációval. Így maga a jéghatár is interpolációval és nem extrapolációval áll elő minden iterációs lépésben. A jég-albedó visszacsatolást úgy szimuláltuk, hogy a sarkokhoz legközelebb eső pontokban

definiált értékeket az egyenlítői vízhőfok-változás háromszorosával növeltük, illetve csökkentettük. E megoldást az a modell-tapasztalás sugallta, hogy az általános cirkulációs modellekben az egyenlítői és a sarki hőmérséklet-változások aránya kb. 1 : 3. A második és a harmadik változat abban különbözik egymástól, hogy az előbbiben csak a 80 °S értékét változtatjuk, 90 °N valamennyi futásnál rögzített érték. A harmadik változatban mindkét féltekén szimuláljuk a jég-albedó visszacsatolást.

Az első követelmény egy éghajlati modellel szemben, hogy megközelítően reprodukálja a jelenkori klímát. Minél egyszerűbb valamely modell, ez annál könnyebben elérhető néhány tapasztalati konstans megfelelő választásával. Modellünk számos együtthatóját is a jelenkori klímából származtattuk, ahol lehetett nem a meteorológiai elemek, hanem az energiamérleg komponensei földrajzi eloszlását felhasználva. Így modellünk viszonylag kevésbé kötődik a jelenkori klímához és annak kielégítő reprodukálása nem triviális következménye a paraméterek értékeinek.

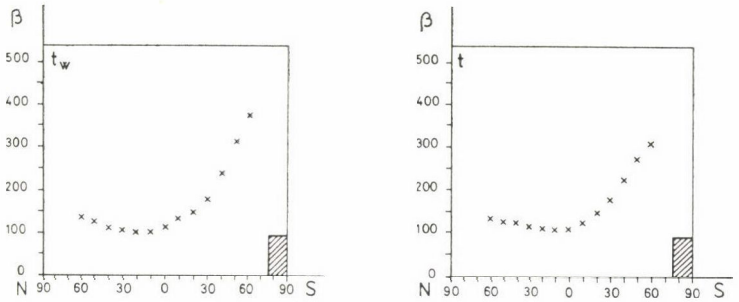
Az első, jég-albedó visszacsatolás nélküli, csak a jégtől szabad területen operáló változat a jelenlegi napállandóhoz lényegesen melegebb klímát rendel. A Déli féltekéről teljesen hiányzik a jég, az Északin is lényegesen magasabban van a jéghatár. Ezért definiáltunk a második és harmadik változatban alacsony vízhőmérsékleti értékeket a sarkok közelében. Ezek az értékek felfoghatók a poláris öv jéggel borított kontinensei hatásaként is.

Ezután már mindkét változatban a jelen klímát jól közelítő egyensúlyi megoldásokat kaptunk. A jéghatár legfeljebb 1,5°-kal tér el a tényleges 69 °N, ill. 64,5 °S értéktől (KARPEC, 1974). A Γ és Γ_w meridionális hőmérsékleti gradiensek eltérése a ténylegestől a modellben kisebb, mint 5%.

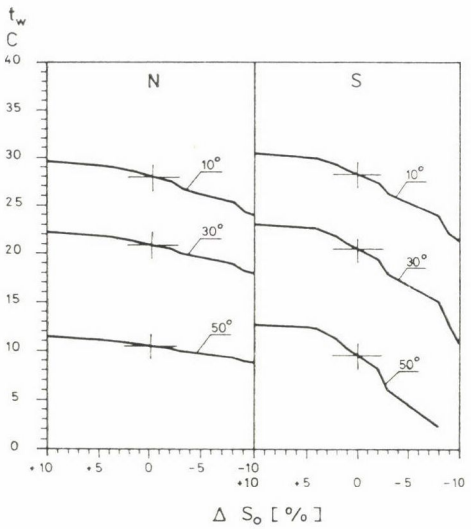
A jelenkori klíma reprodukálásánál sokkal fontosabb, hogy a modell érzékenysége hasonló legyen a valódi éghajlatéhoz. Csakhogy nem tudjuk milyen érzékeny a valódi éghajlat a külső tényezők változásaira, mivel a valóságban ezek a változások sosem önmagukban jelentkeznek. Így ebben a legfontosabb kérdésben is a modellekre kell hagyatkoznunk, melyek szerint 1%-os napállandó-változás 1—2 fokos hőmérséklet-változást von maga után. A régebbi egyszerűbb, kevesebb visszacsatolást szimuláló modellek (BUDIKO, 1969, SELLERS, 1969) érzékenysége ennek mintegy kétszerese, tehát 3—4 fok. Az első jég-albedó visszacsatolás nélküli változatban a jelenkorihoz képest 99% és 101%-os napállandókhoz tartozó egyensúlyi klímák közötti különbségből származtatott

$$\beta = S_0 \frac{\partial T}{\partial S_0}$$

mutatót a 2. ábrán láthatjuk a víz, illetve a levegő hőmérsékletére. A változások a Déli félteke negyvenedik szélességéig belül vannak az általánosan elfogadott 1—2 fokos határon, tehát modellünk az első változatban nagyságrendben

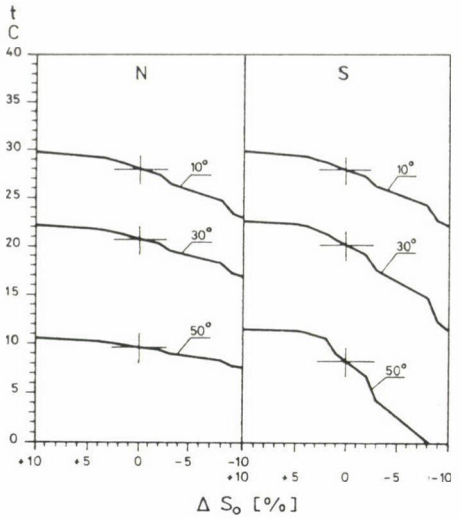


2. ábra. A β klíma-érzékenység a jég-albedó visszacsatolás nélküli 1. változatban (C)



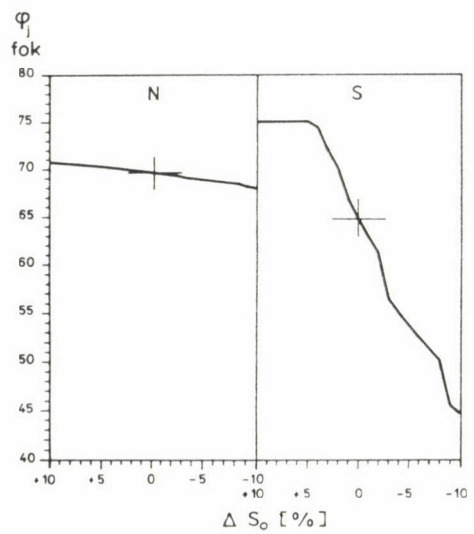
3. ábra. A vízhőmérséklet alakulása a napállandó 1%-onkénti változása nyomán (2. változat)

jól adja vissza az éghajlat érzékenységét. Nem mondható el ugyanez a második változatról, melynek 10°, 30° és 50° szélességein szimulált vízhőmérsékleteket a 3. ábrán mutatjuk be. A jelenlegi 100%-hoz képest pozitív és negatív irányban egymásból, mint kezdeti állapotból kiindulva 10—10 lépésben egyenként 1%-ot változtattunk és ezek értékeit ábrázoltuk. A jég-albedó visszacsatolás nélküli Északi féltekén 0,3, a Déli féltekén 0,7 fokos a legnagyobb változás a jelen napállandóhoz viszonyított 1%-os változása. Ez fél-egy nagyságrenddel kisebb a valóságosnál. A változás közel egyenletes, kevés töréssel. Figyelemre méltó, hogy a 100% környezetében nincs törés, a melegedés és hűlés abszolút értékei megegyeznek. A léghőmérséklet alakulása (4. ábra) hasonló menetet mutat. Az alulbecslés oka valószínűleg az, hogy 90 °N-en a vízhőmérséklet valamennyi napállandóra ugyanaz és kevéssé változik a jéghatártól északra eső rácspontok vízhőmérséklete is.



4. ábra. A léghőmérséklet alakulása (2. változat)

A harmadik kísérletben, ahol a jég-albedó visszacsatolás mindkét féltekén jelen van, ezzel szemben 1,8 °C és 4,0 °C közé esik az 1%-os napállandó változás hatására. Ez inkább a mienknél is jóval egyszerűbb, túl érzékenynek tartott modellekre emlékeztető érték. A jéghatár 2. kísérlet szerinti változása (5. ábra) jól érzékelteti a jég-albedó visszacsatolás szerepét. A visszacsatolás nélküli féltekén egyenletes, a 20% napállandó-különbség mellett is csak 3°-os eltolódással szemben az elmozdulás a Déli féltekén szakaszos és nagymértékű



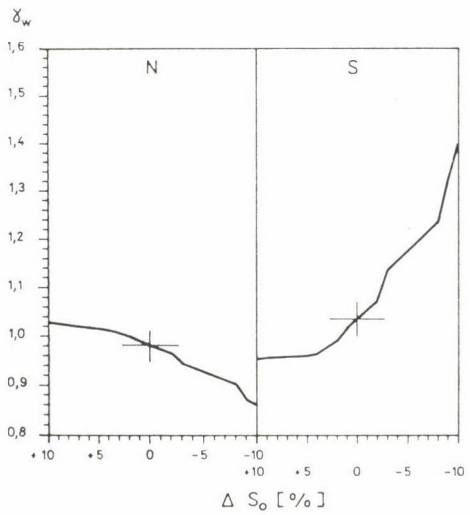
5. ábra. A sarki jéghatár elmozdulásai (2. változat)

(1% emelkedésre 2° visszahúzódás). A jelenlegihez képest 5%-kal magasabb napállandó mellett eltűnik a jég ($\varphi_j = 75°$) annak ellenére, hogy az Északi féltekén a jéghatár csaknem változatlan helyzetű. A harmadik változatban az Északi féltekén 1%-os napállandó emelkedésnél az Északi féltekéről teljesen, a Déliről is csaknem teljesen eltűnt a tengeri jég.

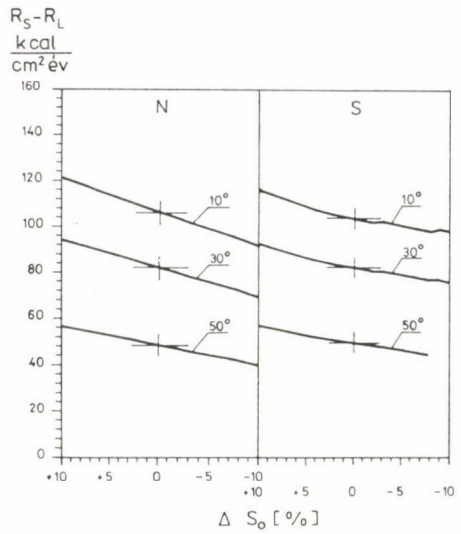
A változások szélesség szerinti eloszlását a γ_w paraméter mutatja, amely a vízhőmérséklet modellbeni Γ_w meridionális gradiense és a jelenkori tényleges érték hányadosa. A rögzített pólushőmérsékletű Északi féltekén (6. ábra) az alacsonyabb szélességek melegedése növeli a kontrasztot, ezek hűlése viszont csökkenti.

A visszacsatolás miatt változó pólus hőmérséklet (Déli félteke) esetén fordított a kép, a melegedés a gradiens csökkenésével, a hűlés a gradiens erősödésével jár. A globális visszacsatolásokon keresztül ennek megfelelően változik a modellben a szélsebesség és az energia-mérleg turbulens hőszállítási komponense (B). Gradiensváltozás 1%-ra vonatkoztatva $1 \div 2\%$ ($0{,}3 \div 0{,}7$ °C). A harmadik változatban természetesen mindkét félteke az ábra jobb oldalára hasonlít: a változások a pólusoktól az Egyenlítő felé haladva csökkennek így a gradiens melegedéskor kisebb, hűléskor nagyobb a jelenleginél. A változás az Északi féltekén 7%, a Délin 10% ($2{,}5 \div 3{,}5$ °C).

Az óceán hatékony felszínének rövid hullámú sugárzási mérlegének relatív megváltozása a magas szélességek kivételével kisebb, mint a légkör külső határán fellépő 1%. Ebben nincs különbség a 2. és 3. változat között. A teljes sugárzási mérleg (7. ábra) pedig érdekes módon a kevésbé érzékeny Északi féltekén változik meredekebben, valamivel meghaladva az 1%-os változást,



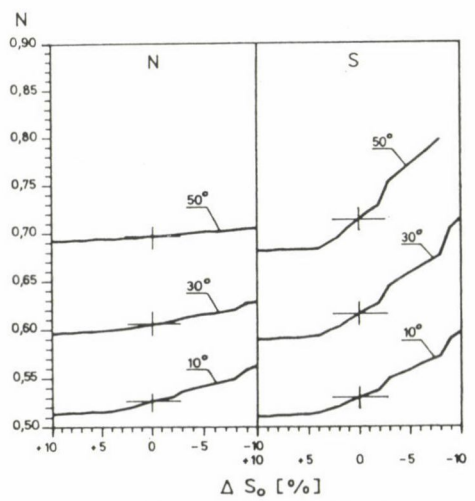
6. ábra. A vízhőmérséklet meridionális gradiensének relatív változásai C (2. változat)



7. ábra. A teljes sugárzási mérleg alakulása (2. változat)

míg a Déli féltekén a teljes mérleg változása 1% alatt marad 1% napállandó változás következtében.

A teljes jég-albedó visszacsatolást tartalmazó 3. változat alacsony és mérsékelt szélességein a teljes mérleg a napállandó 1%-os növelésére meglepő módon csökkenéssel reagált! Ennek magyarázatát a 8. ábrán láthatjuk, melyből kitűnik, hogy a melegedés csökkenti, a hűlés növeli a felhőzetet. A változás 1%-onként 0,001 ÷ 0,008, míg a 3. változat szerint ez az érték 0,018 ÷ 0,037.



8. ábra. A felhőzet alakulása (2. változat)

Figyelembe véve, hogy a légkör hosszú hullámú visszasugárzása arányos a felhőzet négyzetével, beláthatjuk, hogy a teljes mérleg csökkenése annak a következménye, hogy a többi komponens rovására a hosszú hullámú mérleg gyorsabban nő, mint a rövid hullámú.

3. *Modellünk helye a statisztikai-dinamikai modellek sorában*

Vizsgáljuk meg ezek után, hogy milyen helyet foglal el modellünk a statisztikai dinamikai modellek hierarchiájában. SALTZMAN 1978-ban 10 szempont alapján osztályozott és rangsorolt 106 statisztikai dinamikai modellt, melyek között 9 sugárzási konvektív, 73 energia-egyensúlyi és 24 momentum modell volt található. Modellünk helyét ezen osztályozás szerint az I. táblázaton mutatjuk be, mely hét szempontot tartalmaz az eredeti tízből. További két szempont, a modell-változók, illetve az elvégzett szimulációk listája nehezen számszerűsíthető, a tizedik pedig szubjektív állásfoglalást tartalmaz a modellek fő felhasználási területéről.

I. táblázat

Modellünk helye a statisztikai dinamikai modellek között a SALTZMAN*-osztályozás szerint*

1960—1977	Horizontális hőáram 3	Térbeli felbontás 1	Egyensúlyban levő rendszerkomponensek 1c	Vertikális felbontás 1	Hidrológiai ciklus 1	Átlagolási periódus 1	Időfüggés 1a	Átlagban
Jobb mint	79	25	67	—	65	—	—	34
Egyforma	3	31	1	48	5	62	45	28
Gyengébb mint								
%	18	44	32	52	30	38	55	38

Modellünket a SALTZMAN-skála szerinti pontszámokkal minősítettük:

— a horizontális hőáram szimulálását modellünk végső soron szélességenként változó hővezetési együtthatójú turbulens diffúzióként oldja meg,
— térbeli felbontása 1 dimenzióra terjed ki,
— az energiaegyensúly az óceán hatékony felszínére teljesül,
— vertikálisan egyetlen szintet tartalmaz,
— a hidrológiai ciklus részleges modellezése mellett kiszámítjuk a párolgás latens hő-igényét,
— az időbeli átlagolás egy évre terjed ki,
— az időfüggés kimerül a stacionárius egyensúly újbóli beállításában, ha a külső tényezők változnak.

Amint a táblázatból kitűnik, modellünk a fenti 7 szempont alapján az 1960 és 1977 közötti 100 db statisztikai dinamikai modell sorában középen helyezkedik el. Érdekes, hogy modellünk viszonylagos pozíciója az újabb, 1974 utáni 52 modellhez viszonyítva ennél nem rosszabb, sőt valamivel jobb. A horizontális hőáram parametrizálásában, az egyensúlynak az óceáni felszíni rétegre való felírásával és a párolgás explicit szimulációjával a modellek többségét felülmúlja. Nem jobb ugyanakkor egyetlen korábbi modellnél sem a vertikális felbontás, időbeli átlagolás és időfüggés tekintetében. Megjegyezzük, hogy e három tekintetben minden fejlesztés a számításigény jelentős növekedésével jár.

4. *Jelölések*

Γ — meridionális hőmérsékleti gradiens (C)
Γ_w — meridionális tengervíz hőmérsékleti gradiens (C)
ε — a tengerfelszín szürkeségi együtthatója, értéke 0,91
σ — a STEPHAN—BOLTZMANN állandó, értéke $5{,}67 \cdot 10^{-8}$ wm^{-2} fok^{-4}
a — a földrajzi szélességtől függő tapasztalati konstans a (2) egyenletben
A_0 A — az óceán albedója derült, illetve átlagosan felhős időben
b_B — a földrajzi szélességtől függő tapasztalati konstans a (2) képletben
B — az óceáni horizontális és vertikális hőáramokat magába foglaló energiatag (wm^{-2})
C — a földrajzi szélességtől függő tapasztalati konstans a (8) egyenletben
c_p — a levegő fajhője, értéke 1011 m^{2}s^{-2}K^{-1}
e — a vízgőz parciális nyomása
E — a felületegységről időegység alatt párolgó víz mennyisége (kg m^{-2}s^{-1})
f — relatív nedvesség az egység törtrészeiben kifejezve
H — turbulens hőátadás (wm^{-2})
K — az óceán hatékony felszínének keresztmetszete az óceán—kontinens aránytól függően (6)
k_a, k_E, k_H — a földrajzi szélességtől függő tapasztalati konstansok a (7), (4), (5) egyenletben
k_{RL} — a hőmérséklettől függő együttható a (3) egyenletben
L — párolgási hő, értéke $24{,}7 \cdot 10^5$ m^2 s^{-2}
n — a felhőzet mennyisége az egység törtrészeiben kifejezve
q, q_w — specifikus nedvesség a felső- illetve a tengerszinten (4)
Q_c — a globál sugárzás földrajzi szélességtől függő értéke derült égbolt esetén ideálisan elnyelő- és reális felszín felett (wm^{-2}) (maximálisan lehetséges besugárzás)
R_S, R_L — a rövid illetve hosszú hullámú sugárzási mérleg (wm^{-2})
S — a földrajzi szélességtől függő napsugárzás-intenzitás a légkör külső határán (wm^{-2})
t, T — a léghőmérséklet Celsius, ill. Kelvin fokokban
t_w, T_w — a vízfelszín hőmérséklete Celsius, ill. Kelvin fokokban
t_E — a hőmérséklet Egyenlítőre extrapolált értéke
t_{wE} — a vízhőmérséklet Egyenlítőre extrapolált értéke
u — szélsebesség a 8 m-es szintben (m · s^{-1})
w — az egység alapú vertikális légoszlop vízgőztartalma a felszíntől a légkör külső határáig (kg)

IRODALOMJEGYZÉK

BERLJAND, T. G.: Raszpredelenije szolnyecsnoj radiacii na kontinentah. Leningrád, Gidrometizdat, 1961.

BUDÜKO, M. I.: The effect of solar radiation variations on the climate of the Earth. Tellus, **21**, 5, 611—619, 1969.

BUDÜKO, M. I.: Tyeplovoj balansz Zemli. Gidrometizdat, Leningrád, **40**, 1978.

GIRDJUK—MALEVSZKIJ—MALEVICS: Metodika raszcseta affekti v nogo izlucsenyija poverhnosztyi okeana. Vszb. Fizika pogranyicsnogo szloja atmoszferü, Trudü GGO v, 297, 124—132, 1973.

KARPEC, A. N.: Vlijanyije tyeplovovo rezsima prizemnovo szloja atmoszferü na ploscsagy morszkih ldov. Isszledovanyije szisztemü lednyiki-okean-atmoszfera, 14—22, Vlagyivosztok, 1975.

KITAJGORODSZKIJ, Sz. A.: Fizika vzaimogyejsztvija atmoszferü, okeana. Gidrometeoizdat, Leningrád, 1970.

KONDRATYEV, K. KA.: Aktinometrija. Gidrometeoizdat, Leningrád, 691, 1965.

MIKA J.: Egy kapcsolt óceán-légkör modell éghajlatelméleti vizsgálata. Egyetemi doktori értekezés. ELTE, 1979.

SALTZMAN, B.: A survey of statistical-dynamical models of the terrestrial climate. In: Advances in Geophysics, **20**, 184—304, 1978.

SELLERS, W. D.: Physical climatology. The Univ. Chicago Press, 272, 1965.

SELLERS, W. D.: A global climatic model based on the energy balance of the earth-atmosphere system. J. Appl. Meteorol., **8**, 392—400, 1969.

SZERGIN, V. JA.—SZERGIN, Sz. JA.: Szisztemnüj analiz problemü bolsih kolebnyij klimata i olednyenyija zemli. Gidrometizdat, Leningrád, 1978.

STATISTICAL-DYNAMICAL MODELLING OF THE GLOBAL CLIMATE

JÁNOS MIKA

Abstract

A zonally averaged stationary climate model based on the energy balance of the active oceanic surface is presented. The components of the energy balance are parameterized as functions of the variables of the oceanic and atmospheric boundary layers. The sensitivity of the model is approached to reality by taking into account local and global feedback mechanisms.

The model is tested by three predictions of the second kind, adopting different values for the solar constant. The results are as follows:

1. Prescribing low sea-surface temperatures in the polar regions, the model reproduces correctly the present climate.
2. When the ice-albedo feedback effect in both hemispheres is taken into consideration, the sensitivity of the model is within the right order of magnitude, and somewhat higher than the sensitivity of the more sophisticated models. The latitudinal distribution of sensitivity is real for all the meteorological variables investigated.
3. The prescription of fixed sea-surface temperatures in the polar regions (i. e., neglecting the ice-albedo feedback) lessens the sensitivity by one order of magnitude, and its latitudinal distribution also becomes unreal.
4. Processes associated with atmospheric water represent a negative feedback in view of the total surface radiative energy budget.

According to SALTZMAN's (1978) classification the present model stands somewhere in the middle in the hierarchy of statistical-dynamical models.

СТАТИСТИКО-ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА

Я. МИКА

Резюме

В настоящей работе описывается стационарная климатическая модель с осреднением по зонам, основывающаяся на энергетическом балансе активной поверхности океана. Составляющие энергетического баланса параметризованы как функции переменных пограничного слоя океана и атмосферы. Чувствительность модели приближена к действительности путем учета локальных и глобальных обратных связей.

Рассматриваемая модель проверялась тремя прогнозами второго рода, связанными с изменениями солнечной постоянной. При этом были сделаны следующие выводы:

1. Задавая низкие температуры поверхности моря в полярных районах, модель правильно восстанавливает настоящий климат.

2. При учете обратной связи лед-алъбедо для обеих полушарий, чувствительность модели имеет величину реального порядка, несколько завышенную по сравнению с более сложными моделями. Распределение чувствительности по широтам оказывается реальным для всех изучавшихся метеорологических элементов.

3. При задании неизменных величин температуры поверхности моря в полярных районах (т. е. если не учитывается обратная связь лед-альбедо), чувствительность уменьшается на один порядок величин и ее распределение по широтам становится нереальным.

4. Процессы, связанные с атмосферной водой, представляют собой отрицательную обратную связь с точки зрения радиационного баланса всей поверхности.

По классификации Зальцмана (1978) рассматриваемая модель занимает место где-то по середине среди статистико-динамических моделей.

AZ ÉGHAJLATINGADOZÁSOK KUTATÁSÁNAK ESZKÖZEI, EGYÜTTMŰKÖDÉS KÜLÖNBÖZŐ TUDOMÁNYÁGAKKAL

KOPPÁNY GYÖRGY
A FÖLDTUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

Napjainkban az éghajlatkutatás második virágkorát éli. Az első föllendülés akkor következett be, amikor egy-egy mérőállomáson elegendő hosszú adatsor gyűlt össze ahhoz, hogy valamely földrajzi tájegység éghajlatát jellemezni lehessen. Az éghajlatkutatás célja ekkor az éghajlat osztályozása, ezen osztályok földrajzi eloszlásának megismerése volt.

Az 1920-as és 30-as évektől kezdve az éghajlatkutatást fokozatosan háttérbe szorította a meteorológia egy másik fontos ága, a prognosztika. Az egyre bővülő szinoptikai állomáshálózat, új fölfedezések, az elméleti kutatások által fölvetett kérdések a meteorológusok jelentős részének figyelmét az időjárás előrejelzése felé fordította.

Az 1970-es évek kezdetétől az éghajlatkutatás ismét egyre nagyobb tért hódít, ugyanakkor a kutatás súlypontja eltolódott az éghajlat változékonyságának, az éghajlatingadozásoknak tanulmányozása felé. Ebben szociológiai, népesedési, gazdaságpolitikai okok is közrejátszottak. Elegendő talán, ha tekintetbe vesszük, hogy a legutolsó 30—35 évben bekövetkezett népességrobbanás miatt erősen csökkent a természeti erőforrások egy főre eső része. A természeti erőforrások jelentős hányada pedig közvetlenül vagy közvetve kapcsolatban áll az éghajlattal. Ha a Föld éghajlata változik, ennek mélyreható következményei lehetnek az emberiség gazdasági, társadalmi fejlődésében.

Az alapvető kérdések: milyen gyakran, milyen tartósan és milyen mértékben ingadozik az éghajlat? Ezekre a kérdésekre a meteorológia hivatott válaszolni. A válasz kétféle úton közelíthető meg: 1. az éghajlat elméleti, numerikus modelljeinek segítségével, 2. az éghajlat múltjának minél alaposabb megismerésével. Az elméleti modelleken végzett kísérletekről a Tudományos Napok keretében más előadások számolnak be. Mi most a második lehetőséget fogjuk megvizsgálni.

A múltban lezajlott éghajlatingadozások feltárásában a műszeres mérésadatok legfeljebb 2—3 évszázadra elegendők. Eddig terjed a hivatalos és egyben a leghitelesebb meteorológiai vizsgálatok köre. 1800 előtt 20-nál kevesebb, 1850-ig legfeljebb 35 volt a világon működő mérőállomások száma. A távolabbi múlt megismeréséhez a szokásostól eltérő kutatási eszközöket kell használni, sőt más tudományágakat kell segítségül hívni.

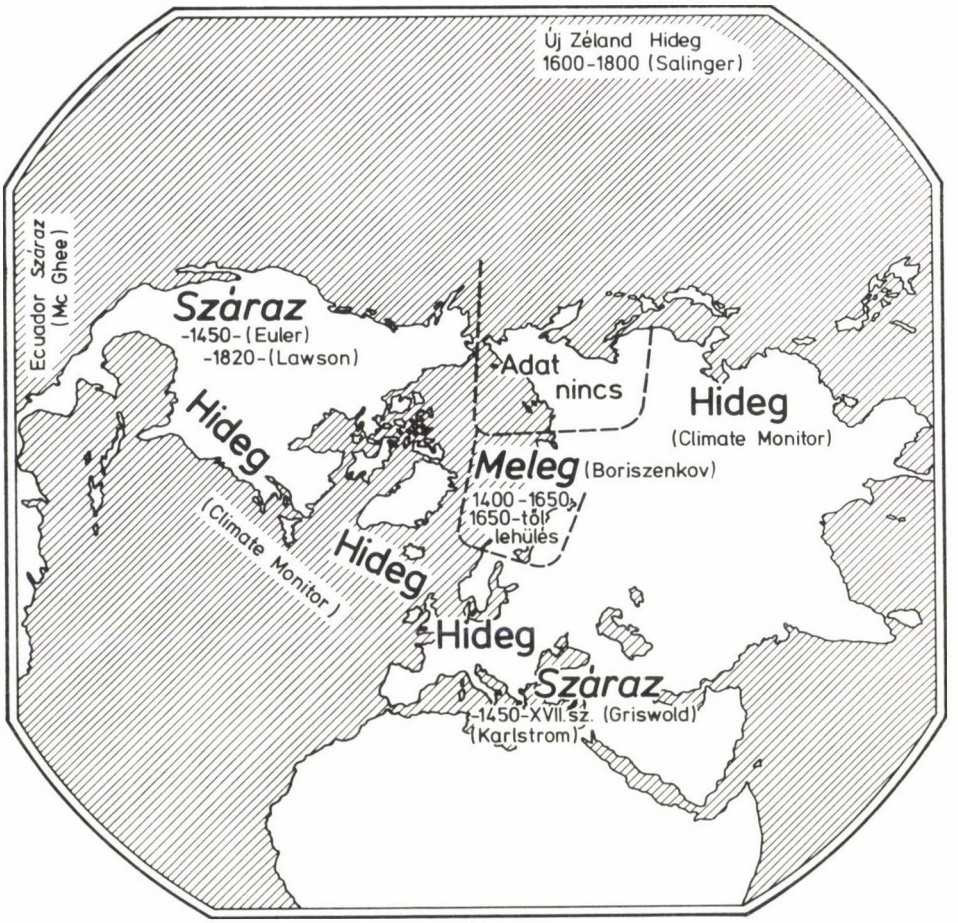
Általánosan elfogadott nézet, hogy napjainkban a polihisztorok kora lejárt. Senki sem állíthatja magáról teljes joggal, hogy egyidejűleg különböző tudományágakban kellőképpen járatos. Legfeljebb felszínes tudásra tehet szert. A természet azonban gyakran nem tiszteli a mesterkélt határokat, amelyekkel a klasszikus természettudományok vizsgálati körét, a fizikáét, kémiáét, biológiáét egymástól elválasztottuk. Egy-egy konkrét természeti jelenség minél teljesebb megértéséhez szükségünk lehet a fizikára, kémiára, biológiára, sőt humán tudományokra is. A tudományok széles körű mozgósítására van szükség akkor is, amikor a régmúlt éghajlatingadozásokról akarunk információt gyűjteni.

Tekintsük át röviden azokat az eszközöket, amelyeket, bár a legkülönbözőbb tudományok tárgykörébe tartoznak, az éghajlatingadozások korszerű kutatása nem nélkülözhet:

1. *Történelmi források*, írásos vagy rajzos följegyzések, *amelyek közvetlenül utalnak az időjárás szélsőségeire vagy tartósabb megváltozására.* A történelmi források datálása aránylag megbízható, a leírt időjárási események mennyiségi értékelése viszont gyakran szubjektív és bizonytalan. Említésre méltó RÉTHLY ANTAL munkássága, aki csaknem kétezer évre visszamenően összegyűjtötte a hozzáférhető történelmi följegyzéseket, amelyek időjárásra vonatkozó adatokat tartalmaznak. Kétkötetes műve: Időjárási események és elemi csapások Magyarországon, az Akadémia Kiadó gondozásában jelent meg 1962-ben, ill. 1970-ben. A mű iránt nagy érdeklődés mutatkozik mind külföldön, mind idehaza.

2. *Régészeti feltárások* elsősorban azokon a területeken nyújtanak sok értékes információt a régmúlt éghajlatváltozásokról, ahol az ember számára még éppen lakható és a már lakhatatlan zónák találkoznak. Ilyenek a sivatagok és félsivatagok, az állandó hótakaró és a nyári legelőterület határzónája. Ezeken az átmeneti területeken az éghajlatingadozások jól kimutatható nyomokat hagynak. Egy-egy szárazabb periódus során a mezőgazdasági területek egy része elsivatagasododik, az állattartás feltételei elromlanak, az ember a terület elhagyására kényszerül. Nedvesebb éghajlatú kornak beköszöntével ismét megtelepszik. Az örök hó- és jégtakaró határán a vadászat, halászat lehetőségei még éppencsak adottak, de az éghajlat hidegebbre fordulásakor megszűnnek, az ember kénytelen délebbre költözni. Egy-egy melegebb korszak során pedig ismét meghódítja az elhagyott területet.

3. A nagyon öreg *fák évgyűrűinek* vizsgálata különböző módon történhet. Az első feladat az egyes évgyűrűknek a történelmi évekkel való azonosítása (dendrokronológia). Az évgyűrűk vastagsága kevésbé megbízható mutatója az adott év időjárásának, mint gondolnánk. Egyrészt idővel változik a fák időjárás iránti érzékenysége, másrészt az évgyűrűk vastagsága részben a megelőző évek időjárásától is függ. Megbízhatóbb adatok nyerhetők *az egyes évgyűrűk faanyagának fajsúlyából*, a nagyobb fajsúly melegebb, a kisebb faj-

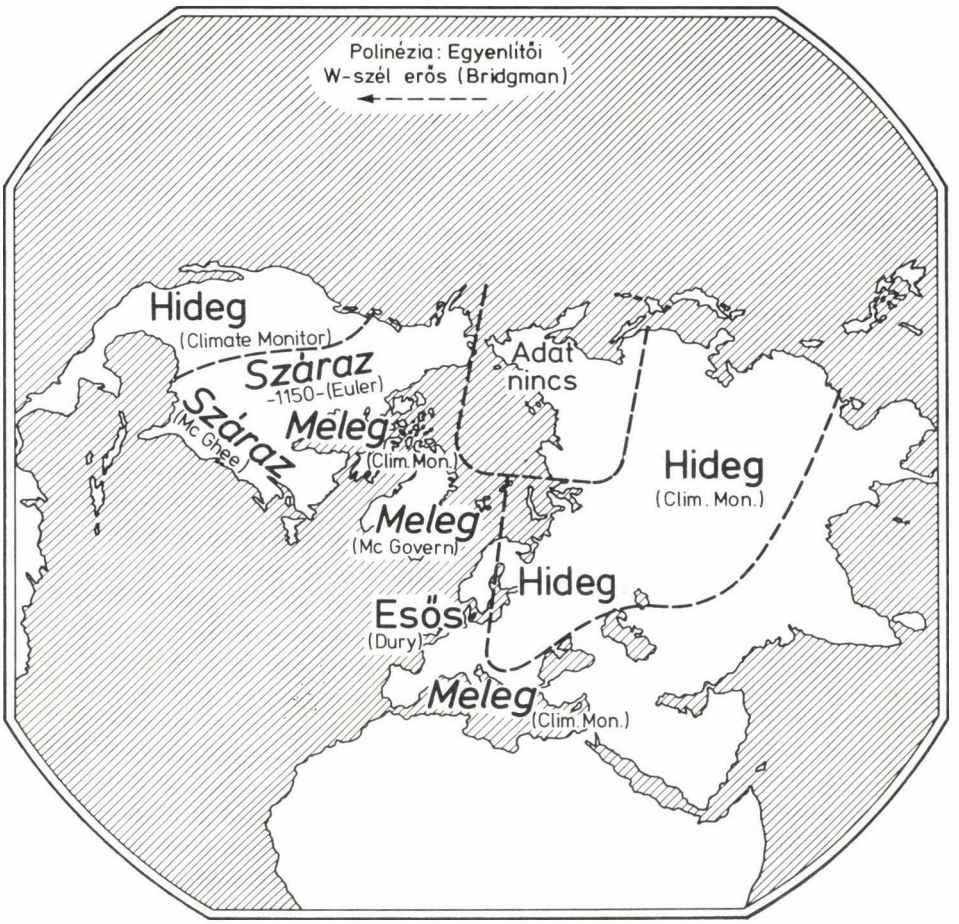


1. ábra. Kis jégkorszak, 1450—1850

súly hidegebb évre utal. Az egyes évgyűrűk építőanyagának laboratóriumi elemzésével megállapíthatók a $C_{14} : C_{12}$ vagy $O_{18} : O_{16}$ *izotóparányok*. Főleg az utóbbi izotóparány meglehetősen pontos indikátora az uralkodó hőmérsékletnek.

4. A *virágpor-* (pollen) *elemzés* ma már széles körben alkalmazott tudományos módszer. (Egyebek között a kriminalisztikában is alkalmazzák: a gyanúsított személy ruhájában megtapadt virágpor azonosításából kinyomozható az előző tartózkodási helye.) A virágpor és spóra lerakódik és az egymás alatti talajrétegekben tárolódik, több tízezer évre visszamenően megőrizve a különböző éghajlatú korszakok flórájának nyomait.

5. A *tengeri üledékek* őrzik a legrégibb adatokat az elmúlt éghajlatváltozásokról. Az üledékek az óceánok alatt évmilliókig háborítatlanok maradnak,

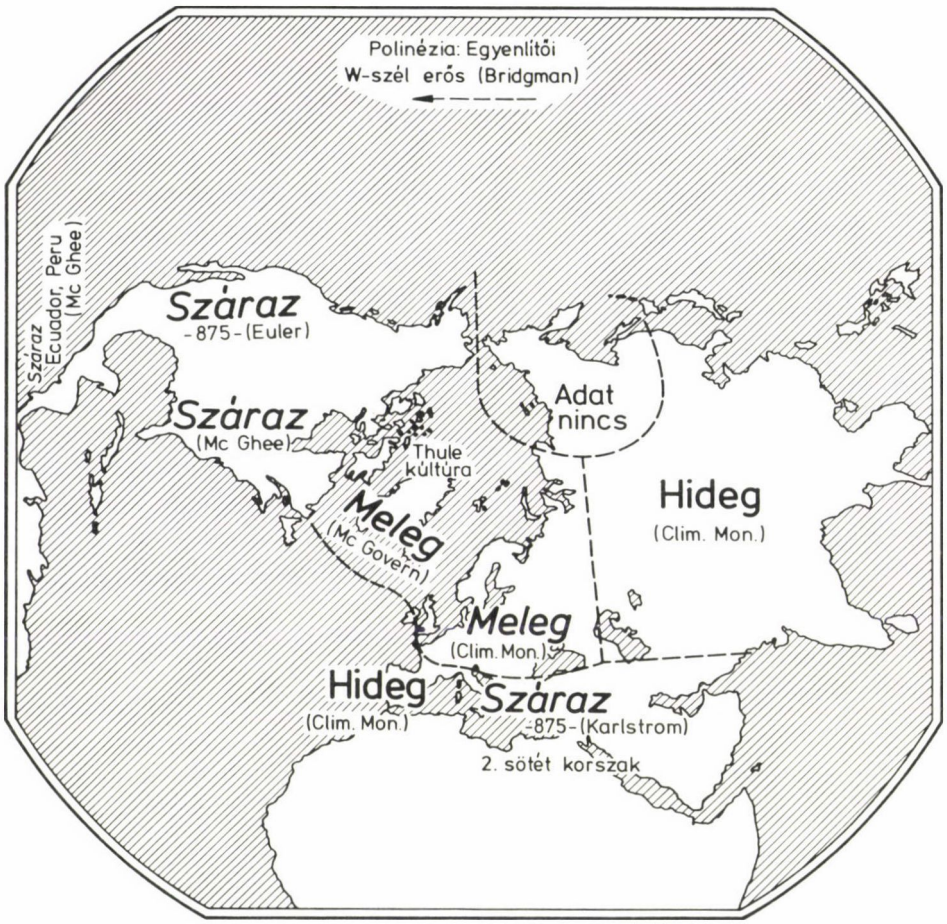


2. ábra. Középkori optimum éghajlat, 1100—1300

a belőlük vett fúrásmintákból feltárható a különböző éghajlatot kedvelő mészvázú állatkák maradványai, és így az egymás alatti rétegek elárulják a százezer vagy millió évekkel ezelőtt lejátszódott éghajlatingadozásokat.

A felsorolt kutatási eszközök közül az utolsó négy nem szolgáltat közvetlenül időjárásra vagy éghajlatra vonatkozó adatokat, ezeket az angol szakirodalom „proxy" adatoknak nevezi. A „proxy" adatok bár más tudományok területén jól értelmezhetők, az éghajlatváltozások tekintetében csupán közvetett bizonyítékokat nyújtanak.

Megbízhatóság tekintetében a „proxy" adatok legtöbb esetben pontosabb képet adnak az éghajlatváltozásokról, mint a történelmi források, datálásuk viszont sokkal nehezebb és gyakran meglehetősen pontatlan.



3. ábra. Normann invázió, 800—1100

A különböző eljárásokkal nyert éghajlati adatok kronologikus sorrendbe gyűjthetők, így a *többé-kevésbé azonos korból származó adatok egymással összevethetők*, kontrollálhatók. Ugyanakkor a megközelítően azonos időszakból, de a Föld egymástól távol eső vidékeiről összegyűjtött éghajlati adatok alapján olyan *hemiszférikus térképek szerkeszthetők, amelyek az elmúlt évezredek során bekövetkezett éghajlatingadozások földrajzi kiterjedését mutatják be.* Természetesen az adatok gyér volta és bizonytalansága miatt ezeket a régmúlt éghajlatváltozásokat ábrázoló térképeket nem szabad a modern korok klíma-atlaszaival összemérni pontosság és részletesség tekintetében. Inkább úgy kell tekinteni az itt bemutatott ábrákat, mint a XVI—XVII. századból származó világatlaszokat, amelyek az akkori földrajzi ismeretek szerint korszerűek voltak, ma azonban senki sem használja fel a világon való tájékozódáshoz.

4. ábra. Korai középkori minimum, 550—800

Időrendben visszafelé haladva a legelső olyan időszak, amelynek éghajlata kimutatható módon eltér a jelenlegitől a XV. sz.-ban kezdődő és a XIX. sz. közepén végződő ún. „kis jégkorszak" volt. Az északi félgömb lakott területeinek nagy részéről fennmaradt történelmi és „proxy" adatok szerint a lehűlés szinte az egész hemiszférára kiterjedt (1. ábra). A XV. sz. közepén Észak-Amerika nyugati részén, a Földközi-tenger keleti medencéjében és a Közel-Keleten száraz éghajlat uralkodott. Az általános lehűlésnek látszólag ellene mond a Skandináviától északra és északkeletre föllépő melegedés, amely 1400-tól 1650-ig a mainál kedvezőbb feltételeket nyújtott az arktikus tengeren történő hajózásnak (Borisenkov, 1979). Valószínű azonban, hogy az arktikus medence *európai szektorában* ez a fölmelegedés utolsó maradványa annak a meleghullámnak, amely évszázadokkal előbb a kanadai szigetvilág térségében kezdődött

5. ábra. Japán aranykor, 350—450

és több évszázadon át lassan terjedt tovább az atlanti térségen keresztül Nyugat-Európa felé.

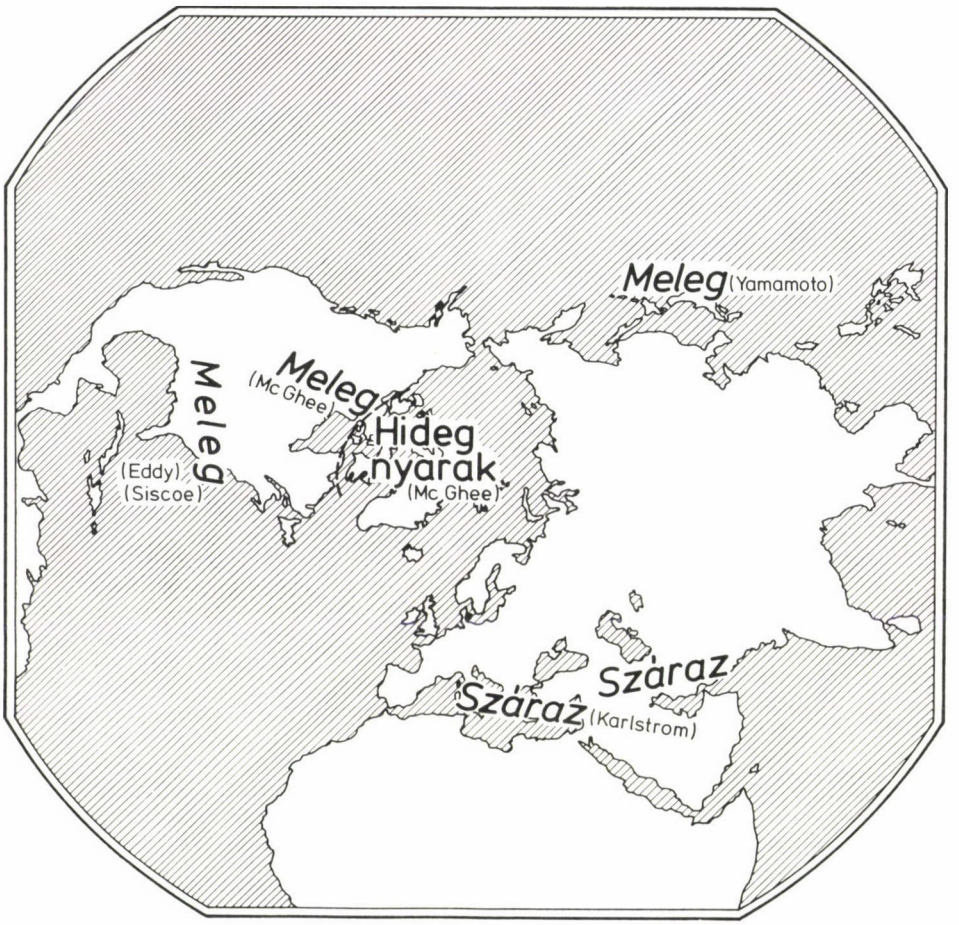
A következő térképek (2—4. ábra) mutatják ezt a folyamatot. A XI—XIII. sz.-ban az atlanti és nyugat-európai térségben bekövetkezett enyhe időszakot „*középkori optimum éghajlat*" néven szokták emlegetni a szakirodalomban. Ennek létezését bizonyítják egyebek között azok a följegyzések, amelyek szerint pl. Dél-Angliában virágzó szőlőművelés folyt. Globális méretű melegedésre utaló „proxy" adatok a fák évgyűrűiből vett minták, amelyek szerint a $C_{14} : C_{12}$ arány a XI—XIII. sz. körül határozottan csökkent. Általánosan elterjedt nézet szerint a C_{14} izotóp keletkezése a naptevékenység erősödésekor csökken, a Föld éghajlata ugyanakkor melegszik. A 6—8 ezer éves borzas tobozú fenyők (bristlecone pine — Nyugat-Amerika) évgyűrűiből vett minták

6. ábra. Késői bronzkor, 100—300

alapján az izotóparány változása évezredekre visszamenően követhető (J. A. Eddy, 1977; G. L. Siscoe, 1978). Figyelemre méltó, hogy az általános melegedés Kelet-Európára és Ázsia jelentős részére nem terjedt ki (Climate Monitor, 1977). Éghajlatváltozásra utal a polinéziai népvándorlás irányában bekövetkezett fordulat (a 700-tól 1350-ig terjedő időszakban). A népvándorlás ebben az időben nyugatról kelet felé történt, vagyis az uralkodó passzát széllel ellentétes irányban. A korabeli vitorlázástechnika mellett ez csak úgy képzelhető el, hogy a passzát szél jelentősen gyengült, és az egyenlítői nyugati légáramlás vált uralkodóvá (2—4. ábra) (Brigman, 1979).

A IX—XI. sz. egyik fő jellegzetessége az, hogy a magasabb szélességeken általában a mainál enyhébb éghajlat uralkodott, norvég bevándorlók telepedtek meg Grönlandon és virágzó tehenészetet honosítottak meg (Mc Govern,

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA



7. ábra. Római kor, i. e. 100— i. sz. 100

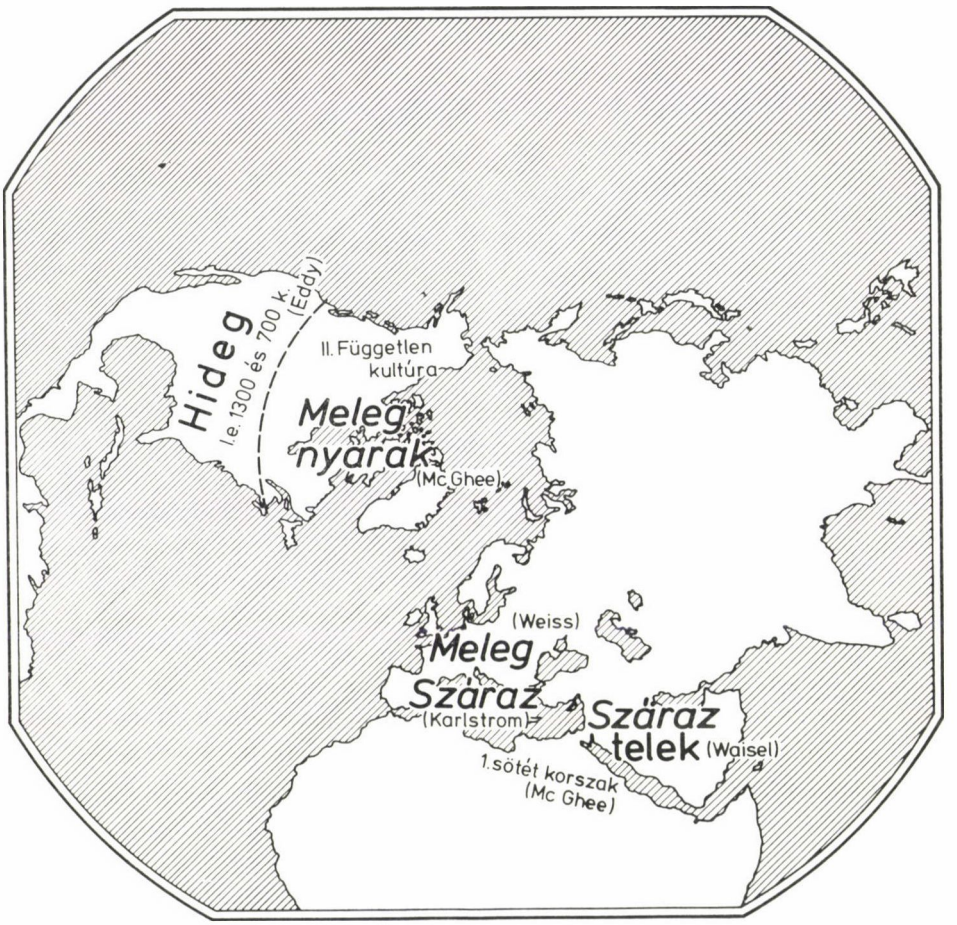
1979; 3. ábra). Grönland északnyugati részén ebben az időben fejlődött ki az ún. *„Thule-kultúra"*; a IX—XI. sz. ugyanakkor a normannok hódításának kora, akik a vikingek vezetésével meghódították Kelet-Angliát, Izlandot és több más észak-atlanti szigetet. Érdemes megfigyelni, hogy az arktikus és szubarktikus térségek melegedésével egyidejűleg a Föld számos térségében (Colorado, Amerikai Nagy-Alföld, Ecuador, Peru, Közel-Kelet) szárazodás köszöntött be (Mc Ghee, Euler R. C., 1979).

Megközelítően a VI—VIII. sz.-ban a mérsékelt szélességeken általános lehűlés következett be, ezt a korszakot ezért „korai középkori hideg időszaknak" is nevezik (4. ábra). Egyebek között a C_{14} izotóparány megnövekedése (naptevékenység gyengülése) is ezt látszik igazolni (Eddy, 1977; Siscoe, 1978). Ugyanakkor a kanadai szigetvilág térségében egy hosszabb hidegkorszakot

8. ábra. Homéroszi kor, i. e. 700—400

váltott fel egy viszonylag enyhébb éghajlat (Mc Ghee, 1979), és a Távol-Keleten is melegebb időszak uralkodott (Climate Monitor, 1977). Számos adat utal az éghajlat szárazodására Észak-Amerikában és Dél-Amerikában (Mc Ghee, 1979), Spanyolországban (Barcelo, 1979), továbbá erre az időre esik a római hellén világ ún. „második sötét korszaka", amikor téli esők mennyisége jelentősen csökkent.

Időben visszafelé haladva egyre kevesebb adatot sikerült összegyűjteni az éghajlat ingadozásairól, ezért a hemiszférikus térképeink is hézagosabbakká válnak. Az i. u. 350—450 közötti évszázad az ún. *„japán aranykor"*, amelyre forró és száraz éghajlat a jellemző a japáni szigeteken (5. ábra). A japán császárságban ekkor virágzó gazdasági és kulturális élet folyt (Yamamoto, 1979).



9. ábra. Izraeli állam, i. e. 1300—700

A kanadai arktikus területeken hideg, a Colorado-fennsíkon és Közel-Keleten száraz éghajlat uralkodott (EULER, 1979; KARLSTROM, 1979).

Az i. u. 100—300 közötti évszázadokban, a bronzkorszak végén Japán éghajlatában számottevő romlás következett be: hidegebb és viharosabb korszak kezdődött, amely akadályozta a tengeri kereskedelmet a szigetország, valamint Korea és Kína között (YAMAMOTO, 1979). A kanadai arktikus területeken hűvös nyarak uralkodtak (6. ábra).

Időszámításunk körüli két évszázadra általános melegedés volt jellemző (7. ábra). Mivel ez az időszak egybeesik az ókori Római birodalom legnagyobb kiterjedésével, ezért megkülönböztetésül a „*Római kornak*" nevezzük. A Földközi-tenger medencéjében és Nyugat-Ázsiában egy kissé száraz éghajlat volt a jellemző (KARLSTROM, 1979).

10. ábra. Stonehenge, i. e. 2000—1300

Az időszámításunk előtt 700—400-ig terjedő három évszázadban az északi hemiszféra nagy részén hideg éghajlat uralkodott, kivéve Ázsia közepes és alacsonyabb szélességű zónáját (8. ábra). Ezt a korszakot megkülönböztetésül „*Homéroszi kornak*" nevezzük.

Az i. e. 1300—700 közötti évszázadokról aránylag sok adat gyűlt össze a kor éghajlatának jellemzésére. Egész Kanadában, valamint az arktikus szigetvilág térségében enyhe nyarak uralkodtak, az utóbbi területen ekkor virágzott a paleoeszkimók által létrehozott ún. „*második független kultúra*" (Mc Ghee, 1979). Az időszak kezdetén és végén Amerika mérsékelt szélességein a C_{14} izotóp bősége hűvösebb éghajlatot valószínűsít (Eddy, 1979). Erre az időre esik a hellén világ ún. „*első sötét korszaka*" és Izrael államának megalakulása, ez utóbbi miatt ezt a kort „*Izrael állam korának*" nevezzük (9. ábra).

11. ábra. Piramis kor, i. e. 2200—2000

Az i. e. 2000—1300 közötti időszakban Kanadában és az arktikus szigeteken paleoindiánok és paleoeszkimók eltűnése a nyarak hideg voltára utal, míg az amerikai kontinens többi részén a C_{14} izotóparány csökkenése miatt enyhébb éghajlat uralkodhatott (10. ábra). A Közel-Keleten elterjedt flóra nedvesebb, hűvösebb éghajlatról tanúskodik (WAISEL, 1979). Mivel ebben a korszakban jelent meg Angliában a rejtélyes Stonehenge kultúra, ezt az időszakot „*Stonehenge-kornak*" nevezzük.

Számos régészeti lelet utal arra, hogy az i. e. 3. és 2. évezred fordulóján az éghajlat jelentősen változott az északi félgömb több pontján. Kelet-Afrika és India éghajlata szárazabbá vált, a Nílus apadása miatt Egyiptom az ún. „*második sötét korszakát*" élte át. Ugyancsak régészeti adatok bizonyítják, hogy az i. e. 3. évezred elején a Szaharát pásztorkodó népek lakták, azaz a sivatag

helyén legelők voltak és a mainál nedvesebb éghajlat uralkodott. Az évezred végére azonban a pásztorkodás megszűnt az elsivatagosodás következtében. Ugyanakkor az amerikai kontinens legészakibb területein hidegebb időszak köszöntött be, a Nagy Sós-tó vidékén az éghajlat nedvesebbre fordult (11. ábra). Ezt a korszakot a piramisépítések miatt „*Piramis kor*nak" nevezzük.

A bemutatott térképek, minden hiányosságuk ellenére, jó néhány értékes adatot szolgáltatnak Földünk éghajlatának múltjáról. Mindenesetre bizonyítják azt, hogy a történelmi források, régészeti kutatások, botanikai és zoológiai feltárások, az izotóparányok laboratóriumi elemzése olyan adatokat nyújtanak, amelyeknek szintézise a régmúlt éghajlatingadozások egyre pontosabb és részletesebb megismeréséhez vezet.

IRODALOM

1. Barcelo, M.: Locust plagues in Mid-West Hispania in the 6^{-th} and 7^{-th} centuries as a climatic factor. Intern. Conf. Climate and History, 8—14 July, 1979. Norwich, England. Abstracts, p. 73, 1979.
2. Borisenkov, E. P.—Pasetsky, V. M.: Extreme meteorological phenomena according to Russian historical sources of the 10^{-th} to 19^{-th} centuries. U.ott. Abstracts, p. 11, 1979.
3. Bridgman, H. A.: Climatic change and the Polynesian migrations. U.ott. Abstracts, p. 14, 1979.
4. Climate Monitor: Climatic Research Unit, Norwich, England. **6,** 4, Sept—Nov. 1977.
5. Dury, G. H.: Climate and settlement in the English Midlands, 1050—1350 A. D. U.ott. Abstracts, p. 22, 1979.
6. Eddy, J. A.: The case of the missing sunspots. Scientific American, **236,** 80—92, 1977.
7. Euler, R. C. et. al.: Paleoenvironmental and cultural correlations on the Colorado Plateaus. U.ott. Abstracts, p. 23, 1979.
8. Griswold, W. J.: Climatic variation and the social revolutions of seventeenth century Anatolia. U.ott. Abstracts, p. 78, 1979.
9. Karlstrom, Th. N. V.: Paleoclimate and Meditarranean History. U.ott. Abstracts, p. 82, 1979.
10. Lamb, H. H.: An approach to the study of the development of climate and its impact in human affairs. U.ott. Review Papers, 91—108, 1979.
11. Lawson, M. P.—Stockton, C. W.: The Great American desert: Exploratory Myth or climatic reality? U.ott. Abstracts, p. 85, 1979.
12. Mc Ghee, R.: Archeological evidence for climatic change during the past 5000 years. U.ott. Review Papers, 109—127, 1979.
13. Mc Govern, T. M.: The economics of extinction in Norse Greenland. U.ott. Abstracts, p. 39, 1979.
14. Réthly A.: Időjárási események és elemi csapások Magyarországon. I—II. kötet. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1962, 1970.
15. Salinger, M. J.: Agricultural implications of climatic changes in New Zealand. U.ott. Abstracts, p. 52, 1969.
16. Siscoe, G. L.: Szoláris terresztrikus hatások az időjárásra és az éghajlatra. 1978. (Fordítás.) Csillagászati Évkönyv, 283—293, 1980.
17. Underhill, J.—Ingram, M. J.: The use of documentary sources for the study of past climate. U.ott. Review Papers, 59—90, 1979.
18. Waisel, Y. et. al.: Fluctuations in the aridity line in Israel during the late Bronze Age . . . U.ott. Abstracts, p. 85, 1979.
19. Weiss, B.: The decline of Late Bronze Age civilization as a possible response to climatic change. U.ott. Abstracts, p. 60, 1979.
20. Yamamoto, Takeo: Climatic fluctuation in prehistoric Japan and its influence on the change of burial styles. (Kézirat), 1979.

TOOLS FOR THE STUDY OF CLIMATIC VARIATIONS — A COOPERATION WITH OTHER BRANCHES OF SCIENCE

GYÖRGY KOPPÁNY

Abstract

Instrumental observations reveal the climate only for the past two or three centuries. To go further back in time, a variety of other independent monitoring techniques should be used, such as written chronicles, tree-ring sections, pollen analyses, isotopic analyses, cores from annually laminated sea and lake sediments, etc. These techniques do not yield direct information on weather and climate, but they are very useful in obtaining indirect evidence on typical fluctuations of climatic variables. Hemispheric maps showing the geographical distribution and periods of changes in climate during the past several thousand years can be constructed by setting together and synthetizing the information from different sources. In the paper a series of such maps are demonstrated.

СПОСОБЫ ИЗУЧЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА — СОТРУДНИЧЕСТВО МЕЖДУ РАЗЛИЧНЫМИ ОТРАСЛЯМИ НАУКИ

Д. КОППАНЬ

Резюме

Для изучения истории изменения климата инструментальные данные имеются не более чем за 2—3 последних столетия. Для того, чтобы более глубоко проникать в прошлое, необходимо пользоваться различными другими видами сведений. Такими являются исторические записи, дендроклиматологические данные, анализ поллена, изотопные анализы, археологические иследования, анализ морских отложений и т. п. Перечисленные сведения не содержат прямой информации о погоде и климате, но оказываются весьма полезными для получения косвенных доказательств относительно изменения климата. Комплексное использование информации, полученной из различных источников, позволяет строить гемисферические карты, отражающие географическое распределение и времена изменений климата за последние тысячилетия. В настоящей работе представлена серия таких карт.

ÉGHAJLATVÁLTOZÁS ÉS KÖRNYEZETFEJLŐDÉS

KORDOS LÁSZLÓ

Környezet alatt tágabb értelemben a földfelszínen lezajló jelenségeket, s azok eredményeit értjük. Szűkebb értelemben a természet anyag és energiaforgalmi kapcsolatának azon térbelileg és funkcionálisan elkülönülő része, amely az adott objektumra, rendszerint élő objektumra ténylegesen hat. Az emberiség részese, s napjainkban alakítója annak a környezetnek, amely tömeges megjelenéséig, majd magas fokú technikai ismereteinek és társadalmi megnyilvánulásainak kialakulásáig, kizárólag a természeti kölcsönhatások rendszerének lehetőségei szerint fejlődött. Annak érdekében, hogy az emberiség jelenlegi és jövőbeni környezetmeghatározó szerepét tisztábban lássuk, célszerű módszernek látszik a múltban lezajlott események ilyen irányú elemzése.

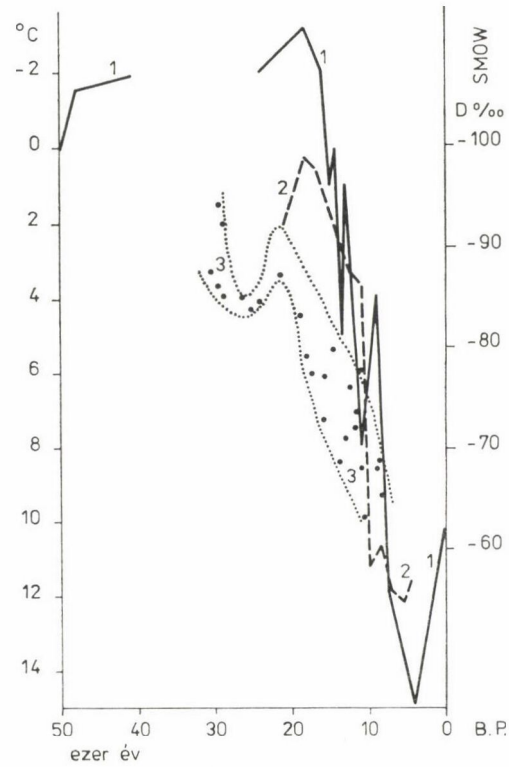
Az alábbiakban előbb az elmúlt 10—18 ezer év klímaváltozásainak a környezetre gyakorolt meghatározó jelentőségű hatását, majd a környezetváltozás—emberi tevékenység kapcsolatát kívánom bemutatni, nagyrészt új hazai eredmények segítségével.

Az elmúlt 10—18 ezer év döntő fontosságú volt a mai környezet és az emberiség kialakulása szempontjából. A már két és fél millió éve tartó pleisztocén jégkorszak lehűlési és felmelegedési szakaszai közül 18—20 ezer éve kezdődött az a ciklus, amely az utolsó glaciális csúcstól, a Würm III. eljegesedési szakasztól napjainkig elvezetett. Az elmúlt 10—15 ezer évben az egész Földön egységesen interglaciálist létrehozó mértékű felmelegedés zajlott le, amelynek a jelenkor, a holocén valószínűleg a csúcspontját jelenti. Minden eközben lezajlott biológiai és földtani mozgás, fejlődés, alapvető oka a tartós és globális éghajlatváltozás volt, amely mint totális folyamat számos részeseményre tagolódott, egyedi és sajátos formában nyilvánult meg. A vizsgált szakasz a földtörténet legrövidebb egysége, amely a mai környezet és az emberiség térhódításának időszaka, ugyanakkor a legtöbb adatot is tartalmazó része. Ezen adottságok miatt alkalmas modellszerű vizsgálatra, a klímaváltozások, valamint környezet várható fejlődésének előrejelzésére.

Az Éghajlati Világprogramhoz kapcsolódó, itt bemutatásra kerülő eredmények Magyarországra, tágabban Közép-Európa kontinentális területeire vonatkoznak. Az elmúlt glaciális csúcs óta eltelt időszak éghajlatváltozásainak kimutatására számos lehetőség kínálkozik, mint a kőzettani, üledékföldtani,

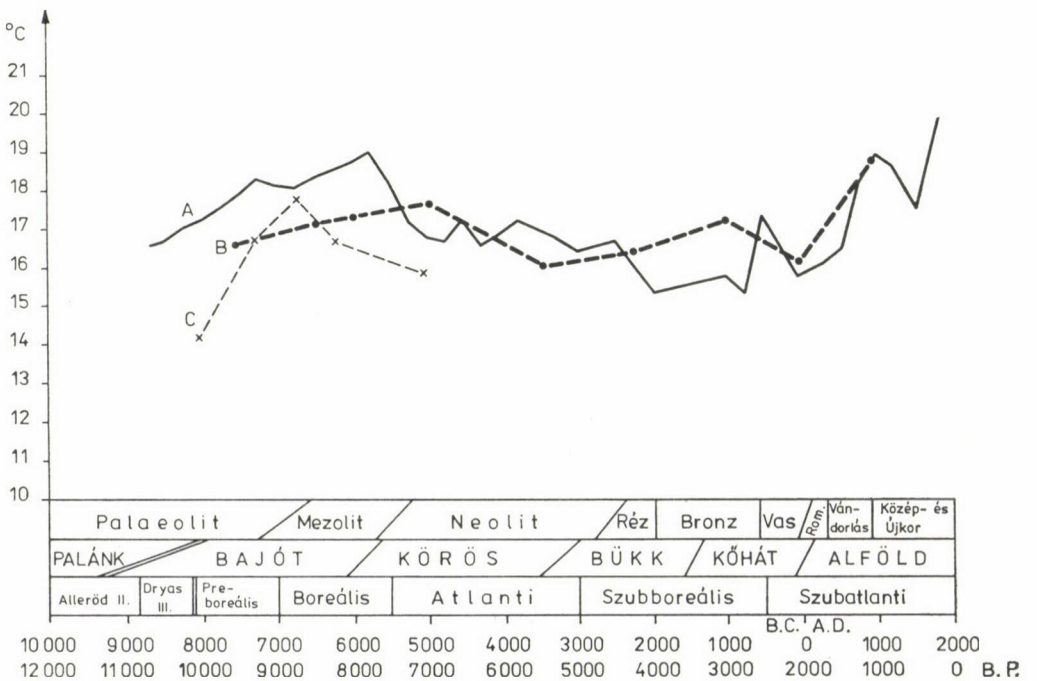
eusztatikus, glaciológiai, botanikai, zoológiai és fizikai-kémiai módszerek. Míg tengerparti területeken és jéggel borított vidékeken számos paleoklimatológiai rekonstrukciós lehetőség kínálkozik, addig a kontinensek belsejében a rendelkezésre álló módszerek száma jóval kevesebb. Magyarországon ismeretesek a pollenmaradványok alapján levont klímakövetkeztetések (ZÓLYOMI B., 1958; JÁRAI-KOMLÓDI M., 1969) és hasonló értékű adatokat szolgáltattak a kisemlősökre alapított ún. „pocok hőmérő" és az „Arvicola humiditás" módszerek (KRETZOI M., 1957; KORDOS L., 1977). Legújabban az Alföld felszín alatti vizeinek C—14-gyel datált mintáiban mért oxigén izotópos paleoklíma adatok adnak további támpontot (DEÁK J., 1980; DEÁK J.—KORDOS L., 1980).

A számszerű klímaértékeket adó módszer eredményei egymással jól korrelálhatók (1. ábra). A 18 ezer évvel ezelőtti Würm III. eljegesedés idején a januári középhőmérséklet —18, a júliusi +9 és 12 °C közötti, az évi középhőmérséklet 0,5 és 3 °C között volt. Ettől kezdődően kisebb klímaingadozásokkal tarkítva, a jelenkor kezdetéig, mintegy 9—10 ezer évvel napjaink előttig, lassú felmelegedést lehetett tapasztalni (KRETZOI M., 1957). A holocén interglaciális létrejöttében döntő jelentőségű volt a óholocén klímaoptimum kialakulása,

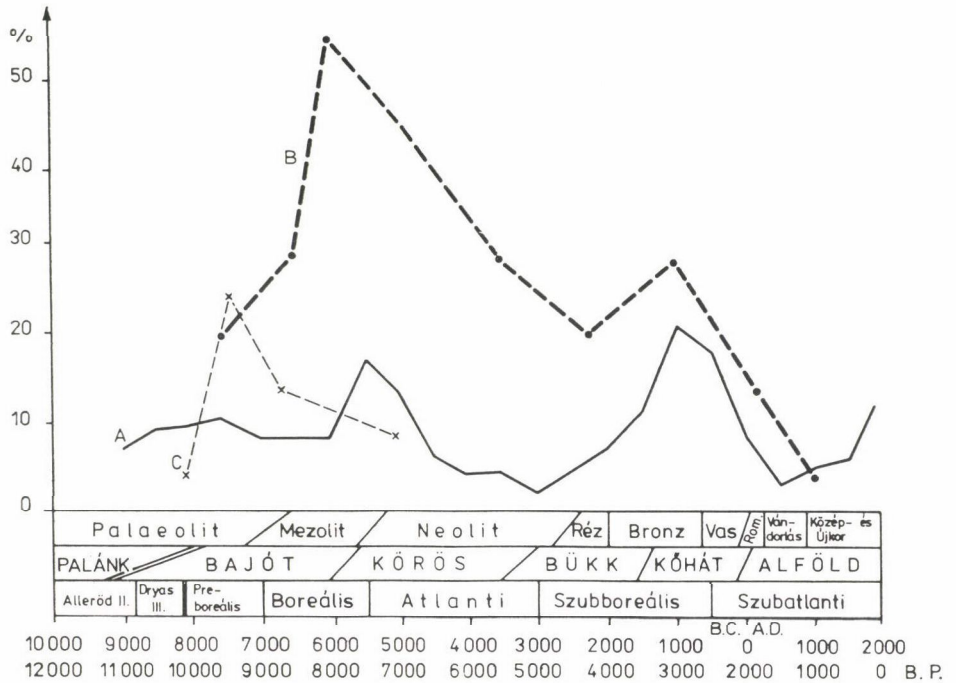


1. ábra. Az elmúlt 50 ezer év hőmérsékleti változásai Magyarország területén. 1. pollen; 2. „pocok hőmérő"; 3. felszín alatti vizek stabil izotópja alapján

amely a Kárpát-medencében 7 és 8 ezer évvel ezelőtt jelentkezett, 18,8 °C júliusi középhőmérséklettel (2. ábra). E klimatikus optimumot lehűlés követte 3000 B. P.-ig, majd napjainkig több felmelegedéssel és lehűléssel váltakozó, az északi féltekén egyöntetűen kimutatható ingadozás tapasztalható, mint többek között a „kis jégkorszak" vagy a „kis optimum" (KORDOS L., 1977). A hőmérsékleti viszonyok változásával a nedvességviszonyok is ingadoztak. A Würm III. eljegesedés idején ugyan arid klíma volt, de annyi csapadéknak hullania kellett, hogy az elégséges legyen a talajvizek táplálására. A felmelegedéssel együtt a nedvesség is növekedett, bár ennek mértékére csak a holocénből állnak rendelkezésünkre az ún. „Arvicola humiditással" mért relatív adatok (3. ábra). A vízi pocok gyakoriságát jelző érték megoszlása alapján nedvesség maximum a Kárpát-medencében 8500 és 7000 B. P.-ig, valamint 4000 és 2000 B. P. között alakult ki, míg minimumot 5000 és 4000 B. P., valamint 1500 és 1000 B. P. között lehetett tapasztalni (KORDOS L., 1977). Magyarország geomorfológiai és talajtani képének kialakításában is alapvető eltéréseket okozott a klímaváltozás. A Würm III. eljegesedés idején a hideg-hűvös arktikus klíma alatt még lösz képződött, az ún. „Tápiósülyi összlet", de a rövid nedves felmelegedési szakaszban, Tápiósülyön 16 800 B. P.-ben már humuszszint keletkezett (PÉCSI M., 1977). Ugyancsak a Würm utolsó hidegcsúcsa ide-



2. ábra. A „pocok hőmérővel" számított júliusi középhőmérséklet változása a holocénben. A = Magyarország, B = Csehország, C = Frank Alb



3. *ábra.* Az évi nedvességviszonyok relatív változása a holocénben, az „Arvicola humiditás" módszer segítségével. A = Magyarország, B = Csehország, C = Frank Alb

jén az Alföld egyes területein a száraz, hideg klíma alatt futóhomok mozgás volt, ami jellegzetes homokformákat hozott létre (Borsy Z., 1977). Ugyanekkor a Duna mintegy 40%-os lefolyási tényezőjének kb. a felére csökkent, az alpi vízgyűjtő kikapcsolódása miatt. A nyári száraz periódusokat a nyáreleji egybeeső olvadás és csapadékmaximum okozta áradások szakították meg, amelyek nagy tömegű törmeléket szállítottak. A folyók völgymélyítő tevékenysége a glaciális csúcsot közvetlenül követő felmelegedéssel indult meg (Somogyi S., 1961).

Az elmúlt tízezer év folyamán már nem voltak ilyen jelentős klímaváltosok, de a néhány fokos évi középhőmérséklet-ingadozásban, valamint nedvességváltozásban megmutatkozó eltérések jelentős hatásúak voltak. Az általános melegedő tendencia kedvezett a talajképződésnek, s mindazokban a klímaszakaszokban, amikor humid időszak volt, megindult a talajképződés. Magyarországon a holocén folyamán 3—5 talajképződési periódust lehet elkülöníteni. A közbülső száraz időszakokban a homokos területek ismét mozgásba lendültek, s a folyók vízjárása szélsőségesebbé vált.

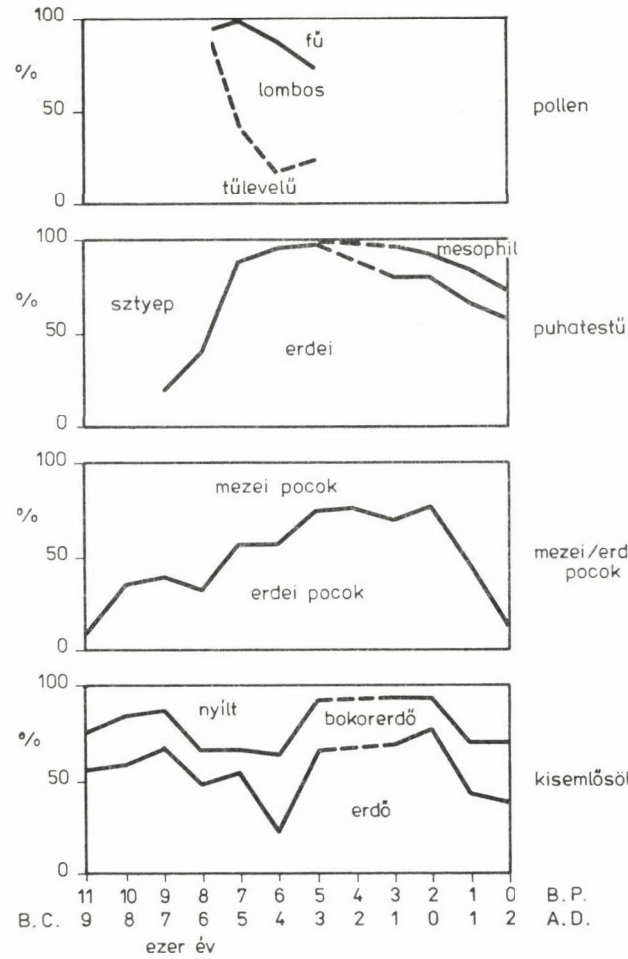
A jelenkori interglaciális vegetációjának kialakulása a széles körű palynológiai és anthrakotómiai vizsgálatok alapján jól ismert (Zólyomi B., 1958;

JÁRAI-KOMLÓDI M., 1969; STIEBER J., 1967). A fejlődés a hideg, száraz löszpusztából a szubarktikus tajga, az erdős tundra fenyő-nyír társulásán át vezetett napjainkban őshonos lombos erdei típushoz.

Ugyanekkor az állatvilág is nagymértékben kicserélődött. Már korábban közismert volt, hogy a felsőpleisztocén nagyemlősök, mint a mammut, gyapjas orrszarvú vagy a barlangi medve a Würm III. glaciálist Magyarországon nem élte túl (KRETZOI M., 1953). A kihalt és visszaszorult hidegtűrő állatvilág megszűntével az addig pesszimumban élt állatok a számukra kedvező irányú élettér változás hatására nagy számban elszaporodtak, míg mások bevándoroltak. A felmelegedéssel párhuzamosan tehát az állatvilág nagy része kicserélődött, új faunahullám fejlődött ki. Ennek illusztrálására szeretném bemutatni a magyarországi középhegységi gerinces faunaváltozást az elmúlt 10 000 évben.

A jelenkori interglaciális, rétegtani nevén Flandrian idején bekövetkezett felmelegedés élővilágra gyakorolt hatása a holocén klímaoptimumában érte el csúcspontját. Ekkor történt meg az az igen jelentős, s az élővilág szukcesszió-jában visszafordíthatatlanul bekövetkezett változás, amikor a hideghez alkalmazkodott flóra- és faunatípusokat felváltotta a modern, melegkedvelő növény- és állatvilág. A magyarországi barlangok holocén üledékeinek komplex biológiai vizsgálatával ugyanazon üledékekből, tehát közvetlen úton sikerült megismerni a klímaváltozás okozta élő környezet fejlődésének kapcsolatát. A 7—8000 B. P.-ben bekövetkezett klímaoptimum meleg és csapadékos időszakában a pollenadatok alapján megtörtént a tűlevelű és lombos vegetáció változása. Hasonló eredményt kaptunk a puhatestűek, valamint a pocokfajok és egyéb kisemlősök ökológiai igényének rekonstruálásával is (4. ábra). A puhatestűek alapján megállapítható volt, hogy a tűlevelű-lombos váltással párhuzamosan a sztyepp fajok dominációját az erdei fajok uralma veszi át, majd a klímaoptimumot követően napjaink felé növekszik a mesophil és nyílt területet kedvelő fajok aránya (FÜKÖH L., 1979). Hasonló eredményre vezetett a mezei és az erdei pocok arányváltozása is, azzal a különbséggel, hogy míg a szárazföldi puhatestű fauna változása szinte azonnal követte a klímaváltozás által bekövetkezett vegetációs váltást, addig a pocokfajok és más kisemlősök a környezeti átalakulást 1—2 ezer éves csúszással követték. E jelenség okát az emlősök nagyobb fokú alkalmazkodó és tűrőképességében kell keresni, ill. abban, hogy a gerinces állatvilág kifejlődését meg kell, hogy előzze a vegetáció változásának kiteljesedése.

Röviden és vázlatosan áttekintve az utolsó glaciális csúcs óta eltelt klímaváltozások okozta környezetfejlődés legfontosabb tendenciáit, az Éghajlati Világprogram szempontjából az eddigi vizsgálati kérdéseket másként kell feltenni. Mindeddig elégséges volt a minőségi összefüggések megállapítása, tehát a nyilvánvaló szélsőséges klimatikus viszonyok okozta környezetváltoztató hatásnak tényszerű regisztrálása. Ahhoz, hogy a múltbeli adatok alapján a jövőben bekövetkező klímaváltozásokat, katasztrófahelyzeteket és a környezetre



4. ábra. A Magyar-középhegység környezetváltozásának tendenciái az elmúlt tízezer évben. Részletesen lásd a szövegben

gyakorolt hatásukat modellezni lehessen, számszerű mennyiségi összefüggésekre van szükség.

A továbbiakban az eddig ismertetett klíma- és környezetrekonstrukciók segítségével kíséreljük meg meghatározni azokat a klimatikus küszöbértékeket, amelyek hatására az élettelen és élő környezetben változás következik be. Az általános, tízezer éves nagyságrendű klímaváltozások felől a kisebb időtartamú és hatású klímaingadozások felé haladva az alábbiakat lehetett megállapítani. Az elmúlt 18 ezer év alatt végbement klímaváltozásnak két csúcspontja volt, a Würm III. glaciális és az óholocén klímaoptimum. A két csúcs között 10—11 ezer év telt el, miközben a morfológiai folyamatokban nem következett be egyirányú átalakulás, hanem több, gyakran ismétlődő jelenség,

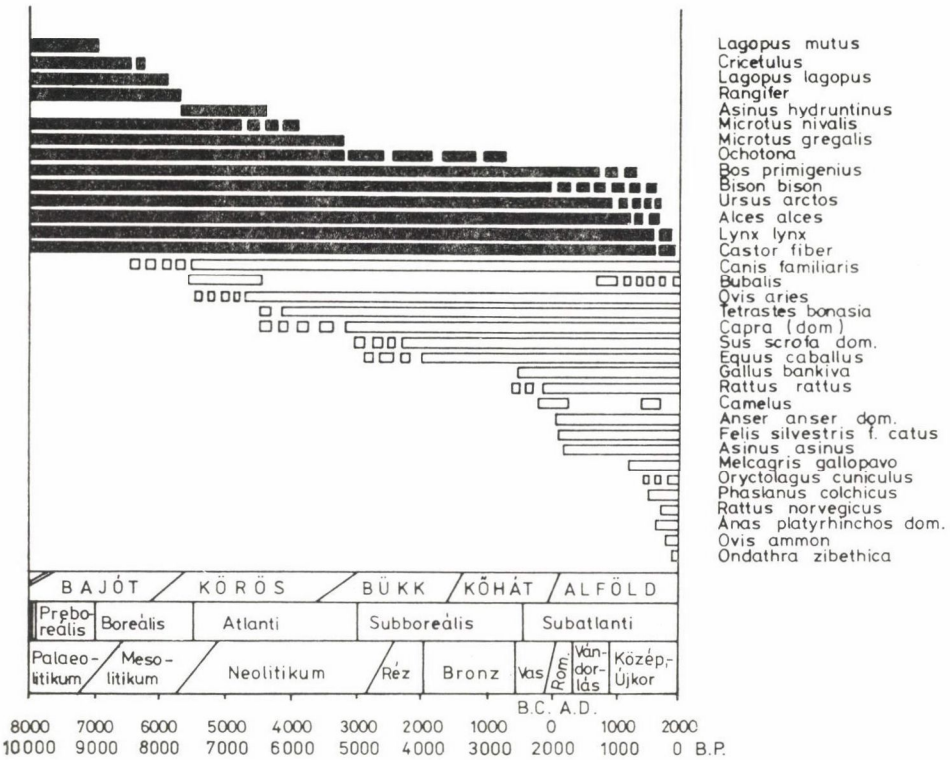
mint pl. talajképződés vagy homokmozgás váltotta egymást. Globálisan annyi állapítható meg, hogy a hideg glaciális löszképződés megszakadásához a 3—4 °C évi középhőmérséklet emelkedésre (—0,5-ről +3—4-re) és alig ezer évre volt szükség. Az ekkor képződött humuszos löszre (Tápiósüly 1. sz. humuszos lösz) az újabb 2,0 °C-os évi középhőmérséklet csökkenés, amely szintén kb. 1000 évig tartott, visszahozta a löszképződést. A hazai löszképződés végleges megszűnése a 13—14 000 B. P.-ben lezajlott tartós, több ezer évig tartó, jelentős, 4—5 °C-os évi középhőmérséklet növekedéssel, s a csapadék gyarapodásával következett be. Ezt a szakaszt követően tehát Magyarországon löszképződésre alkalmas klímaviszonyok nem alakultak ki (PÉCSI M., 1970, 1977 és PÉCSI M. et al., 1977 adatai alapján).

Az élővilágban az arktikus klímából meleg mérsékeltbe történő átmenet egyirányú, visszafordíthatatlan változást okozott. Mint a pollenvizsgálatok adatai mutatják, a két klimatikus csúcs között eltelt 10—12 ezer év, és 10—11 °C évi középhőmérséklet emelkedés eredményeként az arktikus tűlevelű hegységi és a nyílt, hideg kontinentális síkvidéki sztyepp fokozatosan alakult át melegkedvelő lomboserdőbe (JÁRAI-KOMLÓDI M., 1971, 1973). Miután paleobotanikai szempontból ezt az átalakulást 9—10 egységre (fázisra) bontják, így megállapítható, hogy egy-egy fázis, új minőség kialakulásához mintegy 1000—2000 évig tartó, 1—2 °C-os évi középhőmérséklet változásra van szükség.

A gerinces állatvilág fejlődése is egyirányú, visszafordíthatatlan volt. Magyarországról a Würm III. glaciális csúcs időszakából eddig 43 emlősfajt lehetett kimutatni, amelyek közül a holocén kezdetére, mintegy 8000 év alatt 5—6 °C-os évi középhőmérséklet növekedés mellett a faunából 14 faj tűnt el, köztük 6 kihalt. A további jelentős felmelegedés hatására, a 2—3 ezer év alatt végbement újabb 3—4 °C-os évi középhőmérséklet növekedés hatására a hideghez alkalmazkodott fauna fajszáma még 8-cal csökkent az óholocén klímaoptimum tetőzéséig. Az így megcsappant fauna helyébe csak a holocéneleji felmelegedés idején érkeztek először új bevándorlók, összesen 6—7 emlős faj (KORDOS L., 1977; JÁNOSSY D., 1979).

Jelentős faunakiegészülést csak a klímaoptimum hozott, amikor 15—16 új fajjal gyarapodott a magyar emlősfauna. Tehát 10—12 ezer évre és 10—11 °C-os középhőmérséklet növekedésre volt ahhoz szükség, hogy az eredeti természetes állatállomány kétharmadának kicserélődésével teljesen új faunatípus, új faunahullám alakuljon ki (5. ábra).

A tízezer évnél rövidebb ideig tartó klímaváltozások, a klímaingadozások hatásának vizsgálatát két részre kell bontani. Más folyamatok zajlottak le a szélsőséges klimatikus csúcshelyzetekben, s mások a köztes átmeneti periódusokban. Azt azonban már most le kell szögezni, hogy mindkét esetben az átalakulások nem hirtelen, katasztrófa jelleggel zajlottak le, hanem mindenkor fokozatosan. A különbség mindössze a folyamatos átmenet hatásának gyor-



5. ábra. A Kárpát-medence területén a holocén folyamán kihalt (fekete) és megjelent (világos) gerin cesek

sabb vagy lassúbb ütemében s eredményében nyilvánult meg. Klimatikus csúcshelyzetek minden esetben határt jelentenek a környezet fejlődésében, mert ugyanazon éghajlati viszonyok kialakulásáig hosszú idő telik el. Ilyen klimatikus csúcshelyzetet reprezentál a Würm III. glaciális a löszképződéssel, majd annak megszűnésével. Az élővilág fejlődésében a csúcshelyzetben bekövetkező változás jellege attól függ, hogy annak bekövetkezéséig a szukcesszió eljutott-e már klimax állapotába vagy sem; ha igen, mint ez a Würm III. glaciális idején volt, akkor a fejlett társulás fellazulása indul meg, és a küszöbértékek átlépésével megkezdődhet annak irreverzibilis átalakulása. Ebben az esetben már 2—3 ezer évig tartó 3—4 °C-os évi középhőmérséklet növekedés elegendő ahhoz, hogy a túlspeciálizált fajok kihaljanak, s az elvándorlásra alkalmas fajok olyannyira eltávolodjanak az adott területről, hogy az újabb klímaromlás alkalmával már ne térjenek oda vissza. Ellenkező faunafejlődési esetben, a kialakuló új állatvilág a bekövetkező csúcshelyzetben rendkívül gyorsan egészül ki. A pleisztocén gerinces fauna hullámok vizsgálati tapasztalata szerint a felmelegedési csúcsoknak nagyobb hatása van, mint a hideg-

csúcsoknak. E jelenség bekövetkezésének oka, hogy a melegebb klimatikus viszonyok között élő állatok számára a hideg klíma és gyérebb élelemforrás nagyobb ökológiai gát mint a hűvöskedvelőknek. Amennyiben e körülmények, valamint a biológiai élettér is adott, akkor nagy egyed- és fajszámban, valóban látszólag robbanásszerűen jelennek meg az állatok. A magyarországi holocén klímaoptimum idején az elszegényedett pleisztocén gerinces fauna kiegészüléséhez elegendő volt az 1 °C-os évi középhőmérséklet növekedés, valamint egy—másfélezer év. A klimatikus csúcshelyzetek közötti, hosszabb időszakokban az éghajlatingadozásoknak rendkívüli környezetformáló szerepük van. Az ötszáz és ezer év közötti időtartamú, kis amplitúdójú hőmérséklet- és csapadék-ingadozások elegendőek ahhoz, hogy jelentősen megváltoztassák a felszínfejlődési folyamatokat, és változást okozzanak az élővilág dominancia viszonyaiban.

A posztglaciális alleröd és dryas fázisok kialakulása között eltelt 1000—2000 év alatt az évi középhőmérséklet ingadozása a hazai pollenadatok szerint 3—5 °C, míg a „pocok hőmérő" módszer alapján csak 2—3 °C között volt (Járai-Komlódi M., 1969; Kordos L., 1977); az óholocén preboreális idején bekövetkezett beerdősülést az 1—2 °C-os, alig ezer év alatt lezajlott boreális felmelegedés és szárazodás megakasztotta. A néhány hazai példa is mutatja, hogy az 1000 éves vagy rövidebb időtartamú, legfeljebb néhány fokos évi középhőmérséklet ingadozás és csapadékváltozás elegendő a felszínfejlődési folyamatok jelentős és tartós megváltoztatására. Az élővilágban bekövetkező változásokra ugyanekkor nem az új alakok megjelenése vagy eltűnése jellemző, hanem a környezeti feltételek változásához alkalmazkodó területi és egyedszámbeli kiterjeszkedés vagy visszahúzódás. Jelenleg ennek számszerű és megbízható mérésére a legfeljebb 500 vagy ezer éves pontosságú földtani és őslénytani vizsgálatok nem alkalmasak, csak a tendenciák regisztrálása reális lehetőség.

Annak ellenére, hogy az elmúlt néhány ezer évben számos, az előzőeknél sokkal rövidebb idejű, néhány száz-, vagy akár néhány tízéves klímaingadozásra visszavezethető környezetfejlődési jelenségről lehetne beszámolni, azok pontatlan küszöbértékei miatt nagyrészt ma még korai lenne számszerűen állástfoglalni. Mindazok a példák, amelyeket a jelenkori felmelegedés bemutatására felsorakoztattam azt az újszerű tényt világítják meg, hogy a paleontológiai és paleoklimatológiai vizsgálatok pontosságának növelésével egyre nagyobb lehetőség nyílik a klímaingadozások következtében létrejövő komplex környezetfejlődési tendenciák, s azok mértékének megbecsülésére. E tekintetben tehát törekedni kell arra, hogy a jövőben várhatóan bekövetkező klímaváltozási típusokra a már lezajlott események példájának felhasználásával modellvariációkat dolgozzunk ki, s azok segítségével a megelőző vagy hatáscsökkentő intézkedéseket időben és hatékonyan megtegyük (Ambrózy P.—Czelnai R.—Götz G., 1977).

Mindeddig példáinkat kizárólag az emberi tevékenység nélküli természeti környezetből vettük. Az elmúlt 3—4 ezer év, s különösen a legutolsó ezer év környezetfejlődési tendenciáit az emberi tevékenység fokozódása jelentősen, sok esetben alapvetően megváltoztatta.

Az értelmes ember, a Homo sapiens kibontakozása valószínűleg a Würm III. eljegesedést közvetlenül megelőző időben történt, de számbeli gyarapodása majd meghatározó mértékű tevékenysége az azt követő időben következett be. Ennek mérésére szemléletes az a módszer, amikor az egykori települések számát összevetjük az adott korszak alatt eltelt idővel. Magyarországon a felső-paleolitikum idején, tehát a Würm III. glaciálist megelőző időben egy település létrejöttéhez 857 évre volt szükség. A Würm utolsó hidegkilengésétől a holocén kezdetéig (10 000 B. P.-ig) ez a szám 213-ra csökkent, majd a holocén klímaoptimumáig további 145 évre. A népesség nagyfokú növekedése, demográfiai robbanása Magyarországon a klímaoptimum idején történt, amely egybeesik a neolitikummal. Ekkor már 1,6 évenként egy telep adódott. A valódi adatok alapján ez azt jelenti, hogy a neolitikum mintegy 2500 éves időtartama idejéről hazánkban mintegy 1500 telepet ismerünk. A későbbi réz-, bronz- és vaskor idején a telep-index 1,0—1,5 év/telep közötti értéken mozgott (BÁCSKAY E., 1976 adatai felhasználásával). Amennyiben az elmúlt ezer évet vetjük össze a jelenlegi települések számával, úgy 3,0—3,3-as értéket kapunk. Ez a nagyon durva népesedési mutató is egyértelműen jelzi, hogy a Kárpát-medence jelentős méretű benépesedése egybeesett a holocén klímaoptimummal. A hazánk területére bevándorolt népek a felmelegedés hatására délről indultak el. A kelet—nyugati irányú népmozgás Magyarország területén csak a klímaoptimumot követő, 1,0—1,5 °C évi középhőmérséklet csökkenéssel járó 2—3 ezer évig tartó lehűlés nyomán, a neolitikumot követően kezdődött meg. A népmozgások és klímaváltozások közvetlen kapcsolata néhány esetben ma már vitathatatlan tény. A klasszikus görög időszakban egész Európában jelentős felmelegedés volt, majd a római időszak egybeesett az egész Földön észlelt klímaingadozással. Ekkor a tenger szintje 2,5 méterrel volt alacsonyabb, mint napjainkban, s ez 1 millió km³ vízmennyiségnek felel meg. A paleoklimatológiában római szakasznak nevezett időszak gleccserei mintegy kétszer olyan hosszúak voltak, mint ma. A második évszázadból fennmaradt alexandriai meteorológiai feljegyzések szerint a jelenlegi téli esők helyett augusztus kivételével egész évben hullott csapadék. A római agrikultúra Észak-Afrika teljes partmenti területén elterjedt. A római szakaszt követő periódus, amely a magyar őstörténet szempontjából döntő fontosságú, általában meleg és száraz volt (FAIRBRIDGE RH. W., 1976). Ezek a 3—400 éves klímaingadozások tehát még alapvetően meghatározhatták a bonyolult gazdasági-, társadalmi kapcsolatokon keresztül az emberi csoportok mozgását. A környezetváltozás emberiségre gyakorolt hatásának bemutatását még hosszasan lehetne folytatni a közismert példákkal, de most célszerűnek látszik a kérdést megfordítani, s azt

nyomon követni, hogy az emberi tevékenység környezetátalakító tevékenysége az idők folyamán hogyan zajlott le. Magyarországon az ember első, jelentős környezetmódosító munkáját a holocén klímaoptimumot követő tömeges megjelenésével, s a földművelés kiterjesztésével indította el. A „neolitikus forradalom" nemcsak gazdaság- és társadalomtörténeti mérföldkő, hanem mai szemmel nézve környezetfejlődési kiindulópont is volt. Az erdőírtással, termőterületek létrehozásával, gátak építésével elindult a természet ember által történő jelentős megváltoztatásának folyamata. A bronz- és vaskorban az állandósult nagyszámú népesség stabilizálta az agrikultúra számára igénybe vett területeket. A rómaiak idejéről pedig már nagyszabású mesterséges létesítményekről beszélhetünk, amelyek folyamatosan elvezetnek korunk közismert környezetvédelmi kérdéseihez.

Az emberi tevékenység környezetmódosító hatásai közül a klíma megváltoztatásának ténye csak századunk elejétől érvényesül, de a vegetáció és az állatvilág már évezredekkel ezelőtt megérezte azt.

A vegetáció visszafordíthatatlan átalakítására jó példa Magyarországon az Aggteleki-karszt (KORDOS L., 1975). Itt az őslénytani és recens növényföldrajzi vizsgálatok szerint az óholocénben nagyrészt különböző erdőtársulások voltak, kisebb sziklagyepekkel, sztyeppékkel (JAKUCS P., 1954; KORDOS L., 1978). A neolitikumban, 6000 évvel ezelőtt megkezdett majd a bronz- és vaskorban, valamint a történelmi középkorban fokozódott erdőirtás következtében, a meredek karsztos hegyoldalakról a talaj lemosódva a sziklagyep kiterjedt, s többet nem nyílt mód arra, hogy a karsztos lejtők beerdősödjenek. Mindezt az ember erdőirtó, majd legeltető hatására bekövetkezett kopárosodási folyamatot az ott élő gerinces állatvilág is azonnal megérezte, felborult az eredeti fajösszetétel és annak aránya. A nyílt területet kedvelő fajok elszaporodtak, az addig reliktumként ott élő pleisztocén alakok kipusztultak, s megnyílt az út a tömegesen megjelenő, ember számára kártékony hörcsögök és a mezei pockok előtt.

Ha nem egy szűk terület, hanem az egész Magyar-Középhegység gerinces faunájának fejlődését vizsgáljuk, akkor feltűnik, hogy a klimatikusan determinált faunaszukcesszió modern, meleg fajösszetétele a holocén klímaoptimumában alakult ki, s ekkor indult el a pleisztocén hideg faunát felváltó új faunahullám természetes fejlődésének útján. Ez az új gerinces fauna a tulajdonképpeni eredeti hazai vadállomány, amely az állandósuló klíma- és vegetáció viszonyokhoz alkalmazkodva valószínűleg napjainkig fennmaradt volna, ha az emberi tevékenység alapvetően át nem alakítja. Azonban az éppen kialakult új faunahullám az emberi tevékenység hatására megszakadt, antropogénné változott. Az ember jelenléte és tevékenysége nélküli szituációban a környezet ugyanazon a fejlődésen menne keresztül, mint azt az interglaciálisok idején tapasztaltunk. Az ember hatását itt is kettősségében kell felfogni, biológiai és társadalmi létében. Az ember természetes velejárója az élővilág fej-

lődésének; elszaporodását, „domináns" fajjá változását nagymértékben a klímaváltozások által előidézett új ökológiai szituációknak köszönhette. Ugyanekkorra már tudati fejlettsége eljutott arra a szintre, hogy a természeti, környezeti hatásokkal szemben aktívan védekezni tudjon, s azt fokozatosan igényeinek megfelelően átalakítsa. Kettőssége, a természeti, társadalmi kölcsönhatásrendszer napjainkban is élesen vetődik fel, jellege rendkívül hasonló az élővilág mozaikevolúciójához. Vagyis bizonyos bélyegekben (hatásrendszerekben) az emberiség által kialakított mesterséges környezet teljesen önállósítani tudta magát a természeti hatásoktól. Ennek jelenlegi csúcspéldája a tengeralattjárók vagy űrhajók komplex önálló rendszere. Más kölcsönrendszerekben a természet—ember kapcsolat szinte ugyanolyan nyitott, mint a holocén elején. A klíma és vegetáció kapcsolata, a magas fokú domesztikációs hatások ellenére napjainkban is igen szoros, s az emberi tevékenység jelenleg csak szűk körben tudja kiegyensúlyozni a környezeti hatótényezők eredményét. Ez az a kérdéscsoport, amely vizsgálatát az Éghajlati Világprogram is célul tűzte ki.

A környezetfejlődés és emberi tevékenység kölcsönhatásrendszerének történeti elemzése során célszerűnek látom felhívni a figyelmet arra, hogy napjaink nagy erővel megindult természet- és környezetvédelmi intézedéseit sohasem a napi helyzetből kiindulva kell megoldani. Napjaink természetvédelmi feladataiban a „mentsük ami menthető", a környezetvédelmiekben pedig „akadályozzuk meg a katasztrófát" címmel jellemezhető tűzoltó munka folyik. Ez az újonnan beindult védelmi feladatoknál természetes, de a következő lépcsőben csak az időtényező fokozottabb figyelembevételével, a kölcsönhatásrendszerek hosszú távú fejlődésének tapasztalataival lehet eredményes munkát végezni. E gondolatmenet szemléltetésére előadásom tényein kívül csak annyit érdemes megjegyezni, hogy az 1978-ban tájvédelmi körzetté nyilvánított Aggteleki-karszton a természetes környezet visszafordíthatatlanul már több mint kétezer éve alapvetően torzult, vagy a Hortobágyi Nemzeti Park területén sem a holocénben kialakult természetes környezetet, hanem az emberi tevékenységgel, főleg vízrendezéssel átalakított, de napjainkban ősinek ható tájat védjük.

Befejezésül megállapítható, hogy az éghajlatváltozás—környezet-fejlődés—emberi tevékenység kölcsönhatásrendszerét csak annak mintegy 10—15 ezer éves történetében lehet helyesen értelmezni. Mindez a jövőben kettős feladatot jelent. Egyrészt fokozni kell a múltban lezajlott események minél pontosabb szintű megismerésének vizsgálatát; másrészt az így nyert, lehetőleg számszerű adatokból a modern technika adta lehetőségeinek felhasználásával esetszituációkat kell modellezni. Ezáltal az emberiség megelőzheti, csökkentheti, vagy előre jelezheti a klíma — élő és élettelen környezet — emberi tevékenység egyensúlyi helyzetében beállott előnytelen változásokat.

IRODALOM

1. Ambrózy P.—Czelnai R.—Götz G.: Éghajlatváltozások és az éghajlati rendszer modellezése. Fizikai Szemle, **XXVII**, 2, 1—9, 1977.
2. Bácskay E.: A magyar holocénsztratigráfia régészeti dokumentációs pontjai. M. Áll. Földt. Int. évi jel. 1976-ról. 383—387, 1976, valamint kézirat.
3. Borsy Z.: A magyarországi futóhomokterületek felszínfejlődése. Földr. Közlem., **XXV**, 1—3, 13—16, 1977.
4. Deák J.: Rétegvizek stabil izotóp vizsgálata. VITUKI beszámoló. Kézirat. 1—7, 1980.
5. Deák, J.—L. Kordos: A comparative study of changes in paleoclimate on the basis of stable isotopes and paleontological data. EGS Meeting. Budapest. 1980.
6. Fairbridge, Rh. W.: Encyclopedia of Atmospheric Sciences and Astrogeology. Reinhold Publ., 1976.
7. Füköh L.: Holocén barlangi üledékek puhatestűinek vizsgálata. Karszt és Barlang, **I—II**, 5—10, 1979.
8. Jakucs P.: Mikroklímamérések a Tornai Karszton, tekintettel a fatömegprodukcióra és a karsztfásításra. Ann. Hist. Mat. Mus. Nat. Hung., **V**, 149—173, 1954.
9. Jánossy D.: A magyarországi pleisztocén tagolása gerinces faunák alapján. Akadémiai Kiadó, 1979.
10. Járai-Komlódi M.: Adatok az Alföld negyedkori klíma- és vegetációtörténetéhez II. Bot. Közlem., **56**, 1, 43—55, 1969.
11. Járai-Komlódi M.: A pleisztocén kronológiájának és a pliocén-pleisztocén határának néhány problémája. Bot. Közlem., **58**, 3, 131—143, 1971.
12. Járai-Komlódi M.: Eurázsia felső-pleisztocén vegetációja a Würm glaciális hideg maximuma és a Rissz-Würm interglaciális klímaoptimuma idején. Geonómia és Bányászat, **6**, 1—4, 173—181, 1973.
13. Kordos L.: Az Aggteleki-karszt kopárosodása az őslénytani vizsgálatok alapján. Internat. Congr. „Baradla 150", 145—150, 1975.
14. Kordos, L.: A sketch of the vertebrate biostratigraphy of the Hungarian Holocene. Földr. Közlem., **XXV**, 1—3, 144—204, 1977a.
15. Kordos, L.: Changes in the Holocene climate of Hungary reflected by the „vole thermometer" method. Földr. Közlem., **XXV**, 1—3, 222—229, 1977b.
16. Kordos, L.: Historico-zoogeographical and ecological investigations of the subfossil vertebrate fauna of the Aggtelek Karst. Vertebr. Hung., **XVIII**, 85—99, 1978.
17. Kretzoi M.: A negyedkor taglalása gerinces fauna alapján. MTA Földt. Biz. „Alföld Kongresszus", 89—99, 1953.
18. Kretzoi, M.: Wirbeltierfaunistische Angaben zur Quartärchronologie der Jankovich Höhle. Fol. Archaeol., **IX**, 16—21, 1957.
19. Pécsi M.: A légköri és kozmikus hatások a felszíndomborzat alakulására. MTA X. Oszt. Közl., **3**, 181—194, 1970.
20. Pécsi M.: A hazai és európai löszképződmények paleogeográfiai kutatása és összehasonlítása. Geonómia és Bányászat, **10**, 3—4, 183—221, 1977.
21. Pécsi M.—Pécsi-Donáth É.—Szebényi E.—Hahn Gy.—Schweitzer F.—Pevzner H. A.: A magyarországi löszök fosszilis talajainak paleogeográfiai értékelése és tagolása. Földr. Közlem., **XXV**, 1—3, 128—137, 1977.
22. Somogyi S.: Hazánk folyóhálózatának fejlődéstörténeti vázlata. Földr. Közlem., **IX**, 1, 25—50, 1961.
23. Stieber J.: A magyarországi felsőpleisztocén vegetáció története az anthrakotómiai eredmények (1957-ig) tükrében. Földt. Közl., **97**, 308—316, 1967.
24. Zólyomi B.: Budapest környékének természetes növénytakarója. In: Budapest természeti képe. Akadémiai Kiadó, 1958.

CLIMATIC CHANGE AND ENVIRONMENTAL DEVELOPMENT

LÁSZLÓ KORDOS

Abstract

Recurring and opposing climatic changes during the Pleistocene played a fundamental role in the development of the biosphere and consequently of the natural environment. The system of the environmental development and the hierarchy of the interactions generated by the general warming period which started some 18 000—20 000 years before present are shown. It is this best known period suitable for modellizing, within which mankind developed, and its activity has brought about changes in the environment leading to basic modifications of the ecological balance of the earth. Historical analysis of the elements of the natural environment, and of the interactions between nature and society offers general guidance for developing long-range meteorological predictions and for lessening the consequences of catastrophic natural events.

ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И РАЗВИТИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Л. КОРДОШ

Резюме

Повторявшиеся и противоположные изменения климата, происшедшие за плейстоцен играли существенную роль в развитии биосферы и тем самым, природной среды. В настоящей работе обсуждается система развития окружающей среды и взаимодействий, вызванных периодом всеобщего потепления, начающимся около 18 000—20 000 лет тому назад. За этот наиболее хорошо изученный период, лучше всего поддающийся моделированию, развилось человечество, деятельность которого вызвала изменения окружающей среды, приводивших к существенным изменениям экологического баланса Земли. Исторический анализ элементов природной среды и взаимодействий между природой и обществом, дает основу для разработки долгосрочных метеорологических прогнозов и для ослабления следствий катастрофических природных событий.

KONTINENSVÁNDORLÁS ÉS ÉGHAJLAT

DOBOSI ZOLTÁN
A FÖLDTUDOMÁNYOK DOKTORA

Ma már geológiai és őslénytani anyag alapján mintegy 2—2,5 milliárd évre visszamenőleg vannak információink a Föld éghajlatáról. Ez alatt az idő alatt hat nagyobb eljegesedés nyomait sikerült kimutatni. Egy-egy eljegesedési időszak hossza 10 millió év nagyságrendűre becsülhető és időtartamuk alatt egyik vagy mindkét pólust jégtakaró borította. A jégkorszakokat elválasztó melegebb időszakok hossza külön-külön 100 millió év nagyságrendű s alattuk a pólusok jégmentesek.

A jégkorszakok közül legjobban ismerjük a két utolsót: a karbon végén fellépett permokarbon eljegesedést, amely mintegy 280 millió évvel ezelőtt kezdődött és a negyedkori eljegesedést, amelynek kezdete 2—2,5 millió évvel ezelőttre tehető. E két utóbbi jégkorszak — és valószínűleg a korábbiak alatt is — hidegebb szakaszok: glaciálisok, és melegebb időszakok: interglaciálisok váltakoztak.

A Föld átlaghőmérsékletét az éghajlatjelző maradványok alapján a glaciálisokban 11 °C-ra, az interglaciálisokban 15 °C-ra és az eljegesedések közti melegebb időszakokban 23 °C-ra becsüljük.

Ma a negyedkori eljegesedés egyik interglaciálisában a posztwürm interglaciálisban élünk.

A fent elmondottak alapján a Föld átlaghőmérsékletének ingását az utóbbi 3—400 millió év során 12 °C-ra becsüljük.

Sok ez? Vagy kevés? Felfogás dolga. Emberi mértékkel mérve talán soknak tűnik. De ha figyelembe vesszük, hogy mi minden történt ez alatt az idő alatt: kontinensvándorlás, pólusvándorlás, hegyképződés, fokozott vulkáni tevékenység időszakai, esetleg napsugárzásingadozás stb. akkor a Föld klímáját csodálatosan állandónak látjuk.

Ha figyelembe vesszük, hogy az általunk klimatikusan ismert 2—2,5 milliárd évet kitevő időtartam 90 százalékában meleg, jégmentes pólusú volt Földünk s csupán 10 százalékában volt hideg s borította a sarkvidékeket jégtakaró, joggal feltételezhetjük, hogy a Föld normális állapota a meleg állapot, s a ritka eljegesedések kivételes időszakai Földünk klímájának.

Az eljegesedések felléptének okait már a múlt század közepe óta igyekeztek tisztázni a kutatók s egész sor magyarázó elmélet született. A tisztázódás

MTA X. Osztályának Közleményei 14/2—4, 1981

akkor indult meg, amikor szétválasztották a jégtakaró kialakulásának és a jégtakaró kiterjedésében megnyilvánuló periodicitásnak a problémáját.

Az igazi fejlődést az elmúlt 10—12 év hozta, amikor hipotézisből bizonyított ténnyé vált a kontinensvándorlás. A paleomágneses vizsgálati eredmények lehetővé tették kontinensvándorlási térképek megrajzolását. A klimatológiában pedig megkezdődött a Föld-légkör rendszer sugárzásegyenlegének kutatása, s egyre jobban megismerjük az éghajlatot stabilizáló és labilizáló visszacsatolási mechanizmusokat, s kialakulóban van a klímamodellezés mint vizsgálati módszer.

Az alábbiakban ezek segítségével kívánunk fényt vetni Földünk e nagyléptékű éghajlatingadozásának a problémájára.

A Föld-légkör rendszer sugárzásegyenlegének műholdas mérése egy évtizede kezdődött (RASCHKE ET AL., 1973). A mérési adatok területi eloszlásának az elemzése meglepő s a korábbi számításon alapuló eloszlástól (SIMPSON, 1950) eltérő eredményt szolgáltattak. Lényeges eltérés a szubtrópusi leszálló légáramlások övének sugárzási egyenlegében van. Míg a számításokon alapuló SIMPSON-féle eloszlás itt tengeren és szárazföldön egyaránt sugárzási maximumot mutat, addig a műholdas méréseken alapuló eloszlási térképeken az óceáni maximummal szemben a szárazföldek fölötti egyenleg e klímaterületeken negatív előjelű, az óceáni maximumok viszont valamivel magasabbak, mint a korábbi SIMPSON-féle térképeken (1. és 2. ábra).

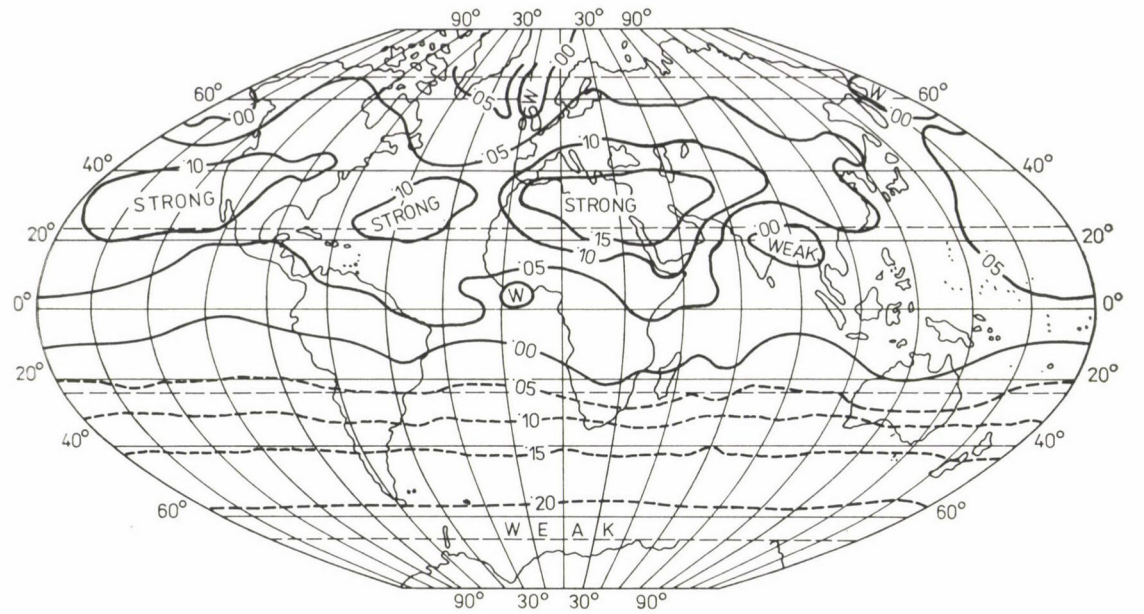
A különbséget indokolják a Föld-légkör rendszer albedóértékei, amelyek derült szubtrópusi óceán fölött 14—16%-ot, a Szahara fölött pedig 35—40%-ot tesznek ki. A hosszú hullámú kisugárzás viszont az alacsonyabb felszíni hőmérsékletű, nedves óceáni felszínek fölött: 270—280 W m^{-2} körül ingadozik, a szubtrópusi sivatagi területeken pedig: 340—350 W m^{-2} magas számértéket ér el.

A kontinensek és óceánok fölötti felszín-légkör rendszer sugárzási egyenlegeinek különbségét mutatja a különböző földrajzi szélességeken a 3. ábra, keresztmetszetben a 20° W óceáni és 20° E szárazföldi hosszúsági körök mentén, azaz az Atlanti-óceán északi része, illetve Afrika és Európa fölötti szakaszon júliusi hónapban.

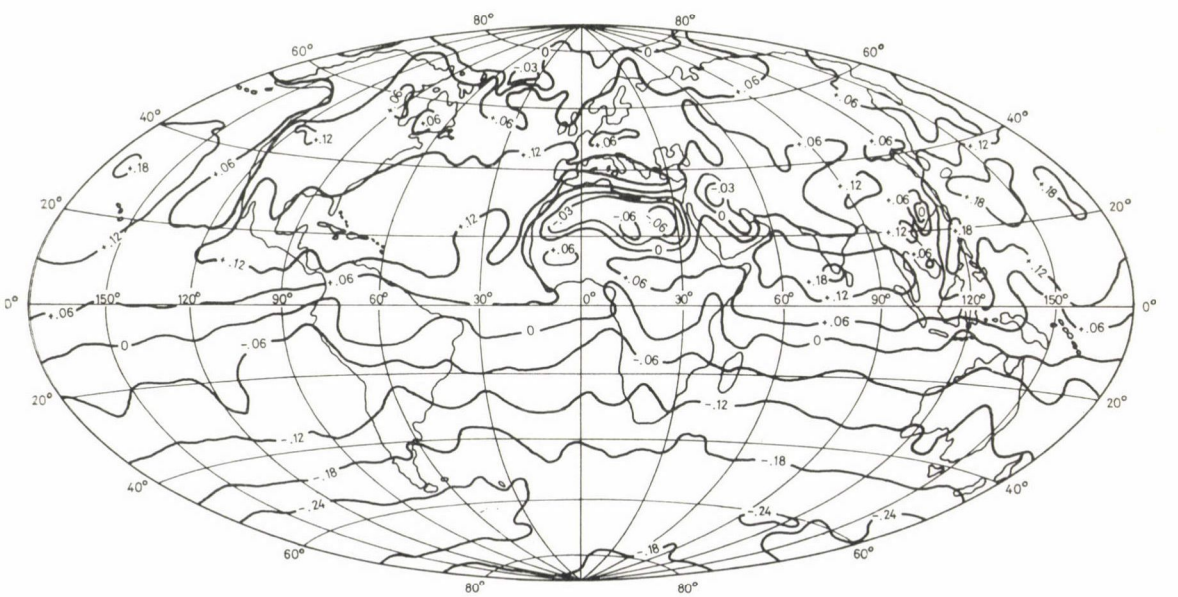
Az ábra mutatja, hogy amíg a szubtrópusi sivatagok fölött negatív a Föld-légkör rendszer sugárzási egyenlege, addig az óceáni területeken az egyenlegnek maximuma van. A sivatagi övet elhagyva a különbség egyre csökken. Ez nem utolsósorban a pólusok felé növekvő borultság következménye, amelynek következtében a felszínhatások háttérbe szorulnak.

Annak a ténynek, hogy van olyan szélességi öv, ahol nagy a különbség a szárazföldek és a tengerek sugárzási egyenlegeiben, jelentősége abban van, hogy a kontinensvándorlás megváltoztatja Földünk sugárzási egyenlegét.

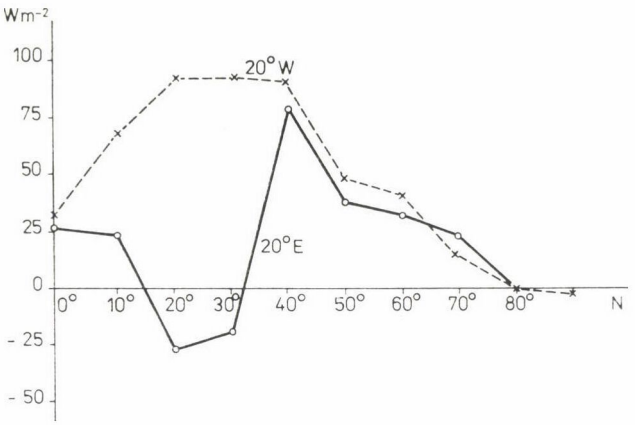
A kontinensvándorlás során nagy változások következtek be Földünkön. A kambriumban sőt még a devonban is pl. a déli félgömb volt a kontinentális



1. ábra. A Föld-légkör rendszer számított sugárzási egyenlege július hónapban (cal cm^{-2} min^{-1}). Az értékek napi átlagok (SIMPSON nyomán)



2. ábra. A Föld-légkör rendszer NIMBUS 3 műholddal mért sugárzási egyenlege 1969. július 16—31 között (cal cm^{-2} min^{-1}). Az értékek napi átlagok (ROSCHKE et. al. nyomán)



3. ábra. A Föld-légkör rendszer NIMBUS 3 műholddal mért sugárzási egyenlegének értékei az északi féltekén a 20 °E és 20 °W hosszúsági körök mentén (W m^{-2}). Az értékek napi átlagok (július hó)

félteke, itt helyezkedtek el Paleo-Ázsia kivételével az összes kontinensek (4. ábra).

Az észak felé vándorló kontinensek között helyezkedik el Paleo-Európa. Ennek déli részén Magyarország földrajzi helyének tekinthető terület az 5. ábrán látható utat tette meg a kambriumi 30° szélességen levő helyzetétől mai elhelyezkedéséig.

Az 5. ábrán bemutatott vándorlás nyomon követése a különböző földrajzi szélességeken át, teszi lehetővé Magyarország paleoklímájának rekonstrukcióját.

A kontinensek mozgása során változott a szubtrópusi leszálló légáramlások zónájában a kontinens—óceán területi arány. Ennek következtében változott a Föld planetáris sugárzási egyenlege is.

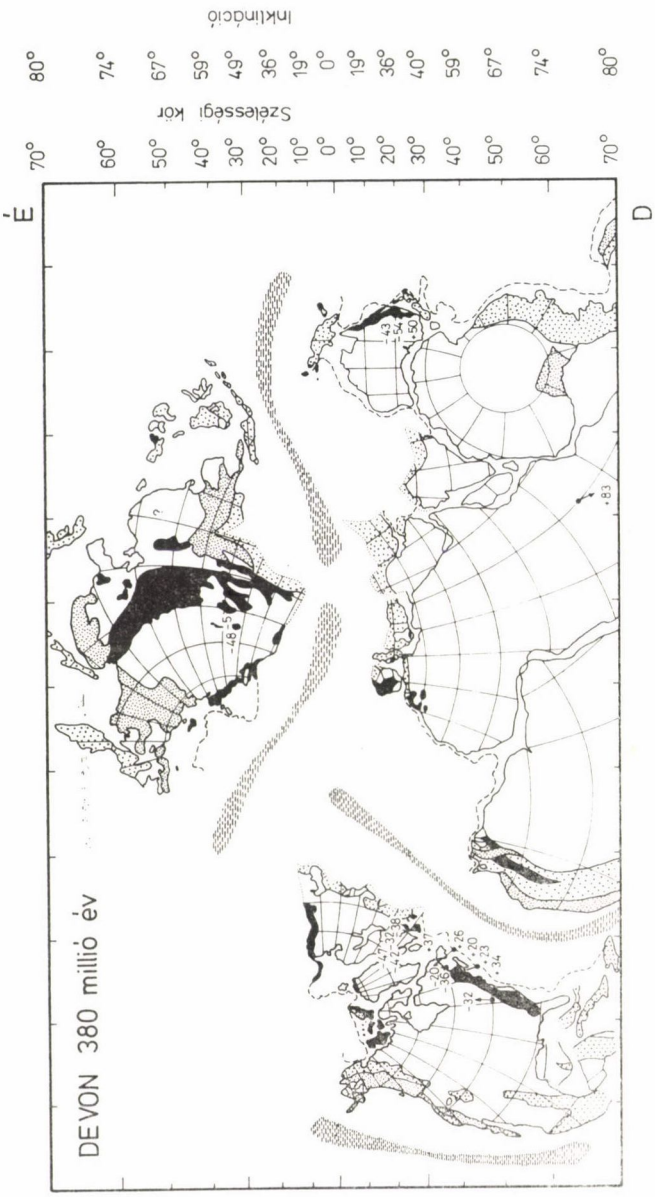
Az alábbiakban planetáris sugárzásegyenleg változásait olyan földmodell segítségével követjük nyomon, amelynél a mai Földből kiindulva a kontinenseket úgy mozgatjuk, ahogy a geológiai múlt különböző időszakaiban helyezkedtek el, figyelembe véve területi kiterjedésükben és a jégtakaró mértékében történt változásokat.

Földmodellünk változó sugárzási egyenlegét a 6. ábra mutatja be.

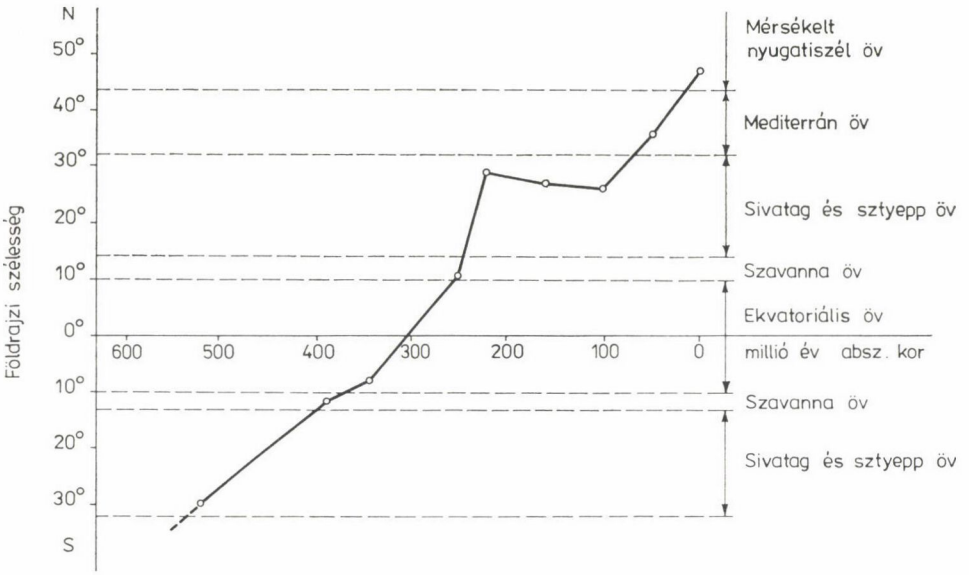
A sugárzási egyenleg számításánál is a jelenkori Földből indultunk ki, ugyanis műholdas sugárzási egyenleg adataink — a sugárzási egyenleg jellemző kontinentális és óceáni adatai a különböző földrajzi szélességeken — a mai Földre vonatkoznak, ez a referenciabolygónk.

Első, ami a 6. ábrán szembetűnik az, hogy a korábbi korokban mindig pozitív volt a sugárzási egyenleg, még a permokarbon eljegesedés idején is.

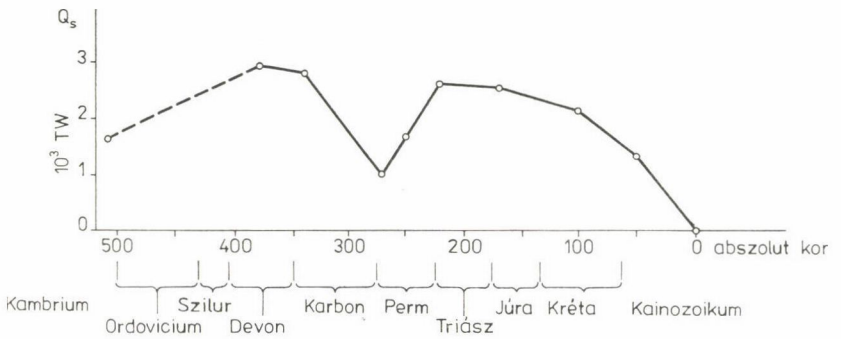
Felvetődik, hogyan értékeljük a 0-tól különböző egyenlegértékeket.



4. ábra. Kontinens-óceán eloszlás a devonban (A. G. Smith et al. nyomán)



5. ábra. Magyarország földrajzi helyének változásai a fanerozoikumban



6. ábra. A planetáris sugárzási egyenleg változásai a kambrium óta

Amennyiben a kontinens-óceán eloszlás más elrendeződést vesz fel, a maitól eltérőt, az egyensúly felbomlik és 0-tól eltérő sugárzási egyenleget kapunk. Amennyiben ez pozitív ($+a$) érték, ez azt jelenti, hogy $+a$-val nagyobb a planetáris sugárzáselnyelés mint a kisugárzás. Földünk ekkor felmelegszik, amíg felmelegedés következtében megnőtt kisugárzás azonossá válik az energiafelvétellel s az egyensúly újból helyreáll, a Föld sugárzási egyenlege ismét nulla számértékű. Ez a melegebb Föld esete. Negatív ($-a$) értékű sugárzási egyenleg hasonló okból hidegebb Föld egyensúlyi helyzetet okoz.

Egyensúly esetén

$$T(+a) = \text{a mainál melegebb Föld}$$

$$T(-a) = \text{a mainál hidegebb Föld}$$

A felmelegedés, illetve lehűlés mértékének számítására nem térünk ki, erre BUDÜKO (1974) adott többek között modellegyenletet.

A 6. ábra görbéje azt sugallja, hogy a szóban forgó elmúlt időszakaszban a Föld a mainál mindig melegebb volt. Ami természetesen nem igaz, mert pl. a pleisztocén glaciálisok alatt a jelenleginél lényegesen alacsonyabb volt az átlaghőmérséklet.

Ez a rossz időbeli felbontóképesség hibája, ugyanis kontinenshelyzet térkép csupán 9 időpontról áll rendelkezésünkre s így pl. a negyedkori glaciálisakra nem tudtunk interpolálni. Mindenesetre valószínű, hogy pl. a permokarbon eljegesedés alatt a mainál melegebb lehetett az átlaghőmérséklet, ugyanis ekkor csupán a déli pólus volt eljegesedve.

Eredményeink egyeznek a geológia és az őslénytan azon megállapításaival, hogy a fanerozoikum folyamán a Föld a mainál melegebb volt, a két jégkor alatt volt a maival egyező vagy azt megközelítő hőmérséklet.

A 6. ábrán bemutatott eredmény jelentőségét abban látom, hogy a kontinensvándorlás — amely ma már bizonyított tény — elegendő magyarázatot ad a két utolsó eljegesedés felléptére. Nincs szükség valamilyen „deus ex machina"-szerű feltevésre a fanerozoikum éghajlatának megértéséhez.

Egy kritikai megjegyzést látok szükségesnek a fentiekhez hozzáfűzni: A műholdas mérésekből vett jellegzetes sugárzásegyenleg értékek a mai Föld állapotát tükrözik. A tárgyalt földmodelltől eltérően viszont a maihoz képest módosul az éghajlat, a levegő vízgőz tartalma s a felhőzet is, tehát módosulnak az egyes földrajzi szélességekhez kapcsolódó egyenlegértékek is. A tenger—szárazföld különbségnek azonban a kétféle felszínfajta eltérő fizikai különbségei miatt minden esetben fenn kell állnia.

IRODALOM

BUDYKO, M. I.: Climate and Life. Academic Press. New York, London, 1974.

DOBOSI, Z.: Continental Drift and Radiation Balance of the Earth. Acta Geol. Acad., **18**, 1—2, 1974.

RASCHKE, E.—H. VONDER HAAR—M. PASTERNAK—W. R. BANDEEN: The Radiation Balance of the Earth-Atmosphere System from Nimbus 3 Radiation Measurements. NASA Technical Note, NASA TN D 7249, Washington, 1973.

SIMPSON, G. C.: Some Studies in Terrestrial Radiation. Mem. Royal Met. Soc., **III**, 21, 1950.

SMITH, A. G.—J. C. BRIDEN—G. E. DREWRY: Phanerozoic World Maps. In Special Papers in Paleontology, **12**, 1—42, 1974.

CONTINENT MOVEMENT AND CLIMATE

Z. DOBOSI

Abstract

The effect of continent movement on the planetary radiative energy budget is investigated. In a model experiment it is supposed that the continents gradually move from their present positions into those they occupied during the Phanerosoicum. The calculated radiative energy budget differs from its present zero level, and takes a positive value during the whole Phanerosoicum. Its minimum values coincide with the glacials of the Permocarbon and Pleistocene. This fact is looked upon as a basis for explaining the origin of these two glaciations.

ПЕРЕМЕЩЕНИЕ КОНТИНЕНТОВ И КЛИМАТ

З. ДОБОШИ

Резюме

Рассматривается влияние перемещения континентов на планетарный энергетический баланс Земли. Исходя из натоящего состояния Земли, на разработанной модели восстанавливается перемещение континентов вплоть до их положения в фанерозое. Подсчитанный радиационный баланс отклоняется от характерного для него в настоящее время нулевого значения и имеет положительное значение для всего фанерозоя. Минимумы приходятся на периоды пермокарбонского и плейстоценового оледенений. Данный факт рассматрисается как основа для объяснения природы указанных двух периодов оледенения.

A HŐMÉRSÉKLET SZEKULÁRIS VÁLTOZÁSA AZ ÉSZAKI FÉLGÖMB POLÁRIS TERÜLETÉN, ÖSSZEFÜGGÉSBEN AZ ÁLTALÁNOS CIRKULÁCIÓVAL

PÉCZELY GYÖRGY

Bevezetés

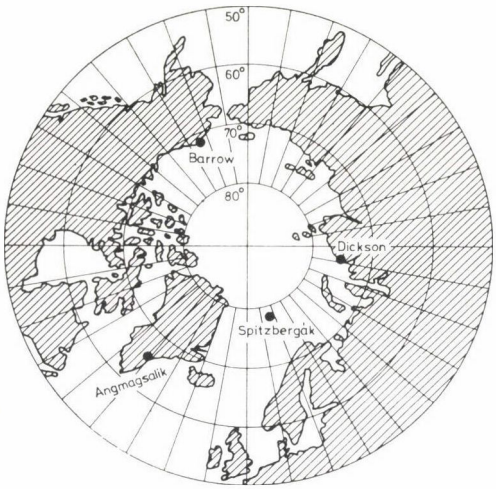
Az 1930-as évektől kezdve számos kutató érdeklődését felkeltette az a jelentős hőmérsékletemelkedés, amely a XX. század első felében az északi félgömb poláris területein, főként pedig az Atlanti-óceán arktikus térségében volt megfigyelhető. Így például a Spitzbergákon fekvő Isfjord Radio megfigyelőhely ($\varphi = 78°04'$ N, $\lambda = 13°38'$ E) adatai szerint 1917-ben az évi középhőmérséklet —12,6.°C, a téli félév (X—III.) középhőmérséklete —19,8 °C volt, míg 1938-ban ugyanezen középhőmérsékletek —2,3, ill. —6,2 °C-ot tettek ki, ami 20 év alatt több mint 10°-os hőmérsékletemelkedést jelentett. Az adatok arra is felhívták a figyelmet, hogy a felmelegedés a téli félévben jóval erőteljesebb volt, mint a nyári félévben.

Az érdekes jelenség magyarázatát legtöbb kutató a légköri CO_2 koncentrációnak a XX. század eleje óta kimutatható antropogén eredetű jelentős növekedésében s az ezáltal fokozódó üvegházhatásban kereste. Sokat feltételezték, hogy ez a felmelegedést tovább erősítő *labilizáló visszacsatolási folyamatot* indít el, amely a poláris területek még nagyobb mértékű hőmérsékletemelkedését idézi majd elő. Ezt az elképzelést jogossá tették azok a megalapozott becslések is, amelyek szerint a légköri CO_2 szint további jelentős növekedésével kell számolni.

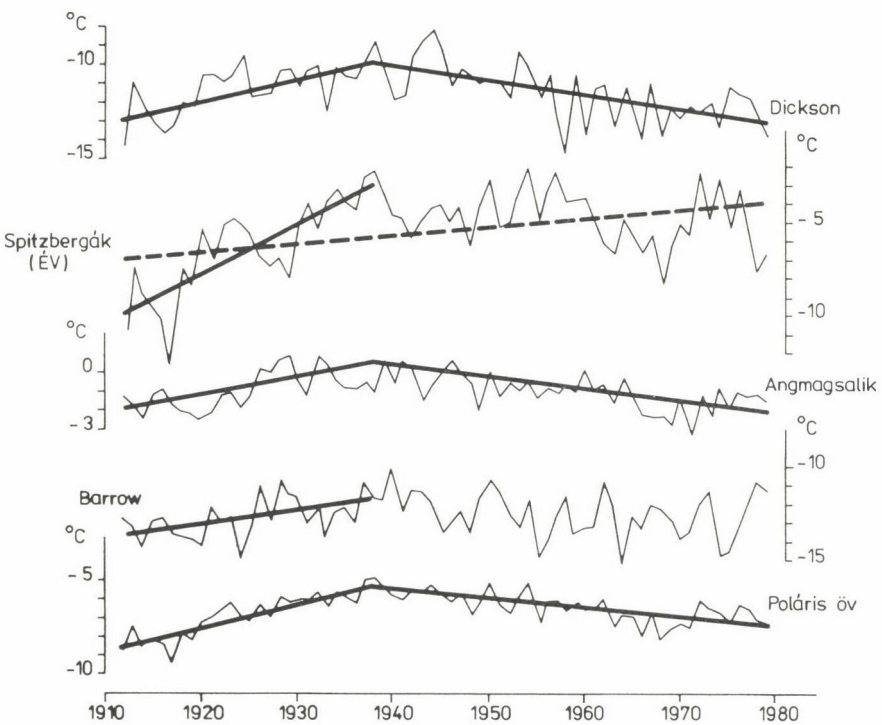
Ezeknek az elképzeléseknek a későbbi észlelési adatok azonban ellene mondtak, ugyanis az erőteljes hőmérsékletemelkedés 1938 után megszűnt és azóta kisebb ingadozásoktól eltekintve, lényegében napjainkig tartó hőmérsékletcsökkenés regisztrálható az arktikus térség túlnyomó részén. Ezek a tények arra utalnak, hogy a CO_2 koncentráció növekedése miatt fokozódó üvegházhatás nem indíthatta meg a feltételezett labilizáló visszacsatolási folyamatot, azt egyéb hatások megszüntették, s nagyon valószínűnek tarthatjuk, hogy nem tartós éghajlatváltozásról, hanem csupán néhány évtizedes időskálájú éghajlatingadozásokról van szó az északi-félgömb poláris területein.

A hőmérsékletváltozások elemzése

Az északi sarkkörön túli arktikus területekről — kivéve Grönland partvidékeit — csak az 1910-es évek elejétől állanak rendelkezésre hiánytalan hő-



1. ábra. Állomáshálózat



2. ábra. Az évi középhőmérséklet változása az arktikus térségben

mérsékleti adatsorok. Vizsgálatunk adatbázisát így négy arktikus állomás (Barrow, Angmagsalik, Spitzbergák [Isfjord Radio], Dickson) 1912—1979 közötti havi középhőmérsékleteinek idősora képezte. A kiválasztott állomások viszonylag egyenletesen oszlanak meg a sarki medence területén, jellemezve annak észak-amerikai, észak-atlanti és ázsiai körzeteit (1. ábra).

A vizsgált állomások évi középhőmérsékleteinek 1912—1979 közötti változását a 2. ábrán szemléltetjük, feltüntetve itt még az évi középhőmérsékletek négy állomás adataiból számított területi átlagát is (poláris átlag). Az idősorokat trend-elemzésnek vetettük alá, meghatározva az első év (1912) adataival kezdődő különböző hosszúságú időszakokra az adatokat legjobban közelítő

$$y = a_0 + a_1 x$$

lineáris trend-egyenlet együtthatóit (az egyenletben y jelenti a hőmérsékletet, x az időt, a_0 az $x = 0$ időponthoz tartozó hőmérsékletet, a_1 a trend-egyenes iránytangensét). A hőmérsékleti görbék karakterisztikus emelkedő és süllyedő szakaszait oly módon jelöltük ki, hogy megállapíthattuk azt az x_t időpontot, amelynél az a_1 együttható abszolút értéke maximális volt. Trend jellegű változást csak akkor regisztráltunk, ha az a_1 együttható értéke az 1%-os valószínűségi szinten szignifikánsan különbözött 0-tól.

A trendelemzés végeredményeit az I. táblázatban foglaltuk össze, a statisztikailag reális hőmérsékletváltozások trend-egyeneseit a 2. ábrán tüntettük fel.

I. táblázat

Hőmérsékleti trend

Hely		1912—1979	1912—1938	1938—1979	1912—1979 $\bar{x}$	1912—1979 σ
Poláris átlag, év	a_0	−7,86	−9,54	−6,53	−7,63	0,94
	a_1	0,0069	0,1284	−0,0445		
Barrow, év	a_0	−12,75	−13,64	−12,02	−12,02	1,15
	a_1	0,0041	0,0693	−0,0236		
Angmagsalik, év	a_0	−0,80	−1,91	−0,15	−1,01	0,92
	a_1	−0,0062	0,0709	−0,0423		
Spitzbergák, év	a_0	−6,86	−9,79	−3,98	−5,41	2,07
	a_1	0,0432	0,2633	−0,0365		
Spitzbergák, X — III	a_0	−12,47	−16,82	−7,79	−10,32	3,10
	a_1	0,0653	0,3881	−0,0693		
Spitzbergák, IV — IX	a_0	−0,65	−1,92	−0,06	−0,35	1,09
	a_1	0,0091	0,0995	−0,0046		
Dickson, év	a_0	−11,20	−12,80	−9,94	−11,46	1,41
	a_1	−0,0078	0,1133	−0,0758		

—— 1%-os szinten szignifikáns; $\bar{x}$ az észlelési sorok számtani közepe; σ az észlelési sorok szórása.

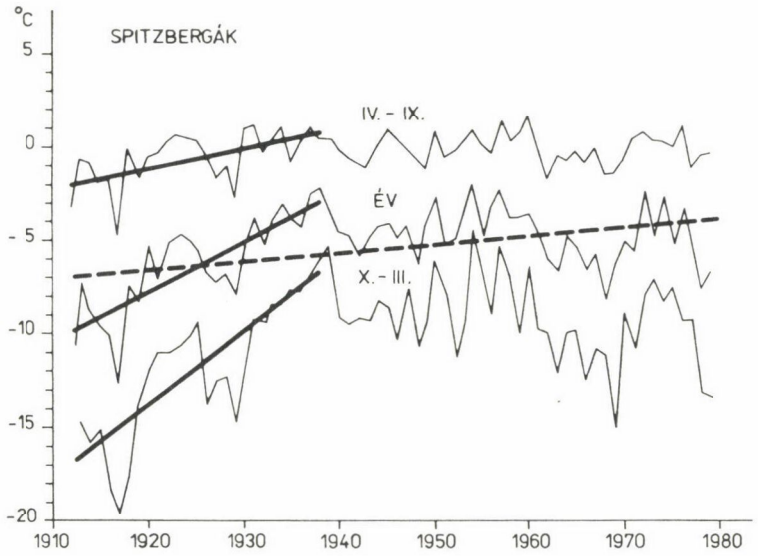
Az évi középhőmérsékletek idősoraira a trend-analízis alapján a következő tények állapíthatók meg:

1. *Az évi középhőmérséklet* 1912—1938 *között az északi félgömb poláris területein mindenütt emelkedett.* A felmelegedés nagysága 0,07—0,26 °C/év érték között változott, maximumát az Atlanti-óceán arktikus régióiban (Spitzbergák) érve el. A minimális értékek a sarki medence észak-amerikai körzeteiben jelentkeztek.

2. *Az* 1938—1979 *időszakban az északi félgömb poláris területeinek évi középhőmérséklete mindenütt csökkenő tendenciát mutat*, szignifikáns jellegű hőmérsékletcsökkenés azonban csak a poláris átlagban, továbbá a sarki medence kelet-grönlandi (Angmagsalik) és ázsiai körzeteiben (Dickson) mutatható ki. Ez a hőmérsékletcsökkenés nem olyan nagymérvű, mint a megelőző hőmérsékletnövekedés, értéke 0,04—0,08 °C/év nagyságú.

3. A vizsgált teljes 68 éves időszakban (1912—1979 között) az évi középhőmérséklet statisztikailag reális pozitív trendje csak a Spitzbergák térségében mutatható ki.

Következőkben a legkarakterisztikusabb változásokat mutató Isfjord Radio adatai alapján a téli félév (X—III.) és a nyári félév (IV—IX.) hőmérsékleti idősorait külön is elemezzük (3. ábra). Látható, hogy az ebben a térségben tapasztalható jelentős évi hőmérsékletváltozások nagyobbrészt a *téli félév hőmérsékletváltozásaiból* erednek, a nyári félévben azok jóval csekélyebbek. Hasonló jellegű összefüggés mutatható ki a többi vizsgált arktikus állomásnál is. A Spitzbergákon az évi középhőmérséklet mellett a téli félév középhőmérsék-



3. ábra. A nyári- és teli félév középhőmérsékletének változása a Spitzbergákon

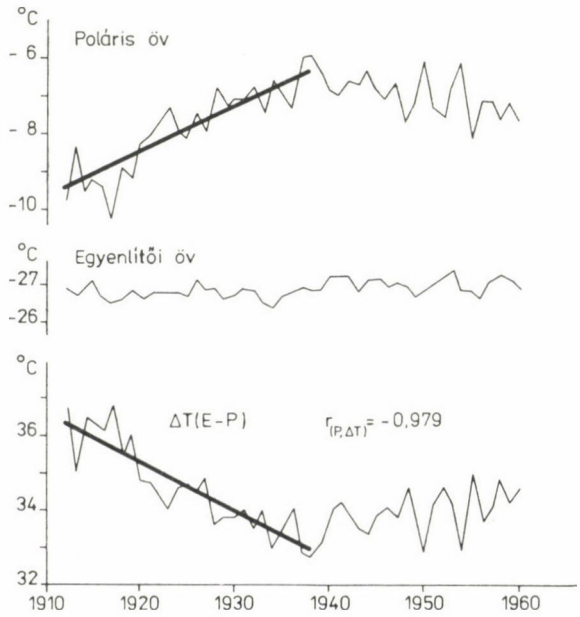
letére is reális pozitív trend adódott a teljes vizsgált időszakra. A 3. ábra azonban jól érzékelteti, hogy ez tulajdonképpen csak az 1912—1938 közötti időszak rendkívül erős felmelegedésének az eredménye, mivel 1938—1979 között ez az adatsor is negatív (bár nem szignifikáns) trendjelleget mutat.

Az arktikus térség hőmérsékletváltozásainak kapcsolata cirkulációs tényezőkkel

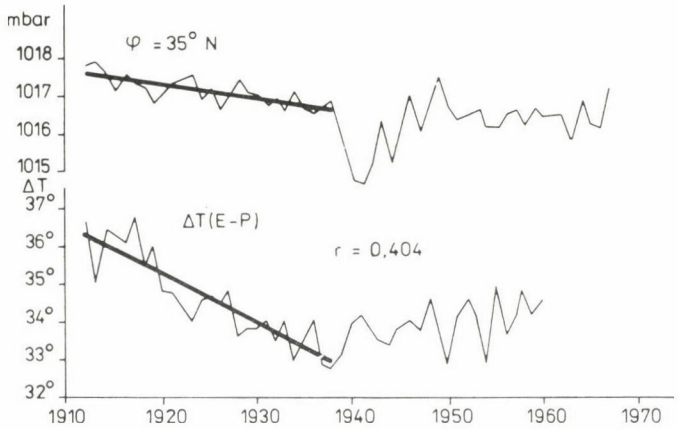
Nyilvánvaló, hogy az arktikus térségben lezajló markáns hőmérsékletváltozások kihatnak az északi-félgömb cirkulációs folyamataira is. Következőkben röviden rámutatunk néhány kölcsönhatásra.

Legalapvetőbb annak a kapcsolatnak a feltárása, amely a mérsékeltövi nyugati-szél zóna zónális ($W—E$ irányú) cirkulációjának intenzitása, s az ezt megszabó ΔT (egyenlítői öv — poláris öv) hőmérséklet különbség között fennáll. Mint ismeretes, a mérsékeltövi cirkuláció intenzitása együtt változik a trópusi és poláris területek közötti hőmérsékleti kontraszt nagyságával.

Az 1912—1960 közötti időszakból rendelkezésre álló adatok alapján előállítottuk Georgetown ($\varphi = 6°49'$ N, $\lambda = 58°11'$ W), Freetown ($\varphi = 8°37'$ N, $\lambda = 13°12'$ W), Colombo ($\varphi = 6°54'$ N, $\lambda = 79°52'$ E) és Djakarta ($\varphi = 6°11'$ S, $\lambda = 106°30'$ E) állomások évi középhőmérsékleteiből az egyenlítői övezet átlagos évi középhőmérsékletét (T_E) s a már ismert poláris átlag (T_P) figyelembevételével előállítottuk a $\Delta T = T_E - T_P$ hőmérsékleti kontraszt átlagos évi



4. ábra. Az évi középhőmérséklet változása az arktikus és egyenlítői övben, valamint a meridionális hőmérsékleti kontraszt alakulása



5. ábra. A 35 °N szélesség átlagos évi légnyomásának és a meridionális hőmérsékleti kontrasztnak az alakulása

értékét. Az adatokat a 4. ábra szemlélteti. Látható, hogy a ΔT a T_P értékek tükörképeként változik, a kettő között $-0{,}979$ értékű korrelációs együttható adódott. Ezzel szemben ΔT és T_E között kapcsolat nincsen (korrelációs együtthatójuk mindössze $-0{,}025$ értékű). Adataink tehát azt igazolják, hogy a trópusi és poláris területek közötti meridionális hőmérsékleti kontraszt értéke a poláris területek hőmérsékletétől függ, a két tényező közötti kapcsolatot a

$$\Delta T = 27{,}18 - 0{,}954 T_P$$

lineáris egyenlet kielégítő pontossággal leírja. Az összefüggésből következik, hogy az 1912—1938 közötti erős poláris hőmérsékletemelkedés időszakában a ΔT hőmérsékleti kontraszt szignifikáns csökkenése következett be (4. ábra alsó görbéje).

Kapcsolat mutatható ki a szubtrópusi magasnyomású övezet globális légnyomása és a ΔT hőmérsékleti kontraszt értéke között. Az 5. ábrán feltüntettük a $\varphi = 35°$ N szélességi kör átlagos légnyomásának évi középértékeit (Dinies, 1968) és a ΔT hőmérsékleti kontrasztot. A két tényező között az 1%-os valószínűségi szinten reális korrelációs együttható (0,404) áll fenn, s a szubtrópusi övezet légnyomásában hasonló trend-szakaszok (1912—1938 között csökkenő, 1938 után emelkedő) jelölhetők ki, mint a ΔT hőmérsékleti kontrasztnál. Ez utóbbi gyengülésével csökken a szubtrópusi övezet légnyomása, ami azután a mérsékeltövi *W.* cirkuláció gyengüléséhez vezet.

Az arktikus térség hőmérsékletingadozásainak valószínű okai

Az a tény, hogy az arktikus területek szekuláris hőmérsékletében melegedő és hűlő szakaszok váltják egymást, az elmúlt 70 év alatti változás tehát

nem egyirányú, kétségessé teszi a CO_2 szint növekedése miatti labilizáló visszacsatolási folyamat létezését. Az 1938-ig tartó igen markáns felmelegedés súlypontja az arktikus térség *atlanti-óceáni területeire* esett, tehát azokra a területekre, ahol az egyébként zárt sarki medencének a melegebb tengerek felé összeköttetése van. Kézenfekvő tehát annak feltételezése, hogy az arktikumban tapasztalt hőmérsékletváltozások alapvető oka a Golf-áramlat hőtranszportjának hosszabb periódusú ingadozásaiban keresendő.

IRODALOM

DINIES, E.: Monatliche und jährliche Breitenkreismittel des Luftdrucks auf der Nordhalbkugel für die Jahre 1899 bis 1967. Berichte des Deutschen Wetterdienstes. Nr. **109**, 1968.

SECULAR VARIATION OF TEMPERATURE IN THE POLAR REGION OF THE NORTHERN HEMISPHERE AND ITS CONNECTION WITH THE GENERAL CIRCULATION

GY. PÉCZELY

Abstract

The secular variation of temperature is analysed by making use of the time series of four arctic stations (Barrow, Angmagsalik, Isfjord Radio and Dickson) for the period 1912—1979. Applying the method of trend analysis it is shown that in this period no progressive temperature change occurred. Instead, a general and intensive warming from 1912 to 1938, and a less intensive cooling from 1938 to 1979 can be disclosed. The temperature gradient between the arctic and equatorial regions, and the mean surface pressure in the subtropical region are changing opposingly with the temperature of the arctic area. As a consequence, the intensity of the westerlies in the middle latitudes is increasing when the arctic areas are warming. The characteristic temperature changes of the arctic region cannot be explained by the gradual increase of atmospheric carbon dioxide concentration. It is much more probable that the temperature change is connected with the variations of heat transported by the Gulf Stream.

ВЕКОВАЯ ВАРИАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПОЛЯРНОМ РАЙОНЕ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ И ЕЕ СВЯЗЬ С ОБЩЕЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ

Д. ПЕЦЕЛИ

Резюме

В работе анализируется вековая вариация температуры с использованием рядов данных, полученных на 4 арктическихстанциях (Барров, Ангмагсалик, Исфъёрд Радио и Диксон) в период с 1912 по 1979 гг. Применялся метод анализа тренда и было показано, что за изученный период не имело ме та изменение температуры в одном направлении, а с 1912 по 1938 гг. намечается интенсивное общее потепление, а с 1938 по 1979 гг. — менее значительное охлаждение. Было обнаружено, что температурный градиент между арктической и экваториальной территориями, а также среднее атмосферное давление субтропической зоны изменяются противоположно температуре арктических районов. В связи с этим интенсивность западного перенеса в умеренной зоне уменьшается с потеплением и увеличивается при охлождении в полярных районах. Характерные изменения температуры в арктических районах не могут объясняться постепенным увеличением концентрации CO_2 в атмосфере. Это явление, вероятнее всего, связано с колебаниями переноса тепла Гольфстримом.

A KLÍMAVÁLTOZÁSOK ÉS A NAPTEVÉKENYSÉG LEHETSÉGES KAPCSOLATAI

MOLNÁR GYULA

Bevezetés

Napjainkban egyre inkább újjáéled a naptevékenység különböző formá és az időjárás közötti lehetséges kapcsolatok kutatása. A vélemények sokszor homlokegyenest ellentétesek, s bár a naptevékenység-időjárás kapcsolatok híveinek hangja erősebbnek tűnik, az ilyen összefüggések realitása, ill. létezése még mindig kérdéses. WILCOX et al. (1974) továbbá HINES és HALEVY (1977) pl. posztuláltak egy lehetséges összefüggést, de pl. LARSEN és KELLEY (1977) numerikus szimulációs vizsgálattal nem tudták kimutatni ennek a fennállását.

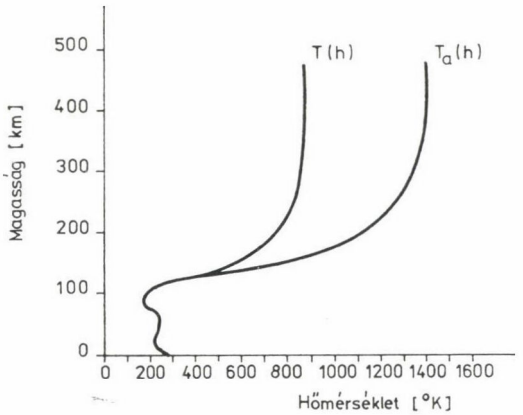
Más típusú összefüggés lehet azonban a hosszabb periódusú naptevékenység-szint változások és a szekuláris klímaingadozások között. Ekkor tehát bizonyos hosszan tartó naptevékenységszinteket tekintünk, mint pl. a Maunder-minimum vagy a Középkori-maximum (pl. EDDY, 1976, 1977). Amint azt pl. HEATH (1973) és WÖHL (1978) kifejti, a spektrális napállandónak különösen a rövidhullámú része mutat nagy változásokat (a korpuszkuláris sugárzás intenzitása mellett) a 11—11,5 éves naptevékenységi ciklus során, s ez, valamint a napszél erősen (kimutathatóan) megváltoztatja a felső légkör jellemzőit.

A felső légkör naptevékenység hatására történő állapotváltozásai ma már — hála főképpen a műholdas technikának — megfigyelhetőek, s ezek alapján a lehetséges indirekt, alsó légkörbeli (troposzférikus) hatások is megbecsülhetőek. Közvetlen időjárási anomáliák léphetnek fel a — főleg a látható spektrumtartományban bekövetkező — napállandóváltozások hatására. Ezek a lehetséges napállandófluktuációk elméletileg, ill. empirikusan becsülhetők a Nap sugárzási fluxusának modellje(i)ből, ill. méréseiből.

A légkör energiaszintjének megváltozása a naptevékenység hatására

A naptevékenység aktív periódusaiban a Nap megnövekedett rövidhullámú elektromágneses fluxusa, ill. korpuszkuláris sugárzása hatására megváltozik a felső légkör energiaszintje. Amennyiben folyamatosan (és globálisan) mérjük a felső légkör különböző paramétereit, meg is becsülhetjük ezt az energiaszint-változást, hiszen bizonyos paraméterek *mérhető* módon megváltoznak a naptevékenység hatására. Természetesen a globális érvényességű becsléshez szükséges műholdas adatok még nem állnak rendelkezésünkre hosszú idő-

szakra, azonban a következőkben leírandó nagyságrendi becsléshez pl. egy nyugodt periódusra vonatkozó átlagértéket úgy tekinthetünk, mintha az hosszantartó napaktivitás-hiányra (pl. Maunder- vagy Spörer-minimum) vonatkozna, mivel a légkör relaxációs ideje relatíve rövid.



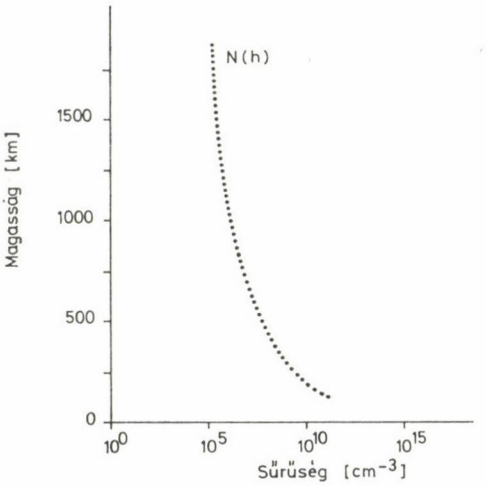
1. ábra. A Föld légkörének átlagos hőmérsékleti profiljai a naptevékenység maximális *(T_a)* és minimális *(T)* periódusaiban

Tekintsünk először egy olyan időszakot, amikor a naptevékenység gyakorlatilag szünetel, s jellemezze a légkör termikus állapotát a $T(h)$ átlagos vertikális hőmérsékleti profil, ahol „h" a magasságot jelöli. A kinetikus gázelmélet szerint ekkor az egy molekulára eső átlagos energia $3/2\ k\ T(h)$, s „k" a BOLTZMANN-konstans. A naptevékenység átlagosan aktív időszakában a légkörnek egy új termikus állapota alakul ki, melyet egy másik átlagos hőmérsékletelosztás, $T_a(h)$ jellemez. Az 1. ábrán láthatjuk ezeket a hőmérsékleti profilokat IZAKOV (1976) munkája alapján.

Jelölje $N(h)$ az egy cm^3-ben levő levegőmolekulák számát Ezt az átlagos függélyes sűrűségeloszlást a 2. ábra mutatja. Ezen adatok alapján már meg lehet becsülni azt a tényleges energiatöbbletet, mely *valóban* elnyelődik a légkörben a naptevékenység következményeként. Az eredményt a következő térfogati integrál adja:

$$E_{ex} = \frac{3}{2} k \int_V N(h) [T_a(h) - T(h)] \, dV. \tag{1}$$

Az (1)-ben szereplő integrált numerikusan értékeltük ki, a légkör napaktivitás által *mérhetően* befolyásolt részét 21 rétegre bontva, s eredményül az $E_{ex} \approx 10^{22}$ erg értéket kaptuk. Megjegyezzük, hogy más (pl. USSA standard atmosphere) adatokból, ill. a naptevékenység hatására fellépő sűrűségváltozások figyelembe-



2. ábra. A Föld magaslégkörének átlagos sűrűségprofilja

vételével némileg eltérő számértéket nyerhetünk, de nagyságrendi becslésként (1) is helyes eredményt ad. A fent meghatározott többletenergia meghatározása azért lényeges, mert arra az energiafelvételre jellemző, amelyet a naptevékenység különböző megnyilvánulási formái *ténylegesen* okoznak a Föld légkörében, tehát csak a Földet *valóban* elérő „naphatásokat" vesszük figyelembe. Szükségünk van még ennek az energiatöbbletnek a fluxusára is, s ehhez meg kell becsülnünk az energiatranszport sebességét. BUCHA (1977) szerint a légkör felső határától a legalsó, napaktivitás által *mérhetően* befolyásolt szintig (mintegy 128 km) ez a többletenergia 1—5 nap alatt ér el. Maximális becsléshez használjuk az 1 napos értéket, így a naptevékenység átlagos értéke semmiképp sem generálhat nagyobb lefelé irányuló energiafluxust, mint:

$$\Phi_{E_{ex}} \lesssim \frac{10^{15} J}{4R^2\pi \cdot 1\ nap} \approx 2{,}3 \cdot 10^{-5}\ Wm^{-2}, \qquad (2)$$

ami kevesebb mint a napállandó miatt fellépő energiafluxus $2 \cdot 10^{-6}$%-a. Itt „R" a Föld átlag-sugara. Megjegyezzük, hogy a korpuszkuláris és mágneses energiafluxus átlagos napaktivitásnak megfelelő értéke mintegy $4 \cdot 10^{-6}\ W/m^2$ (BUCHA, 1977), a magnetoszféra sugarát $\approx 10 \cdot R$-nek tekintve. Ez nincs ellentmondásban (2)-vel, mert mint említettük E_{ex} magában foglalja az összes lehetséges hatást.

Összehasonlítás néhány meteorológiai jelenség energiájával

Az átlagos sűrűségprofil alapján megbecsülhető a naptevékenység által mérhetően befolyásolt levegőmolekulák száma. Ez mintegy $2{,}1 \cdot 10^{35}$-nek adódott, s mivel a légkör molekuláinak teljes száma közelítőleg $1{,}095 \cdot 10^{44}$, az

E_{ex} energia miatti átlagos hőmérsékletemelkedés a teljes légkörre csak kb. $5 \cdot 10^{-7}$ *K* lenne. Ez nagyon jelentéktelennek látszik, tételezzük fel azonban azt — a termodinamikailag egyébként igen valószínűtlen esetet —, hogy ez az E_{ex} energia egy viszonylag kicsiny térfogatban akkumulálódik, s eléri a troposzférát.

Vizsgáljuk meg először, mi történik, ha E_{ex} teljes mértékben kinetikus energiává alakul. Tegyük fel, hogy egy *m* tömegű légtömeg 0-ról 40 *km/h*-ra gyorsul fel az E_{ex} energia elnyelése révén. Ebből $m = 1{,}62 \cdot 10^3$ kg adódik, ami megfelel egy közelítőleg $1{,}3 \cdot 10^3$ km^3-es, vagyis egy pl. 114 *km* · 114 *km* · 1 *km*-es méretekkel rendelkező légtömegnek. Ez a mozgó légtömeg MONIN (1972) szerint egy átlagos ciklon energiájának tizedrészével rendelkezik. Ennek ellenére a trigger-mechanizmus hívei mégiscsak mondhatják, hogy ez a mozgó légtömeg „kibillenthet" az egyensúlyból sarkvidéki légköri képződményeket. Figyelembe kell vennünk azonban, hogy valóságos légköri állapotváltozásoknál a fő szerepet a belső energia megváltozása játssza (disszipációs hőátadás útján), míg a kinetikus energia megváltozása és így a horizontális bárikus erőnek köszönhető transzlációs-munka megnövekedése sokkal kisebb (mintegy 2 nagyságrenddel). Ez azt jelenti, hogy a $\Phi_{E_{ex}}$ energiafluxus „nem szívesen" generál kinetikus energiaváltozást, tehát a *reális* légkörben kicsi a triggereffektus (pl. az Azori anticiklon áramlási mezejének megváltoztatásában) valószínűsége.

Az elmondottakra tekintettel másodszor vizsgáljuk meg egy troposzférikus légtömeg E_{ex} hatására bekövetkező belső energia változásának lehetséges hatását. Tekintsünk egy meglehetősen vastag felhőt, melynek alapja 1 km-es magasságban van. Tegyük fel, hogy a felhő magasabb albédója miatt a levegő átlagosan 5 K-es alacsonyabb hőmérsékletű lesz, mint felhőmentes esetben. Számítsuk most ki, hogy mekkora lehet annak a felhőnek a mérete, mely ily módon E_{ex} energiát nyel el. A levegő sűrűségét 1 km-es magasságig a felszínivel egyezőnek feltételezve azt kapjuk, hogy a felhőnk mintegy 20 · 20 km-es.

Ez $7{,}5 \cdot 10^{-5}$%-a a hozzávetőlegesen 50%-os globális felhőfedettségének. A legújabb felhőzet-felszíni hőmérséklet kölcsönhatást modellező számítások (pl. SCHNEIDER et al. 1978) szerint ez a felhő a felszín átlaghőmérsékletét $5{,}5 \cdot 10^{-5}$ K-el csökkentené.

A fenti összehasonlítások tisztán utalnak arra, hogy a naptevékenység *átlagos* szintje nem befolyásolhatja jelentősen a szekuláris klímaingadozásokat a *termoszférikus változásokon* keresztül.

Természetesen a felső légkör alsóbb szintjein is jelentkezhetnek *megfigyelhető*, naptevékenység által generált változások. A Nap ultraibolya fluxusának változékonysága különösen fontos az alsó mezoszféra és a sztratoszféra magasságában, mivel itt olyan fotokémiai reakciók játszódnak le, melyek ózon-koncentráció- és hőmérséklet-változásokhoz vezetnek a napfoltciklus folyamán. Legújabban CALLIS és NEALY (1978), CALLIS et al. (1979) és HEATH (1980) ta-

lált arra vonatkozó bizonyítékokat, hogy az ózonkoncentráció változásainak és a sztratoszféra hőmérsékletingadozásainak trendjei valószínűleg nagymértékben függenek a naptevékenységtől. Ezek a változások pedig okozhatnak pl. felszínhőmérséklet fluktuációkat is, melyek nagyságát — ún. sugárzási-konvektív — fotokémiai modelleket felhasználva — CALLIS et al. (1979) és POLLACK et al. (1979) meg is becsülték.

Eredményeik szerint maximálisan $\approx$0,1 *K hőmérsékletcsökkenés* várható a felszínen a naptevékenység *maximuma* idején.

Az e fejezetben leírt meggondolások arra utalnak, hogy a magaslégkörben fellépő, naptevékenység okozta változások nemigen okozhatnak jelentős változásokat a troposzférában, még indirekt módon sem.

A naptevékenység különböző megjelenési formáinak hatása a napállandóra a látható spektrumban

Az eddigiekben vázolt, naptevékenység hatására bekövetkező magaslégköri változások legfőképpen a Nap elektromágneses spektruma nagyenergiájú részének intenzitásnövekedése, ill. a korpuszkuláris sugárzás megerősödése következtében lépnek fel. Másrészről viszont a naptevékenység hatására változások következhetnek be a látható napsugárzás intenzitásában is. Ennek megbecslése azért különösen érdekes, mert az ebben a színképtartományban emittált fotonok gyakorlatilag *közvetlenül* befolyásolhatják a troposzférát, ill. a felszínt, lényegében függetlenül magaslégköri effektusoktól.

E célból először kiválasztottunk egy olyan időszakot, amikor szokatlanul sok flert figyeltek meg a Napon — mivel ezek a legerősebb tranziens jelenségek —, s a flerek energiájuknak közelítőleg a felét a látható színképtartományban sugározzák ki (a többit túlnyomórészt pedig korpuszkuláris sugárzásként). Az 1957 júliusától 1958 decemberéig terjedő periódusban észlelt flerek gyakorisági eloszlása, valamint átlagos élettartamuk az I. táblázatban látható. Felső becslést alkalmazva a flerek felületegységre eső kisugárzására (kétszeres flerenergiákat vettünk, hogy *egyéb tranziens* jelenségek hatását is figyelembe ve-

I. táblázat

A Nap felszínén 1957 *július és* 1958 *december között megfigyelt flerek gyakorisági eloszlása, s jellemző tulajdonságaik*

A flerek mérete (a Nap látható felszínének milliomod részében)	A flerek típusa	Az előfordulás gyakorisága	%-os előfordulás	Átlagos élettartam (perc)
100—250	1	6150	92,4	17
250—600	2	467	7,0	29
600—1200	3	33	0,5	62
1200 fölött	3+	6	0,1	180

hessük) és elhelyezkedésére, erre az 1,5 éves időtartamra a napállandó megváltozásának felső korlátja közelítőleg a következőképpen adható meg:

$$\overline{\Delta I_s} \approx \frac{6 \cdot 2 \cdot 10^{32} + 0{,}5 \cdot 33 \cdot 2 \cdot 10^{32} + 0{,}25 \cdot 467 \cdot 2 \cdot 10^{32} + 0{,}125 \cdot 6150 \cdot 2 \cdot 10^{32}}{1{,}5 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 0{,}25 \cdot 4 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{33}} \cdot$$

$$\cdot 100\% = 0{,}00076\%,$$

mivel a Nap kb. $0{,}5 \cdot 4 \cdot 10^{33}$ erg energiát sugároz ki másodpercenként a látható fény frekvencia-tartományában. Összehasonlításként megjegyezzük, hogy DESSLER (1975) becslése szerint a napszél energiafluxusa a fenti érték tizede. Egy rövid ideig tartó, nagy flerkitörés idején a napállandó megváltozása már jelentősebb lehet:

Tekintsünk egy jól fejlett 3 + flert, ennek 180 perces élettartama alatt a napállandó megváltozása a látható fény spektrumában durván:

$$\frac{2 \cdot 10^{32}\, erg/(180 \cdot 60\, s)}{0{,}5 \cdot 10^{33} erg/s} \cdot 100\% \approx 0{,}004\% .$$

Hosszabb távon a napállandó lecsökkenhet a napfoltok sugárzásblokáló hatása következtében, így a napfoltmaximum idején a Nap $\sim 3 \cdot 10^{-4}$-ed része napfoltumbrákkal borított, melyek fényessége mintegy 1/4-e a környező fotoszféra fényességének (HOYT, 1979). A penumbrák, melyek átlagosan ötször nagyobb területet foglalnak el mint az umbrák, kb. fotoszféra fényességének 3/4 részével rendelkeznek (HOYT, 1979).

Ezekből az adatokból azt kapjuk, hogy a napfoltok maximálisan mintegy 0,06%-kal csökkenthetik a napállandót. Ellentétes irányban hatnak a napállandó értékére a szintén hosszabb ideig tartó fotoszféra-kifényesedések (fakulák vagy fáklyák), azonban úgy tűnik nemigen tudják kompenzálni a napfoltok hatását.

Ez azt jelenti, hogy a naptevékenység felületi, külső megnyilvánulási formái maximálisan kb. azonos hatással vannak a földfelszín-hőmérsékletre mint az előző fejezetben tárgyalt sztratoszférikus fotokémiai reakcióváltozások.

Vizsgáljuk most meg, hogy ezek a napállandó-változások indukálhatnak-e valamilyen meteorológiai változást a troposzférában. A következő meggondolások fényében ez nehezen lenne elképzelhető.

A földpálya jelenlegi excentricitása miatt a perihélium és afélium között (mintegy 183 napon belül) a Nap—Föld távolság kb. 5 millió km-rel változik meg, mely tehát átlagosan napi 5/183 millió km-nek felel meg, ami a csillagászati egység 0,0182%-a. Ez napállandóváltozást indukál, ami 0,0364%-osnak adódik *napról napra*, s ez az érték pl. március, április, szeptember és október hónapokban még nagyobb, hiszen a Nap—Föld távolság e hónapokban változik a leggyorsabban.

Mindamellett egy átlagos 12 órás éjszaka alatt a napállandó megváltozása 0,0182%, vagyis minden reggel a légkör egy, napállandó változás szempontjából igen aktív Nappal „találja magát szembe", hiszen ekkora napállandóváltozás 12 órás fenntartásához pl. mintegy 20 db nagy, 3 + fler megjelenésére lenne szükség.

A napfoltok maximális sugárzáscsökkentő hatása jóval nagyobb lehet, mint a flerekkel kapcsolatos luminozitásnövekedés, azonban még mindig csak mintegy kétszerese a *napi* „természetes" napállandóváltozásnak. Ráadásul a napfoltszám egy ilyen maximális értéket csak kb. egy hónap alatt ér el, vagyis a *napi*, napfoltszámváltozás okozta napállandó csökkenés, ill. növekedés csak ~0,002%-os, ami a 12 órás „természetes trigger"-nek az 1/10-e.

Ezek a megfontolások óhatatlanul arra utalnak, hogy sem a legnagyobb flerek (melyek megjelenési gyakorisága nem több évi 4 db-nál), sem a napfoltszámváltozások nem képesek olyan napállandóváltozást okozni mint a napállandó átlagos, 12 órás „természetes" változása, vagyis ha már a naptevékenység triggereffektust idézhet elő, még inkább állhatna ez erre a „természetes" változásra.

Úgy tűnik tehát, hogy nem sok hely marad a trigger-mechanizmus számára a troposzférában. Erre a következtetésre jutott pl. HINES és HALEVY (1977) is, bár szerintük létezhet esetleg még egy ún. „fázis-eltoló" mechanizmus.

A fenti eredményeket hosszabb időtartamra kivetítve úgy tűnik, hogy a MILANKOVICS (1941) elmélettel megegyezésben a Föld pályaelemváltozásai játszhatták a meghatározó szerepet, legalábbis a legutóbbi glaciálisok kialakulásában, hiszen — mint láthattuk —, az ismert maximális naptevékenységszint is túl „gyenge" lenne ehhez.

Mindamellett nincs is semmilyen asztrofizikai okunk feltételezni azt, hogy a Negyedkorban a naptevékenység szintje a ma ismertnél nagyobb lett volna, sőt a legújabb holdkőzet és meteorvizsgálatok *kísérletileg* is igazolják a flerintenzitás és a kozmikus porrészecskék fluxusának meglepő állandóságát legalábbis az utóbbi 5 millió évre (FRENCH, 1980).

Természetesen a kontinensvándorlás, égitestek becsapódásai vagy tektonikus folyamatok is szerepet játszhattak a jégkorszakok kialakulásában, azonban *nem periodikusan.*

Továbbmenve, SUAREZ és HELD (1976, 1979) igen jó egyezést talált a MILANKOVICS-féle besugárzásra támaszkodó modelljük, és nyári tengerfelszínhőmérsékletek között, melyeket egy észak-atlanti üledékrétegből határoztak meg. Hasonló eredményeket kaptak HAYS et al. (1976) is.

Ezenfelül WEERTMAN (1976) és BIRCHFIELD (1977) azt találták, hogy a besugárzás MILANKOVICS-féle változása megmagyarázza a glaciális jégpajzsok kialakulását, ill. elbomlását. BERGER (1978, 1979) valamint SCHNEIDER és THOMPSON (1979) számításai szintén alátámasztják ezeket az eredményeket.

Diszkusszió

(i) Az 1. és a 2. pontban leírt megfontolások arra utalnak, hogy a naptevékenység okozta változások közül azok, melyek a felső-légkörön keresztül hatnak, nem elég erősek az időjárás befolyásolására, s különösen nem elegendőek szekuláris klímaingadozások keltésére; egyrészt ugyanis a termoszférában keltett energia-változások túl kicsik lényeges troposzférikus effektusok előidézéséhez, másrészt bár az előzőekben említett sztratoszférikus *UV*-, ill. korpuszkuláris sugárzásváltozások által indirekt módon indukált 0,1 K körüli felszínhőmérsékletváltozás (pl. CALLIS et al. 1979) nem egészen elhanyagolható, el kell mondanunk, hogy ez a számérték a Nap *UV*-fluxusának olyan modelljéből adódik, amely túlbecsüli a naptevékenység okozta *UV*-változásokat (lásd pl. PITTOCK, 1978).

(ii) A 3. pontban megbecsültük azokat a lehetséges napállandóváltozásokat, melyeket a naptevékenység jelenleg ismert megnyilvánulási formái okozhatnak a látható spektrumtartományban. Eredményeink szerint a napfoltciklus legerősebb *külsődleges* kísérőjelenségei sem elég erősek a troposzférikus folyamatok gyakorlati szempontból *(előrejelzések!)* jelentős befolyásolásához.

Mindamellett nagyobb mértékű rövid távú, ill. szekuláris napállandóváltozások léphetnek fel olyan okok következtében, melyek nincsenek *szükségszerűen* összefüggésben a Nap felszíni jelenségeivel: DEARBORN és NEWMAN (1978) pl. kimutatta, hogy a konvekció hatékonyságának sztochasztikus változásai a Nap luminozitásának 1%-ot meg nem haladó fluktuációját válthatják ki. Hasonló jellegű számítások segítségével SOFIA et al. (1979) azt kapták, hogy a konvekció hatékonyságának fluktuációi következtében fellépő 1%-os luminozitásváltozás 0,075%-os változásnak felel meg a Nap sugarában.

A Nap sugarának 1850-től 1937-ig terjedő méréseiből 0,33%-os felső korlátot adtak meg a napállandó erre a periódusra vonatkozó esetleges megváltozására.

Egy másik lehetőséget vetett fel DICKE (1978, 1979). Elképzelése szerint a napfoltciklus valamilyen módon kapcsolódik egy belső „kronométer"-hez: a mágneses tér modulációja befolyásolhatja a felületre irányuló energiatranszportot, és így az eredő luminozitást. Ugyanez a folyamat lehet felelős a napfoltciklussal kapcsolatos mágneses mezőkért. Ezenfelül azt találta, hogy amennyiben a *D*/*H* klímaindikátor (EPSTEIN és YAPP, 1976) a Nap luminozitásváltozásait tükrözi, akkor sem a napfoltok, sem a flerek, sem a napfákylák, sem a naptevékenység egyéb, külsődleges megjelenési formái nem lehetnek ezért felelősek, mivel mindezek erős fázisfluktuációt mutatnak, míg ez nem található meg a *D*/*H* adatokban.

HOYT (1979) szerint az umbra-penumbra felületek arányában (*U*/*P*) megfigyelt változások a konvektív fluxus ingadozásainak a következményei, mely szintén napállandóváltozásokkal jár együtt. Leírt egy lehetséges össze-

függést az U/P arány és a Nap forgássebessége között is. Eszerint mostanában, amikor a forgássebesség növekedni látszik (pl. SAKURAI, 1977), az U/P aránynak csökkenni kell. HOYT levezetése szerint ekkor globális lehűlésnek kell történnie a luminozitás csökkenése miatt. Mindenesetre a mérések ezt nem támasztják alá (LAMB, 1979), sőt a Nap forgássebességének *napfoltmozgásokon* alapuló gondos mérései nem tudtak kimutatni semmilyen hosszabb távú, a napfoltciklussal párhuzamosan történő forgássebességváltozást sem (HOWARD, 1978).

Másrészről, két eset kivételével az USA nyugati részén megfigyelt, a 22 éves HALE-ciklussal esetleg összefüggő szárazságok (MITCHELL et al., 1978) meglehetősen jó egyezést mutatnak az U/P arányokkal, bár különböző (0—4 év) fáziseltolódásokkal. Gyengíti azonban ezt az összefüggést COOK és JACOBY (1979) eredménye; a Hudson völgyben 26 és 11,4 éves szárazsági periódusokat találtak.

A tisztább kép érdekében el kell mondanunk, hogy akkor, amikor az első 3 fejezet meggondolásai alapján azt a következtetést vontuk le, miszerint a naptevékenység *hosszabb távú* szünetelése az éghajlatváltozások szempontjából nem jelentős, azzal a feltételezéssel éltünk, hogy a mai napfoltciklus folyamán a Nap átmegy a lehetséges változásai során. Ez a feltételezés azonban kritizálható, mert a fa-évgyűrűk radiokarbon mérései szerint az utóbbi 1000 év hosszabb naptevékenységminimumai (Maunder-, Spörer- és Wolf-minimumok) idején a Nap sokkal kevésbé volt aktív, mint egy mai minimum során, legalábbis abból a szempontból, hogy hogyan modulálódnak a galaktikus kozmikus sugarak. Mindazonáltal ezek a C-14 mérések lényegében csak a *napszél-* és *korona*fluktuációk indikátorai, melyek semmi esetre sincsenek *szükségszerű* kapcsolatban jelentős napállandóváltozásokkal. Más effektus is szóba jöhet, azonban: a galaktikus kozmikus sugárzás ionizálja a troposzféra molekuláit is (LOWDER és BECK, 1966), így azok naptevékenység okozta modulációja nyilvánvalóan légelektromos változásokhoz vezethet. Jelenlegi ismereteink — egyébként meglehetősen alacsony — szintjén ezek nemigen okozhatnak jelentősebb időjárási hatásokat, bár legújabban pl. MARKSON (1978) javasolt egy plauzibilis mechanizmust, melyen keresztül a Nap részecskesugárzásának felső-légköri abszorpciója indirekt módon hatással lehet a troposzféra elektromos állapotára is. WILLETT (1979) részletesebb vizsgálata rámutatott azonban arra, hogy az effektus jóval szerényebb hatású, mint amit MARKSON kapott.

Folytatva a Maunder-típusú minimumokkal kapcsolatba hozható esetleges klímalehűlések tárgyalását, ki kell emelnünk a következőket:

A legutóbbi 750—1000 évre vonatkozó, a *felszínhőmérséklet* alakulására utaló klímaindexek — mint pl. az oxigén-izotóp és a D/H arányok —, nem utalnak minden kétséget kizáróan arra, hogy a Nap kevésbé volt aktív (luminozitáscsökkenés szempontjából) mint egy mai, zérus körüli napfoltszámmal jellemezhető minimum idején. HIBLER és JOHNSEN (1979) oxigén-izotóp arányai, vala-

mint a D/H klímaindikátor (DICKE, 1978, 1979) ugyanis nem mutat olyan viselkedést, mely a naptevékenység szintjének burkológörbéjével párhuzamba állítható. Igaz ugyan, hogy a D/H index az átlagosnál kisebb változékonyságot mutat a Maunder-minimumnál, azonban a Spörer- (1416—1534) és a Wolf-minimumra (1282—1342) ez a megkülönböztetés sem tehető. Továbbmenve, a D/H arány mint klímaindikátor *nem-lokális* jellegű, míg pl. EDDY (1976) *lokális* éghajlatindexeket használt fel, amikor a Maunder-minimumnak klímalehűlést feleltetett meg. Ráadásul még ezen lokális indexek is azt mutatták, hogy a Maunder-minimummal kapcsolatba hozott lehűlés csak egy része volt egy sokkal hosszabb hideg periódusnak, az ún. kis-jégkorszaknak, mely legalább 1590-tól 1850-ig tartott (LADURIE, 1971).

Legújabban WIGLEY et al. (1980) behatóan elemezték az északi hemiszféra 4000 évre visszamenő klimatikus trendjeinek és a C-14 izotóp fa-évgyűrűkben talált mennyiségének (a megnövekedett értékek alacsony naptevékenységi szintekre utalnak) alakulását. Eredményeik szerint a szekuláris klímalehűlések és a naptevékenység burkológörbéjének minimumai között nem valószínű az *oksági* kapcsolat léte. Az utóbbi 500 évre vonatkozóan ROBOCK (1978, 1979) azt találta, hogy a felszínhőmérséklet alakulása egyáltalán nem magyarázható a naptevékenység szintjének ingadozásaival, míg TAYLOR et al. (1980) 80 évre visszamenőleg kaptak hasonló eredményt, ill. a vulkáni tevékenység nagyságrenddel nagyobb szerepét mutatták ki.

Összegezve, a fent idézett eredményeknek, ill. meggondolásainknak nem mond ellent, hogy a szekuláris klímaingadozások jelentős részéért a Nap — naptevékenységtől lényegében független — luminozitásváltozásai lehetnek a felelősek, azonban a kérdés végleges eldöntéséhez a napállandó hosszabb távú — legalább egy HALE cikluson át tartó —, *műholdas*, *nagypontosságú* mérésére van szükség.

Amint kimutattuk csak $\sim 0{,}1\%$-nál kisebb napállandóváltozások lehetnek kapcsolatosak a naptevékenység különböző megnyilvánulási formáival, tehát ha pl. a műholdas mérések kimutatnának 0,1%-nál nagyobb, *nem véletlenszerű*, megfelelő periódusú luminozitásváltozásokat, akkor esetleg DICKE (1978) vagy mások elmélete igazolódhatna.

A kezdeti lépések már meg is történtek: 1978 novembere óta a Nimbus 7 műholdon, 1980 elejétől pedig az SMM (Solar Maximum Mission) mesterséges holdról mérik 0,1%-nál nagyobb pontossággal a napállandót. Az eddigi — sajnos még rövid —, *folyamatos* adatsorból trendet nem lehetett kimutatni, 2 nagyobb, néhány hétig tartó mintegy 0,3%-os napállandócsökkenést azonban észleltek, s ezek egyike napfoltszám-emelkedéskor következett be (FOUKAL, 1980).

Mindent egybevetve, az utóbbi néhány ezer év szekuláris klímaingadozásainak fő kiváltó oka még mindig kérdéses, s például az óceán—légkör—krioszféra—szárazföld rendszer saját sztochasztikus mechanizmusai ugyanolyan fontos szerepet játszhatnak, mint a külső gerjesztések.

IRODALOM

BERGER, A. L.: Long-Term Variations of Daily Insolation and Quaternary Climatic Changes. J. of the Atm. Sci., **35,** 2362—2367, 1978.

BERGER, A. L.: Insolation Signatures of Quaternary Climatic Changes. Il Nuovo Cimento, **2,** C, 63—87, 1979.

BIRCHFIELD, C. E.: A study of the stability of a model continental ice sheet subject to periodic variations in heat input. J. Geophys. Res., **82,** 4909—4913, 1977.

BUCHA, V.: Cases of Glaciations Climate and Weather Changes (Possible Mechanism of Solar-Terrestrial Processes). Project 73/1/24, „Quaternary Glaciations in the Northern Hemisphere", Report, **4,** Prague, 8—36, 1977.

CALLIS, L. B.—J. E. NEALY: Solar u. v. variability and its effect on stratospheric thermal structure and trace constituents. Geophys. Res. Let., **5,** 249—252, 1978.

CALLIS, L. B.—M. NATARAJAN—J. E. NEALY: Ozone and temperature trends associated with the 11-year solar cycle. Science, **204,** 1303—1306, 1979.

COOK, E. R.—G. C. JACOBY: Evidence for quasi-periodic July drought in the Hudson Valley, New York. Nature, **282,** 390—392, 1979.

DEARBORN, S. P.—M. J. NEWMAN: Efficiency of convection and time variation of the solar constant. Science, **201,** 150, 1978.

DESSLER, A. J.: In Possible Relationships between Solar Activity and Meteorological Phenomena. NASA-SP-366 NASA, Washington, 1975.

DICKE, R. H.: Is there a chronometer hidden deep in the Sun? Nature, **276,** 676, 1978.

DICKE, R. H.: Solar luminosity and the sunspot cycle. Nature, **280,** 24—27, 1979.

EDDY, J. A.: The Maunder minimum. Science, **192,** 1189, 1976.

EDDY, J. A.: The case of the missing sunspots. Scientific American, **236,** 80, 1977.

EPSTEIN, S.—C. J. YAPP: Earth Planet. Sci. Lett., **30,** 252, 1976.

FOUKAL, P.: Solar luminosity variation on time scales 10^2—10^9 seconds; observational evidence and basic mechanisms. Paper presented at „Sun and Climate", Toulouse, France, September 30—Oktober 3, 1980.

FRENCH, B. M.: Footprints of the Sun. Nature, **283,** 244—245, 1980.

HAYS, J. D.—J. IMBRIE—N. J. SHACKLETON: Variations in the Earth's orbit: Pacemaker of the ice ages. Science, **194,** 1121, 1976.

HEATH, D.: Space observations of the variability of solar irradiance in the near and far ultraviolet. J. Geophys. Res., **78,** 2779—2792, 1973.

HEATH, D. F.: A review of observational evidence for short and long term ultraviolet flux variability of the Sun. Paper presented at „Sun and Climate", Toulouse, France, September 30—Oktober 3, 1980.

HIBLER, W. D.—S. J. JOHNSEN: The 20-yr cycle in Greenland ice core records. Nature, **280,** 481—483, 1979.

HINES, C. O.—I. HALEVY: On the reality and nature of a certain Sunweather correlation. J. of Atm. Sci., **34,** 382—404, 1977.

HOWARD, R.: The rotation of the Sun. Rev. Geophys. Space Phys., **16,** 721—732, 1978.

HOYT, D. V.: Variations in sunspot structure and climate. Climatic Change, **2,** 79—92, 1979.

IZAKOV, N. M.: Comparison of structure and dynamics of the Earth's, Mars' and Venus' thermosphere. J. Atm. Terr. Phys., **38,** 847—862, 1976.

LADURIE, E. LeR.: Times of feast, times of famine; a history of climate since the year 1000. New York, Doubleday and Company, 426, 1971.

LAMB, H. H.: An approach to the study of the development of climate and its impact on human affairs. Paper presented at International Conference on Climate and History, Norwich, United Kingdom, July 8—14, 1979. Norwich, 91—108, 1979.

LARSEN, M. F.—C. M. KELLEY: A study of an observed and forecasted meteorological index and its relation to the interplanetary magnetic field. Geophys. Res. Lett., **4,** 337—340, 1977.

LOWDER, W. M.—H. L. BECK: Cosmic-ray ionization in the lower atmosphere. J. Geophys. Res., **71,** 4661—4668, 1966.

MARKSON, R.: Solar modulation of atmospheric electrification and possible implications for the Sun-weather relationships. Nature, **273,** 103—109, 1978.

MILANKOVITCH, M.: Kanon der Erdbestrahlung und seine Anwendung auf das Eiszeitproblem. R. Serb. Acad., Belgrade, 633, 1941.

MITCHELL, J. M. JR.—C. STOCKTON—D. M. MEKO: Evidence of a 22 year rhythm of drought in the Western United States related to the Hale solar cycle since the 17th century. Paper presented at Solar-Terrestrial Influences on Weather and Climate, Columbus, Ohio, July 24—28, 1978.

MONIN, A. S.: Weather Forecasting as a Problem in Physics. The MIT Press, 1972.

PITTOCK, A. B.: A critical look at long-term sun-weather relationships. Revs. Geophys. Space Physics, **16,** 400—421, 1978.
POLLACK, J. B.—W. J. BORUCKI—O. B. TOON: Are solar spectral variations a drive for climatic change? Nature, **282,** 600—603, 1979.
ROBOCK, A.: Internally and Externally Caused Climate Change. J. of the Atm. Sci., **35,** 1111—1122, 1978.
ROBOCK, A.: The „Little Ice Age": Northern Hemisphere Arerage Observations and Model Calculations. Science, **206,** 1402—1404, 1979.
SAKURAI, K.: Equatorial solar rotation and its relation to climatic changes. Nature, **269,** 401—402, 1977.
SCHNEIDER, S. H.—M. W. WASHINGTON—M. R. CHERVIN: Cloudiness as a climatic feedback mechanism: effects on cloud amounts of prescribed global and regional surface temperature changes in the NCAR GCM. J. Atm. Sci., **35,** 2207—2221, 1978.
SCHNEIDER, S. H.—S. L. THOMPSON: Ice ages and orbital variations: some simple theory and modeling. Quaternary Res., **12,** 188—203, 1979.
SOFIA, S.—J. O'KEEFE—J. R. LESH—A. S. ENDAI: Solar constant: constraints on possible variations derived from solar diameter measurements. Science, **204,** 1306—1308, 1979.
SUAREZ, M. J.—I. M. HELD: Modeling climatic response to orbital parameter variations. Nature, **263,** 46—47, 1976.
SUAREZ, M. J.—I. M. HELD: The sensitivity of an energy balance climate model to variations in the orbital parameters. J. Geophys. Res., **84,** 4825—4836, 1979.
TAYLOR, B. L.—T. GAL-CHEN—S. H. SCHNEIDER: Volcanic eruptions and long-term temperature records: an empirical search for cause and effekt. Quart. J. R. Met. Soc., **106,** 175—200, 1980.
WEERTMAN, J.: Milankovitch solar radiation variations and ice age sheet sizes. Nature, **261,** 17—20, 1976.
WIGLEY, T. M.—L. D. WILLIAMS—P. M. KELLY: Climatic trends at High Nothern latitudes during the last 4000 years compared with 14 C fluctuations. Paper presented at „Sun and Climate" Toulouse, France, September 30—Oktober 3, 1980.
WILCOX, J. M.—H. P. SCHERRER—L. SVALGAARD—W. O. ROBERTS—R. H. OLSON—R. L. JENNE: Influence of solar mag netic sector structure on terrestrial atmospheric vorticity. J. Atm. Sci., **31,** 581—588, 1974.
WILLETT, C. J.: Solar modulation of the supply current for atmospheric electricity. J. Geophys. Res., **84,** 4999—5002, 1979.
WÖHL, H.: Gab es Änderungen der Solarkonstanten in historischer Zeit? Sterne und Weltraum, 25—27, 1978.

ON THE POSSIBLE EFFECT OF SOLAR ACTIVITY ON CLIMATIC CHANGE

GY. MOLNÁR

Abstract

The possible effect of the recently discovered long-term absence of solar activity (e. g., the Maunder or Spörer minimum) on climatic change is discussed. First, the influence of the presently observed solar cycle on the upper atmosphere is estimated and it is concluded that these changes cannot have even an indirect effect on weather. Since the change of solar radiation in the visible spectrum during a sunspot cycle may induce directly meteorological changes in the troposphere, an estimation of the possible maximal amplitude of these changes is also given. The calculations, together with the indexes expressing non-local type climatic change, show that the external manifestations of solar activity (and consequently also the lack of them) are unable to induce changes in meteorological processes that are of interest from the forecaster's point of view.

Considerations presented in the paper indirectly refer to the possibility that the Milankovits hypothesis might be important in creating at least the quaternary glaciations.

Finally, it is concluded that the variations of the solar constant larger than 0.1 per cent observed by satellites cannot be connected with the presently known forms of solar activity. Larger apparent changes in luminosity may be induced deep inside the Sun, and the sunspot cycle, as it is understood today, is no more than a spectacular but meteorologically insignificant manifestation of this internal mechanism.

О ВОЗМОЖНОМ ВЛИЯНИИ СОЛНЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА

Д. МОЛЬНАР

Р е з ю м е

Рассматривается возможное влияние недавно выявленного длительного отсутстви солнечной активности (напр. минимумы Маундера или Шпэрера) на изменение климата. В связи с этим сначала изучалось влияние наблюдаемого в настоящее время солнечного цикла на верхние слои атмосферы, причем был сделан вывод о том, что такие изменения не могли влиять на погоду даже косвенным путем. Поскольку изменение солнечной постоянной в видимом спектре за цикл солнечных пятен может вызывать метеорологические изменения в тропосфере, оценивалась также возможная максимальная амплитуда этих изменений. Полученные результаты, а также величины индексов, выражающих изменения климата нелокального типа, показывают, что внешние проявления солнечной активности (следовательно и их отсутствие) не могут вызывать изменения метеорологических процессов, которые могли бы иметь значение с точки зрения прогнозов.

Излагаемые соображения косвенно указывают на то, что механизм по гипотезе Миланковича мог сыграть значительную роль в процесс развития четвертичных оледенений.

В заключение делается вывод о том, что изменения солнечной постоянной, превышающие 0,1% и наблюдаемые искусственными спутниками Земли, не могут быть связаны с известными в настоящее время видами солнечной активности. Возможные более значительные изменения яркости вызываются, вероятно, глубоко в недрах Солнца, причем известный в настоящее время цикл солнечных пятен ничто иное, чем постановочное, но с метеорологической точки зрения незначительное проявление этого внутреннего механизма.

A GAZDASÁGI NÖVÉNYEK TERMÉSHOZAMÁNAK ÉGHAJLATI POTENCIÁLJA

VARGA-HASZONITS ZOLTÁN
A FÖLDTUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

A Föld lakosságának rohamos növekedésével az a feladat hárul a mezőgazdasági termelésre, hogy az állandóan növekvő számú emberiség számára a szükséges élelmet megtermelje. Ennek a feladatnak a megoldásában minden mezőgazdasági termelést folytató ország érdekelt vagy azért, mert saját lakossága is egyre növekszik, vagy azért mert terményei a növekvő kereslet miatt jobban értékesíthetők a piacon, esetleg mindkét ok miatt egyszerre. Az élelmiszertermelés növelése tehát korunk mezőgazdaságának alapvető feladata.

A mezőgazdasági termelés elsősorban két úton növelhető.

1. A legegyszerűbbnek az a megoldás tűnik, hogy mind nagyobb területeket kell bevonni a mezőgazdasági termelésbe. *A termőterületek növelése* azonban a Föld egyes részein már alig lehetséges, hiszen a legjobb földek lényegében mindenütt művelés alatt állnak. A mezőgazdaságilag fejlett országokban századunk folyamán a számításba vehető szűzföldeket szinte teljes mértékben bevonták a termelésbe. Talán a kivételek között Hollandiát lehet megemlíteni, ahol még napjainkban is újabb területeket hódítanak el a tengertől.

Ugyanakkor egyre inkább számolni kell egy ellentétes folyamattal, a termőterületek csökkenésével. A városok, az üdülőterületek, ipari létesítmények és a közutak mind nagyobb területeket vonnak el a mezőgazdasági termelésből. Ezenkívül csökken a vetésterület a szikesedés, erózió és egyéb okok miatt is.

Magyarországon 1945 óta mintegy 500 000 hektárral csökkent a termőterület, a csapadék pedig mintegy 150 millió tonna termőtalajt hord le. (A környezetvédelem biológiai alapjai 1977).

A termőterület növelése útján tehát aligha lehet már növelni a mezőgazdasági termelést.

2. A mezőgazdasági termelés növelésére járhatóbbnak látszik egy másik út: a meglevő, esetleg csökkenő termőterületen *hatékonyabb gazdálkodással növelni a termelést.* Ezt az utat járták a legfejlettebb mezőgazdasági termeléssel rendelkező országok is. Tapasztalataik alapján megadhatjuk azokat a feltételeket is, amelyeknek alapján a magas terméshozamokat elérték. Ezek a következők:

a) Bőtermő, az ökológiai viszonyokhoz jól alkalmazkodó, a kedvezőtlen hatásokkal szemben ellenálló fajtákat kell kinemesíteni.

b) Növelni kell a talaj termőképességét a megfelelő talajművelés a helyes vetésforgók és a szakszerű trágyázás alkalmazásával.

c) A növényi betegségek és kártevők, valamint a gyomok ellen korszerű, hatékony védelmet kell biztosítani.

d) Az időjárás kedvező hatásainak kihasználása és kedvezőtlen hatásainak a lehető legnagyobb mérvű elhárítása útján biztosítani kell a kedvezően magas terméshozamokat.

Bár a négy említett feltétel közül csak a negyedik vonatkozik kifejezetten az időjárásra, nem nehéz észrevenni, hogy az intenzív gazdálkodás másik három feltétele is erőteljesen kapcsolódik az adott termőterület meteorológiai viszonyaihoz. Hiszen a bőtermő fajtákat is úgy kell kinemesíteni, hogy azok a termőterületen uralkodó meteorológiai viszonyokhoz alkalmazkodjanak. Az agrotechnikai eljárások ugyancsak akkor lesznek hatékonyak, ha az időjárási viszonyok figyelembevételével alkalmazzák őket. Hasonlóképpen a növényi betegségek és a kártevők is csak meghatározott időjárási körülmények között szaporodnak és terjednek el, ezért ellenük is csak a kellő meteorológiai ismeretek birtokában lehet hatékonyan és eredményesen védekezni. Az elmondottakból nyilvánvaló, hogy az intenzív gazdálkodás feltételez bizonyos meteorológiai ismereteket és információkat. Ehhez járul még a negyedik pont, amely teljes egészében a meteorológia és a mezőgazdasági termelés közötti kapcsolat ismeretének fontosságát hagsúlyozza. Ezzel kapcsolatban felvethető egy olyan kérdés, hogy a kedvező időjárási hatások maximális kihasználása a kedvezőtlen hatások legnagyobb mérvű elhárítása esetén milyen lehetséges maximális terméshozam várható.

1. *A növényi produktivitás meghatározása*

A Föld lakosságának növekedése következtében az utóbbi időben mindinkább előtérbe került a termőterületek ökológiai potenciáljának a vizsgálata. Felmerült a kérdés, hogy figyelembe véve a biológia tudományának — ezen belül is a genetikának — a fejlődését, s ennek eredményeként újabb és magasabb termelékenységű fajták termelésbe állítását, valamint figyelembe véve az élettelen környezet által szolgáltatott feltételeket, milyen lehetőségünk van a terméshozamok növelésére. Ha ugyanis az emberiség létszáma 2000-re megkétszereződik, akkor nyilvánvalóan — feltételezve azt is, hogy most az ellátás teljesen kielégítő — az élelmiszerellátásnak is meg kell kétszereződnie, vagy az emberiség egy része éhezni fog.

Az ökológiai potenciál meghatározásában részt vesznek a meteorológusok is, hiszen az időjárás és éghajlat a mezőgazdasági termelésnek igen fontos tényezője. A meteorológiai jellegű vizsgálatok az ötvenes években a Szovjetunióban és az Egyesült Államokban indultak a fotoszintézis és a lélegzés me-

teorológiai feltételeinek kiderítésére. Intenzíven bekapcsolódtak a kutatómunkába a holland, az angol és az ausztráliai meteorológusok is.

Agroklimatológiai irányban is elindultak a vizsgálatok. A mindenütt rendelkezésre álló hőmérsékleti és csapadék adatok alapján azt vizsgálták, hogyan befolyásolják az éghajlati viszonyok a növények produktivitását. Ilyen jellegű vizsgálatokat végzett LIETH (1975), aki az egész világra vonatkozóan kiszámította az éves növényi produkció lehetséges nagyságát. Eredményeit térképes formában közölte.

Természetesen mindkét kutatási iránynak a szerves anyag termelés és a meteorológiai tényezők közötti kapcsolatra kellett alapozódnia. Ez minden „növény-időjárás" modell alapja.

A növények fotoszintézisének intenzitása és a külső tényezők közötti kapcsolatot BUDAGOVSZKIJ és ROSSZ (1966) a következő általános formulában fogalmazta meg:

$$Y_F = f_1 (Q_{FA}, C, T, W, A) \tag{1}$$

ahol Q_{FA} — a fotoszintetikusan aktív sugárzás értéke;
C — a fotoszintézishez rendelkezésre álló széndioxid mennyisége;
T — a hőmérséklet;
W — a fotoszintézishez rendelkezésre álló víz mennyisége;
A — a fotoszintézishez rendelkezésre álló ásványi anyagok mennyisége.

Ebben az összefüggésben a biológiai jellemzőket (levélfelület, klorofiltartalom, sztómák nyilvántartása stb.) úgy vesszük figyelembe, hogy a környezeti tényezőknek a biológiai tulajdonságok által meghatározott paramétereit (fotoszintetikusan aktív sugárzás, levélfelületen mért széndioxid koncentráció, levélhőmérséklet, a talaj hasznos vízkészlete stb.) vonjuk be a számításba.

Mivel a fotoszintézis a levelek sejtjeiben elhelyezkedő fotokémiailag aktív kloroplasztiszokban folyik le, intenzitása függ a levélfelület nagyságától, s a növény fejlettségi állapotától. E két tényező összefügg egymással, a növény ugyanis fejlődése során egyre nagyobb levélfelülettel rendelkezik, s nagyobb a klorofiltartalma is. Amikor eléri a teljes kifejlettség állapotát, akkor levélfelülete is a legnagyobb, s asszimilációs rátája is maximális. Ez az állapot csak rövid ideig tart, mert utána a sejtek öregedése (a levelek sárgulása, pusztulása stb.) következtében az asszimiláció mennyisége csökken.

A növényekben a fotoszintézissel egyidőben egy azzal ellentétes folyamat is végbemegy. Ez a légzés, a respiráció (R). A növények szerves anyag termelésének modellezésénél ezt a folyamatot is figyelembe kell venni. A légzés ugyancsak jelentős mértékben függ a külső tényezőktől:

$$R(\tau) = f_2(F_K), \tag{2}$$

ahol $R(\tau)$ — a légzés következtében τ idő alatt lebomlott szerves anyag mennyisége; és
$f(F_K)$ — a lélegzést befolyásoló környezeti faktorok (F_K) által meghatározott függvény.

Az (1) és (2) összefüggés különbsége adja meg a fotoszintézis során termelődött nettó szerves anyag (Y_{NF}) mennyiségét, azaz

$$Y_{NF} = f_1(Q_{FA}, C, T, W, A) - f_2(F_K)\, gm^{-2}\, nap^{-1}. \tag{3}$$

Ha ez az érték 1 m² levélfelületre vonatkoztatva az egy nap folyamán g-okban kifejezett gyarapodást jelenti, akkor a levélfelület ismeretében könnyű ezt átszámítani kg ha^{-1} nap^{-1} egységekre. Jelentse ugyanis L a levélfelület nagyságát, akkor a napi szerves anyag gyarapodás (Y_{napi}) kg-ban és hektárra vonatkoztatva:

$$Y_{napi} = L \cdot \frac{Y_{NF}}{1000}\, kg\, ha^{-1}\, nap^{-1}. \tag{4}$$

Ha a napi mennyiségeket az egész vegetációs periódusra összegezzük, akkor megkapjuk a biológiai termést (Y_{biol}), azaz azt a mennyiséget, amely a növény teljes tömegét (biomassza) tartalmazza, beleértve a gyökérzetet, a föld feletti részeket és a gazdaságilag hasznos termést is, tehát

$$Y_{biol} = \sum_{i=1}^{n} Y_{napi}\, kg\, ha^{-1}\, nap^{-1}. \tag{5}$$

ahol n a tenyésznapok számát jelenti. Ha a biológiai termésből meg akarjuk határozni a gazdaságilag értékes részt (Y_{gazd}), akkor ismernünk kell ennek arányát a gazdaságilag nem hasznosnak tekintett részekhez képest. Ezt az értéket tehát a következőképpen lehet meghatározni:

$$\frac{Y_{gazd}}{Y_{biol}} = K_{gazd}. \tag{6}$$

Néhány fontosabb gazdasági növényre — irodalmi adatok (KAJUMOV, 1977; MICSURIN, 1975) szerint — a következő értékek adódnak:

Őszi árpa	0,39
Őszi búza	0,44
Őszi rozs	0,52
Kukorica	0,50
Burgonya	0,60

Ezeknek az értékeknek a birtokában a gazdaságilag értékes termés is meghatározható:

$$Y_{gazd} = K_{gazd} Y_{biol}. \tag{7}$$

A (7) formula az együttható (6) ismeretében lehetővé teszi a számunkra a biológiai termésről a gazdasági termésre történő gyors átszámítást, ami az éghajlati potenciál meghatározásához szükséges. Ha viszont a gazdasági termés áll rendelkezésünkre — mint ahogy az esetek többségében ez a helyzet —, akkor abból is meghatározható a biológiai termés mennyisége.

2. *A sugárzás hatása a növényi produktivitásra*

Közismert, hogy a Földön az életet a napsugárzás energiája tartja fenn. A Napból érkező energia azonban csak igen kis mértékben hasznosul biológiai szempontból. Mindenekelőtt két okot kell ezzel kapcsolatban megemlíteni. Az egyik, hogy csak az élővilág egy része: a zöld növények képesek az energiát megkötni. Ezeket a növényeket szokás ezért energiagyűjtőknek is nevezni, szemben az élővilág másik részével az energiafogyasztókkal. Ez utóbbiak a zöld növények elfogyasztásával veszik fel az energiát, illetve a növényevő állatok elfogyasztásával. Természetesen az energia mindig csökkenő mértékben adódik át, ennek ellenére az élővilág energiaszükségletét a zöld növények által megkötött, Napból érkező energia biztosítja. A másik ok, hogy a zöld növények is csak a napsugárzás spektrumának meghatározott hullámhosszúságú részét képesek elnyelni és kémiai kötések formájában tárolni. A növények által hasznosított spektrum-sáv nagyjából megegyezik a látható fény hullámhossz tartományaival (400—700 nm). Egyes kutatók azonban ettől némileg eltérő határokat adnak meg: a 380 nm és a 710 nm hullámhosszak közé eső sávot tekintik a növények által hasznosíthatónak. Mivel ez — mint már említettük — többé-kevésbé egybeesik a természetes fény hullámtartományával, a biológiai tankönyvek és szakkönyvek gyakran fényről beszélnek sugárzás helyett. Mások, mert a fény hullámhossztartománya és a fotoszintézis szempontjából aktív sugárzás nem egészen pontosan esik egybe, inkább fotoszintetikusan aktív sugárzásnak nevezik. Az agrometeorológiában ez az utóbbi elnevezés az általánosan elterjedt, s ma már egyre inkább használják a biológusok is.

Ennek a sugárzásnak a mérése olyan eszközökkel történik, amely csak az említett sugárzástartományra érzékeny. Ezt rendszerint azzal érik el, hogy az általánosan használt sugárzásmérőket megfelelő szűrővel látják el. Ezért a fotoszintetikusan aktív sugárzás mennyiségét mérések útján meg tudjuk határozni.

A tudományban mindig fontos szempont, hogy a mérési adatokat összefüggésbe hozzuk olyan tényezőkkel, amelyeket már hosszabb idő óta és több helyen is mérünk. Ezáltal a kapott eredmények térben és időben kiterjeszthetők.

Ez történt a fotoszintetikusan aktív sugárzás esetében is. Kézenfekvő volt először ezt az értéket a direkt és diffúz sugárzás együttes figyelembevételével meghatározni, hiszen a növények szórt sugárzásban is képesek asszimilációs tevékenységet folytatni. Szovjet kutatók nagyszámú vizsgálat elvégzése után a következő eredményt kapták:

$$Q_{FA} = \alpha_1 Q_{direkt} + \alpha_2 Q_{diffúz}, \tag{8}$$

s ahol $\alpha_1 = 0{,}47$ és $\alpha_2 = 0{,}63$. A (8) összefüggés lehetővé teszi, hogy a fotoszintetikusan aktív sugárzást bárhol, ahol rendelkezésre állnak a direkt és diffúz

sugárzás mérései, meghatározzuk. Azonban ilyen hely meglehetősen kevés van, hazánkban csupán a Légkörfizikai Intézetben van 10 esztendőt meghaladó mérési sorozat. Ennek segítségével határoztuk meg a fotoszintetikusan aktív sugárzás nagyságát.

Azt is célul tűztük ki, hogy a külföldi vizsgálatokhoz hasonlóan kapjunk egy a globálsugárzásból közvetlenül meghatározható értéket. A globálsugárzás és a fotoszintetikusan aktív sugárzás között ugyancsak szoros, méghozzá lineáris kapcsolatnak kell lennie, mivel a Napból származó sugárzás energiájának jelentős része éppen a növények számára fontos hullámsávban érkezik. Ezért a következő összefüggést kellett meghatároznunk, hogy a fotoszintetikusan aktív sugárzás a globálsugárzásból (Q_{GL}) számítható legyen:

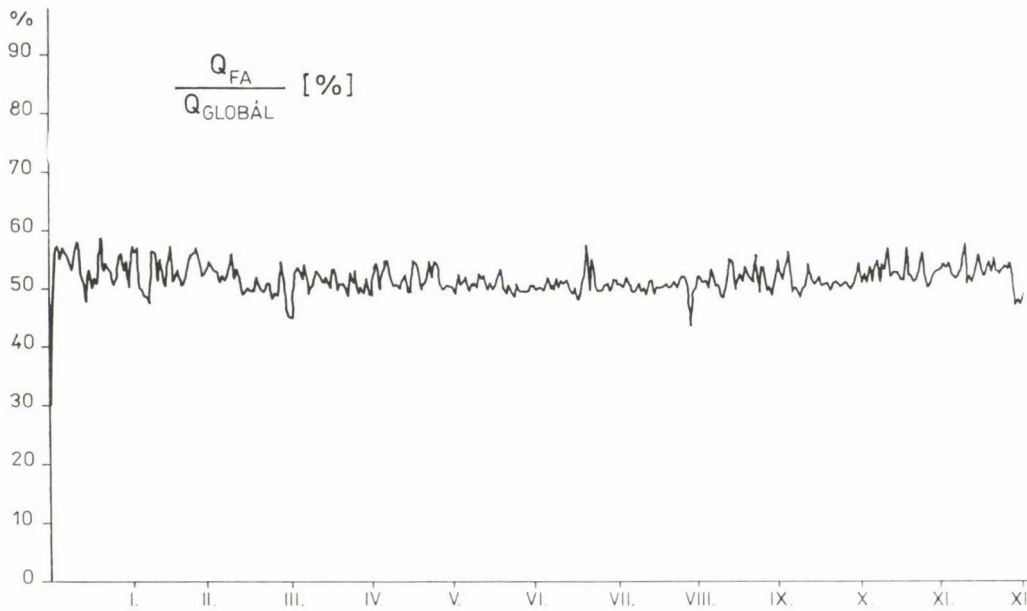
$$\frac{Q_{FA}}{Q_{GL}} = \alpha. \tag{9}$$

Ebből ugyanis

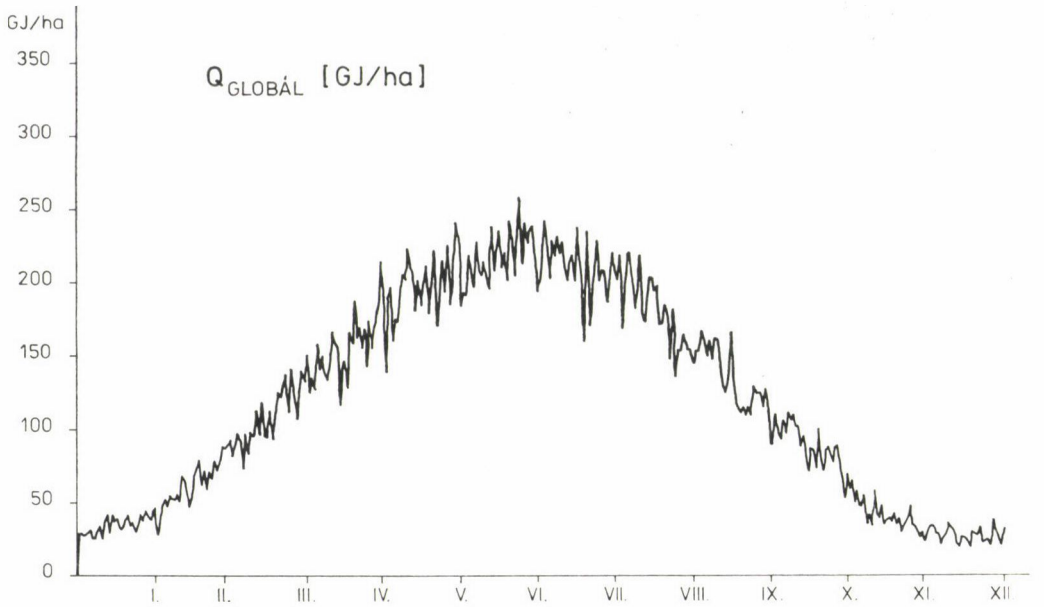
$$Q_{FA} = \alpha Q_{GL}. \tag{10}$$

A (2) egyenlettel kapott α értékek évi menetét az 1. ábra mutatja.

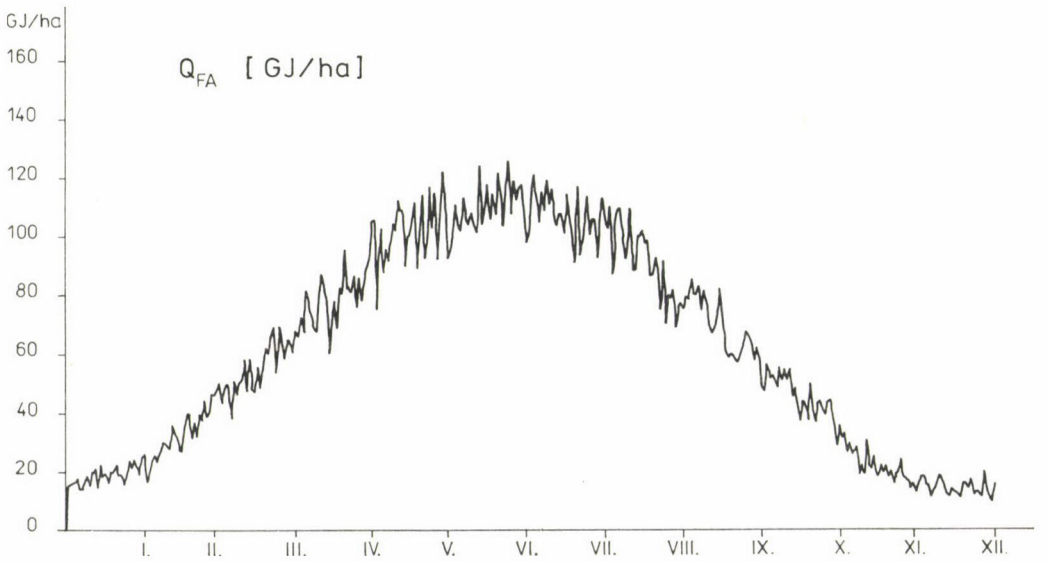
Mind a globálsugárzás, mind a fotoszintetikusan aktív sugárzás értékének az 1 ha-ra eső hányadát határoztuk meg. A globálsugárzás értékeinek napi adatok alapján megrajzolt évi menetét a 2. ábrán láthatjuk. A napi ingás értékei éppen a vegetációs periódusban növekszenek meg. Ekkor meghaladhat-



1. ábra


GJ/ha
350
300
250
200
150
100
50
0
$Q_{GLOBÁL}$ [GJ/ha]
I.
II.
III.
IV.
V.
VI.
VII.
VIII.
IX.
X.
XI.
XII.

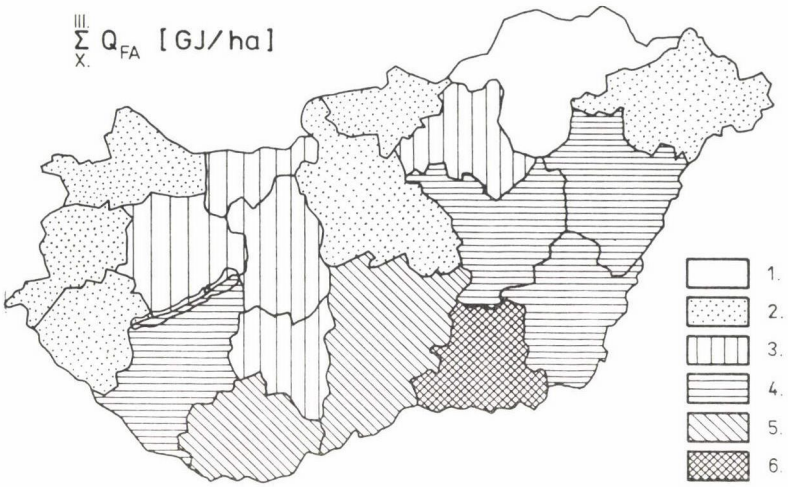
2. ábra


GJ/ha
160
140
120
100
80
60
40
20
0
Q_{FA} [GJ/ha]
I.
II.
III.
IV.
V.
VI.
VII.
VIII.
IX.
X.
XI.
XII.

3. ábra

ják az *50 GJ/ha* értéket is. A vegetációs periódus előtt és után ez az ingadozás erőteljesen lecsökken, nem éri el az *50 GJ/ha* értéket.

Amint várható a fotoszintetikusan aktív sugárzás értékei teljesen hasonló képet mutatnak (3. ábra). A napi ingadozás azonban nem éri a *40 GJ/ha*-t, a vegetációs periódusban. A téli félévben a napi ingadozás általában *20 GJ/ha* alatt marad.

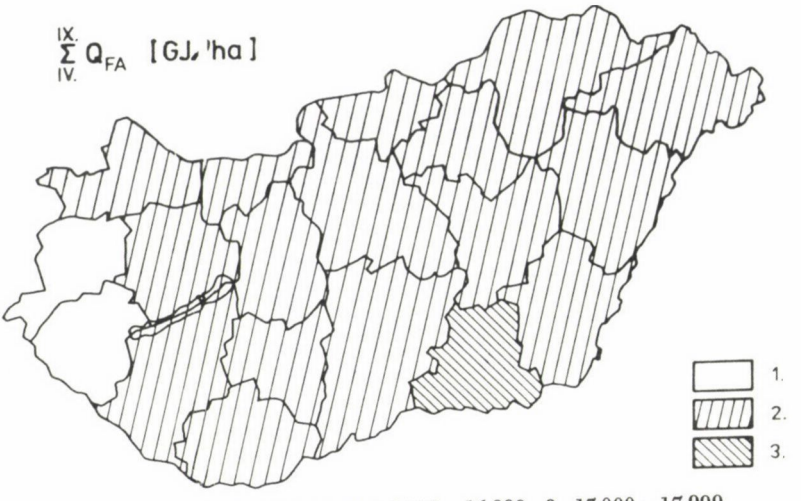


4. ábra. 1. 5 100—5 299; 2. 5 300—5 399; 3. 5 400—5 499; 4. 5 500—5 699; 5. 5 700—5 799; 6. 5 800—5 899

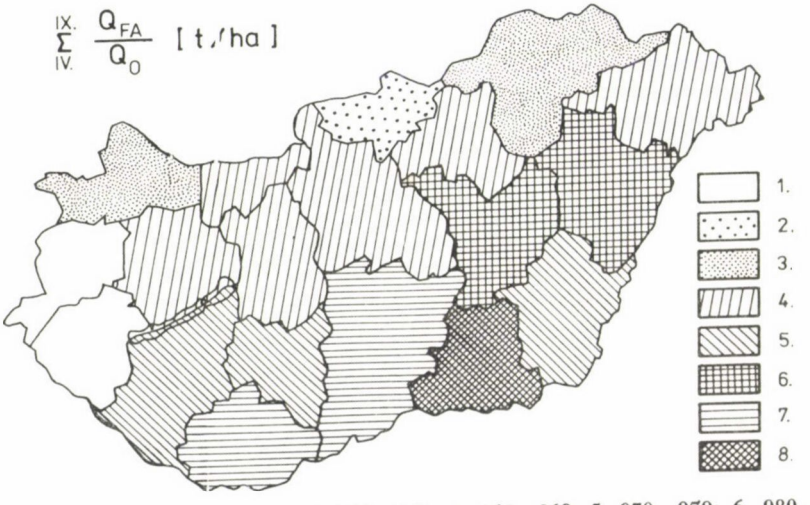
A fotoszintetikusan aktív sugárzás területi eloszlását közigazgatási körzetenként adjuk meg, mert így jobban kapcsolható a mezőgazdasági termények hozamadataihoz, amelyeket megyei átlagokként adnak meg. A 4. ábrán kitűnik, hogy a teljes félév folyamán Csongrád kapja a legnagyobb sugárzásmennyiséget. Két másik déli megyénk Bács-Kiskun és Baranya szintén megközelítőleg hasonló mennyiséget kap. Viszonylag kedvező helyzetben van még Szolnok, Hajdú-Bihar és Békés megye is. A legkevesebb sugárzásban legészakibb megyénk Borsod-Abaúj-Zemplén részesül.

Az 5. ábra a vegetációs periódus viszonyait tünteti fel. Csongrád megyének ismét kitüntetett szerep jut. A legkevesebb sugárzást azonban ebben az időszakban két nyugati megyénk Vas és Zala kapja. Ez a vidék az ország legcsapadékosabb területe, s a felhőzet jelentősen lecsökkenti a sugárzást, így alakul ki a bemutatott kép. Az ország többi megyéi többnyire azonos módon részesülnek a sugárzásban.

Ismeretes, hogy mintegy 17 000 KJ energia (Q_0) szükséges 1 kg szerves anyag megkötéséhez. Ez az energiamennyiség kémiailag kötött formában van jelen minden kg szerves anyagban. Ennek ismeretében tehát meg tudjuk mon-



5. ábra. 1. 15 000—15 999; 2. 16 000—16 999; 3. 17 000—17 999

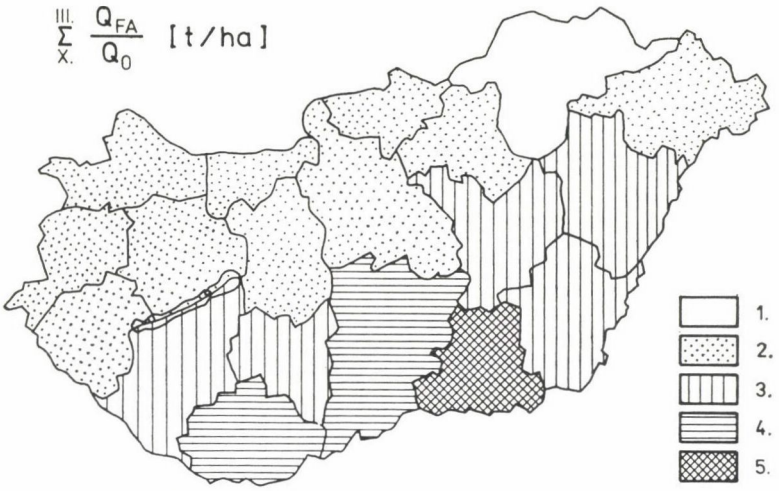


6. ábra. 1. 930—939; 2. 940—949; 3. 950—959; 4. 960—969; 5. 970—979; 6. 980—989; 7. 990—999; 8. 1000 <

dani, hogy hazánkban a vegetációs perixdus alatt leérkező sugárzásmennyiség mennyi szerves anyag előállításához lenne elegendő. Ugyanis a

$$\frac{Q_{FA}}{Q_0} = Y_{\max} \tag{11}$$

összefüggés megadja azt a maximálisan lehetséges szerves anyag mennyiséget ($Y_{\max}$), amelyet akkor kapnánk, ha a fotoszintetikusan aktív sugárzás teljes



7. ábra. t/ha: 1. 300—309; 2. 310—319; 3. 320—329; 4. 330—339; 5. 340—349

egészében szerves anyag előállítására fordítódna. Amint láthatjuk, ismét délmegyéink és tiszántúli megyéink vannak kitüntetett helyzetben. A kapott éri tékek a vegetációs periódusban 930 és 1000 t/ha között ingadoznak (6. ábra). Sajnos a sugárzás igen jelentős része veszendőbe megy, ezért ezek az adatok pusztán elméleti jelentőségűek. A téli félévben már csak 300—350 t/ha közötti maximálisan lehetséges hozamok adódnak (7. ábra).

A növények rendkívül kis mértékben hasznosítják a napsugárzás energiáját. A sugárzási energia hasznosulásának mértékét a következő összefüggéssel lehet meghatározni:

$$Y_{biol} = \varepsilon_Q \frac{Q_{FA}}{Q_0}. \tag{12}$$

Ebből a (11) egyenlet összevetésével

$$\varepsilon_Q = \frac{Y_{biol}}{Y_{\max}}. \tag{13}$$

Ismernünk kell tehát a fotoszintetikusan aktív sugárzás (Q_{FA}) értékét, az egységnyi szerves anyag előállításához szükséges energiamennyiséget (Q_0) és a biológiai terméshozamot (Y_{biol}). Ezen adatok birtokában ε_Q meghatározható. Ezt a számítást őszi búzára vonatkozóan az I. táblázat, kukoricára vonatkozóan pedig a II. táblázat tartalmazza. A táblázatokból látható, hogy mindkét növény esetében — megyei termésátlagokat figyelembe véve — nagyon alacsony az energiahasznosulási (efficiencia) együttható.

A (12) összefüggés alkalmas egy adott szintű sugárzáshasznosulási együttható melletti potenciális terméshozam értékeinek meghatározására.

I. táblázat

Az őszi búza sugárzás- és vízhasznosítási jellemzői és potenciális terméshozamai

Megye	ε_T %	$\varepsilon = 2\%$ t/ha	$\varepsilon = 3\%$ t/ha	$\frac{P}{Y_{biol}}$ t/ha	$\frac{P}{Y_{gazd}}$ t/ha	$\frac{E}{Y_{biol}}$ t/ha	$\frac{E}{Y_{gazd}}$ t/ha	E_o t/ha	Y_{biol}^{pot} t/ha	Y_{gazd}^{pot} t/h
Győr-Sopron	1,03	6,4	9,6	507	1261	348	865	5220	15,0	6,0
Komárom	0,93	6,5	9,7	624	1560	385	962	5290	13,7	5,5
Zala	0,84	6,4	9,5	768	1919	380	964	4590	12,1	4,8
Somogy	0,84	6,6	9,8	852	2148	401	1026	5080	12,7	5,1
Veszprém	0,80	6,5	9,7	666	1665	397	992	4700	11,8	4,7
Vas	0,90	6,4	9,5	575	1448	330	809	4290	13,0	5,2
Fejér	1,02	6,5	9,7	473	1190	357	898	6170	14,8	5,9
Tolna	0,99	6,5	9,8	571	1428	349	872	5100	14,6	5,8
Baranya	0,96	6,7	10,0	573	1450	377	955	5590	14,8	5,9
Pest	0,96	6,4	9,6	548	1371	445	1112	5680	13,1	5,2
Bács-Kiskun	0,93	6,7	10,0	513	1290	459	1155	6460	14,1	5,6
Nógrád	0,84	6,4	9,5	687	1730	387	974	4770	12,0	4,8
Heves	0,80	6,5	9,7	628	1569	611	1528	7280	12,0	4,8
Szolnok	0,85	6,6	9,9	550	1375	392	981	5010	13,0	5,2
Hajdú-Bihar	0,85	6,6	9,9	577	1443	550	1376	7010	12,7	5,1
Csongrád	0,81	6,9	10,3	544	1361	337	942	5130	13,6	5,4
Békés	0,90	6,5	9,8	589	1453	460	1134	6130	13,3	5,3
Borsod	0,76	6,3	9,4	758	1896	429	1073	4660	10,9	4,4
Szabolcs-Szatmár	0,77	6,5	9,7	619	1536	443	1098	4960	11,2	4,5

II. táblázat

A kukorica sugárzás- és vízhasznosítási jellemzői és potenciális terméshozamai

Megye	ε_T %	$\varepsilon = 2\%$ t/ha	$\varepsilon = 3\%$ t/ha	$\frac{Y_{biol}}{P}$ t/ha	$\frac{P}{Y_{gazd}}$ t/ha	$\frac{E}{Y_{biol}}$ t/ha	$\frac{E}{Y_{gazd}}$ t/ha	E_o t/ha	Y_{biol}^{pot} t/ha	Y_{gazd}^{pot} t/ha
Győr-Sopron	0,63	9,6	14,4	503	1006	510	1020	6550	12,8	6,4
Komárom	0,61	9,7	14,5	534	1068	500	1000	6450	13,0	6,5
Zala	0,57	9,4	14,1	750	1500	471	942	5330	11,4	5,7
Somogy	0,59	9,7	14,5	740	1480	503	1006	6150	12,2	6,1
Veszprém	0,55	9,6	14,4	655	1310	525	1050	5830	11,2	5,6
Vas	0,59	9,4	14,1	621	1242	446	892	5390	12,0	6,0
Fejér	0,66	9,7	14,5	451	902	304	608	4050	13,4	6,7
Tolna	0,68	9,7	14,5	523	1046	455	910	6430	14,0	7,0
Baranya	0,63	9,9	14,8	534	1068	539	1078	7110	13,2	6,6
Pest	0,54	9,6	14,4	515	1030	663	1326	7420	11,2	5,6
Bács-Kiskun	0,54	10,0	15,0	498	996	584	1168	6700	11,4	5,7
Nógrád	0,50	9,5	14,2	633	1266	589	1178	6120	10,4	5,2
Heves	0,51	9,7	14,5	607	1214	638	1276	6780	10,6	5,3
Szolnok	0,59	9,8	14,7	459	918	552	1104	6720	12,2	6,1
Hajdú-Bihar	0,61	9,8	14,7	495	990	386	772	5080	13,2	6,6
Csongrád	0,57	10,1	15,1	461	922	495	990	6100	12,4	6,2
Békés	0,68	9,8	14,7	432	864	454	908	6450	14,2	7,1
Borsod	0,52	9,5	14,3	758	1516	581	1162	6040	10,4	5,2
Szabolcs-Szatmár	0,47	9,7	14,5	633	1266	657	1314	6520	10,0	5,0

Az őszi búzára és kukoricára vonatkozó számításainkban 2%-os és 3%-os energiahasznosulási együtthatót tételeztünk fel.

Az őszi búza esetében 2%-os hasznosulást feltételezve 6 és 7 t/ha közötti hozamok, 3%-os hasznosulást feltételezve pedig 9,5—10,5 t/ha hozamok várhatók. Ezekkel az értékekkel akkor számolhatunk, ha sikerül a növény sugárzáshasznosítását növelni.

A kukorica, ha 2%-át tudná hasznosítani a fotoszintetikusan aktív sugárzásnak, akkor 9—10 t/ha hozamot adna, ha 3%-át, akkor 14—15 t/ha mennyiséget.

3. *A vízmennyiség által meghatározott potenciális terméshozam*

A növényi produkció előállításához nemcsak sugárzási energiára, hanem egy meghatározott vízmennyiségre is szükség van. A sugárzási energia alapján kapott potenciális terméshozamokat azzal a feltevéssel határoztuk meg, hogy a növények vízellátása zavartalan. A potenciális terméshozamokat emiatt a maximálisan rendelkezésre álló vízmennyiség alapján is meg lehet határozni. Ehhez a következő adatokra van szükség:

1. Ismerni kell az egységnyi termésmennyiség előállításához szükséges vízmennyiséget, amelyet a növényi transpiráció alapján szoktak meghatározni, s ekkor transpirációs együtthatónak nevezik. Az újabb agrometeorológiai vizsgálatokban azonban a tényleges evapotranspiráció (E) alapján határozzák meg és evapotranspirációs együtthatónak vagy vízhasznosulási együtthatónak (V_0) nevezik. Ez a következőképpen számítható ki:

$$V_0 = \frac{E}{Y_{biol}}. \tag{14}$$

A (14) formula meghatározásánál a legnagyobb nehézséget a tényleges evapotranspiráció megadása okozza. Mérése rendkívül költséges, s emiatt igen kevés helyen alkalmazható. Meghatározására a legjárhatóbb út a vízháztartási egyenlet alapján történő számítása, maradék tagként:

$$E = W_1 + P - W_2. \tag{15}$$

A (15) formulában W_1 a kiinduló talajnedvességet jelenti, P a lehullott csapadékmennyiséget és W_2 a vizsgált időszak végén mért talajnedvesség tartalmat. A (15) formula segítségével a tényleges evapotranspiráció minden olyan helyen meghatározható, ahol rendszeres talajnedvesség- és csapadékmérések folynak.

2. Ezenkívül ismerni kell a lehetséges maximális evapotranspirációt (E_0), amelyet potenciális evapotranspirációnak vagy a levegő párologtatóképességének is szoktak nevezni. Ezt többnyire a szabad vízfelszín párolgásának mérése útján határozzák meg („A" kád mérések).

3. Szükség van ezenkívül a biológiai terméshozam értékeire is.

Ezen adatok birtokában a vízmennyiség által meghatározott potenciális terméshozamot a következőképpen lehet kiszámítani:

$$Y_{max} = \frac{E_0}{V_0}. \tag{16}$$

A (16) összefüggés alapján meg tudjuk mondani, hogy az adott éghajlati viszonyok az egységnyi terméshozam előállításához szükséges vízmennyiségnek hányszorosát képesek elpárologtatni. Zavartalan vízellátás mellett a növények ennek megfelelő nagyságú termést képesek maximálisan előállítani. Olyan időszakokban, amikor a csapadékból származó vízellátás nem fedezi teljesen a párolgás okozta vízveszteséget, a hiányzó vízmennyiséget öntözéssel is lehet pótolni, ahol erre mód és lehetőség van. Mindig annyi vizet kell a talajba juttatni, hogy a hasznos vízkapacitás 70—80 százaléka körül legyen a talaj vízkészlete. Ez esetben az evapotranspiráció megközelítőleg azonos lesz a levegő párologtatóképességével, s amennyiben az egyéb tényezők is kedvezően alakulnak a terméshozam várhatóan a lehetséges maximum körül fog alakulni.

A számításoknál — mint arról már korábban is szóltunk — az alapvető nehézséget a (14) formulában szereplő E érték meghatározása jelenti. A vízháztartási egyenlettel (15) történő számítása a téli hónapokban szinte áthidalhatatlan nehézséget jelent, mivel a talajnedvesség mérések is szünetelnek a fagyott talaj miatt. A hótakaró természetesen szintén akadályozza a talajból történő párolgást. A vegetációs periódusra vonatkozóan vannak ugyan adataink, sőt márciustól—októberig rendszeresen, ezek azonban a csupasz talaj párolgására vonatkoznak. Ezen adatok segítségével viszont lehetőségünk van a sok helyen mért csapadék adatok alapján meghatározni a párolgást. Ameddig ugyanis a tényleges párolgás nem éri el a levegő párologtatóképességét (potenciális párolgást), a talaj növekvő víztartalmával a párolgás is nő. A talaj víztartalma pedig szinte egyetlen forrásból a légköri csapadékból táplálkozik. Lennie kell tehát egy olyan

$$E = f(P) \tag{17}$$

függvénynek, amely lehetővé teszi a párolgás (E) csapadék adatok (P) alapján történő meghatározását.

Tekintettel arra, hogy számításainkban éghajlati adatokra van szükség, a (17) függvény meghatározására az 1951—1970 közötti értékekből számított 20 éves átlagokat vettük alapul. A (17) összefüggésre vonatkozóan lineáris kapcsolat esetén a következő korrelációs összefüggéseket kaptuk

Az összes hónapok alapján	$r = 0{,}85$
A III—X. hónapok összegei alapján	$r = 0{,}70$
A IV—IX. hónapok összegei alapján	$r = 0\ 69$

III/a táblázat

A csapadék átlagos havi (III.—X.) összegei (mm) 1951—1970

	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	III.—X.	IV.—IX.
Balassagyarmat	40	46	58	79	61	61	45	43	433	350
Békéscsaba	35	43	58	82	51	52	35	32	388	321
Debrecen	29	37	53	81	54	69	37	28	388	331
Győr	36	41	52	79	67	60	42	42	419	341
Iregszemcse	39	49	62	84	71	67	51	40	463	384
Kaposvár	44	55	74	102	86	78	61	49	549	456
Kecskemét	30	43	54	69	55	46	33	29	359	300
Kompolt	32	38	51	86	58	70	36	31	402	339
Martonvásár	28	41	48	74	63	64	40	40	398	330
Miskolc	32	41	62	92	73	73	39	32	444	380
Nyíregyháza	29	37	47	82	60	68	41	33	397	335
Pápa	38	45	63	71	84	65	55	47	468	383
Pécs	38	58	62	82	72	60	49	37	458	383
Szeged	30	41	53	66	58	46	37	26	357	301
Szolnok	30	41	50	69	50	48	36	28	352	294
Szombathely	41	46	66	81	83	71	54	51	493	401
Tatabánya	33	46	55	84	72	55	49	44	438	361
Vác	27	36	48	71	66	47	34	37	366	302
Zalaegerszeg	44	53	80	94	93	76	62	52	554	458

III/b táblázat

A tényleges párolgás átlagos havi (III.—X.) összegei (mm) 1951—1970

	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	III.—X.	IV.—IX.
Balassagyarmat	23	39	49	54	48	45	34	25	317	269
Békéscsaba	30	46	54	61	50	42	29	24	336	282
Debrecen	29	41	46	58	48	47	33	21	323	273
Győr	30	49	50	61	63	47	38	32	370	308
Iregszemcse	30	50	57	62	55	50	37	32	373	311
Kaposvár	29	46	52	59	57	51	39	32	365	304
Kecskemét	21	30	35	38	35	30	23	21	233	191
Kompolt	30	42	46	54	47	45	28	24	316	262
Martonvásár	24	44	46	52	47	38	34	28	313	261
Miskolc	19	37	49	48	48	49	35	21	306	266
Nyíregyháza	25	38	44	52	44	46	33	22	304	257
Pápa	31	43	52	52	58	48	42	32	358	295
Pécs	33	50	56	57	58	47	35	29	365	303
Szeged	24	42	48	51	50	40	33	22	310	264
Szolnok	21	41	47	51	41	37	25	21	287	242
Szombathely	29	43	49	59	62	58	42	30	372	313
Tatabánya	31	49	54	59	56	44	37	31	361	299
Vác	27	42	49	55	46	43	35	28	325	270
Zalaegerszeg	28	43	54	58	57	55	41	31	367	308

III/c táblázat

A tényleges párolgás és a csapadék átlagos havi (III.—X.) összegeinek hányadosai 1951—1970

	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	III.—X.	IV.—IX.
Balassagyarmat	0,58	0,85	0,84	0,68	0,79	0,74	0,76	0,58	0,73	0,77
Békéscsaba	0,86	1,07	0,93	0,74	0,98	0,81	0,83	0,75	0,87	0,88
Debrecen	1,00	1,11	0,87	0,72	0,89	0,68	0,89	0,75	0,83	0,82
Győr	0,83	1,20	0,96	0,77	0,94	0,78	0,90	0,76	0,88	0,90
Iregszemcse	0,77	1,02	0,92	0,74	0,77	0,75	0,73	0,80	0,81	0,81
Kaposvár	0,66	0,84	0,70	0,58	0,66	0,65	0,64	0,65	0,66	0,67
Kecskemét	0,70	0,70	0,65	0,55	0,64	0,65	0,70	0,72	0,65	0,64
Kompolt	0,94	1,11	0,90	0,63	0,81	0,64	0,78	0,77	0,79	0,77
Martonvásár	0,86	1,07	0,96	0,70	0,75	0,59	0,85	0,70	0,79	0,79
Miskolc	0,59	0,90	0,79	0,52	0,66	0,67	0,90	0,66	0,69	0,70
Nyíregyháza	0,86	1,03	0,94	0,63	0,73	0,68	0,80	0,67	0,77	0,77
Pápa	0,82	0,96	0,83	0,73	0,69	0,74	0,76	0,68	0,76	0,77
Pécs	0,87	0,86	0,90	0,70	0,81	0,78	0,71	0,78	0,80	0,79
Szeged	0,80	1,02	0,91	0,77	0,86	0,87	0,89	0,85	0,87	0,88
Szolnok	0,80	1,00	0,94	0,74	0,82	0,77	0,69	0,75	0,82	0,82
Szombathely	0,71	0,93	0,74	0,73	0,75	0,82	0,78	0,59	0,75	0,78
Tatabánya	0,94	1,07	0,98	0,70	0,78	0,80	0,76	0,70	0,82	0,83
Vác	1,00	1,17	1,02	0,77	0,70	0,91	1,03	0,76	0,89	0,89
Zalaegerszeg	0,64	0,81	0,68	0,62	0,61	0,72	0,66	0,60	0,66	0,67

Az egyszerűség kedvéért feltételezhetünk egy olyan összefüggést tehát, amely a következő formában írható

$$E = \alpha_{PE} P. \tag{18}$$

Ennek az összefüggésnek az alapján közvetlenül meghatározhatjuk a párolgásnak és a csapadéknak egymáshoz viszonyított arányát:

$$\alpha_{PE} = \frac{E}{P}. \tag{19}$$

Az α_{PE} érték a csapadéknak azt a hányadát adja meg, amely párolgásra fordítódik. Nevezzük ezt a csapadék evaporációs együtthatójának. Értékeit a III. táblázatban láthatjuk.

A táblázatból kivehető, hogy áprilisban adódnak a maximális értékek. Ez valószínűleg azzal magyarázható, hogy márciusban esetleg még a hótakaró és a negatív hőmérséklet miatt nem zavartalan a párolgás, áprilisban viszont már nincsen korlátozó tényező és — mivel februárban van a talajnedvesség maximuma — elegendő víz is van a talajban, ahhoz, hogy az egyre növekvő párologtatóképességet kielégítse oly módon, hogy ebben a hónapban szinte a teljes csapadékmennyiség párolgásra fordítódik. Majd a növekvő párologtatóképességet a növekvő csapadékmennyiség egyre kevésbé tudja kielégíteni, sőt a csapadékmaximum idején fordítódik a legkisebb csapadékhányad párolgásra. Augusztus—szeptemberben egy másodlagos maximum van. Arra gondolhatunk

tehát, hogy amikor a párologtatóképesség csökken, akkor a csapadéknak egyre kisebb hányada hullik le záporszerű csapadék formájában, ezért nagyobb része jut a talajba, s így nagyobb hányada fordítódik párolgásra. Ősztől a csapadéknak a párolgásra fordított hányada egyre kisebb lesz, mivel a növekvő talajnedvességtartalom miatt a talaj egyre kevesebb csapadékot képes befogadni, a talaj felső rétegei hosszabb-rövidebb ideig fagyott állapotban vannak, s a csapadék egy része hó formájában hull le. Egyúttal a párologtatóképesség is alacsony. Ez a helyzet a következő áprilisig.

Hazánkban a nedvességi viszonyok tehát úgy alakulnak, hogy a vegetáció szinte kizárólagos vízutánpótlását jelentő csapadéknak kettős maximuma van: júniusban és októberben. A párologtatóképesség és ennek megfelelően a párolgás is követi a sugárzás évi menetét, téli hónapokban van a minimuma, júliusban a maximuma. A talaj nedvességtartalma februárban a legmagasabb, s augusztus végén, szeptember elején a legalacsonyabb. E három tényező hatására alakult ki a bemutatott kép: a lehullott csapadékmennyiségnek tavasszal és ősszel fordítódik a legnagyobb része párolgásra.

Az elmondottak figyelembevételével megtehetjük azt is, hogy az α_{PE} értéket a vegetációs periódusra vonatkozó egyetlen számadattal jellemezzük. Nem tévesztve szem elől azt sem, hogy adataink az evaporációra vonatkoznak, nekünk pedig az evapotranspirációt jellemző értéket kell megadnunk. Az α_{PE} értéket minimumnak vettük és 0,70-nel számolunk. Ezenkívül a (16) formulában az E_0 értéket, mivel az éghajlati potenciál meghatározásáról van szó $E_0^{\max}$ értékkel helyettesítettük, amelyet az 1951—1975 közötti időszak alapján határoztunk meg.

Az egységnyi terméshozam előállításához szükséges vízmennyiséget meghatározhatjuk a lehullott csapadékmennyiség (P) alapján is, s meghatározhatjuk a párolgás (E) alapján is:

$$V_0^* = \frac{P}{Y} \tag{20}$$

és

$$V_0 = \frac{E}{Y}. \tag{21}$$

A kapott eredményeket őszi búzára vonatkozóan az I. táblázatban, kukoricára vonatkozóan pedig a II. táblázatban láthatjuk. Az őszi búza tehát 1 tonna biológiai termés előállításához általában 300—500 tonna vizet használ fel, 1 tonna szemterméshez pedig általában 800 és 1200 tonna vizet. A kukoricánál valamivel több vízre van szükség. Ha a biológiai hozamot tekintjük, akkor 400—700 tonna, ha pedig a szemtermést, akkor 900—1300 tonna.

A nedvességi adatok területi változékonysága, valamint a megyénkénti egy állomással történő számolás eredményeként néhány, a többi eredménytől eltérő értéket is kaptunk. Emiatt a kapott adatokat tájékoztató jellegűnek te-

kintjük, a változékonyság okának pontosabb meghatározására pedig további vizsgálatokat kívánunk végezni.

A V_0 meghatározása lehetővé teszi, hogy a (16) formula segítségével meghatározzuk a vízfogyasztás alapján maximálisan lehetséges terméshozamokat. Az adatokat őszi búzára vonatkozóan az I. táblázat, kukoricára vonatkozóan pedig a II. táblázat tartalmazza. Az eredmények azt mutatják, hogy öntözés segítségével várhatóan milyen mértékig fokozhatók a terméshozamok a köztermesztésben jelenleg általánosan termesztett fajták figyelembevétele mellett.

IRODALOM

1. A környezetvédelem biológiai alapjai. Szerk.: Kovács Margit, 2. javított kiadás, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 333 oldal, 1977.
2. Budagovszkij, A. I.—Ju. K. Rossz: Osznovi kolicsesztvennoj tyeorii fotoszintyetyicseszkoj gyejatyelnosztyi poszevov. Fotoszintyezirujuscsije szisztyemi viszokoj produktyivnosztyi, Izdatyelsztvo Nauka, Moszkva, 51—58, 1966.
3. Kajumov, M. K.: Szpravocsnyik po programmirovanyiju urozsajev. Rosszelhozizdat, Moszkva, 187, 1977.
4. Lieth, H.: Modeling the Primary Productivity of the World. Primary Productivity of the Biosphere, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 237—263, 1975.
5. Mics urin, B. N.: Energetyika pocsvennoj vlagi. Gidrometeoizdat, Leningrád, 140, 1975.

CLIMATIC POTENTIAL OF INDUSTRIAL CROP

L. VARGA-HASZONITS

Abstract

Growing population of the world demands the increase of cultivation. Experience gained in countries with most developed agriculture makes it possible to set the course of further development. Among the conditions of increasing cultivation, meteorological ones of the cropland play an important role. Therefore, if one asks about the maximal productivity of plants at a given place with given natural conditions, climatic potential within the frame of the ecological potential should also be taken into consideration.

First, the role of photosynthetically active radiation in increasing the productivity of plants is investigated. Yearly variations and areal distribution of the photosynthetically active radiation are discussed. Based on the average yields for different counties, the utilization of this kind of radiation in the case of winter wheat and maize is evaluated. Expected yields of these two plants are estimated for a case when the utilization of radiation with different biological methods could be increased to 2 or 3 per cent.

Then, the role of water as an influencing factor in the productivity of plants is discussed. Instead of the commonly used coefficient of transpiration, the coefficient of evapotranspiration is introduced, whose evaluation takes into account the water consumption among natural conditions. The calculation of the water consumption in the growing season is based on the connection between precipitation and evaporation. Water consumption per unit yield, and potential yields obtained with the assumption of maximal potential evaporation are evaluated for winter wheat and maize. These data clearly reveal the yield increasing effect of irrigation, and therefore provide useful information for practical agriculture.

Finally, the possible yields of winter wheat and maize are estimated by taking into account the radiation and moisture (precipitation and evaporation) conditions given in Hungary. Results are referred to administrative geographical units for the sake of letting decision makers' work easier.

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ВЫХОДА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

З. ВАРГА-ХАСОНИЧ

Р е з ю м е

Рост населения всего мира требует увеличения сельскохозяйственного производства. Учет опыта, накопленного в странах с наиболее развитиым сельским хозяйством позволяет определить условия дальнейшего увеличения производства. Среди этих условий значительную роль играют метеорологические условия, характерные для данного угодья. В связи с этим, если ставится вопрос о возможном максимальном увеличении сельскохозяйственного производства в заданном районе с данными природными условиями, то в рамках экологического потенциала необходимо принять во внимание и климатический потенциал. В настоящей работе рассматривается именно этот вопрос.

Сначала изучается роль фотосинтетически активной радиации в увеличении выхода продукции. Обсуждается вопрос о годовых изменениях и территориальном распределении фотосинтетически активной радиации. Исходя из средних по областям продукций определяется степень использования этой радиации озимой пшеницей и кукурузой. Оценивается ожидаемая урожайность этих двух видов растений для случая, если бы различными биологическими методами можно было увеличить степень использования этой радиации до 2 или 3 процентов.

Затем рассматривается роль воды как фактора, влияющего на продуктивность растений. Вместо общепринятого коэффициента испарения вводится коэффициент суммарного испарения, определение которого основывается на учете водопотребления в природных условиях. Водопотребление за вегетационный период вычисляется с использованием зависимости между осадками и испарением. Водопотребление, подсчитанное таким образом для единицы выхода продукции, а также потенциальные выходы продукции, определенные с учетом максимального потенциального испарения, определены для вышеупомянутых видов растений и представлены в виде таблиц. Эти данные явно показывают эффект орошения на увеличение выхода продукции, в связи с чем они представляют собой полезную информацию для практического растениеводства.

В заключение оценивается возможная урожайность озимой пшеницы и кукурузы с учетом характерных для Венгрии условий радиации и влажности (осадки и испарение). Результаты представлены для административных географических площадей для облегчения работы по принятию решений.

AZ ÉGHAJLAT INGADOZÁSÁNAK ÉS VÁLTOZÁSÁNAK HATÁSA AZ EMBERI TEVÉKENYSÉGRE

LÉPP ILDIKÓ

Az emberiségnek az éghajlattól, mint a természeti környezet szerves részétől való függése közismert tény. GERASIMOV szerint a geológiai múltban bekövetkezett éghajlatváltozások az emberi faj kifejlődésének legfontosabb tényezői voltak, amelyek képessé tették az embert, hogy különbözzék más teremtménytől. Tulajdonképpen az ember alkalmazkodó képessége az, amely lehetővé teszi számára, hogy a legkülönbözőbb éghajlati viszonyok között is tudjon élni mindaddig, ameddig a vegetáció legalább néhány hónapig biztosított a számára. A trópusi területek elsivatagosodása, vagy a poláris régiók zordsága azonban nomád életre kényszerítheti az embert, vagy arra, hogy elhagyja az olyan területeket, ahol nem tud az éghajlati szélsőségekhez alkalmazkodni. Következik ebből, hogy az ember nagyon érzékenyen reagál az éghajlat ingadozásaira és a szélsőséges időjárási helyzetek előfordulására.

Az emberi lét a ruházat, a hő, a menedék és a kifejezetten termesztett élelem nélkül a Föld csak néhány éghajlati zónájára korlátozódna. Mivel az ember tevékenységére ható legfontosabb meteorológiai tényező a hőmérséklet és a légkör víztartalma, ezért a legnagyobb fizikai és értelmi képességeit kezdetben csak ott tudta kifejteni, ahol a termikus megterhelés a legkisebb, azaz a mérsékelt éghajlatú területeken. A természetes alkalmazkodó képessége azonban, mint pl. a test mérete, formája, a bőr pigmentációja, valamint képessége, hogy a természet erőforrásait, a biomassza adta lehetőségeket kihasználja és a saját javára fordítsa, enyhítette az éghajlat változásának és ingadozásainak hatását mind térben, mind időben. Ezáltal lehetővé vált földünkön az emberi faj széles körű elterjedése. HUNTINGTON amerikai földrajztudós szerint a gazdasági élet jellegét, a mezőgazdaság és ipar eloszlását, az emberi települések elrendeződését, a kulturális életet a természeti környezet, és különösen az éghajlat határozta meg, sőt még az emberi társadalmak rendszerében is visszatükröződnek ezek a hatások

Ismert tény, hogy az emberi faj nagyobb elterjedése a Földünkön, valamint a kulturális fejlődés az utolsó glaciális korszak váratlan befejezésével és az ezt követő gyors felmelegedés kezdetével, kb. 7000 évvel ezelőtt indult meg. Akkor a hőmérséklet magasabb volt, mint napjainkban és az északi félteke

MTA X. Osztályának Közleményei 14/2—4, 1981

szubtrópusi és meleg égöve, amely a jégkorszak alatt jobbára kiterjedt sivatag volt, általában nedvesebbé vált. Észak-Afrika, Közép-Kelet és az Indus völgyének kultúrája ekkor bontakozott ki; mezőgazdaság, vadászat, állattenyésztés kezdődött el ott, ahol korábban sivatagok voltak.

Kb. 4000 évvel ezelőtt Földünkön, elsősorban az északi féltekén, lassú lehűlés kezdődött, amelynek következtében a magas földrajzi szélességek éghajlata zordabbá vált, és kiszáradás indult meg a szubtrópusi területek nagy részén. A szavannák vadászai eltűntek és a sivatagok felvették mai alakjukat. Ez a folyamat, amely szakaszokban és meglehetősen komplex módon történt, a Szaharában, Arábiában, valamint az Indus völgyében levő fejlett kultúrák és társadalmak hanyatlásához vezetett. A szubtrópusi civilizációk a nedvesebb dombokra és a nagy folyóvölgyekbe húzódtak, ahol öntözésre volt lehetőség.

Az elmúlt 1000 év éghajlata világszerte közel változatlan volt, mégis a 800 és 1200 között levő melegebb időszak felvirágoztatta Európa gazdasági életét. Angliában pl. ebben az időszakban még a szőlőtermesztés is lehetővé vált. Az 1500—1800 közötti hidegebb időszak, az ún. kis jégkorszak viszont igen károsan hatott Európa gazdasági sőt társadalmi életére is. Az évi átlagos hőmérséklet, becslések alapján, ebben az időszakban 1,0—1,5 °C-kal csökkent, ami jelentéktelennek tűnik, de a szélsőséges időjárási helyzetek gyakorisága igen magas volt, sokkal magasabb mint pl. 1920—1960 között. A hosszan tartó hideg és havas telek, a hűvös és nagyon csapadékos nyarak, valamint a tengervíz hőmérsékletének jelentős csökkenése súlyosan érintette a mezőgazdaságot és a halászatot. A katasztrofális évek után, mint pl. 1430, 1600, 1690 és 1780 nagyon magasra emelkedtek az élelmiszer árak, gyakoriak lettek az éhínségek, majd a nyomában fellépő járványok erősen megtizedelték Európa lakosságát és emberi települések váltak lakatlanná. A létbizonytalanság egyes helyeken társadalmi nyugtalanságot idézett elő. A szélsőséges időjárási helyzetek kb. 3—5 évig tartottak és gyakran egyidejűleg fordultak elő Európában, Észak-Amerikában és Japánban. Feljegyzések szerint katasztrofális időjárás, majd ezt követően súlyos gazdasági helyzet a leghevesebb vulkánkitöréseket követő években is voltak, mint pl. 1766, 1815 és 1883.

Nyilvánvaló tehát, hogy a meteorológiai elemeknek a normáltól való néhány éven át tartó egyirányú eltérése közvetve, de sok esetben közvetlenül is súlyos, ha nem katasztrofális következményekhez vezethet. Legjobb példa erre a közelmúltban a SAHEL övezetben pusztító aszály, amely kb. 60 millió embert és közel 5,2 millió km^2-nyi területet sújtott az Atlanti-óceántól egészen a Vörös tengerig. Történelmi tény, hogy a SAHEL övezetben már előfordultak súlyos aszályok, pl. 1890, 1913—14, 1934—35 és 1942—48-ban, de feljegyzések igazolják, hogy az 1972—73-as aszály súlyosságában és következményeiben minden eddigit felülmúlt.

Tekintsük át ennek a közelmúltban előttünk lejátszódó eseménynek az alapján, hogy az éghajlat milyen hatást gyakorolt a földhasználatra, a mezőgaz-

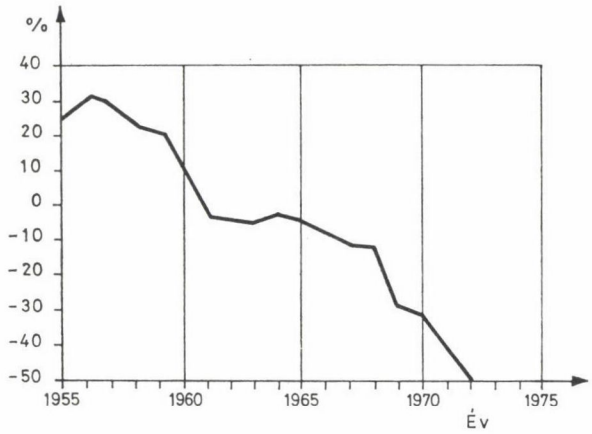
daságra és az állattenyésztésre, hogyan alakítja a közösségek életét, a társadalmat; valamint az éghajlatnak és az emberi tevékenységnek a kölcsönhatását.

Ismeretes, hogy a trópusokon a földművelés és az állattenyésztés szempontjából az éghajlatingadozás legjobban a csapadék idő és térbeni eloszlása alapján mérhető le. A hőmérséklet ingadozása sokkal kisebb jelentőségű, annak ellenére, hogy Kelet-Afrika magas felföldjein elsősorban a hőmérséklet határozza meg, hogy milyen magasságban mi termeszthető. A SAHEL övezetben, ahol a csapadék egynyári, Afrika őslakossága a nomádok, a földművelők és az állattenyésztők olyan földhasználati rendszert alakítottak ki, amely a környezet kényszerhatásain kívül erre az éghajlati tényezőre épült. A földművelés, amelyet a SAHEL övezet déli részén a száraz évszakban a völgyekben, a nedves évszakban a felföldeken műveltek, szinte kizárólag a víztől függött. A földművelők társadalmi rendszere a családra alapozott, amelynek a feje a földet művelt, és parlagon hagyott területre osztotta és a munkát szervezte. A család gondoskodott arról, hogy szárazság esetén megfelelő készlet álljon rendelkezésre, a család védekezett a szárazság ellen. A föld termékenységét nemcsak a parlagosítás biztosította, hanem a nomád állattenyésztők is, akik a száraz évszakban délre, majd az eső elé északra vándoroltak. A földművelőkhöz hasonlóan a nomádok is kialakították társadalmi rendszerüket, amely védelmezte gazdasági tevékenységüket és csökkentette az aszályok és járványok veszélyét. Társadalmi rendszerüket mozgékonyság jellemezte. A családok összeköltöztek, hogy megosszák legelőiket, de önálló egységekre bomlottak, ha új legelőket találtak, vagy ha a járvány veszélye miatt erre szükség volt. Az állattenyésztők a nedves évszakban elősegítették a szaporulatot, biztosítva magukat a száraz években várható veszteségek ellen, amikor viszont korlátozták a szaporulatot.

Ez az egész szervezés komplex volt azzal a bizonyos egymásrautaltsággal együtt, ami a nomádok és a földművelők között a természet törvényei alapján kialakult. A gazdasági és társadalmi változások, amelyeket az európai gyarmatosítás okozott, módosították az őshonos kultúrákat és megbontották azokat a kapcsolatokat, amelyek a társadalmi-gazdasági csoportok között kialakultak.

Az öntözés hatására a művelt területek kiterjedtek az állattenyésztés által használt füves steppék rovására. Felborult az egyensúly a földművelés és az állattenyésztés között, ami viszont megváltoztatta a termelés mechanizmusát. Az erdőirtással és a steppék felégetésével az ember tönkretette a természetes vegetációt, amely a talajt a víz és az erózió, valamint a kiszáradás ellen védte. Az öntözés következtében a talajvíz szintje csökkenni kezdett és megindult a termő völgyek és az oázisok kiszáradása. A száraz talaj szántása még tovább fokozta a kiszáradást. A passzát szelek így évente hihetetlen mennyiségű finom port szállítottak az Atlanti-óceánba, amelyet 1969-ben kb. 6 millió tonnára becsültek.

A nomádok elvándorlása a steppékről egyrészt a szomszédos félsivatagos terület amúgy is gyér vegetációjának a kipusztulásához vezetett, másrészről megzavarta a steppék ökológiai egyensúlyát. A súlyos következményeket még tetézte az esős évszak évről évre történő rövidülése és a csapadékmennyiség csökkenése. Az aszályt megelőző évek még csak 10%-os csapadékhiánya 1972-ben már 50%-ra emelkedett (1. ábra). 1973-ban a csapadékos időszak nagyon



1. ábra. Az évi csapadékmennyiség százalékos eltérése az 1931—1960-as középértéktől a SAHEL övezetben

későn érkezett és hamar befejeződött, aminek a következtében a még meglevő termés tönkrement. Nigériában pl. csak 25 tonna földimogyoró termett, míg 1969-ben még 765 tonnát takarítottak be. Az állatállomány 80%-a elpusztult, amint az állattenyésztők észak felé vándoroltak, hogy elérjék az időben és térben nagyon leszűkült csapadékos évszakot. Az élelmiszer árak több mint 200%-kal növekedtek, éhínség, járvány pusztított és szinte megszűnt az élet ott, ahol addig az éghajlati normáknak megfelelő, évszázadok folyamán kialakult gazdálkodás folyt.

Afrika, mint említettem már több aszályt átélt és túlélt, de hatásaiban ez az aszály nem hasonlítható az előzőekhez. Nagyobb népesség, nagyobb nyájak és csordák, nagyobb területei a művelt talajnak, és fejlettebb kultúrák estek áldozatul ennek. Még a határterületek is igen súlyos károkat szenvedtek. Az ökológiai egyensúly, amely hosszabb vagy rövidebb idő után a múltban helyreállt, most — úgy tűnik — nem állt vissza. Feltételezhető, hogy a talaj és a természetes növényzet lepusztulása következtében egy olyan, talán vissza nem fordítható folyamat indult meg, amely a csapadék előfordulását csökkenti és így az elsivatagosodás folytatódik. Ezt részben matematikai modellek is igazolják. A folyamatot valószínűleg a meggondolatlan földhasználat és a modern technológia közbeavatkozásának a kölcsönhatása indította el, amit a későbbiekben az aszály csak gyorsított és súlyosbított.

Az ésszerű földhasználat tervezésénél a legnagyobb nehézséget az jelenti, hogy az éghajlat szeszélyességeit nem ismerjük kellőképpen. Tekintettel arra azonban, hogy e területek népessége növekszik, az igények úgyszintén, kutatásokat kell folytatni annak érdekében, hogy a földhasználat, a mezőgazdaság és az állattenyésztés az éghajlati realitásokkal összhangban legyen.

A SAHEL övezetben lejátszódott esemény csak egy kiragadott példa, holott az éghajlat, annak ingadozásai és szélsőségei szinte minden emberi tevékenységre hatással vannak. Befolyásolja egészségünket, munkavégző képességünket, lakóhelyünk, településeink jellegzetességeit, a vízgazdálkodást, az erdőgazdálkodást, a halászatot, az energiatermelést, az ipari és kereskedelmi tevékenységet, a szállítást, a távközlést stb. E területeken komoly kutatásokat kell még végeznünk. Egyrészt meg kell ismernünk az éghajlat hatásait, hogy megelőzhessük vagy csökkenthessük azokat a kedvezőtlen következményeket, amelyek az éghajlat változásából vagy ingadozásaiból származnak, másrészt meg kell vizsgálni az éghajlat és az emberi tevékenység kölcsönhatásait.

Felismerve egyrészt az éghajlatváltozással és éghajlatingadozásokkal összefüggő világgazdasági és társadalmi, valamint globális környezeti problémákat, másrészt az éghajlati ismereteknek a nemzetgazdaság fejlődésének a tervezésben játszott fontos szerepét, a természettudományok és társadalomtudományok szakemberei szükségesnek tartották a természetes és antropogén okok miatt előforduló éghajlatváltozás és éghajlatingadozások ismereteinek felülvizsgálatát, valamint a jövőben lehetséges éghajlatváltozás és annak az emberi tevékenységre gyakorolt hatásának a megállapítását. Ezért a különböző tudományágak képviselői, hosszú évek előkészítő munkája után, a Meteorológiai Világszervezet irányításával, egy tíz évre szóló Éghajlati Világprogramot dolgoztak ki. Ennek a programnak a koordinációját a Meteorológiai Világszervezet vállalta.

A négy komponensből álló Éghajlati Világprogram egyik összetevője az Éghajlati Hatások Tanulmányozásának programja. Ennek végső célja kettős. Meg kell állapítani, hogy

— milyen hatást fejt ki az éghajlat változása és változékonysága a társadalomra;
— mi a társadalom hatása az éghajlat változására és változékonyságára.

A világ különböző területein azonban, ahol a természetes környezet, a társadalmi struktúra vagy a gazdasági rendszerek és a fejlettség foka nem azonos, az éghajlat változásának és ingadozásainak más és más hatása és visszahatása lehetséges. Ezért különös figyelmet kell fordítani a következő feladatokra:

— tökéletesíteni kell ismereteinket az éghajlatváltozásnak és éghajlatingadozásoknak a természetre és az emberiségre gyakorolt elsődleges hatását illetően;

— tudásunkat és ismereteinket tovább kell fejleszteni az éghajlatváltozás és éghajlatingadozások, valamint a társadalmi-gazdasági tevékenység kölcsönhatását illetően;
— tökéletesíteni kell az alkalmazott módszereket (pl. esettanulmányok, modellek) úgy, hogy ezáltal az éghajlati, környezeti és társadalmi-gazdasági tényezők kölcsönhatását megértsük és szimulálását tökéletesítsük;
— meg kell határozni a különböző fejlettségi fokon és különböző természeti környezetben élő társadalmak azon jellemvonásait, amelyek vagy különösen támadhatóvá, vagy különösen ellenállóvá teszik őket az éghajlatingadozásokkal szemben, hogy ily módon a változások által adott előnyök és lehetőségek kihasználhatóvá váljanak.

A feladat meglehetősen nehéz és összetett, ezért megoldásában nem csak meteorológusok, de a társtudományok szakembereinek is tevékenyen részt kell venniük, sőt végső fokon a világ minden nemzetének együtt kell dolgozni annak érdekében, hogy megőrizzük a természet és a társadalom közötti harmóniát, amely az emberiség életbemaradásának alapfeltétele.

IRODALOM

United Nations: Synthesis of Case Studies, Conference on Desertification, Nairobi, Kenya, 1977.
WMO: World Climate Conference, Geneva, 1979.
WMO: Outline Plan and Basis for the World Climate Programme 1980—1983. WMO No. 540, Geneva, 1980.

THE EFFECTS OF CLIMATIC VARIATION AND CLIMATIC CHANGE ON HUMAN ACTIVITY

I. LÉPP

Abstract

In various regions of the world where the natural environment and the development of socio-economic conditions are different, the impacts and effects of climatic variation and climatic change can also be different. Following the catastrophic events of the Sahelian drought, a review of the impacts of climate on natural environment and through it on land use, livestock-farming and agriculture is given. Finally, the Climate Impact Study Programme, one component of the World Climate Programme is discussed.

ВЛИЯНИЕ КОЛЕБАНИЙ И ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ЧЕЛОВЕЧЕСКУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

И. ЛЕПП

Резюме

В различных районах мира с различными условиями природной среды, общественного строения или хозяйственных систем, эффекты колебаний и изменений климата могут оказать также различными. Учитывая катастрофические события засухи в Сахельской зоне, рассматриваются эффекты климата на природную среду и через нее на человеческую деятельность, прежде всего на землепользование, животноводство и сельское хозяйство. В заключение обсуждается Программа изучения климатических воздействий, как одна из составляющих Всемирной Программы Климата.

A LÉGKÖRI SZÉNDIOXID-KONCENTRÁCIÓ VÁLTOZÁSÁNAK HATÁSA A KULTÚRNÖVÉNYEK PRODUKTIVITÁSÁRA

SZÁSZ GÁBOR
A MEZŐGAZDASÁGI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

Bevezetés

A légkörben lezajló fizikai folyamatok kauzális rendje a geofizika egyik legfontosabb problémakörét képezi. E rendszernek az élővilágra gyakorolt hatása minden olyan tudománynak fontos ügye, amelynek az atmoszférikus befolyást kell vizsgálnia. A globális méretű energia- és anyagmozgás rendszere a növényi produkciós rendszerek, azok makro-, mezo- és mikroléptékű egységei produkcióját közvetlenül és közvetve alapvető módon határozzák meg.

A globális léptékű vagy annál kisebb térségekre vonatkozó energia- és anyagforgalmi kérdések széles körben vizsgált problémakört alkotnak. Hangsúlyoznunk kell, hogy e rendszerek egyes alapkomponenseinek mozgásairól alkotott kép eltérő részletességű. Igen sokrétű ismeretekkel rendelkezünk pl. a víz, illetve a vízgőz idő- és térbeli mozgásának törvényeiről, valamint a mozgó víz mennyiségeiről viszonylag tetszőleges lépték esetén is. Ennek éppen az ellenkezőjét mondhatjuk el a széndioxidról, amely sok szempontból hasonlít a légköri vízgőzhöz: mindkettő alapvető módon határozza meg a földfelszín sugárzási energiamérlegét az üvegházi effektus útján, elengedhetetlen elemei a biológiai értelemben vett primerprodukció képződésének. A légköri széndioxid a növények alkotó eleme marad, s a növénytakaró összességében egy óriási „szén-rezervoár"-nak tekinthető. Hasonlóképpen széntároló térnek minősíthető a légkör, a talaj, valamint a világóceánok víztömege. A tároló terek között óriási arányú áthelyeződési folyamat zajlik le, melyben fontos szerepet játszik a növénytakaró is.

Vizsgálataink során arra a kérdésre kívántunk feleletet adni, hogy *a szénkörforgalom milyen mértékben határozza meg a termesztett növények produktivitását, korlátozó tényezőnek minősíthető-e a természetes légköri széndioxid-koncentráció, valamint a széndioxid és a vízellátottság milyen mértékben áll egymással kölcsönhatásban.* E kérdéseket részben elméleti közelítéssel, részben a korábbi széndioxid mérések, valamint szántóföldi kísérletek alapján elemezzük.

1. *A vizsgálatok elvi célkitűzései és mérési módszertana*

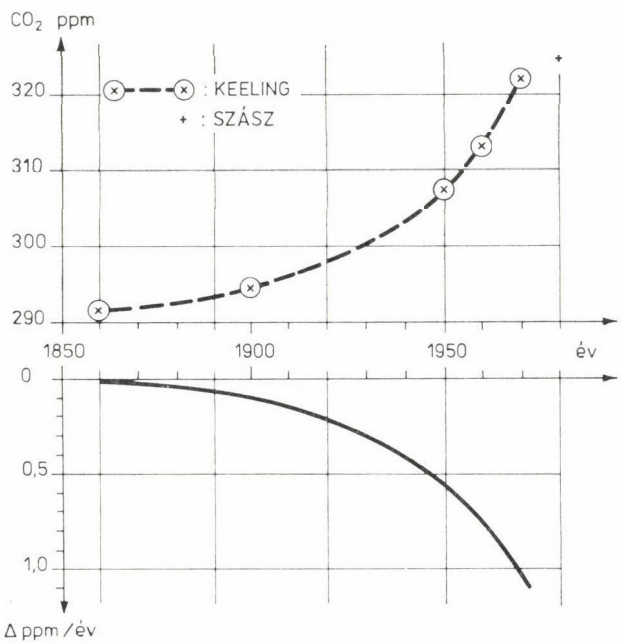
A széndioxidra mint légköri főkomponensre nagy mértékben hatnak a humán eredetű, civilizációs hatások. Ennek két fő oka van: a légkörben levő

széndioxid koncentrációja rendkívül csekély, a civilizációs folyamatok során jelentős szénmennyiség jut a légkörbe. Az ipari termelés méreteinek, intenzitásának egyre fokozódó növekedése olyan CO_2-emissziót eredményez, amely a troposzférikus koncentrációt el nem hanyagolható mértékben növeli. OESCHGER és munkatársai (1975) megvizsgálták KEELING 100 évre kiterjedő extrapolációs modelljét, amely szerint *a preindrusztriális CO_2-koncentráció mintegy* 292 *ppm*. Ez az érték az 1870. évre tekinthető reálisnak, s egyidejűleg a koncentráció *természetes szintjének*. Az elmúlt évtizedek átlagában a koncentráció 0,7 *ppm-mel növekedett évente*, azonban BISCHOFF (1971) szerint ez az érték az 1958—1968. évekre 1,2 ppm-re emelkedett. A koncentráció növekedése az alábbi egyenlettel írható le:

$$(11\ t) = 11_0 \cdot exp\ m \cdot t,$$

ahol $m = 1/34{,}5$. Az 1970-es évre a koncentráció változásának mértéke 30 ppm (1. ábra). A koncentráció említett növekedése mind geofizikai, mind pedig geoprodukciós értelemben egyaránt nagy jelentőségű. A CO_2 idő- és térbeli változása légkörfizikai, energetikai szempontból fontos kérdés, de ennek következménye esetleg a Föld fitoprodukciós aktivitása szempontjából is mértékadó jelentőségű lehet.

Vizsgálataink keretében többek között arra a kérdésre is feleletet kívántunk keresni, hogy a felszíni növénytakaró CO_2-igényét a körforgalom milyen



1. ábra. A CO_2-koncentráció változásának trendje

mértékben elégíti ki. E kérdés vizsgálata során tudnunk kell, hogy mekkora a légkörbe belépő széndioxid mennyisége. BÖRGER (1975) megállapította, hogy a légkörbe jutó széndioxid a kontinensekről származik a következő folyamatok útján:

— a talaj mikrobiális tevékenysége és légzés útján	62,6%
— a növénytakaróból származó mennyiség	25,2%
— indusztriális források és égés	12,2%
Összesen:	100,0%

Az ily módon a légkörbe jutó mennyiség $2{,}6 \times 10^{12}$ tonnára tehető, amelyből a kontinensek növénytakarójának asszimilációja mintegy $1{,}29 \times 10^{11}$ tonnányi. Mivel az égésből keletkező produkció nagyobbodik, *a légköri széndioxid-készlet átlagos értéke* 2000-re már 378 ppm-re becsülhető.

E tényből származik az a további kérdés, hogy a felszín közeli, urbanizációs hatásoktól viszonylag mentes területeken miként alakul a különböző évés napszakok CO_2-fluxusának iránya és intenzitása. E problémára vonatkozó első méréseket 1958-ban kezdtük el. A rendszeres méréseket a felszín felett mintegy 25 m magasságig terjedő rétegben folytattuk. Az elmúlt években lehetővé vált a repülőgépes mintavételezés is, átlagban 2 km magasságig, de az sohasem haladta meg a 3 km-t.

A kísérleti mérések annak a kérdésnek a megállapítása érdekében történtek, hogy a hazánk feletti légköri szénforgalom milyen mértékben befolyásolja a termesztett növények produktivitását.

A kísérleti mérések módszerei különbözőek voltak:

— *a talajmenti légtérben:* termo-kompenzált konduktometriás eljárás, abszorbens: telített mészvíz, méréshatár: 0,0—500 ppm, pontosság: ± 2 ppm, a levegőminta tömege: 20 liter;
— *a magassági légterekben:* volumometriás mérés, a levegőminta tömege: 0,5 liter, analizált tömeg: 10 cm^3.

Figyelembe véve a mérések pontosságát, rendszerint ismétléses minták átlaga képezte a vizsgálatok alapját. Az alkalmazott ismétlésszám: 3—5.

Mivel a légköri CO_2-készlet ökológiai tényező, ezért értékének ismerete a növényi produkciós potenciál megítélése szempontjából fontos szerepet tölt be.

A növényi produkciós zónába belépő CO_2-mennyiség különböző feltételektől függ, és az eltérő módon állapítható meg. A koncentráció-mérésekre épülő fluxus-intenzitás a *turbulens keveredés és a vertikális koncentráció gradiens alapján állapítható meg.* Az aerodinamikai meghatározás alapja az alábbi összefüggés:

$$F_{CO_2} = \beta(Ri) \frac{\varrho \cdot k^2 \cdot z(v_2 - v_1)}{\ln (z_2 - z_1)} \frac{dc}{dz}, \qquad (1)$$

ahol

F_{CO_2}: fluxus-intenzitás,
ϱ: a levegő sűrűsége,
v: szélsebesség,
z: magasság,
c: CO_2-koncentráció,
$\beta(Ri)$: a termikus egyensúlyt kifejező paraméter a RICHARDSON-féle szám alapján,

továbbá

$$c = 0{,}16 \cdot MV \frac{p}{T} \, g \, m^3, \tag{2}$$

ahol

M: a CO_2 molekulasúlya, (44)
p: gáznyomás hgm = 760 · 0,00003 (300 ppm esetén),
V: a CO_2 térfogataránya ppm-ben,
T: hőmérséklet K°,
MV (320 ppm) = 14 080

ppm:	300	320	340	360	380
c:	52	55	58	61	65×10^{-8} g/cm³
	0,52	0,55	0,58	0,61	0,65 g/m³

300 ppm = 0,03 tér. —% = 52×10^{-8} g/cm³ = 0,52 g/m³; 1 ppm = = 0,0017 g/m³.

Az (1) egyenletből következik, hogy

$$\Delta CO_2(z) = \frac{F_{CO_2}}{\frac{\varrho \cdot k^2 (v_2 - v_1)}{\ln (z_2 - z_1)}}$$

vagyis a CO_2-gradiens profilját az A kicserélődési együttható függőleges menti változása határozza meg.

Ugyancsak az (1) egyenletből következik, hogy a CO_2-fluxus Δt időszakra vonatkoztatott összege lesz elvileg a növényi fotoszintézis CO_2 forrása. Arra a kérdésre, hogy az említett Δt idő alatt mekkora a fluxus-összeg nagysága, az alábbi igen egyszerű kémiai kapcsolatból becsléssel következtethetünk:

$$1 \, g \, glükoz \rightarrow 1{,}83 \, g \, CO_2 . \tag{3}$$

Amennyiben tehát rendszeres tömegmintát veszünk az állományból, úgy a beépült CO_2 közelítőleg jól megállapítható. Természetesen tudnunk kell, hogy

$$F_{CO_2} > 1{,}83 \, C_6H_{12}O_6 ,$$

mert a fotoszintézis során bekövetkező szénbeépülés folyamata eltérő módon zajlik le *(C_3 és C_4 típusú fotoszintetikus reakció)*. A CO_2-fluxus nettó értéke:

$$| F_{CO_2} |_{\text{nettó}} = \frac{dF_{CO_2}}{dt} - \frac{dR}{dt}, \tag{4}$$

ahol *R:* respirációs tömegveszteség.

Tekintettel arra, hogy a növényi anyagképződéshez (M) a talajból kidiffundált CO_2 mennyisége is hozzájárul, ezért a mikrobiális tevékenységtől, valamint a respirációs veszteségtől függően:

$$\Delta M = M_A - M_R + M_T, \tag{5}$$

ahol ΔM*:* a primer produkció nettó asszimilációnak megfelelő tömegváltozása, M_A*:* az aerodinamikai úton megállapított fluxusnak megfelelő produkciós tömeg, M_R*:* a respiráció útján bekövetkező tömegveszteség, M_T*:* a talajból kiáramló CO_2-vel arányos fitomassza.

Az aerodinamikus módszer alkalmas a fluxus napi ritmusának vizsgálatára. *A fluxus évi ritmusának elemzése* azonban ettől eltérő módszert igényel, amellyel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy ez lényegében egy fizikai alapra épülő becslési eljárás, mivel néhány tényezőt a számítások során elhanyagoltunk. Először is meg kell említenünk, hogy ha a szabad légkörből leáramló CO_2 körülményeit vizsgáljuk, úgy mindenekelőtt ismerni kell a szélsebesség rétegződését. A CO_2 magassági értékét 500 m-re számítottuk, ezért a Prandtl-rétegre reális szélprofil nem alkalmazható. Emiatt az exponenciális profilfüggvény használatát vezettük be:

$$\left(\frac{v_{z_1}}{v_{z_2}}\right) = \alpha \cdot \log \left(\frac{z_1}{z_2}\right), \tag{6}$$

ha $z_1 = 500$ gdm, $z_2 = 115$ gdm, akkor:

$$v_{500} = v_{115} \left(\frac{500}{115}\right)^{\alpha}$$

$$\alpha = \frac{\log v_{500} - \log v_{115}}{\log (500/115)}.$$

A magassági szélsebesség átlagaira vonatkozóan Béll (1954) által nyilvánosságra hozott mérésekre támaszkodtunk. A folyamat *jellegére* ezek az adatok informatív tulajdonságúaknak minősíthetők. A felsorolt kapcsolatok megadják a lehetőséget arra, hogy egy $z < 500$ *m* rétegre a diffúziós, illetve a kicserélődési együtthatókat megállapítsuk, és ezek segítségével a hazai feltételeket nagy vonalakban körvonalazzuk.

A kicserélődési folyamatok jellemzésére felhasználjuk *a légköri diffúziós ellenállás* értékeit is, amely Monteith (in Evans, 1963) szerint:

$$r_a \cong \left(\ln \frac{z - z_0}{z_0}\right)^2 \Big/ v \cdot k^2 \text{ sec cm}^{-1} \tag{7}$$

neutrális egyensúly esetén, melyben z_0: a felszín érdességi szintje, k: a KÁRMÁN féle állandó (0,36).

A későbbiekben közölt eredményekhez a fenti módszerekkel jutottunk el. Megítélésünk szerint a metodikai rendszer helyes megválasztásának lényege, hogy a számításokkal kapott eredmények helyességét mérések útján ellenőrizhetjük, és megfordítva.

2. *A mérési eredmények ismertetése*

A kísérleti megfigyelések, valamint azok elemzésének eredményei a következőkben foglalhatók össze.

a) A CO_2 koncentrációjának idő- és térbeli változása

A rendszerint előzetesen tervezett mérések gyeptakaróval fedett csernozjom talaj felett folytak. A koncentráció megállapítása alkalmával rendszeres szélsebességmérések is folytak a felszíntől 10 m magasságban. A mérések egyik célja a *napi menet főbb vonásainak meghatározása* volt, mivel erre vonatkozóan részletes adatok hazánkban eddig nem jelentek meg. A nappali és az éjszakai órák átlagértékei eltértek egymástól. Közismert, hogy *a széndioxid koncentrációjának maximuma* a talajmenti rétegekben a hajnali órákban alakul ki, míg a minimumok a kora délutáni órák jelenségei. *A napi koncentráció-ingadozás mértékét alapvetően két tényező határozza meg: a felszíntől mért távolság és a szélsebesség.*

A felszíntől különböző távolságban mért napi ingadozás sajátos változást mutat: az ingadozás határait elsősorban a turbulens határréteg diffúziós ellenállása határozza meg. Mielőtt azonban a következményeket megállapítanánk, röviden tekintsük át *a nappali* (8—18 óra) *és az éjszakai* (18—8 óra) *napszakok* átlagos koncentráció-értékein, illetve az azok alapján számított napi ingadozás

I. táblázat

A CO_2-koncentráció havi átlagértéke különböző magasságban

hónap	nappal			éjszaka		
	400 cm	50 cm	diff.	400 cm	50 cm	diff.
április	303	287	−13	317	333	+16 ppm
május	298	283	−15	319	337	+18 ppm
június	292	275	−17	324	344	+20 ppm
július	290	270	−20	324	347	+23 ppm
augusztus	295	276	−19	326	349	+23 ppm
szeptember	305	291	−14	325	337	+12 ppm
október	322	329	+7	325	335	+10 ppm
átlag	300	287	−13	323	340	+17 ppm

Átlagos koncentráció (50—400 cm): 312,5 ppm.

számszerű értékein két magasságban mérve; az adatokat az I. táblázat foglalja össze.

Az átlagok alapján megállapítható, hogy a magasság szerinti napi ingadozás az év különböző hónapjaiban eltérő: nyáron a magas hőmérséklet és erőteljes asszimiláció esetén a nappali minimumok és az éjszakai maximumok közötti különbség lényegesen nagyobb, mint a tavaszi és őszi hónapokban. Ennek a jelenségnek az okát az aerodinamikai folyamatokban találjuk meg a (7) egyenlettel számított légköri diffúziós ellenállások havi átlagos napi, nappali és éjszakai értékei a különbségekkel ellentétesen változnak, ahogyan az a II. táblázatban látható. Tavasszal a nagyobb szélsebességek időszakában alacsony diffúziós ellenállást kaptunk a 2—10 m-es rétegre, viszont a nyár második felében és ősszel a transzport-feltételek kedvezőtlenek, mivel a diffúziós ellenállás ekkor jelentős arányban növekszik.

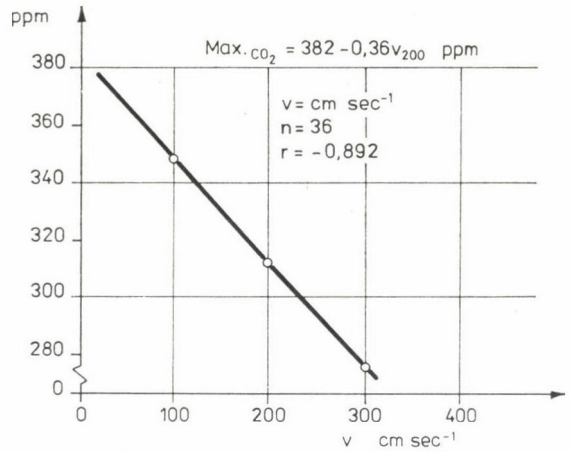
II. táblázat

A diffúziós ellenállások átlagértékei 2—10 m-es légrétegben

hónap	r_a-átlag	r_a nappal	r_a éjszaka
április	0,74	0,59	0,89 sec cm^{-1}
május	0,85	0,65	0,99 sec cm^{-1}
június	0,93	0,75	1,11 sec cm^{-1}
július	0,96	0,74	1,18 sec cm^{-1}
augusztus	0,96	0,73	1,16 sec cm^{-1}
szeptember	1,03	0,79	1,24 sec cm^{-1}
október	0,99	0,63	1,15 sec cm^{-1}

A felsorolt adatok bizonyítják, hogy az áramlási feltételek és a CO_2 koncentráció napi ingadozása között valóban szoros kapcsolat áll fenn.

Az eddig elmondottak a felszínközeli térre vonatkoznak. További kérdésként merül fel *a talajközeli koncentráció ingadozása és a szélsebesség közötti kapcsolat*. Mivel a vizsgálatok, illetve a kísérleti mérések rendszerint alacsony gyeptakaró felett folytak, ennélfogva a koncentráció változását elsősorban nem az asszimiláció intenzitása szabályozta. Ennek oka abban is kereshető, hogy a fotoszintézis mintegy 2,1 J/cm^2 min sugárzás intenzitás felett már alig fokozódik, s ez az érték a nyári félév minden napján csaknem rendszeresen nagyobb, vagy legalábbis tartósan nem alacsonyabb. A talajból kidiffundált CO_2 éjszaka a felszín közelében halmozódik, mivel ekkor a szélsebesség csekély, s ennek következtében a kicserélődési folyamatok is lelassulnak. Kísérleti méréseink során az éjszakai órákban a kicserélődési együttható 0,5—2,0 g/cm sec közötti. Ez olyan csekély mértékű, hogy a talajból a kiáramlást nem képes ellensúlyozni. Viszont az *éjszakai sebességnövekedés a vertikális koncentráció-egyensúlyt kialakítja, ha annak nagysága eléri vagy meghaladja a 3,0 m/sec sebességet*. Nyilvánvaló tehát, hogy a koncentráció napi ingadozásának nagysága



2. ábra. Az éjszakai maximális CO_2-koncentráció függése a szélsebességtől

és az éjszakai szélsebesség között a 2. ábra szerint fordított összefüggés áll fenn. Az éjszakai maximális koncentráció a szélsebesség alapján az alábbi összefüggés segítségével becsülhető:

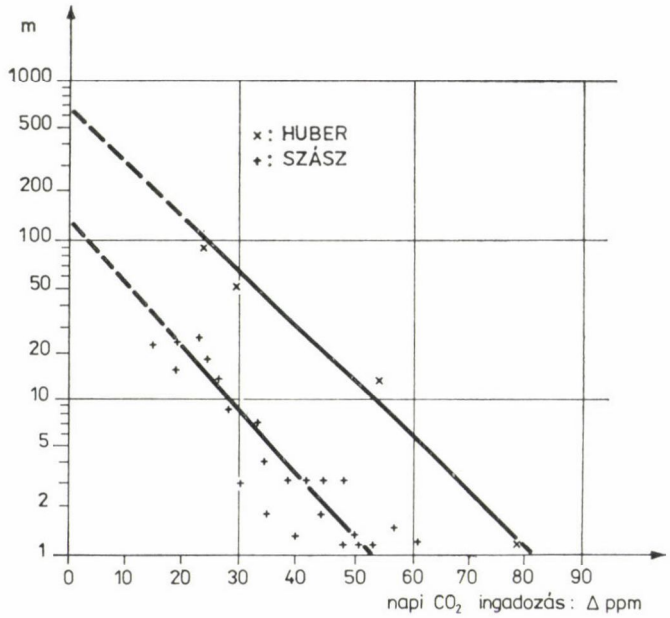
$$CO_{2_{max}} = 382 - 0{,}36\, v_2 \text{ ppm}$$

$r = -0{,}895$
$n = 36$
v_2 = szélsebesség 2 m-en cm/sec-ban.

Amennyiben a szélsebesség a 3 m/sec-ot lényegesen meghaladja, a sebességváltozás és a koncentráció maximális éjszakai értéke között kapcsolat nem mutatható ki. Az egyensúlyi szélsebesség értéke a talaj mindenkori mikrobiális tevékenységétől és a talaj ún. aktív diffúziós kapacitásától függ. Így nyilvánvaló, hogy a fenti összefüggés csupán a vizsgált területre általánosítható.

A továbbiakban röviden azzal a kérdéssel foglalkozunk, hogy a *CO_2-koncentráció napi ingadozásának magasséghatára* milyen módon becsülhető. A kísérleti mérések alapján — az egyes meteorológiai elemekhez hasonlóan — megállapítható, hogy *a napi ingadozás a magasság logaritmusával lineárisan kisebbedik.* E felismerés birtokában becsülhető *a napi ingadozás felső határa*, amely különböző helyen és időben végzett mérések szerint *150—600 m-re tehető.*

Amennyiben a mérések alapján megállapított ingadozást a magasság logaritmusa függvényének tekintjük, úgy elvileg egy azokra illesztett egyenes $Y = z$-re vonatkoztatott tengelymetszete adja azt a magasságot, ahol a napi ingadozás nullává válik. E feltételezés realitását részben a saját, részben pedig HUBER (1960) adatain ellenőriztük, s az eredményt a 3. ábra szemlélteti. Az említett adatforrásokon túlmenően feltüntettünk néhány más kutató által mért magassági értéket is. Ebből egyértelműen állapítható meg, hogy a napi



3. ábra. A CO_2-koncentráció napi ingadozásának függése a magasságtól

ingadozás felső határa tág intervallum között váltakozik, aminek oka a kicserélődési folyamatokban kereshető. *Azt a zónát, amelyben a koncentráció napi ingadozása felismerhető, a széndioxid légköri keveredési rétegének nevezzük.* A keveredési réteg fontos szerepét abban látjuk, hogy ebben zajlik le a napi körforgalom a légkör és a felszín között, s ennek a rétegnek az aerodinamikai sajátossága határozza meg a légköri széndioxid szabadlégköri koncentrációja kis időléptékű ingadozásának mértékét. *A keveredési rétegre elsősorban a CO_2 vertikális mozgása a jellemző, míg a felette levő szabadlégköri rétegekben a keveredési réteg által kialakított lokális horizontális különbségek kiegyenlítése következik be a horizontális kicserélődés útján.*

A keveredési rétegben uralkodó kicserélődési folyamatok jellemzésére mutatjuk be a 115 és az 500 gdm közötti rétegben végzett szélmérések alapján számított kicserélődési együtthatókat az év minden hónapjára az (1) és (6) egyenletek alapján. Az áttekinthetőség megkönnyítése végett a III. táblázatban közöljük az említett magasságokra vonatkozó átlagos szélsebességet, a szél profil-függvényének kitevőjét, valamint a dinamikus kicserélődési együttható nagyságát a réteg középső szintjére vonatkoztatva.

Az ismertetett paraméterek szerint *a dinamikus kicserélődési folyamatok nyári félévben kialakuló viszonylag alacsony értékei a szén-körforgalom aerodinamikai értelemben vett fékezőjének tekinthetők.* A dinamikus kicserélődési folyamatok nyári mérséklődése a felszín közelében képződött CO_2 magasba jutását

III. táblázat

A dinamikus kicserélődési folyamatokat jellemző paraméterek átlagértékei

hónap	szélsebesség 500 m	szélsebesség 115 m	$\frac{v_{500}}{v_{115}}$		α A g cm^{-1} sec^{-1}	
	m/sec					
január	7,5	3,2	2,34		0,580	124
február	7,8	3,4	2,29		0,566	127
március	7,1	3,5	2,03		0,481	104
április	5,6	3,8	1,47		0,263	52
május	5,7	3,3	1,73		0,371	69
június	5,5	3,0	1,83	1,81	0,412	72
július	5,5	2,9	1,90		0,436	75
augusztus	5,2	2,9	1,79		0,398	66
szeptember	5,8	2,7	2,15		0,520	89
október	6,4	2,8	2,29		0,563	101
november	7,1	2,7	2,63		0,658	127
december	7,1	3,5	2,03		0,481	104

lassítja, azonban a termikus kicserélődés ezt ellensúlyozza. Ezért a növények produkciós potenciálja szempontjából a fentiek alapján egyértelmű következtetést nem vonhatunk le.

A talajmenti légtér széndioxid koncentrációja advektív hatások alatt is áll. A koncentráció elemzése során különválasztottuk az eltérő szélirányhoz tartozó mérési eredményeket, olyan időpontból, amikor a szinoptikus helyzet, illetve az áramlási szerkezet, a légtömeg eredete megbízhatóan reprodukálható volt. Annak ellenére, hogy az egyes irányokhoz tartozó átlagokhoz tartozó szórások értéke igen nagy, mégis néhány megkülönböztetett irányt ismertünk fel, amelyeknél a koncentráció nagysága szélsőségesen tért el az összes minta átlagától:

SW (délnyugati) szél: 376 $\pm$ 22 ppm (rendszerint trópusi eredetű légtömegek),

NW (északnyugati) szél: 309 $\pm$ 26 ppm (rendszerint észak Atlanti-óceáni légtömeg).

A többéves tapasztalat szerint a nyugati áramlás idején alacsonyabb, a keleti áramlás idején magasabb CO_2 koncentráció állapítható meg.

A fent ismertetett mérési eredmények egyértelműen bizonyítják, hogy a felszín, illetve a légkör felé irányuló CO_2 mozgást elsősorban a felszíni koncentráció-érték szabályozza, mivel a gradienseket a felszínközeli rétegek koncentrációja határozza meg.

b) A CO_2-fluxusok idő- és térbeli alakulása

Amennyiben a koncentrációmérések aerodinamikai modellekhez illeszkedő szélmérésekkel egészülnek ki, úgy lehetőség nyílik egy adott terület vagy időszak CO_2 mérlegének megállapítására. A forgalmazott CO_2-mennyiség becslésének két módját szokás követni:

— aerodinamikai paraméterek segítségével és koncentrációgradiens alapján,

— a növényi primer-produkció halmozott szénmennyisége szerint.

Az aerodinamikai módszer korábban ismertetett elvi alapját azzal kell kiegészítenünk, hogy ez igen nagy pontosságú méréseket igénylő vizsgálati eljárás. Emiatt ez alkalommal csupán néhány alapvető jelenség elemzésére térünk ki.

Elsődleges fontosságú probléma *a CO_2-fluxus irányának ritmikus változása.* A téli hónapokban CO_2 gradiens nem mutatható ki, mivel a széndioxid-termelés a talajban szünetel, a határrétegben lezajló kicserélődési folyamatok az esetleges koncentráció-különbségeket teljesen kiegyenlítik. Ezért a továbbiakban az évnek csak azzal a szakaszával foglalkozunk, amikor a növényállomány már el nem hanyagolható fitotömeget képez a felszín feletti térben.

A széndioxid-forgalom napi ritmusát erőteljesen befolyásolja a növényklíma, vagyis a növényállományon belül és annak közvetlen környezetében kialakuló mikroklimatikus adottságok.

A sugárzás fotoszintetikus hatása ismert. Az is köztudomású, hogy a növényállományon belül *az állomány mélységének növekedésével a sugárzás-intenzitás a levélfelületi együttható logaritmusának arányában kisebbedik.* Állománygeometriai szempontból két állománytípust különböztethetünk meg:

— nyílt növényállomány

— zárt növényállomány.

Nyílt növényállományról beszélünk olyan esetben, amikor a levélfelület viszonylag alacsony értéke, illetve a leveleknek a függőlegeshez való viszonylagos közelsége lehetővé teszi a sugárzásnak az állomány aljára, a talajfelszínre való lejutását. Ez a helyzet főként a fiatal növényekre jellemző, de gyakori jelenség a beérő növényeknél is.

Zárt növényállomány jellemzője, hogy az állomány felső felében egy viszonylag dús levélzóna alakul ki, ahol a beeső sugárzásnak nagy része abszorbeálódik, és csak kisebb hányada éri el a talajfelszínt. A zárt növényállományra jellemző a nagy sugárzási energia-gradiens.

A zárt növényállományokban a sugárzási energia-profil egyértelműen határozza meg a potenciális fotoszintézis energetikai hátterét. Mivel 1 g szénhidrát előállítása 15,7 KJ (3,75 kcal) energiát igényel, és 1 g szárazanyag előállításához 1,8 g CO_2 szükséges, ezért felírható az alábbi arány:

$$\frac{15{,}7\ KJ/g\ sza.}{1{,}8\ g\ CO_2/g\ sza.}\ 8{,}72\ KJ/CO_2\ g = 2{,}08\ \text{kcal}/CO_2\ g,$$

vagyis a széndioxid-asszimiláció fajlagos energiaigénye 1 g CO_2 beépüléséhez 8,72 KJ. Ebből az arányszámból levezethető, hogy egy adott sugárzási helyzetben a széndioxid-, illetve az energiaellátottság határozza meg a potenciális

fotoszintézis határát az állomány *h* mélységében. Az elmondottak folytán világosan tűnik ki, hogy *a fotoszintézis, illetve annak produktuma sugárzási energetikai ismeretek nélkül nem állapítható meg.*

A hőmérséklet emelkedésével a fotoszintetikus aktivitás is fokozódik, különösen abban az esetben, ha a CO_2-koncentráció a telítettség közelében van. A hőmérsékleti profil a növényállományokban a sugárzási feltételektől függően egyértelműen alakul: amennyiben nyílt állományról van szó, úgy a legmagasabb hőmérséklet az állomány alsó rétegeiben alakul ki, s így a fotoszintézisre a hőmérséklet ott a legkedvezőbb. Az állomány mélységének csökkenésével a lehetséges glükózképződés feltétele kisebb a hőmérséklet csökkenése folytán.

A továbbiakban tekintsük át röviden, hogy a kísérleti mérések szerint miként alakul a növényállományok feletti CO_2-fluxus.

A talajközeli térben (0—5 m) a koncentráció napi hullámában mutatkozó magasság szerinti fáziseltolódás olyan csekély, hogy azzal felesleges számolnunk. A gradiensek szerinti lefelé irányuló fluxus napkeltét követően indul meg, amikor a talajhőmérséklet megkezdi emelkedő szakaszát, mivel köztudott a mikrobiális tevékenységnek a hőmérséklettől való függése. Némi fáziskésést a talaj diffúziós ellenállása okoz. Az esti órákban a sugárzás csökkenése folytán a széndioxid asszimiláció útján történő felhasználása megszűnik, s a koncentráció emelkedni kezd. *A reggeli és az esti fluxus-intenzitások igen csekély méreteket öltenek: 10—20 mg CO_2/dm² óra.* A déli órákban részben a sugárzás, részben pedig a hőmérséklet emelkedése következtében a fluxus-intenzitás igen magas értékeket érhet el a koncentráció-gradiens és a kicserélődési együttható értékétől függően. *A nyári negyedévben a déli órák átlagos fluxus-intenzitása:* 40—60 mg CO_2/dm² óra, de szélsőséges esetekben elérheti a 100 mg CO_2/dm² óra értéket is. Az elmondottakból kiderül, hogy a fotoszintézis során a felszín felé irányuló fluxus jelentős méreteket ölt.

További kérdésként merül fel e probléma elemzése során, hogy kb. milyen méreteket ölt *az éjszakai órák alatti légkör felé irányuló fluxus.* Tekintettel arra, hogy az éjszakai fluxus összege nem haladja meg a nappalit, tehát *a felszíni növényállomány a légkörből szenet von el.*

3. *A kísérleti eredmények elemzése, következtetések*

A széndioxid-koncentráció idő- és térbeli változásának mennyiségi elemzése számos értékes megállapításra tesz lehetőséget. E helyen azonban *egy olyan fontos kérdésre kívánunk feleletet adni*, amely népgazdasági, illetve ökológiai szempontból is felvethető. A kérdés lényege egyszerűen az alábbi formában fogalmazható meg:

A jelenlegi légköri természetes CO_2-koncentráció (320 ppm) tekinthető-e olyan természeti erőforrásnak, amely a szántóföldi növénytermesztés produktumát vagy növényeink produkciós potenciáljának felső határát megszabná?

E kérdés aktualitását főként az a tény biztosítja, hogy a korábbi években megállapítottuk az *energetikailag lehetséges produkciót* (Szász, 1974, 1978, 1979) és a *klimatikusan lehetséges produkciót* (Szász, 1978, 1979). *Az energetikai produkció* azt fejezi ki, hogy adott sugárzási klimatikus adottság esetén mekkora szénhidrát képződhet egy adott efficiencia esetén. Ennek rendszeres feltárására modellt dolgoztunk ki (Szász, 1978). A klimatikusan lehetséges produkció azt fejezi ki, hogy adott sugárzási, hőmérsékleti és vízellátottsági klimatikus feltételek mekkora szénhidrátmennyiség képződését engedik meg, ha azt egyéb más feltételek nem akadályozzák.

Hazánkban *az energetikailag lehetséges produkció:* 37—45 t/ha
a klimatikusan lehetséges produkció: 25—37 t/ha

a vegetációs időszak alatt. A különböző növényfajok lehetséges produkcióját e helyen nem részletezzük.

Az eddigi méréseink alapján megkíséreltük a napi átlagos, felszín felé irányuló fluxus értékei alapján becsülni azt a növényi bruttó produkciót, amelynek kialakulását a légköri CO_2-készlet lehetővé tenné, ha annak a növénybe való beépülését különböző tényezők nem akadályoznák meg. Az áttekinthetőség végett a havi átlagos CO_2 ellátottság szerint lehetséges produkciót a IV. táblázatban foglaljuk össze a vegetációs időszakra.

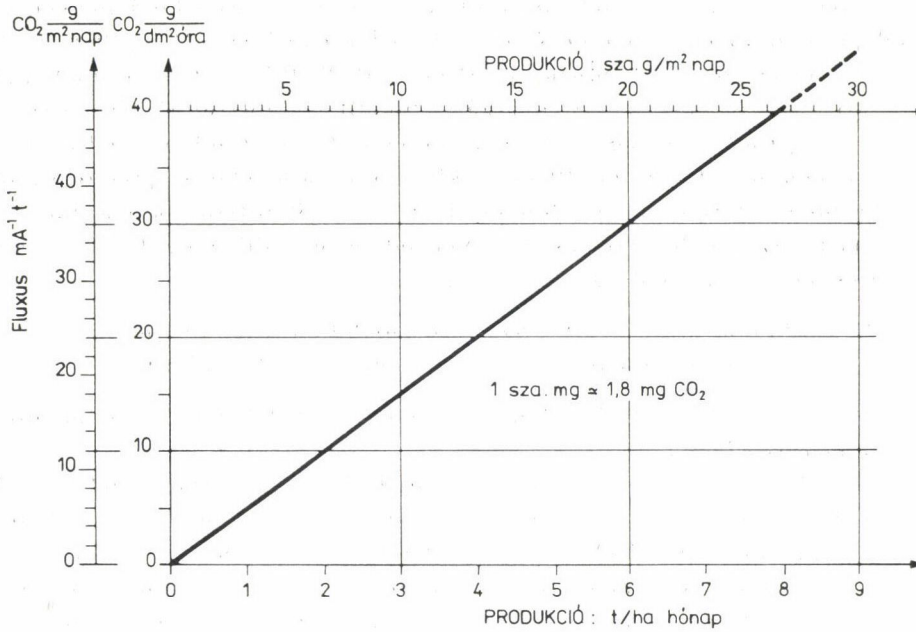
IV. táblázat

Az energetikailag, klimatikusan és a CO_2 szerint lehetséges produkció átlagos értékei Magyarországon

hónap	produkció			CO_2 szerint lehetséges produkció
	energetikailag	klimatikusan	flux.	
március	1,34	1,34	12	2,2 t/ha
április	3,46	3,40	14	2,8 t/ha
május	4,93	4,80	16	3,8 t/ha
június	5,56	5,20	18	4,0 t/ha
július	5,82	5,30	20	4,2 t/ha
augusztus	5,06	4,85	19	3,9 t/ha
szeptember	3,39	3,12	14	2,8 t/ha
október	1,98	1,90	9	1,9 t/ha
november	0,58	0,58	6	1,2 t/ha
Összesen	32,12	30,49	14,2	26,8 t/ha

Ha feltételezzük, hogy az átlagos respirációs veszteség az éjszakai órákban átlagban 30% — amely reális arányszám —, akkor a *CO_2 szerint lehetséges bruttó produkció évi összege:* 26,8 t/ha.

A fentiek szerint a viszonylag alacsony fluxus-értékhez tartozó produkció is elég magas, azonban a közölt értéknek még mintegy másfélszerese



4. ábra. A különböző CO_2-fluxusintenzitáshoz tartozó szénhidrátprodukció

— 39,47 t/ha — is mértékadó becslésnek tekinthető. A továbbiakban nézzük meg az arányokat.

$P_E = 32{,}12$ t/ha év
$P_K = 30{,}49$ t/ha év
$P_{CO_2} = 26{,}80$ t/ha év

Megállapítható, hogy *a légköri mozgások által szabályozott CO_2-fluxus nem akadályozó tényezője a növényi bruttó produkció további emelésének.* A fluxusok alapján a produkció nagysága becsülhető a 4. ábrán közölt nomogram segítségével. A nomogramot saját méréseink alapján állítottuk össze, figyelembe véve a külföldi tapasztalatokat és eredményeket.

A továbbiakban felmerül az a kérdés, hogy a növénytakaró miért nem hasznosítja fokozott mértékben a szabad légköri CO_2-készletet. Ennek magyarázatát a következőkben foglalhatjuk össze. A *C-3* fotoszintézis típusú növényeknél a fénytelítés viszonylag alacsony, így a maximális fotoszintézis 15—35 mg CO_2/dm^2 óra. A *C-4 típusú növények képesek a CO_2-tartalékok hasznosítására*, ugyanis ezeknél a fénytelítés több mint 100 kilolux, s a maximális fotoszintézis 30—45 mg CO_2/dm^2 óra; az említett növénycsoportban az egységnyi levélfelület 2—3-szoros szárazanyag előállítására képes a *C-3* típusú növényekkel szemben.

IRODALOM

BÉLL B.: A troposzféra éghajlata Magyarország fölött. Orsz. Meteor. Int. Kisebb Kiadv., 28, Akadémiai Kiadó, Budapest, **63,** 1954.

BISCHOF, W.: Carbon dioxide concentration in the upper atmosphere and lower stratosphere. II, Tellus, **23,** 558—561, 1971.

BOLIN, B.—W. BISCHOF: Variation of the carbondioxide content of the atmosphere in northern hemisphere. Tellus, **22,** 431—442, 1970.

BÖRGER, P.: Photosynthese in globaler Sicht. Naturwiss. Rundschau, **28,** 429—435, 1975.

EVANS, L. T.: Environmental control of plant growth. Academic Press, New York, 449, 1963.

HUBER, B.: Die CO_2-Koncentration in Pflanzengesellschaften. (in: RUHLAND, W. Handbuch der Pflanzenphysiologie. V/2, Heidelberg), 339—348, 1960.

OESGER et al.: A box diffusion model to the carbon dioxide exchange in nature. Tellus, **27,** 168—192, 1975.

SZÁSZ G.: Energetikai tényezők hatása a gyep potenciális termésére. Debreceni Agrártud. Egyet. Tud. Közl., 91—92, 1974.

SZÁSZ G.: A szoláris energia hasznosulása a szántóföldi növénytermesztésben. Agrártud. Egyetem, Debrecen, **59,** 1978.

SZÁSZ G.: A klímaérték fogalma, meghatározásának módjai és értékei Magyarországon. Agrártudományi Egyetem, Debrecen, 73, 1979.

THE EFFECT OF THE VARIATION OF ATMOSPHERIC CARBON DIOXIDE CONCENTRATION ON THE PRODUCTIVITY OF CULTIVATED PLANTS

G. SZÁSZ

Abstract

The concentration of carbon dioxide in the atmosphere reveals relatively large variations. Changes in space and time within the lower 0—2 km layer of the atmosphere are investigated, using observations carried out during the last 15 years. The increase of CO_2 concentration is firmly proved. The increased concentration — as one of the anthropogenic influences — has a marked effect not only on the atmospheric processes but also on the productivity of plants on the earth's surface. Therefore, future trend of CO_2 concentration should be followed with attention from the ecological point of view, too.

In the paper an aerodynamical model is presented, and the primary productivity of plants as a function of the change in CO_2 concentration is discussed.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В АТМОСФЕРЕ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

Г. САС

Резюме

Концентрация углекислого газа в атмосфере изменяется в сравнительно широких пределах. В работе изучается изменения этой концентрации во времени и пространстве для нижнего слоя атмосферы от 0 до 2 км, с использованием результатов исследований, проведенных за последние 15 лет. Увеличение концентрации CO_2 доказано. Увеличенная концентрация — как один из антропогенных эффектов — влияет не только на атмосферные процессы, но и на продуктивность растительного покрова поверхности земли. В связи с этим в будущем необходимо уделять повышенное внимание изучению изменения концентрации CO_2 в атмосфере и с экологической точки зрения.

В работе представляется аэродинамическая модель, позволяющая изучать первичную продуктивность растений в зависимости от изменения концентрации.

VÁROSKLÍMA ÉS VÁROSTERVEZÉS

PROBÁLD FERENC
A FÖLDRAJZTUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

1. *Az éghajlati jelenségek térbeli dimenziói és szerepük a tervezésben*

A 20. század alkonyán a társadalom és az éghajlat kapcsolata fordulóponthoz érkezett: a földfelszín átformálása, a légkör energia- és anyagforgalmába való emberi beavatkozás immár olyan fokot ért el, hogy regionális, sőt globális méretű klímaváltozás elindítója lehet. Mindamellett *az emberi tevékenység éghajlati hatásai továbbra is elsősorban a felszíni határréteg sajátos mezo- és mikroklímatereiben nyilvánulnak meg*, és itt nyílik lehetőség a levegőkörnyezetnek a tervezés eszközeivel történő tudatos, kedvező irányú alakítására is.

Az ember életének és gazdasági aktivitásának fő színterei a *városok*. A városépítés és az éghajlat kapcsolatára elemi szinten már az ókori Róma nagy építésze, VITRUVIUS rámutatott. „Építendő városok helyének megválasztásában első és legfontosabb követelmény, hogy a hely egészséges legyen. Megfelelő, ha magasan fekszik, ha nincs ködnek és dérnek kitéve, és ha sem forró, sem a hideg, hanem a mérsékelt égtáj felé fordul . . . Ha az egyes vidékek éghajlatuk szerint különböznek, akkor kétségkívül ennek megfelelően kell a házépítés törvényeit is megállapítani" — írta „*Tíz könyv az építészetről*" című művében. Az éghajlati szempontból ésszerű településtervezés fontosságát korunkban a rohamos urbanizáció erősen fokozta. 1800-ban Földünk lakóinak mindössze 2,4%-a élt városokban — napjainkban viszont ez az arány már 50% felé közeledik. A múlt század derekán a világon csupán 4 város érte el a milliós lélekszámot; ma az ilyen metropolisok száma 200-ra tehető. A városok tervezőire s építőire tehát példátlan felelősség nehezedik: az emberiség felének egészsége és jó közérzete van kezükbe letéve.

Az urbanizációs ártalmaktól mentes, egészséges, kellemes lakóhelyi környezet megteremtése a levegőminőségi követelmények teljesítésén túl a biológiailag előnyös mikroklimatikus feltételek létrehozását is magában foglalja. E feladatok megoldása elképzelhetetlen a *meteorológia* tudományos eredményeinek alkalmazása nélkül. A települések levegőkörnyezete különböző léptékű fizikai folyamatok eredményeképpen alakul ki, s ezeknek a tervezés különböző területein eltérő jelentőségük van (I. táblázat). A regionális tervezés igényeit rendszerint kielégíti a nagy térségekre jellemző makroklíma ismerete, amelyhez sok évtizedet átfogó éghajlati adatfeldolgozások állnak rendelkezésre. A várostervezés és városfejlesztés területén, az általános és részletes rendezési

I. táblázat

Az éghajlati jelenségek térbeli dimenziói és jelentőségük a tervezés szempontjából

Éghajlat	Érintett terület nagyságrendje (km^2)	Függőleges kiterjedés nagyságrendje (m)	Példa az éghajlati jelenségre	Jelentőség a tervezésben		
				regionális tervezés	várostervezés	épülettervezés
Mikroklíma	10^{-6}—10^{-2}	10^{-1}—10^{0}	Talajközeli légrétegek éghajlata pl. utcák, terek, udvarok, parkok területén	—	—	+
Mezoklíma Terepklíma	10^{-2}—10^{1}	10^{1}	Különböző lejtők, völgyek, vízpartok, homogén beépítésű települések, városrészek éghajlata	—	+	+
Helyi (lokális) klíma	10^{1}—10^{3}	10^{2}	Kisebb medencék, tavak, városok éghajlata	—	+	+
Makroklíma Regionális klíma	10^{3}—10^{6}	10^{3}	Hegységek, hegyvidékek, tágas medencék, síkságok éghajlata	+	+	+
Zonális klíma	10^{6}—10^{7}	10^{4}	Földrajzi övezetek éghajlata	+	+	+

tervek elkészítésekor azonban már *figyelembe kell venni* azokat a szűkebb térbeli dimenziók közt érvényesülő *mezoklimatikus hatásokat* is, melyeket a terepviszonyokon kívül elsősorban maga a város eredményez. Az építési szabványokat a helyi városi éghajlat adatai alapján kell alkalmazni, és számot kell vetni a tervezési döntések mezo- és mikroklimatikus következményeivel is.

2. *A városi levegőkörnyezet humán bioklimatológiai értékelése*

Ismeretes, hogy a városok területén úgyszólván valamennyi éghajlati elem értékei módosulnak; a sajátos városklíma kialakulásával és jellemzésével széles körű szakirodalom foglalkozik. Célunk ezúttal annak megvizsgálása: hazánk feltételei között a városok spontán kialakult helyi éghajlata mennyiben tekinthető kedvezőtlennek, ill. kedvezőnek az ott élő lakosság szempontjából. A humán bioklimatológiai értékelés alapjául a hőérzetet meghatározó (komfort-releváns) éghajlati elemek antropogén módosulásának jellege és mértéke szolgált (II. táblázat).

Egy-egy éghajlati elem hatásának értékeléséhez 3—5 olyan mutatót használtunk fel, amelyek többé-kevésbé függetlenek, s így egymáshoz képest többlet-információt tartalmaznak. Külön szerepel pl. a táblázatban a napfénytartam és az összsugárzás; az utóbbit ti. a napfénytartamon kívül a felhőzet

minősége, valamint a levegő szennyezettségéből és vízgőztartalmából származó homályosság is befolyásolja. Nem tüntettük fel viszont külön a napfénytartamot és a borultságot, hiszen e két jellemző egymásnak szinte tükörképe, s ezért biológiai hatásuk is összevontan vehető számításba.

Mind a pozitív, mind a negatív hatásokat a vizsgált éghajlati jellemzők városi eltérésének mértékétől és biológiai jelentőségétől függően három fokozattal értékeltük a táblázatban. Mivel az egyes eltérések bioklimatiológiai szempontból télen és nyáron igen különbözőképpen minősíthetők, az értékelés a két félévre vonatkozóan külön-külön történt. Néhány klímaelem városi eltérése még így sem ítélhető meg egyértelműen: pl. a téli félévben a közepes szélsebesség mérséklődése csökkenti a lehűlési értéket, tehát előnyös a komfortviszonyok szempontjából, ugyanakkor kedvezőtlen, hogy lassítja a levegőszennyeződés felhígulását és elszállítódását.

Munkánk célkitűzéséből adódóan a levegő minőségének hatását ezúttal nem vettük vizsgálat alá. Mivel azonban a levegőkörnyezet megbonthatatlan egységet alkot, a légszennyeződés mértékét befolyásoló szélviszonyok, valamint a légszennyeződés hatását közvetlenül magukon viselő sugárzás-viszonyok értékelését áttekintésünk tartalmazza.

A II. táblázat anyagából az alábbi összefoglaló következtetéseket vonhatjuk le:

a) A város az egyes meteorológiai elemeket igen különböző mértékben, *részben kedvező, részben kedvezőtlen irányban* módosítja. Az eltérések jellege *évszakonként is változik.*

b) A városi hatások *összességükben* télen és nyáron egyaránt *kedvezőtlenek.* Ennek ellenére pusztán a klasszikus meteorológiai elemek módosulása alapján *a városklíma nem tekinthető az egészségre károsnak.* Erre utal egyebek között, hogy a légköri jelenségek és folyamatok hasonló együttese — más földrajzi helyen — természetes körülmények közt is előfordul. *A városklíma egészségkárosító hatása — ahol ilyen kimutatható — a levegő szennyezettségére vezethető vissza.*

c) A városok éghajlata a természetes klímához viszonyítva kétségtelenül *több terhelő hatást* fejt ki, bizonyos vonásai kellemetlenek, a közérzetet rontják. Télen főképpen a sugárzási viszonyok, nyáron viszont elsősorban a hőmérsékleti viszonyok módosulása előnytelen. Egész éven át hátrányosnak tekinthető a szélviszonyok megváltozása. A légnedvesség helyi eltérésének jelentősége csekély.

A városklíma negatív vonásainak orvoslásához tudnunk kell, hogy a városnak a fejlesztés során alakítható sajátságai miként hatnak az egyes éghajlati elemekre s azok együtteseire. A rendszeres meteorológiai megfigyelések és időszakos terepmérések eredményeiből már egész sor *általános érvényű összefüggés* ismeretes, amelyek alapján a városrendezési beavatkozások helyi éghajlati következményei prognosztizálhatók, és a bioklimatológiai szempontból cél-

II. táblázat

A városi éghajlat sajátságainak értékelése humán bioklimatológiai szempontból

Időszak	I. HŐMÉRSÉKLET										Hatás évi összeg
	Felszínhőmérséklet		Napi középhőmérséklet		Maximum		Minimum		Napi ingás		
	Eltérés	Hatás	Eltérés	Hatás	Eltérés	Hatás	Eltérés	Hatás	Eltérés	Hatás	
Tél	kissé magasabb gasabb	+	magasabb, kisebb hőfokhíd	+	magasabb, kevesebb téli nap	+	magasabb, kevesebb zord nap	+	kisebb	+	+5
Nyár	magasabb, fokozott hősugárzás	− − −	magasabb	− −	magasabb, több nyári és hőség nap	− −	magasabb, több meleg éjszaka	− −	kisebb	+ −	−9
Év	negatív	−2	negatív	−1	negatív	−1	negatív	−1	pozitív	+1	−4

	II. SUGÁRZÁS										
	Napfénytartam		Összsugárzás		Megvilágítás		UV-sugárzás			.	
Tél	rövidebb, több felhőzet, kevesebb derült, több borult nap	− − −	csekélyebb	− −	gyengébb	− −	csekélyebb	− − −	.	.	−10
Nyár	kissé rövidebb		kissé csekélyebb	+	kissé csekélyebb	+	alig csekélyebb	Ø	.	.	+2
Év	negatív	−3	negatív	−1	negatív	−1	negatív	−3	.	.	−8

III. LÉGNEDVESSÉG, CSAPADÉK

	Relatív nedvesség		Páranyomás		Köd		Csapadékmennyiség		.	.	
Tél	kisebb	+	alig eltérő	Ø	gyakoribb	− − −	alig eltérő	Ø	.	.	−2
Nyár	kisebb	+	kissé csekélyebb	+	alig eltérő	Ø	kissé több	Ø	.	.	+2
Év	pozitív	+2	pozitív	+1	negatív	−3	közömbös	Ø	.	.	0

IV. SZÉL

	Közepes szélsebesség		Erős széllökés		Szélcsend		.	.	.	.	
Tél	kisebb	+ −	ritkább	+	gyakoribb	− − −	.	.	.	.	−2
Nyár	kisebb	− −	ritkább	+	gyakoribb	− − −	.	.	.	.	+2
Év	negatív	−2	pozitív	+2	negatív	−6	.	.	.	.	−6

I. + II. + III. + IV. ÉGHAJLATI JELLEMZŐK KUMULATÍV HATÁSA

Tél	−9
Nyár	−9
Év	−18

Jelmagyarázat: − csekély negatív hatás; − − negatív hatás; − − − jelentős negatív hatás; + pozitív hatás; Ø közömbös hatás

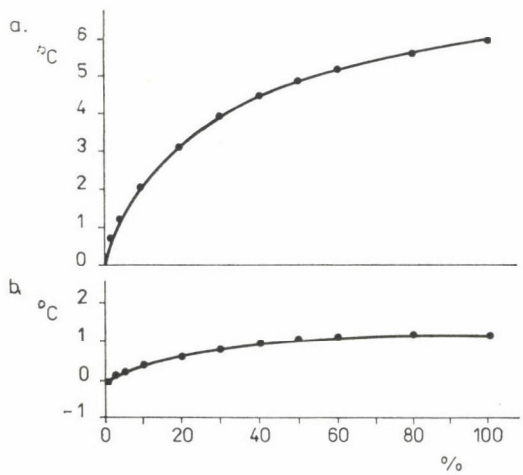
szerű várostervezési irányelvek megfogalmazhatók. A továbbiakban — példaként — néhány ilyen összefüggést mutatunk be, utalva röviden a belőlük levonható tanulságokra is.

3. *A városklíma-vizsgálatok néhány tanulsága*

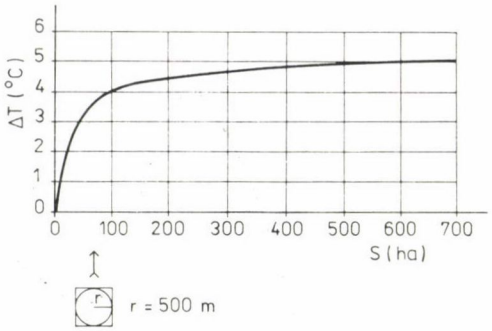
A beépített és a természetes felszín eltérő energiaháztartásából következik, hogy a városokban a levegő hőmérséklete magasabb; kialakul a hősziget, amely nyáron a városklíma legkellemetlenebb vonása. A hősziget erőssége függ a nap- és évszaktól, az időjárástól; legteljesebb kifejlődése derült, szélcsendes nyári éjszakákon tapasztalható. Az európai városok és természetes környezetük között 1,5—2 m magasban előforduló maximális hőmérséklet-különbség (ΔT_{u-r}) és a városok nagysága (lakosság száma, P) között Oke (1973) az alábbi empirikus összefüggést állapította meg:

$$\Delta T_{u-r} = 2 \log P - 4.$$

Ez a sztochasztikus összefüggés jól mutatja a regionális klíma és a helyi éghajlat között lehetséges eltérést, de elfedi azt a tényt, hogy a város méretén kívül a város szerkezete, elsősorban a *zöldfelületek aránya, mérete, elosztása és jellege* is befolyásolja a hőmérsékleti többletet, amely az említett tényezők változtatásával hatékonyan mérsékelhető. Myrup (1969) és Oke (1972) energiaháztartási modell segítségével vizsgálták a párologtató felszínek (aktív zöldfelületek) arányának és hűtő hatásának kapcsolatát. Eredményeik azt jelzik, hogy már a zöldfelületek 30%-os — tehát reálisan tervezhető — részaránya elegendő a maximális hőmérsékleti hatás 60%-ának kifejtéséhez (1. ábra).



1. ábra. Összefüggés az aktív zöldfelületek részaránya és hőmérséklet-csökkentő hatása között. a = maximumhőmérséklet; b = minimumhőmérséklet



2. ábra. Összefüggés a zöldterületek mérete és hőmérséklet-csökkentő hatása között

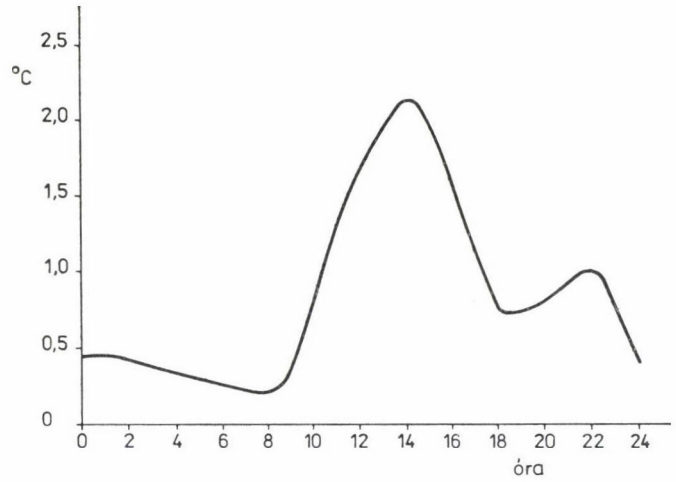
Az összefüggő zöldterületek mérete (*S: ha*) és a kövezett városi terekhez képest kimutatható hőmérséklet-csökkenés (ΔT) között KRASZNOSCSEKOVA és munkatársai, (l. BVTV 1978) az alábbi kapcsolatot tárták fel (2. ábra):

$$\Delta T = aS^b.$$

Moszkvában nyári délutánokon az egyenlet állandói $a = 2{,}1$ és $b = 0{,}134$ értéket vettek fel. Az összefüggés — melyet budapesti időszakos mérések eredményei is igazolnak — azt mutatja, hogy a zöldterületek méretének növelésével azok hőmérsékleti hatása eleinte gyorsan fokozódik, 100 hektár fölött azonban már csak keveset változik. Ez összhangban van azzal az általánosítható tapasztalattal, hogy a hőmérsékleti viszonyokat főként a mérőhely 500 m sugarú körzetének beépítettsége szabja meg (CHANDLER, 1970). Következik ebből, hogy a városi hősziget tompítására egyenletesen elosztott kis zöldfelületek helyett sűrűn beépített és parkosított sávok váltogatása is alkalmas; az utóbbi megoldás költségei rendszerint alacsonyabbak.

A zöldfelületek állományösszetétele és gondozottsága sem közömbös a klimatikus hatás szempontjából; erre vall egyebek közt a JATE Éghajlattani Tanszéke által Szegeden 1973 augusztusában végzett mérések — ugyancsak általánosítható — tanulsága. A másfél-két évtizeddel korábban épült, jól fásított Ogyessza lakótelep derült nyári napokon mindig hűvösebb volt, mint a zöldfelületekkel jobban ellátott új Tarján lakótelep, ahol a fiatal facsemeték még alig hatottak a mikroklímára. Figyelemre méltó, hogy a fásítás előnyös hatásai éppen a forró déli órákban a legnagyobbak (3. ábra). Egyébiránt a különböző városi mikroklíma-terek között az emberek *hőérzete* jóval nagyobb el; téréseket jelez, mint azt pusztán a léghőmérséklet alapján feltételezhetnénk, a környező felszínek fokozott hősugárzása és a légmozgások lelassulása ugyanis szintén kedvezőtlenül befolyásolja a szervezet hőháztartását (GAJZÁGÓ, 1972).

A hőérzeti komfort javítása és a felszínközeli forrásokból származó légszennyező anyagok elszállítása szempontjából is lényeges a megfelelő *átszellőzés*, ami az utak, épületek, parkok, cserje- és fasorok célszerű méretezését és el-

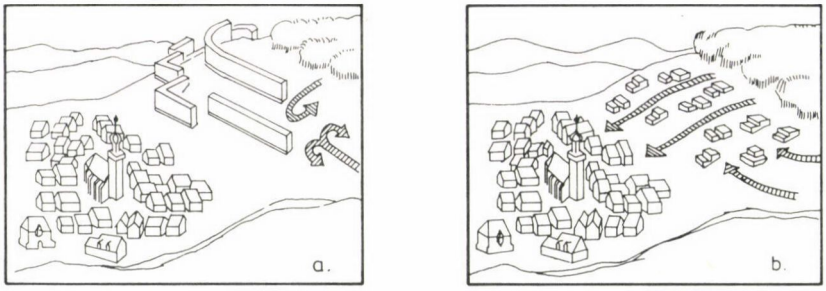


3. ábra. Két eltérően fásított szegedi lakótelep hőmérséklet-különbségének napi járása (1973. aug.)

rendezését kívánja meg. A részletes rendezési tervekhez e vonatkozásban szélcsatorna-modellkísérletek nyújthatnak értékes támpontot (PAÁR, 1976). Ilyen kísérletek végzésének természetesen csak akkor van értelme, ha ismeretes a különböző szélirányok előfordulásának éghajlati valószínűsége az építkezésre kijelölt helyen. Városaink nagy része azonban dombos térszínen, hegység és síkság találkozási vonalán fekszik, ahol a szélviszonyok kis távolságon belül is jelentékeny eltéréseket mutatnak, és így viszonylag közeli szélmérők gyakorisági szélrózsájának átvétele is komoly tévedési lehetőséget hord magában. Ennek kiküszöbölésére nemrégiben a felszínközeli áramlási mező tipizálásán és a típus-gyakoriságoknak hosszú sorozatú állomáshoz való vonatkoztatásán alapuló módszert dolgoztunk ki, melynek segítségével a szélirányok fellépti valószínűsége a vizsgált terület bármely pontjára előre jelezhető (PROBÁLD, 1980).

Budapesten a felszínközeli áramlási mező az év összes óraközeinek kb. 11%-ában viseli magán a hegy-völgyi és a városi cirkulációk bélyegét. Bár ez az arány nem magas, a *helyi légkörzésekkel* a várostervezésben feltétlenül számolni kell, mivel e légmozgások egyébként szélcsendes időben szállítanak friss levegőt a sűrűn lakott városrészekbe. A Budai-hegység lejtőinek beépítése lassítja a levegő lehűlését az esti órákban, az épületek útját állják a hegy-völgyi szélnek; mindez nehezíti a város „lélegzetvételét". Különösen káros ebből a szempontból a hosszan elnyúló völgyek beépítése, valamint a lejtőkön vagy a hegyek lábánál a szintvonalakkal párhuzamos házsorok, hosszú, magas szalagházak építése (4. ábra). A város belseje felé húzódó sugárirányú zöldterületek viszont javítják az átszellőzés feltételeit (FRANKE, 1977).

A várostervezés számára — mint láttuk — az éghajlati elemek különkülön történő vizsgálatából is fontos tanulságok szűrhetők le. Ez ideig sajnos



4. ábra. Helytelen (a) és helyes (b) beépítés hatása a lejtős és hegylábi térszínek légáramlataira

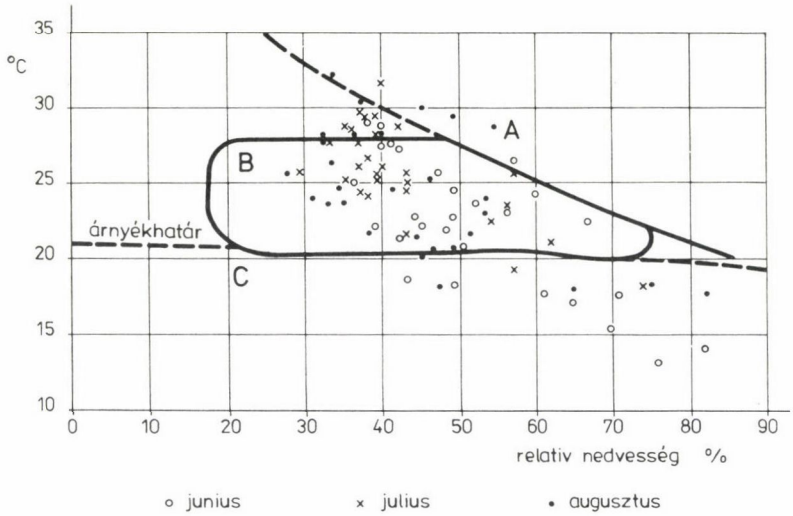
kevés példa van az *éghajlati elemek együtteseinek* tanulmányozására, a meteorológusok és építészek által kidolgozott komfort-indexek (LANDSBERG, 1972), alkalmazására szabadtéri feltételek között. Az ilyen típusú adatfeldolgozások egyik lehetőségét szemlélteti az OLGYAY (1967) által szerkesztett bioklímadiagram (5. ábra), amely a hőmérséklet és a légnedvesség együttes figyelembevételén alapul. A diagram középső sávja jelzi a komfort-zónát (*B*), ahol a levegő fizikai állapota árnyékban kellemes hőérzetet kelt. A diagram felső tartományában (*A*) a szervezet hőterhelését a levegő mozgása csökkentheti, míg az alsó — hideg — tartományban (*C*) a kellemes hőérzet sugárzással lenne helyreállítható. A diagram alapján vizsgálható valamely helyen, adott időszakban a jelzett komfort-tartományok előfordulási gyakorisága (III. táblázat).

III. táblázat

Különböző komfort-tartományok előfordulásának relatív gyakorisága %-ban. (Budapest Kitaibel Pál u., 1956)

		8^h	10^h	12^h	14^h	16^h	18^h	20^h	22^h	8^h—22^h
június	A	—	—	10	13	17	10	—	3	7
	B	30	53	50	57	43	40	37	13	40
	C	70	47	40	30	40	50	63	83	53
július	A	—	3	16	35	32	16	7	3	14
	B	48	84	77	58	58	74	77	45	65
	C	52	13	7	7	10	10	16	52	21
aug.	A	—	3	19	32	42	26	16	3	18
	B	32	55	58	55	48	55	39	36	47
	C	68	42	23	13	10	19	45	61	35

Adatfeldolgozásunkból kitűnik, hogy Budapesten a szabadtéri komfortfeltételek létrejöttéhez nyáron a nappali órák jelentős részében árnyékolásra van szükség; ritkábban fordul elő, hogy az erős hőterhelés még légmozgások iránt is igényt támasztana. Természetesen a különböző jellegű városi környezetek komfort-viszonyai csak több ponton egyidejűleg végzett mérések tükré-



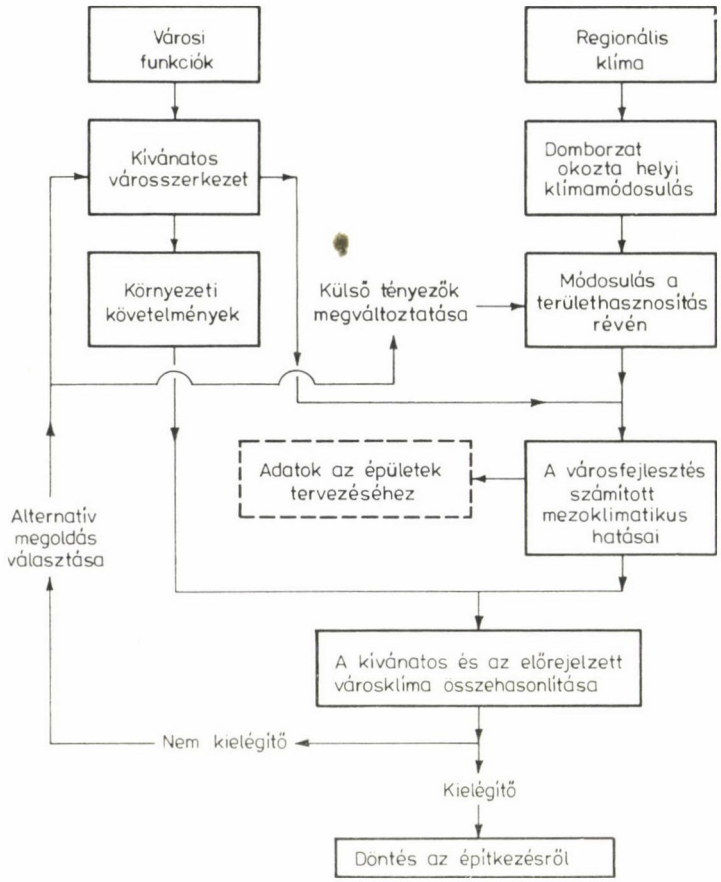
5. ábra. OLGYAY-féle bioklíma-diagram. Az ábra az 1956 nyári hónapjaiban 14 órakor Budapesten mért hőmérséklet- és légnedvesség-értékeket tünteti fel

ben lennének összehasonlíthatók. A kifejezetten bioklimatológiai jellegű adatfeldolgozások és mérési programok a jövőben — remélhetőleg — tágabb teret kapnak a hazai kutatásokban. A várostervezés szemszögéből elsősorban a szabadban való huzamosabb tartózkodásra szolgáló térségek és időszakok (főként a nyári nappali órák) komfort-feltételeinek behatóbb vizsgálata lenne kívánatos.

4. *Levegőkörnyezeti szempontok figyelembevétele a tervezési döntésekben*

Az eddigiekben idézett példák érzékeltetik, hogy a városklimatológia nemcsak az építési szabványok alkalmazásához szükséges *helyi* éghajlati adatok szolgáltatásával, hanem a tervezési döntések várható levegőkörnyezeti hatásának — kvantitatív vagy kvalitatív — előrejelzésével is segítheti a városfejlesztést. Ennek előfeltétele a műszaki és a meteorológus szakemberek együttműködése a tervezési alternatívák levegőkörnyezeti szempontból történő értékelésében, a meteorológiai információk figyelembevétele a tervezési döntéshozatal folyamatában (6. ábra).

A városi levegőkörnyezet tervszerű megjavítását is megelőzi fontossága szerint *a meglevő klimatikus értékek számbavétele*, a különösen kedvező adottságú területek védelme; ezt a szempontot már az általános rendezési tervek készí. tésekor, a területfelhasználás módjának kijelölésekor érvényesíteni kell. A magyarországi éghajlat általános sajátosságainak, valamint a városklíma negatív vonásainak ismeretében a városlakó szempontjából az a levegőkörnye-



6. ábra. A helyi éghajlat értékelését és várható változásait figyelembe vevő tervezési döntési modell (CHANDLER [1976] nyomán, egyszerűsítve)

zet minősíthető különösen kedvezőnek, amely kitűnik *a)* tiszta levegőjével, továbbá *b)* nyáron hűvösségével, ill. *c)* télen sugárzásban való gazdagságával.

Az ilyen kedvező levegőkörnyezetű területek létrejöttében mindig bizonyos természeti adottságok (domborzat, relatív magasság, nagyobb vízfelületek hatása a parti sávban, növénytakaró) játszanak közre. Mérési adatokkal jól igazolható, hogy pl. fővárosunkban a Budai-hegység — főleg annak 400 m-nél nagyobb tengerszint feletti magasságba emelkedő része —, valamint a Duna kisebb szigetei és részben keskeny parti szakaszai tartoznak ebbe a kategóriába. A Budai-hegység levegőkörnyezete az *a)*, *b)* és *c)* pontokban felsorolt mindhárom követelménynek eleget tesz, a dunai szigetek a *b)*, ill. bizonyos fokig az *a)* pont kritériumai alapján minősülnek különösen kedvezőnek (PROBÁLD, 1974). A minősítéshez abszolút mérce nem adható, az illető város általános adottságaihoz való viszonyítás jelenti az alapot.

Mivel az említett területek egy-egy városban és közvetlen környékén általában korlátozott kiterjedésűek, kedvező levegőkörnyezetük pótolhatatlan természeti értéket jelent, és így *kiemelt védelmet* érdemel. Ennek célja, hogy a levegőkörnyezet megváltoztatására, leromlására vezető beépítést, az ipari, közlekedési eredetű levegőszennyeződést és zajt stb. megakadályozza. A különösen kedvező levegőkörnyezetű területek hasznosításában a *közhasználatú zöldterületi* funkciónak kell elsőbbséget adni. Emellett *klímaigényes közintézmények*, mint kórházak, szanatóriumok, sportlétesítmények telepítése jöhet számításba. Csak az említett igények kielégítése után jelölhető ki a maradék rész laza beépítésű üdülőterületi, esetleg — kivételképpen — lakóterületi hasznosításra.

A különösen kedvező levegőkörnyezetű s az egész város éghajlatára előnyös befolyást gyakorló területek beépítése tehát nem kívánatos. Hasonlóképpen helytelen a lakóterületi fejlesztés ott, ahol a levegőkörnyezeti adottságok *különösen kedvezőtlenek*, és távlatilag sem javíthatók megfelelő mértékben. A természeti adottságokhoz kapcsolódó kedvezőtlen helyi klíma (pl. szűk völgyek, hegytetők, vizenyős területek esetében) éppúgy kizáró ok lehet, mint a nagyfokú zaj vagy légszennyezettség.

A város éghajlati sajátságai és levegőjének minősége több vonatkozásban — pl. az átszellőzés vagy a sugárzási viszonyok alakulása terén — összefüggnek egymással, s együttesen alkotják a *levegőkörnyezetet*, a város komplex környezeti rendszerének fontos elemét. A levegőkörnyezet tervszerű alakítása, fejlesztése a jövőben az urbanisztika és a meteorológia határterületén születő kutatási eredmények egyre céltudatosabb, átgondoltabb felhasználását követeli meg.

IRODALOM

CHANDLER, T. J.: Urban Climatology — Inventory and Prospect. Urban Climates. WMO Technical Note, **108,** 1—14, 1970.

CHANDLER, T. J.: Urban Climatology and its Relevance to Urban Design. WMO Technical Note, 149, 1976.

FRANKE, E. (szerk.): Stadtklima. Ergebnisse und Aspekte für die Stadtplanung. Krämer Verlag, Stuttgart, 1977.

GAJZÁGÓ, L.: Outdoor Microclimates and Human Comfort. Teaching the Teachers on Building Climatology. Stockholm, 1972.

LANDSBERG, H. E.: The Assessment of Human Bioclimate. WMO Technical Note, 123, 1972.

MYRUP, L. O.: A Numerical Model of the Urban Heat Island. J. Appl. Met., **8,** 295—299, 1969.

OKE, T. R.: City Size and Urban Heat Island. Atmospheric Environment, **7,** 769—779, 1973.

OLGYAY, V.: Design with Climate. University Press, Princeton, 1967.

PAÁR B.: A városi hősziget jelensége és városszellőzésre gyakorolt hatása. Épületgépészet, **25,** 3—7, 1976.

PROBÁLD F.: Budapest városklímája. Akadémiai Kiadó, Bp., 1974.

PROBÁLD F.: A felszínközeli áramlási mező típusai Budapesten. Földrajzi Értesítő, **29,** 171—192, 1980.

BVTV: A városi környezet átalakítása (a környezet védelmének és egészségesebbé tételének kérdései). Közös kutatások a Szovjetunió és a Magyar Népköztársaság közötti műszaki-tudományos együttműködési terv alapján. Moszkva—Budapest, 1978.

URBAN CLIMATE AND CITY PLANNING

F. PROBÁLD

Abstract

Climatic processes of different scales have different impacts on planning procedures: city planning requires not only the knowledge of macro-climate, but also of the structure of meso-climate and the prediction of its changes. Using a number of indexes, a bioclimatological evaluation of urban air quality is given, and some unfavourable deviations from the natural environment are revealed. Local climate can be improved by means of city planning, e. g., influencing the intensity of the development of urban heat island, or increasing the ventillation of the urban area. The utilization of meteorological information in the course of city planning is urged.

ГОРОДСКОЙ КЛИМАТ И ПЛАНИРОВАНИЕ ГОРОДОВ

Ф. ПРОБАЛД

Резюме

Климатические процессы различного масштаба имеют различное значение для планирования; планирование городов требует знания не только макроклимата, но и мезоклимата, а также предсказания его изменений. С использованием ряда показателей дается биоклиматологическая оценка качества городского воздуха и выявляются его некоторые отрицательные отклонения от природных условий. Метеорологическими исследованиями был выявлен ряд обобщаемых взаимосвязей, на основе которых локальный климат может быть улучшен средствами планирования. В качестве примера можно привести методы воздействия на интенсивность городского острова тепла или на условия вентиляции городской среды. Автором предлагается более широкое использование метеорологической информации при планировании городов.

A FÖLD ULTRAVIOLA SUGÁRZÁSÉGHAJLATÁNAK EMBERI TEVÉKENYSÉG OKOZTA VÁLTOZÁSAI ÉS A VÁLTOZÁSOK HATÁSA A BIOSZFÉRÁBAN

KOVÁCSNÉ PATAKI MÁRTA

1979 februárjában az Éghajlati Világkonferencia felhívással fordult a nemzetek felé: „*Hasznosítsák fokozott mértékben az éghajlati adottságokra vonatkozó jelenlegi ismereteket. Tegyenek meg mindent ezen ismeretek jelentős bővítése érdekében, továbbá az emberi tevékenység miatt várható éghajlatváltozások előrejelzésére és megelőzésére.*" [1].

Ennek megfelelően, az Éghajlati Világprogram többek között célul tűzte ki:

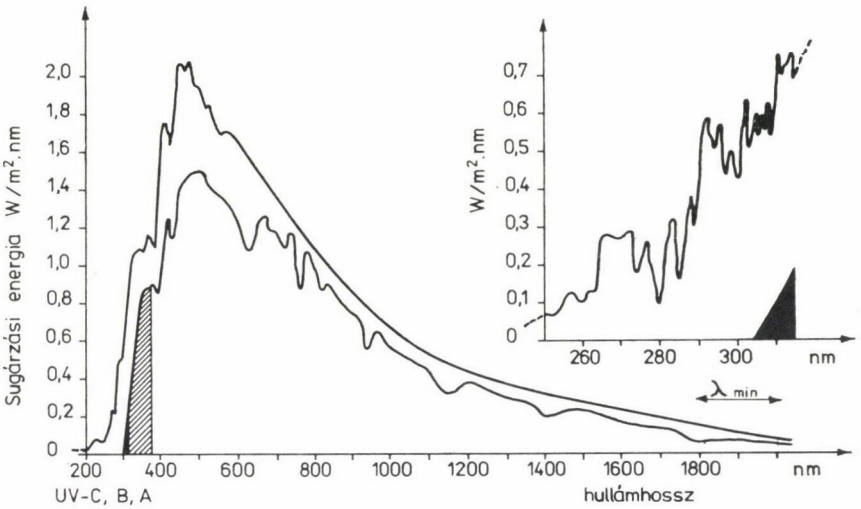
— a globális és mezoléptékű klímákra és változásaikra vonatkozó ismeretek bővítését
— az ezeket irányító mechanizmusok megértésének tökéletesítését,
— az emberi tevékenység éghajlatra gyakorolt hatásának pontosabb becslését, valamint
— az éghajlatváltozások és az emberi egészség kapcsolatának tanulmányozását.

Az előadás

— a Föld ultraviola sugárzásléghajlatát kialakító és annak természetes változásait okozó mechanizmusokat
— az emberi tevékenységnek a Föld ultraviola sugárzásléghajlatára gyakorolt — észlelt és feltételezett — hatásait
— valamint a Föld ultraviola sugárzásléghajlatában, hosszabb időtávon, emberi tevékenység miatt várható változásnak az emberi egészséggel és az ember élő környezetével való kapcsolatát

tárgyalja.

Az 1. ábra felső görbéje az extraterresztrikus napspektrumot mutatja, alsó görbéje pedig a talajközeli színkép. Ezeken jól láthatjuk, hogy a 380 nm-nél rövidebb hullámhosszú ultraviola sugárzási tartomány a teljes napsugárzásnak csak kicsiny energiahányadát képezi. Számszerűsítve: a teljes spektrumú, azaz 380 nm-nél rövidebb hullámhosszú ultraviola sugárzás a légkör külső határán kb. 7%-a a teljes (azaz X, UV, látható, IR és rádió hullámhosszakból álló) elektromágneses napspektrumnak. Ezen belül a 315—380 nm közötti UV-A tartomány 5, a 290—315 nm közötti UV-B tartomány pedig



1. ábra. Extraterresztrikus és talajközeli napspektrum

kb. 1%. A fennmaradó 1% a troposzférába le nem érkező, 290 nm-nél rövidebb hullámhosszú ultraviola-C, távoli UV és röntgen sugárzás.

A talajközelben közepes földrajzi szélességeken, derült és tiszta levegőjű nyári napon, délben, a vízszintes felületegységre érkező közvetlen + szórt sugárzás spektrumában az UV-A sugárzás a teljes leérkező napsugárzásnak kb. 4%-a, az UV-B sugárzás viszont csupán ezredrésznyi energiahányada [2].

Ezért a troposzféra dinamikájában, tehát az időjárás és éghajlat kialakításában az UV sugárzás nem játszik jelentős szerepet.

Azonban az $E = h \cdot c/\lambda$ egyenlet értelmében, amely szerint éppen a rövidebb hullámhosszú sugárzás fotonjainak energiája nagyobb, az UV sugárzás a napspektrum fotokémiailag leghatékonyabb tartománya. Tiszta légkörben kiváltott fotokémiai hatásait az I. táblázat foglalja röviden össze: A 134 nm-nél rövidebb hullámhosszú ionizáló UV és röntgen sugárzás hozza létre az ionoszféra jellegzetes réteges szerkezetét és hőmérsékleti struktúráját. A sztratoszféra ózontartalmának s ezen keresztül a sztratoszféra termodinamikájának és transzport mechanizmusának létrehozásában elsősorban a vastag nyíllal jelölt reakciók, azaz az oxigént fotolizáló 190 nm-nél rövidebb és az ózont fotodisszociáló 313 nm-nél rövidebb hullámhosszak aktívak. Ezért a légkörön való áthaladás során az UV-B hullámhosszak nagyobb mértékű elnyelődést szenvednek, mint a látható és az UV-A sugárzás. A leérkező legrövidebb hullámhossz — a λ_{min} — 290 nm körül a légkör ózontartalmától és a sugárzásnak ózonrétegen át megtett úthosszától függően változik. A még rövidebb UV hullámhosszak energiája pedig a légkörben kiváltott folyamatokra teljesen fölemésztődik. Közismert kifejezéssel élve: a Föld ózonpajzsa (helyesebben: az ionoszféra és

I. táblázat

Az ultraviola sugárzás és fotokémiai hatásai tiszta légkörben

60 km felett részt vesz az ionoszféra felépítésében:

$NO, O_2, O, N_2 + h \cdot \nu\ (\lambda < 134\ nm) \rightarrow NO^+, O_2^+, O^+, N_2^+, e^-$

10—50 km között létrehozza a Föld „ózonpajzsát":

$$\left.\begin{array}{ll} O_2 + h \cdot \nu\ (\lambda < 190\ nm) & \rightarrow O + O \\ (\lambda < 242\ nm) & \rightarrow \\ O + O_2 + M & \rightarrow O_3 + M \end{array}\right\} \text{ózont képző}$$

és

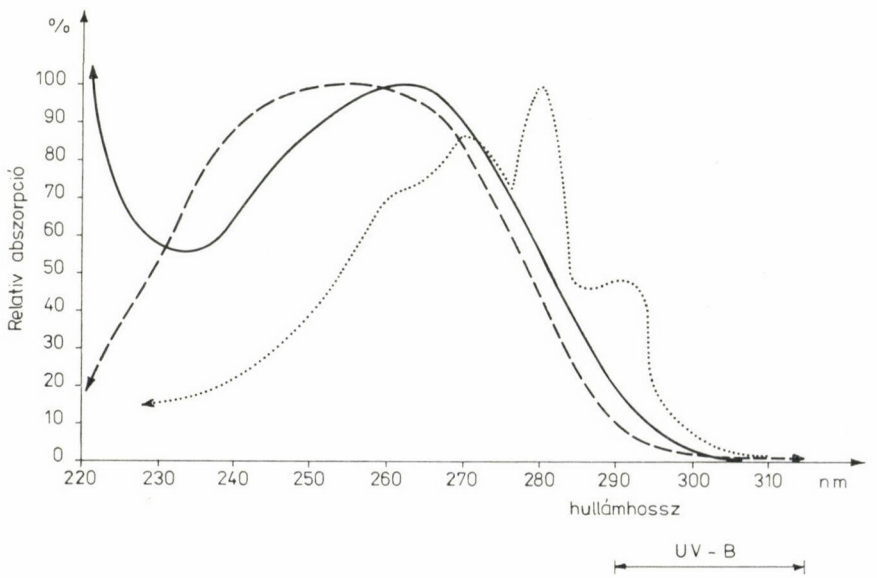
$$\left.\begin{array}{ll} O_3 + h \cdot \nu\ (\lambda < 313\ nm) & \rightarrow O^* + O_2^* \\ (\lambda < 350\ nm) & \rightarrow O + O_2^* \\ (450 < \lambda < 1180\ nm) & \rightarrow O + O_2 \\ O + O_3 & \rightarrow 2\,O_2 \end{array}\right\} \begin{array}{l}\text{ózont} \\ \text{lebontó}\end{array}$$

folyamatok eredményeképpen.

Végeredményként:

A $\lambda \lesssim 290$ nm hullámhosszú sugárzás teljesen elnyelődik,
a $\lambda < 315$ nm hullámhosszú sugárzás erősen abszorbeálódik.

az ózonréteg által képezett légköri szűrő) megvédi a földi életet a reá nézve veszélyes rövidhullámú sugárzástól. A troposzférába leérkező UV sugárzás levegőkémiai és biofotokémiai folyamatokban játszik fontos szerepet. Az időjárás és éghajlat kialakításában teljesen jelentéktelen UV-B sugárzás pl. a bioklíma egyik legfontosabb eleme. Az idő rövidsége lehetetlenné teszi, hogy az UV su-



2. ábra. A DNS, a D-elővitamin és az ózon sugárzáselnyelésének hullámhosszfüggése: — DNS; ..... D-elővitamin; — — — ózon

gárzás biológiai hatásainak sokféleségét részletesen tárgyaljuk; a 2. ábrán — az ózon abszorpciós görbéjével összehasonlításban — csupán a genetikai átörökítő anyagnak (a DNS-nek) és a csontképzésben fontos D-vitamin előanyagának sugárzáselnyelési görbéit mutatom be. Látható, hogy ezek a biológiailag fontos anyagok éppen azt az UV sugárzási sávot abszorbeálják, amelyet a légköri ózon is elnyel. A bioszférába leérkező legrövidebb hullámhosszak; azaz az UV-B tartomány legrövidebb és egyidejűleg — a légköri ózonmennyiség változékonysága miatt — legváltozékonyabb energiájú hullámhosszai tehát egyrészt DNS sérülést okozhatnak, másrészt hatékonyak a D-vitamin képzésében. DNS-re gyakorolt hatásuk bizonyos baktériumsejtek esetében sejtpusztulást vagy mutációt, az emberi bőr túlzott besugárzása esetén bőrrákot okozhat. Az emberi bőrben jelenlevő D-elővitaminra gyakorolt hatásuk kielégítő UV-B besugárzás esetén természetes úton biztosítja a D-vitamin ellátottságot; UV-B sugárzáshiány esetén D-vitamin hiányhoz, nagy mértékű besugárzástöbblet esetén pedig D hypervitaminózishoz vezethet. Az UV-B napsugárzás számos egyéb biológiai hatása közül bőrpigmentképző hatását és az emberi szervezet egészét kedvezően áthangoló élettani folyamatláncolatot kiváltó képességét kell még említenem.

A jelenlegi földi élet a tiszta légkör alatti sugárzásklímákhoz adaptálódott, a természetes sugárzásváltozékonyságot jól tűri. A Föld felszínén az UV sugárzásklímák a közepes napmagasság csökkenésével párhuzamosan zónális eloszlást mutatnak. A zónákon belül a magas hegységek a ritkább és tisztább levegő kisebb sugárzásszórása és a hófelszínek nagyobb sugárzásvisszaverőképessége következtében élveznek általános UV sugárzástöbbletet, az óceánok felett a sugárzási értékeket a reflexió jelensége növeli. A légköri ózon mennyiségétől is függő UV-B sugárzási résztartomány esetében a zonalitást fokozza az ózon eloszlásának az a sajátossága, hogy pólusközeli maximuma és egyenlítőközeli minimuma van. Ezért az ózonmennyiséggel fordított arányban álló UV-B sugárzás a pólusok felé fokozottan csökken. Az UV-B sugárzás esetében további természetes változékonyságot okozhat a Nap rövidhullámú kisugárzásának változásaiból eredő ózonváltozékonyság is, bár meg kell jegyeznem, hogy a Meteorológiai Világszervezet klímaváltozásokkal foglalkozó szakértői testületének véleménye szerint [3] a Nap kisugárzásában lehetséges változások mértéke még tisztázatlan.

Az iparosodás előtt a viszonylag tiszta légkör által átbocsátott sugárzás a világos és sötét bőrszínű emberfajták számára — mindegyiknek a maga természetes földrajzi környezetében — a kedvező élettani hatásokat és élelmiszerforrásaik kedvező produktivitását biztosította.

Az emberi tevékenység UV sugárzáséghajlatra gyakorolt hatásának problémáját először az iparosodás kezdetén gyakorivá váló angolkór — a D-vitamin hiánybetegsége — vetette fel. A betegség gyakori fellépését az angliai típusú füstködök aeroszolrészecskéinek UV-B sugárzást csökkentő hatása

okozta. Ez a probléma az 1930-as évektől — a betegségnek UV lámpa sugárzásával és D-vitamin mesterséges adagolásával történő gyógyítása útján — megoldottnak látszott, azonban az 1950-es évektől kezdődően a Föld légkörének fokozatos elszennyeződése újra felvetette. Különösen élesen vetődött fel a kérdés az alacsony földrajzi szélességekről magasabb földrajzi szélességek nagyvárosaiba költöző sötétbőrű emberekkel kapcsolatban. A nagyvárosi levegőt szennyező aeroszolrészecskéknek sugárzást szóró hatása és a szennyező gázok okozta sugárzáselnyelés következtében az UV sugárzás átlagosan 30—40% veszteséget szenved. Fotokémiai szmogok esetén — amelyek kiváltásában éppen az UV hullámhosszak a legaktívabbak — 90%-os UV-B sugárzásveszteség is fellép, sőt a troposzférába leérkező legrövidebb, biológiailag legaktívabb hullámhosszak (DNS-UV) teljes elnyelést szenvedhetnek.

A sztratoszférikus ózonmennyiség emberi tevékenység miatt várható, feltételezett csökkenésének kérdéseit a II. táblázat segítségével eleveníthetjük fel. 1970—71-ben a levegőkémikusok felvetették azt a gondolatot, hogy a sztratoszférában közlekedő szuperszónikus repülőgépek egyrészt vízgőzt juttatnak a sztratoszférába, másrészt forró hajtóművük — a légköri atomrobbanások tűzgömbjéhez hasonlóan — nitrogénoxiddá alakítja a levegő nitrogénmolekuláit, és az ezek által kiváltott katalitikus láncreakciók csökkenthetik sztratoszférikus ózon mennyiségét. 1974—75-ben pedig felmerült az a gondolat, hogy a halokarbonok, pl. a spray-k hajtógázául és hűtőfolyadékokban használatos $CFCl_3$ és CF_2Cl_2, azaz az ún. freonok csak a troposzférában inaktívak. A sztratoszférába jutva a nagy fotoenergiájú UV sugárzás következtében fotolízist szenvednek, és katalitikus láncreakciókat elindító szabad klór forrássá válnak.

II. táblázat

A sztratoszféra szennyezés hatása az ózonra

atomrobbantások:	NO
SST:	$NO, H_2O + h \cdot \nu (\lambda < 200\ nm) \rightarrow H + OH$
spray-k:	$CF_2Cl_2 + h \cdot \nu (\lambda < 215\ nm) \rightarrow CF_2Cl + Cl$
	$CFCl_3 + h \cdot \nu (\lambda < 226\ nm) \rightarrow CFCl_2 + Cl$
denitrifikáció:	$N_2O + O^* \rightarrow 2\ NO$
algásodás:	$CH_3Cl + h \cdot \nu (\ ?\ ) \rightarrow CH_3 + Cl$
biomassza égés:	$N_2O, CH_3Cl \rightarrow 2\ NO, Cl$

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$$
$$NO_2 + O \rightarrow NO + O_2$$

$$HO + O_3 \rightarrow HO_2 + O_2$$
$$HO_2 + O \rightarrow HO + O_2$$

$$Cl + O_3 \rightarrow ClO + O_2$$
$$ClO + O \rightarrow Cl + O_2$$

Felmerült továbbá az a lehetőség is, hogy az optimális mennyiségen túli műtrágyázás és a rossz azaz anaerob talajszerkezet fokozza a denitrifikáló baktériumok tevékenységét, amelyek dinitrogénoxidot juttatnak a légkörbe. Ez a

sztratoszférában, O* gerjesztett oxigénatomok által kiváltott disszociációja után, nitrogénoxid formájában szintén bekapcsolódik az ózonmolekulákat lebontó katalitikus reakcióláncolatokba.

A katalitikus ciklus lényege, hogy a HO, NO és Cl páratlan számú elektronnal rendelkező szabad gyökök, amelyeknek páros számú elektronnal rendelkező oxigénatommal vagy ózonmolekulával való reakciója során ugyancsak páratlan elektronú HO_2, NO_2, illetve ClO keletkezik. Ezek ismét készségesen reagálnak az oxigén másik páros elektronú változatával, és így egyetlen HO vagy NO molekula, illetve Cl atom az ózonmolekulák sokaságát alakítja vissza oxigénmolekulává. Említésre méltó, hogy már tiszta légkörben is ezek a reakciók: azaz a sztratoszféra természetes vízgőztartalma, denitrifikációból származó NO_x és algák termelte természetes ClO_x tartalma módosítja a légköri ózon fotokémiai úton keletkezett mennyiségét. A sztratoszféra ózonrétegének emberi tevékenység okozta ritkulása mindaddig csak feltételezett, ameddig az ózonmennyiségek mért értékeinek bizonyítottan antropogén hatások miatt fellépett csökkenő trendjét, vagy az UV-B sugárzás emberi tevékenység okozta növekedését nem mutatják ki. Ezt azonban a mért értékekben fellépő változékonyság többbokúsága még sokáig késlelteni fogja.

Ezért az emberi tevékenység miatt várható ózoncsökkenésre és az azt követő UV-B sugárzásnövekedésre vonatkozó becslések jelenleg légköri fotokémiai modellekkel végzett számításokon alapulnak. Egy első közelítésű becslés, hogy a sztratoszferikus ózon mennyiségének 10%-os csökkenése 20% növekedést okozna a DNS-re hatékony UV-B sugárzás erősségében és emiatt kb. 20%-kal nőne a Földön az UV sugárzás okozta bőrrák esetek száma [4]. Továbbá kedvezőtlen változások állnának be a halászat és mezőgazdaság produktivitásában, és beláthatatlan következményű eltolódás lépne fel a mikroorganizmusok természetes összetételében.

A modellszámítások bontakozó eredményei alapján, valamint a ClO-nak és N_2O-nak az északi félteke sztratoszférájában méréssel kimutatott jelenléte miatt a Meteorológiai Világszervezet 1979-es második állásfoglalásában [5] az 1975-ben előrejelzett 10%-ról 15%-ra emelte az ózoncsökkenés várható értékét, kihangsúlyozva a jelenlegi becslések nagy bizonytalanságát, és hogy jelentős ózoncsökkenés valószínűleg csak a felső sztratoszférában várható.

Az azóta eltelt idő kutatási eredményei — amelyeket jól áttekinthetővé tesznek a [6] teljes egészében e témával kapcsolatos 1980. évi különszámának cikkei — fokozódó bizonytalanságot tükröznek az ózoncsökkenés becslése területén. A fotokémiai modellek reakcióláncolataiba ugyanis egyre újabb kémiai kölcsönhatásokat táplálva, és laboratóriumiailag kimért újabb és újabb reakciókoefficienseket alkalmazva, a különböző modellező csoportok egymásnak sokszor ellentmondó eredményeket kapnak. Egy jelentős eredménynek látszik, hogy a növekedő légköri széndioxidmennyiség miatt fellépő sztratoszférabeli hőmérsékletcsökkenés mérsékelheti az ózoncsökkenés mértékét.

Ez a hatás azonban csak akkor mutatkozott jelentősnek, ha az alacsonyabb hőmérsékleteket csak az NO_x reakciócsaládba építették be; ha a ClO_x ciklusra is alkalmazták, az ózoncsökkenés mérséklődésének mértéke kisebbnek mutatkozott. A pontosabb becslések reményét egyrészt egy nemzetközi egyetértés szerint legjobbnak megítélt fotokémiai modell és legjobb reakciókoefficiensek alkalmazásának reménye, másrészt a Globális Megfigyelő Rendszer kibontakozása nyomán remélhető pontosabb és rendszeresebb mérések eredményei jelentik. Napjainkban azonban ez az éghajlatváltozási probléma is felveti a bizonytalanságok melletti döntések dilemmáját.

Mivel a nemzetközi szakirodalomban közölt eredményekben e tudományterületen is olykor gazdasági befolyásoltság tapasztalható, fokozódó jelentősége van a bizonytalanságok csökkentésére irányuló, tiszta tudományos lelkiismereten alapuló, gazdasági befolyásoltságmentes kutatásnak, és a tudományos világszervezetek összehangoló, irányító és ellenőrző szerepének.

A Föld ultraviola sugárzáséghajlatában a távolabbi jövőben, emberi tevékenység miatt várható változás és bioszférabeli hatásainak problémája még ennél is bonyolultabb.

Az ultraviola sugárzás emberi tevékenység miatt várható változása

— a troposzféra aeroszol- és gázszennyezése miatt fellépő általános (UV-B és UV-A) sugárzáscsökkenés
— valamint a sztratoszféra gázszennyeződése következtében várható ózoncsökkenést követő UV-B sugárzásnövekedés

tehát ellentétes hatások eredője.

A különböző ultraviola spektrumtartományok természetes és antropogén változásait, s ezek légköri és élettani hatásait komplex módon szemlélve, az előadásban ismertetetteknél részletesebb megfontolások alapján e témában a következő — hipotetikus — megállapításokra juthatunk:

— Egy végletesen elszennyezett atmoszféra (tropo- és sztratoszféra) esetén a Föld élővilága egy glóbuszi méretű, fotokémiai szmogszerű levegőkörnyezetben, általános (UV-B, UV-A és FAR) besugárzáshiányban élne. Ennek legsúlyosabb következményei: a D-vitamin természetes úton, bőrben való keletkezésének csökkent lehetősége, a bakteriumflóra módosulása, és a fotoszintetikus aktivitás csökkenése lennének.
— Ha a jövő század első negyedére előrejelzett ózoncsökkenés egy mérsékelten szennyezett háttér-troposzféra mellett következik be, az ózon csökkenése és a troposzféra szennyeződése folytán előálló ellentétes előjelű UV-B sugárzásváltozások eredője pozitív lehet, és ezt a sugárzástöbbletet Nap-hatások fokozhatják. Ebben az esetben egy megnövekedett DNS-sérülést okozó hatás érvényesül. Ugyanakkor az UV-B sugárzás hullámhosszainál nagyobb hullámhosszú sugárzás energiáját, amely hatékony lehet a DNS-sérülések kijavításában, az

ózon csökkenése nem befolyásolja, a troposzféra szennyezettsége viszont csökkenti és sugárzásdeficitjét Nap-hatások nem kompenzálják, ami a bioszféra veszélyeztetettségét módosíthatja, legalábbis oly módon, hogy elősegíti a légköri mikroorganizmus-flóra jelenlegi összetételének beláthatatlan következményű eltolódását.

— Ezzel egyidejűleg az erősebben szennyezett levegőjű mezoméretű gócokban (pl. a megapolisokban) az UV-B változások eredőjeként az UV-B csökken, és az ott élők általános (UV-B, UV-A és látható) besugárzáshiányát fokozza az a jelenség, hogy a szennykupola felett az UV-B sugárzásszint magas és növeli a fotokémiai szmogok gyakoriságát. Ebben az esetben tehát fokozódna a nagyvárosok és tisztább levegőjű helyek UV-B sugárzásklímáinak, azaz bioklímáiknak különbsége.

— Ha pedig az előrejelzett ózoncsökkenés bekövetkezésének idejére a troposzféra természetes tisztasága közelítőleg helyreállna, akkor az ózoncsökkenés okozta UV-B sugárzásnövekedés zavartalanul érvényesülne ugyan, de ugyanakkor a DNS-sérülések fotoreaktiválásában hatékony UV-A hullámhosszak energiája nem csökkenne.

Mivel azonban a baktériumokon kívül nem ismerjük elég pontosan a fotoenzimatikus úton végbemenő DNS repair élővilágunkban való elterjedtségét, ma még mindkét esetben felmérhetetlen, hogy ez milyen irányban és milyen mértékben módosítaná az élővilág veszélyeztetettségét.

Ezek a megállapítások természetesen csak hipotetikus jellegűek. Arra azonban alkalmasak, hogy kifejezzék: Földünk élővilágára nézve az antropogén UV sugárzás-éghajlatváltozások minden formája veszélyes, ezért az emberiség stratégiája nem lehet más, mint szakadatlan törekvés a levegőszennyeződés minden fajtájának (a városi- és háttér troposzféra szennyeződésnek, valamint a sztratoszféra szennyeződésnek) lehetőségekhez mérten maximális korlátozására, azaz

a troposzféra esetében

— a szénkészleteket felhasználni ugyan, de a legtökéletesebb égéstechnikát alkalmazni
— minél nagyobb mértékben hasznosítani a nap- és szélenergiát
— szigorú környezetvédelmi intézkedéseket foganatosítani a felelőtlen levegőszennyezések megakadályozására

a sztratoszféra esetében pedig

— gyorsan térni át a sűrített levegővel működő aeroszol szórópalackok használatára
— a műtrágyát csak optimális mennyiségben juttatni a talajba, és biztosítani a jó, aerob talajszerkezetet

— a szuperszónikus repülést a békés célú repülés mérsékelt szintjén tartani
— az ózonpajzs védelmének érvét is felsorakoztatni a nukleáris robbantások ellen

és végül

— a Föld légkörének és bioszférájának védelmét szolgáló kutatásokat a csak békés viszonyok mellett lehetséges, megfelelően magas szinten folytatni.

IRODALOM

1. Declaration of the World Climate Conference. WMO Bulletin, **XXVIII,** 2, 1979.
2. Kovácsné Pataki M.: Az ultraviola napsugárzás és hatásai. Az Országos Meteorológiai Szolgálat kisebb kiadványai, **50,** 1981.
3. WMO Statement on climatic change. WMO Bulletin, **XXV,** 3, 1976.
4. WMO Statement on modification of the ozone layer due to man's activities and some possible geophysical consequences. WMO Bulletin, **XXV,** 1, 1976.
5. Second WMO statement on modification of the ozone layer due to human activity and some possible geophysical consequences. WMO Bulletin, **XXVIII,** 2, 1979.
6. Pure and Applied Geophysics. Special Issue: The Middle Atmosphere, **118,** 1—2, 1980.

ANTHROPOGENIC CHANGES IN THE EARTH'S ULTRAVIOLET RADIATION CLIMATE AND THEIR EFFECT IN THE BIOSPHERE

M. KOVÁCS-PATAKI

Abstract

In the introductory part of the paper, the physical nature, as well as the atmospheric and physiological effects of the ultraviolet (UV) solar radiation are presented. Chemical and physical mechanisms of the atmosphere that govern the natural changes of the earth's UV radiation climate are reviewed. Physical and chemical processes through which some anthropogenic air pollutants lead to the modification of UV solar radiation are discussed.

The anthropogenic change of UV solar radiation reaching the biosphere is looked upon as a resultant of two effects: the decrease of the general (UV-B and UV-A) radiation caused by the gaseous and aerosol pollution of the troposphere, and the increase of the UV-B radiation connected with the reduction of ozone content in the stratosphere by gaseous pollutants. Expected anthropogenic modification of the earth's UV radiation climate is investigated as a sharpening of differences between UV climates of the areas with clearest and most polluted air.

Carrying out a complex study of the UV-B radiation modification of different origin, the contemporary changes of the UV-A and visible radiation, and the atmospheric and physiological effects of these changes, it can be stated that man's health and living environment are both endangered at any type of air pollution, though realizations of this danger are different.

Finally, a possible strategy for protecting the biosphere is outlined.

АНТРОПОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО РАДИАЦИОННОГО КЛИМАТА ЗЕМЛИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА БИОСФЕРУ

М. КОВАЧ-ПАТАКИ

Резюме

В научной части работ рассматриваются физифеская природа, а также атмосферные и биологические эффекты ультрафиолетовой солнечной радиации. Дается обзор химических и физических механизмов, управляющих естественными изменениями УФ-радиационного климата Земли. Обсуждаются физические и химические процессы, в связи с которыми определенные антропогенные вредные примеси, загрязняющие атомосферу, приводят к изменениям солнечной УФ-радиации.

Антропогенное изменение солнечной УФ-радиации, поступающей в биосферу, рассматривается как результирующее двух факторов: ослабления полной (УФ-А и УФ-В) радиации, вызванного загрязнением атмосферы газом и аэрозолями, и усиления радиации УФ-В за счет снижения содержания озона в стратосфере, связанного с загрязнением стратосферы газами. Ожидаемое антропогенное изменение УФ-радиационного климата Земли изучается в дальнейшем как обострение разницы между УФ-климатами районов с наиболее чистым и наиболее загрязненным воздухом, соответственно.

Комплексный анализ изменения радиации УФ—В различного происхождения, одновременных изменений УФ-А и видимой радиации, а также атмосферных и биологических эффектов этих изменений поволяет делать вывод о том, что здоровью человека и его живому окружению угрожает опасность при любом типе загрязнения атмосферы, хотя степень этой опасности различна.

В заключение излагается возможная стратегия защиты биосферы.

AZ EMBERI TEVÉKENYSÉG HATÁSA A SZÉN-KÖRFORGALOMRA ÉS A HATÁSOK KLIMATIKUS KÖVETKEZMÉNYEI

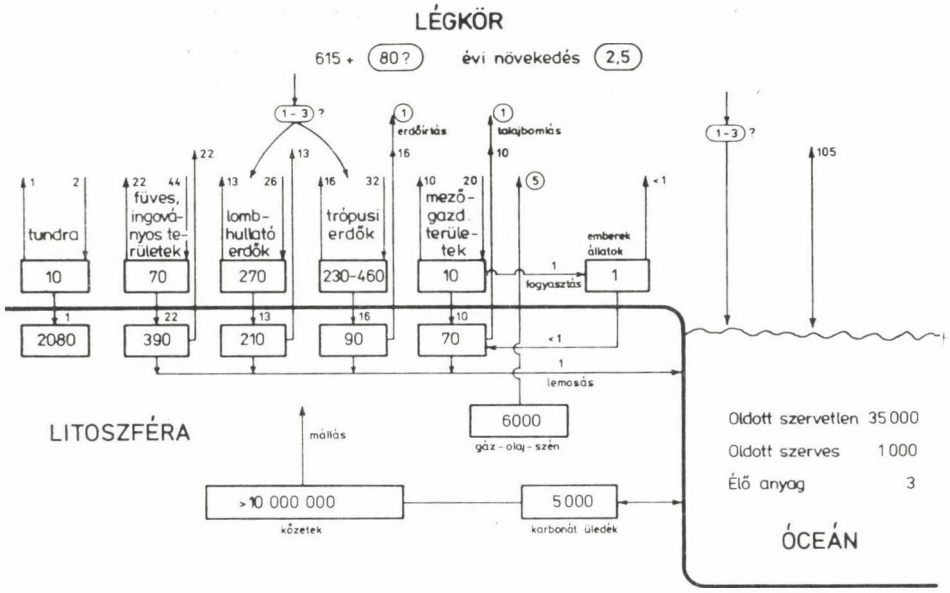
HASZPRA LÁSZLÓ—MISKOLCI FERENC

A fosszilis tüzelőanyagok felhasználásával, az erdőségek irtásával és területük mezőgazdasági hasznosításával az ember egyre növekvő mértékben avatkozik be a természetes szén-körforgalomba. Ennek következtében az elmúlt 150 évben jelentősen megnőtt a légkör CO_2 tartalma. A növekvő CO_2 koncentráció pedig hatást gyakorolva a légkör sugárzás-egyenlegére, nemkívánatos klímaváltozásokat eredményezhet. Ahhoz, hogy megismerhessük az emberi beavatkozás jellegét és mértékét, meg kell ismerkednünk a természetes szén-körforgalommal. A globális szén-körforgalom és megváltozása leírásához jelenlegi ismereteink mellett meglehetősen jelentős egyszerűsítésekre van szükség. Ezért általában csak négy alapvető szén-tároló rezervoárt különböztetünk meg: az óceánokat, a szárazföldi vegetációt, a litoszférát és a légkört.

Az óceánok mintegy $35\,000 \times 10^{15}$ g oldott szervetlen szenet tartalmaznak (1. ábra). Ennek zöme karbonátok formájában található, mindössze 1 ezreléke az oldott CO_2. Az oldott szerves szén mennyisége kb. 1000×10^{15} g. Ez a tengeri élet bomlásterméke. A szárazföldekről a tengerekbe kerülő szerves anyagok járuléka elenyésző. A tengeri élővilágban található szénmennyiség mindössze $2—3 \times 10^{15}$ g. Az óceán-víz karbonát tartalmával állandó kicserélődésben levő karbonát üledék széntartalmát 5000×10^{15} g-ra becsülik. Természetesen a Földön található összes karbonát üledék ennél jóval több, valószínűleg több mint $10\,000\,000 \times 10^{15}$ g szenet tartalmaz. Az 1. ábrán valamennyi értéket 10^{15} gC-ben tüntettük fel.

A szárazföldi vegetáció sokfélesége indokolttá teszi, hogy széntartalmát és a szén-körforgalomban játszott szerepét finomabb felbontásban vizsgáljuk. Az 1. ábrán a szárazföldi növényzetet a következő altípusokba osztottuk: tundra növényzet, a füves-ingoványos területek növényzete, lombhullató erdők, trópusi örökzöld erdők, valamint a mezőgazdasági területek növényzete. Mivel a növényzet szoros kapcsolatban van a talajjal, célszerű őket együtt vizsgálni.

A növényzetben és a talajban levő szénmennyiséget természetes körülmények között elsősorban a klíma határozza meg, ami egyben meghatározza az adott vegetáció típus földrajzi kiterjedését is. A legnagyobb szénmennyiségeket a trópusi őserdők növényzetében, illetve a tőzeges tundra övezet talajában találjuk, ahol a hideg miatt a szerves anyagok bomlása lassú. Sajnos a bioszféra



1. ábra. A globális szén-körforgalom (BOLIN et al., 1979)

és a talaj széntartalmára vonatkozó becslések elég bizonytalanok, hibájuk valószínűleg nagyobb, mint 20%, és ez jelentős bizonytalanságot okoz a szén-körforgalom számításokban. Különösen nagyok az eltérések a szén-körforgalomban igen jelentős trópusi őserdők széntartalmának becslései között.

A negyedik nagy szén-rezervoár a légkör. Jelenleg mintegy 700×10^{15} g szenet tartalmaz. Ennek zöme CO_2, koncentrációja kb. 335 ppmv. A légkörben ezenkívül CH_4-t, CO-t és különböző szénhidrogéneket is találunk, ezek koncentrációja azonban nagyságrendekkel kisebb.

Az egyes rezervoárok közötti fluxusokat az 1. ábrán 10^{15} gC/év egységekben tüntettük fel. A szárazföldi vegetációnál a nyilak a fotoszintézist, illetve a respirációt jelzik, a talajnál a szerves anyagok bomlása során keletkező széntartalmú gázok távozását. A folyók által történő lemosás viszonylag kis szerepet játszik a szén-körforgalomban. Az óceánokkal kapcsolatos fluxusok: a széntartalmú gázok felvétele és kibocsátása, a karbonát üledékek képződése és oldódása.

Az emberi tevékenység hatása a rezervoárok széntartalmának és a fluxusoknak a megváltoztatásában jelentkezik. A Föld lakosságának növekedésével párhuzamosan növelni kellett a mezőgazdasági termelést, ehhez jelentős területeket kellett elhódítani az erdőségektől, a fejlődő ipar számára pedig egyre több energiára volt szükség. Mindez befolyásolta a természetes szén-körforgalmat.

Az erdőirtás elsősorban a múlt században volt jelentős. Ez több módon is befolyást gyakorolt a szén-körforgalomra. A kitermelt fa elégetése, illetve az

erdők felégetése során nagy mennyiségű CO_2 került a légkörbe. Másrészt az erdők irtása csökkentette a CO_2-t asszimiláló növényzetet, az erdőtakaró eltávolítása pedig gyorsabbá tette a talajban levő szénvegyületek oxidációját, csökkent a talaj széntartalma. Hasonló folyamatok játszódtak le a mocsarak lecsapolása során is.

Az erdőirtások célja általában az volt, hogy újabb területeket vonjanak mezőgazdasági művelés alá. A mezőgazdasági haszonnövényzet azonban lényegesen kevesebb szenet tartalmaz, mint az erdő, amelynek helyére telepítették, és a művelés elősegíti a talaj gyorsabb oxidációját (WOODWELL, 1978).

Európában és Észak-Amerikában körülbelül a századfordulóig folyt intenzív erdőirtás. A mezőgazdasági termelés hatékonyságának növekedése folytán az utóbbi 1—2 évtizedben itt már az erdők lassú újratelepítését figyelhetjük meg.

Jelenleg intenzív erdőirtás csak a fejlődő országokban, főleg a trópusokon folyik. Ezeken a területeken évente mintegy 120 000 km^2 erdőt irtanak ki. Az erdőirtás révén — figyelembe véve az újratelepítést is — mintegy $1{,}1 \times 10^{15}$ g szén kerül a légkörbe évente (BOLIN, 1977).

A légkör széntartalmának számottevő antropogén eredetű növekedését az intenzív iparosítás kezdetétől, az 1850-es évektől számítjuk. Azóta a bioszféra csökkentése révén 120×10^{15} g, a talaj-oxidáció révén pedig $10—40 \times 10^{15}$ g szén került a levegőbe (BOLIN et al., 1979).

A múlt század közepétől a gyorsan fejlődő iparnak egyre több energiára volt szüksége. Ezt fosszilis tüzelőanyagok — eleinte főleg szén — felhasználásával biztosították. 1860 és 1973 között az ily módon a légkörbe bocsátott CO_2 mennyisége évente több, mint 4%-kal nőtt, és csak a két világháború között volt valamivel alacsonyabb. Az 1970-es években kialakult olajkrízis ismét mérsékelte a növekedés ütemét. Pillanatnyilag rendkívül nehéz lenne megmondani, hogyan alakul majd a fosszilis tüzelőanyag felhasználás a jövőben. A rendelkezésre álló mennyiség a jelenlegi becslések szerint, szénben kifejezve, kb. 6000×10^{15} g.

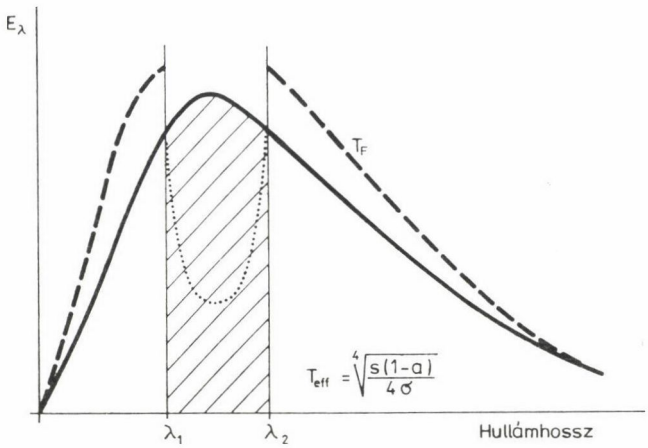
A fosszilis tüzelőanyagok felhasználása révén a múlt század közepe óta kb. 140×10^{15} g szén került a légkörbe, aminek — a vizsgálatok szerint — hozzávetőlegesen a fele maradt a levegőben. Jelenleg az évi fosszilis tüzelőanyag CO_2 emisszió 5×10^{15} g szén, a légkör széntartalma évente körülbelül $2{,}5 \times 10^{15}$ g-mal gyarapszik (BOLIN et al., 1979).

A légkörbe került antropogén CO_2 egyik legfontosabb nyelője az óceán. Az óceánok CO_2 felvételére vonatkozó modellek szerint az óceánok szénfelvétele évente $1—3 \times 10^{15}$ g. A másik fő nyelő, a bioszféra CO_2 felvételének becslései még bizonytalanabbak.

Mint láttuk, az emberi tevékenység évről évre jelentősen növeli a légkör széntartalmát. A múlt század közepe óta a légköri CO_2 koncentráció 15%-kal

nőtt, a jelenlegi növekedési ütem kb. 1 ppm/év, és ez az ütem várhatóan a következő néhány évtizedben nem fog csökkenni.

A jelenlegi és a várható koncentrációkban a CO_2 nem mérgező, környezetünket közvetlenül nem károsítja, sőt a fotoszintézis intenzitásának növelésén keresztül gyorsítja egyes növények gyarapodását (STUIVER, 1978). Miért foglalkozunk mégis ilyen kiemelten vele? A légköri CO_2 koncentráció növekedésének alapvető problémája az, hogy az ún. üvegház-hatáson keresztül befolyást gyakorol a légkör sugárzás-egyenlegére, ezen keresztül pedig a Föld klímájára.



2. ábra

Az a jelenség, amely a légköri üvegház-hatás kialakulásához vezet, lényegében a légkört alkotó gázok (többnyire nyomgázok) infravörös abszorpciója. Röviden vázoljuk fel a légköri üvegház-hatás fizikai létrejöttét: A 2. ábrán a folytonos vonallal jelölt görbe egy gyorsan forgó légkör nélküli égitest S napállandótól és a felszíni albedótól függő effektív hosszúhullámú kisugárzását mutatja. Amennyiben egy égitestnek infravörös sugárzást abszorbeáló légköre van (például a $\lambda_1 - \lambda_2$ tartományban), akkor $E_L = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda d\lambda$ nagyságú energia (bevonalkázott terület) a légkör „felmelegítésére" fordítódik. Ezen E_L energia egy része (kE_L) a felszín felé visszasugárzódik és a felszín hosszúhullámú sugárzásveszteségét csökkenti, a fennmaradó $(1-k)E_L$ hányad a Föld-légkör rendszer hosszúhullámú kisugárzását növeli.

A megnövekedett energia-mennyiségnek már egy nagyobb T_F felszínhőmérséklet felel meg, amelynek megfelelő hosszúhullámú kisugárzást a 2. ábrán szaggatott vonallal jelöltük. Ez tehát a légköri üvegház-hatás lényege. Vegyük észre, hogy a végső T_F felszínhőmérséklet valójában „dinamikus" su-

gárzási energia-egyensúly következtében alakul ki. (Ugyanis a nagyobb T_F-nek megfelelően E_L is növekszik és ez ismét T_F növekedéséhez vezet!)

Légkörünkben található nyomgázok között nagy számban találhatunk infravörös sugárzást abszorbeálót. Szemléltetésül álljon itt az I. táblázat.

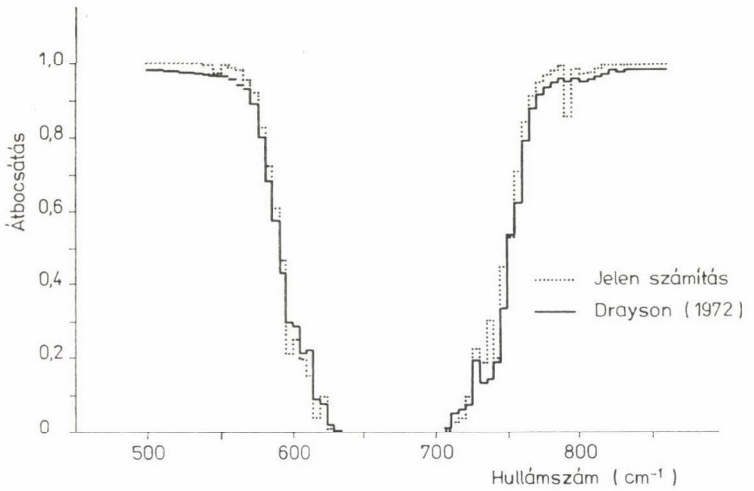
Napjainkban a légköri gázok infravörös abszorpciójával és az ezzel kapcsolatos klímaváltozásokkal foglalkozó szakirodalom majdnem negyedszázados múltra tekint vissza. Több mint húsz éve jelent meg PLASS (1956) úttörő munkája, amelyben a CO_2 infravörös abszorpciója következtében a légkörben lefelé haladó infravörös sugárzás fluxust számolta — sávmodellek segítségével. Vizsgálatai csak a 15 μm-es CO_2 sávra vonatkoztak. Ezt követően egyre nagyobb számban jelentek meg a kérdést tárgyaló dolgozatok, melyek közül néhány jelentősebbet felsorolunk: PLASS (1956), 15 μm; KAPLAN (1960), felhőzet; MÖLLER (1963), vízgőz + CO_2; MANABE és WETHERALD (1975), konvekció; AUGUSTSSON és ROMANATHAN (1977), gyenge sávok; DOPPLICK és NEWELL (1979), látens hőtranszport.

I. táblázat

Gáz	Hullámhossz (μm)	ΔT_F (°K)
H_2O	6,25; 10; 20; 10—∞; 2,73; 2,66;	2 (0,6—1)
CO_2	15; 4,26; (12—18); (9—10); (7—8);	2 (0,1—5)
O_3	14,3; 9,6; 9,07;	0,75 (—0,4)
N_2O	17,0; 7,78; 4,5;	2 (0,5)
CO	4,66; 2,35; 1,57;	
CH_4	7,66; 6,52; 3,31;	2 (0,2)
O_2	1,58;	
SO_2	19,3; 8,69; 7,34;	2 (0,03)
NO	5,33;	
NO_2	6,17; 3,44;	
NH_3	10,7;	2 (0,1)
HCl	3,46; 1,76;	
HF	2,52;	
HNO_3	11,16;	2 (0,07)
CH_3Cl	13,66; 9,85; 7,14; 3,29;	2 (0,015)
C_2H_4	10,5;	2 (0,01)
CCl_2F_2	9,13; 8,68; 10,93;	20 (0,4)
CCl_3F	9,22; 11,82;	20 (0,4)
CCl_4	12,99;	2 (0,15)

A ΔT_F-t tartalmazó oszlopban a zárójel előtt álló tényező a légköri koncentráció módosítására vonatkozik

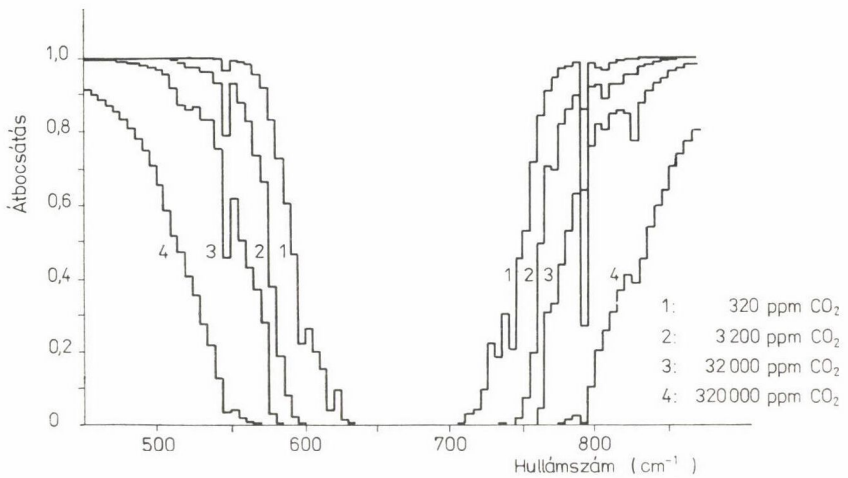
A CO_2 15 μm-es sávjára vonatkozóan a Központi Légkörfizikai Intézetben is végeztünk számításokat. Eredményeinket, amelyeket a legújabb és legpontosabb abszorpciós vonal paraméterek felhasználásával kaptunk, a 3. ábra szemlélteti. Ezen az ábrán látható, hogy a több ezer elemi CO_2 abszorpciós vonal által kialakított sáv profilja meglehetősen tagolt. Folytonos vonallal feltüntettük egy mások által végzett számítás eredményét is. A két görbére kapott integ-



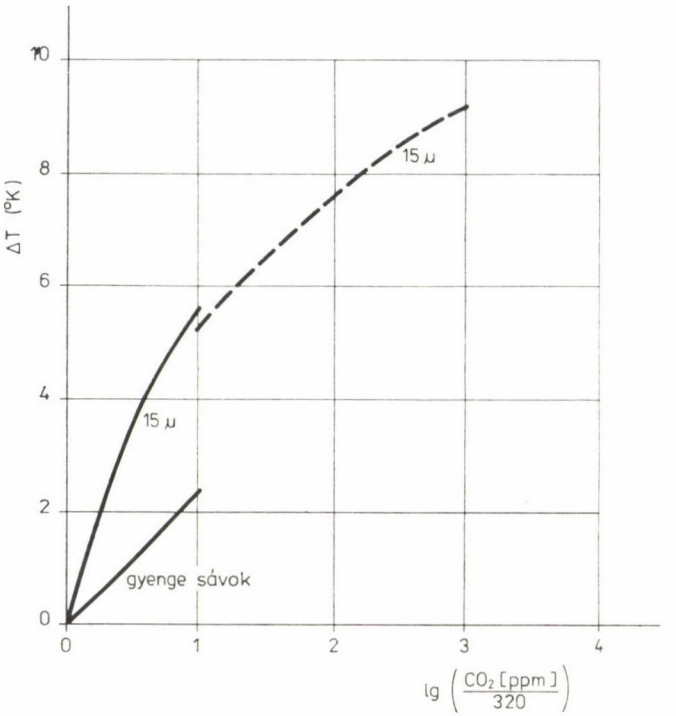
3. ábra

rális abszorpció $\left(A = \int (1-\tau_\nu)\, d\nu\right.$, ahol τ_ν az átbocsátás$\left.\right)$ körülbelül 5—6%-kal eltér, ami azt jelenti, hogy az irodalomban található vonalparaméter értékektől függően a légkör által abszorbeált energia szintén 5—6%-kal eltér, és így a CO_2 abszorpció fenti bizonytalansága pontatlanságot eredményez a felszíni hőmérséklet értékében.

A továbbiakban megvizsgáltuk azt, hogy a CO_2 koncentrációjának növelése (egészen 25%-ig) hogyan módosítja a 15 μm-es abszorpciós sáv alakját.



4. ábra



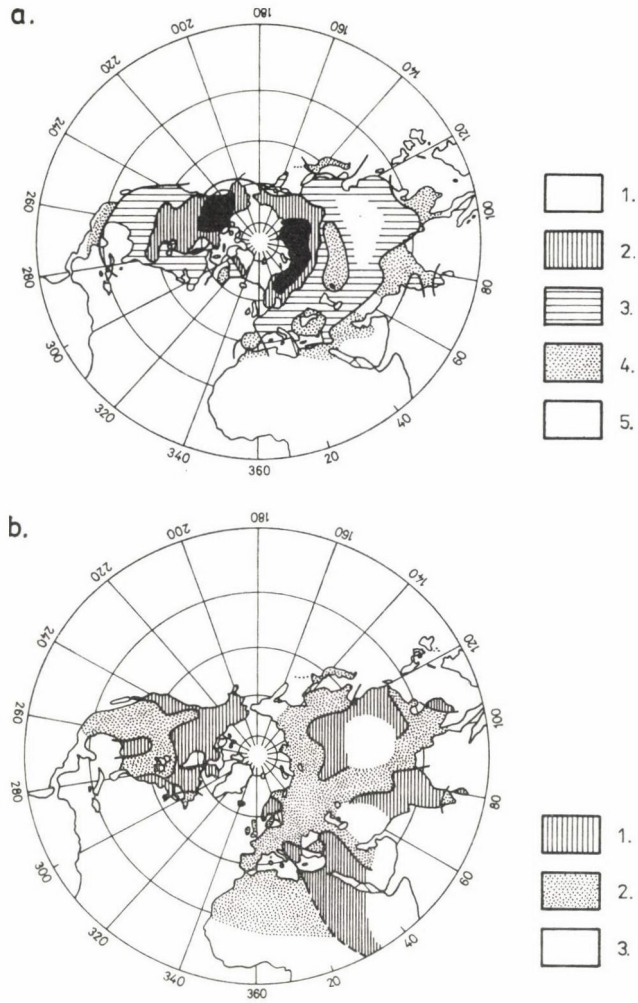
5. ábra

Eredményeink a 4. ábrán láthatók. Egyszerű EDDINGTON közelítést alkalmazva (lásd (1)) megbecsültük a felszínhőmérséklet változását is (5. ábra).

$$\Delta T_F = \left(\left(1 - \frac{3}{4}\tau\right)^{\frac{1}{4}} - 1\right) T_{eff} F_{conv} \qquad (1)$$

ahol: ΔT_F — a felszíni hőmérsékletváltozás
τ — a légkör optikai vastagsága
T_{eff} — a Föld feketetest hőmérséklete (255 °K)
F_{conv} — a konvekciót figyelembe vevő empirikus állandó
($F_{conv} = 0{,}43$ esetén $\Delta T_F = 33\,°K$ — lásd HART (1978))

Számításaink eredményei főleg paleoklimatológiai szempontból lehetnek hasznosak (feltéve természetesen, ha ismerjük a CO_2 koncentrációjának változását a geológiai korok folyamán). Ugyanezen ábrán feltüntettük még AUGUSTSSON és ROMANATHAN (1977) számításait is, melyben a gyenge sávok szerepének fontosságára hívják fel a figyelmet. Számításaik szerint a felszíni hőmérséklet változás 30%-át a gyenge sávok hatása eredményezi. Főleg a 4 és 7 μm-es tartományban az abszorpció igen messze van a telítéstől, így fokozódó CO_2 koncentráció esetén szerepük egyre nő. További szándékunk a 15 μm-es sávhoz hason-



6a. ábra. A hőmérsékleti mező megváltozása. 1. > 2 °C; 2. 1—2 °C; 3. 0—1 °C; 4. —1—0 °C; 5. adathiány

6b. ábra. A csapadékeloszlás megváltozása. 1. növekszik; 2. csökken; 3. adathiány

lóan e sávok abszorpciójának direkt számítása igen magas CO_2 koncentráció esetére.

Végezetül szeretnénk hangsúlyozni, hogy a klímamodellezés pontossága nagymértékben függ az ilyen típusú számítások pontosságától, és a kapott eredmények (abszorpciós görbék) parametrizálásának használhatóságától. (Ugyanis egy általános cirkulációs modell használatánál nincs mód az abszorpciók hosszadalmas elemi abszorpciós vonalakon alapuló számítására.)

Az igen bonyolult GCM használatának enélkül is számítástechnikai korlátai vannak. Azt, hogy mások sem nagyon bíznak az ilyen modellekkel kapott

eredmények pontosságában, szemléltesse WIGLEY et al. (1980) munkája, akik a kérdést teljesen más oldalról közelítették meg. Az 1925—1975 közötti időszak 50 éves adatsorából kiválasztották az öt leghidegebb és az öt legmelegebb évet, és vizsgálták az északi félgömbön a hőmérsékleti és csapadék-mező változásait (6. ábra). A változások úgy foghatók fel, mintha azt az északi félgömb felszíni hőmérsékletének 0,6 fokkal történő átlagos melegedése okozta volna. (Érdekes lenne összevetni, mit eredményezett volna egy GCM-en alapuló számítás.)

Összefoglalva, azonkívül, hogy igyekszünk nem növelni a CO_2 koncentrációt (erdők visszatelepítésével, napenergia, atomenergia, geotermikus energia fokozottabb kihasználásával), az antropogén hatásokkal kapcsolatos klímaváltozás kérdésének pontosabb megválaszolása érdekében két dolgot tehetünk:

a) Fejlesztjük a GCM-t (parametrizálás, újabb változók).

b) Műholdas és egyéb megfigyelésekkel folytonos adatgyűjtést végzünk (a bejövő napsugárzás fluxusáról, a globális sugárzás-egyenlegről, a felszíni hőmérsékletről, az albedóról, a CO_2, O_3 és egyéb gázok koncentrációjáról stb.).

IRODALOM

AUGUSTSSON, T.—V. RAMANATHAN: A Radiative-Convective Model Study of the CO_2 Climate Problem. J. Atm. Sci., **34,** 448—451, 1977.

BOLIN, B.: Changes of Land Biota and Their Importance for the Carbon Cycle. Science, **196,** 613—615, 1977.

BOLIN, B.—E. T. DEGENS—P. DUVIGNEAUD—S. KEMPE: The Global Biogeochemical Carbon Cycle. In: The Global Carbon Cycle (ed.: BOLIN, B.—E. T. DEGENS—S. KEMPE—P. KETNER.). John Wiley & Sons, Chichester—New York—Brisbane—Toronto, 1979.

DOPPLICK, T. G.—R. E. NEWELL: Questions Concerning the Possible Influence of Anthropogenic CO_2 on Atmospheric Temperature. J. Appl. Met., **18,** 822—825, 1979.

HART, M. H.: The Evolution of the Atmosphere of the Earth. Icarus, **33,** 23—39, 1978.

KAPLAN, L. D.: The Influence of Carbon Dioxide Variations on the Atmospheric Heat Balance. Tellus, **12,** 204—208, 1960.

MANABE, S.—R. T. WETHERALD: The Effects of Doubling the CO_2 Concentration on the Climate of a General Circulation Model. J. Atm. Sci., **32,** 3—15, 1975.

MÖLLER, F.: On the Influence of Changes in the CO_2 Concentration in Air on the Radiation Balance of the Earth's Surface and on the Climate. J. Geophys. Res., **68,** 3877—3887, 1963.

PLASS, G. N.: Effect of Carbon Dioxide Variations on Climate. Am. J. Phys., **24,** 376—387, 1956.

STUIVER, M.: Atmospheric Carbon Dioxide and Carbon Reservoir Changes. Science, **199,** 253—258, 1978.

WIGLEY, T. M. I.—P. D. JONES—P. M. KELLY: Scenario for a warm, high-CO_2 world. Nature, **283,** 17—21, 1980.

WOODWELL, G. M.: The Carbon Dioxide Question. Scientific American, **238,** 34—44, 1978.

EFFECT OF HUMAN ACTIVITY ON CARBON-CYCLE AND ITS CLIMATICAL CONSEQUENCES

L. HASZPRA—F. MISKOLCI

Abstract

Combustion of fossil fuels and clearing forests for getting areas for agricultural utilization are processes by which human intervention into natural carbon cycle becomes more and more significant. Due to mankind's activity carbon dioxide concentration of the atmosphere is continuosly increasing, which influences the earth's radiative energy budged and hence climate. Anthropogenic changes in global carbon cycle since the middle of the last century are discussed, and the results of some calculations regarding the greenhouse effect of carbon dioxide are presented.

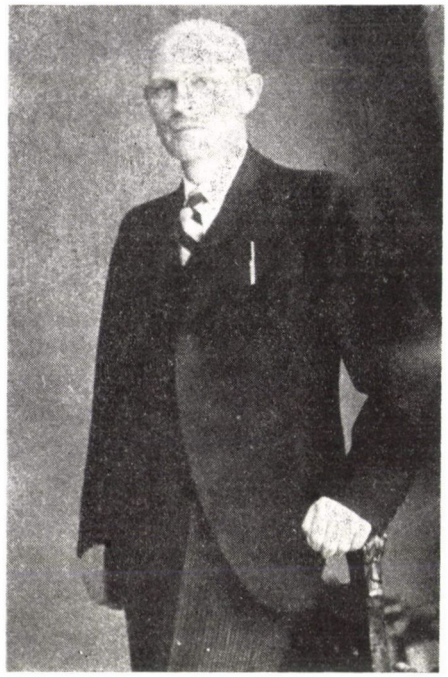
ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА КРУГОВОРОТ УГЛЕРОДА В ПРИРОДЕ И ЕГО КЛИМАТИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ

Л. ХАСПРА—Ф. МИШКОЛЬЦИ

Резюме

За счет использования ископаемых горючих, рубки лесов и использования их площадей для сельского хозяйства, человек все больше вмешивается в круговорот углерода природы. На воздействие человеческой деятельности постепенно увеличивается содержание углекислого газа в атмосфере, что приводит к изменению радиационного баланса атмосферы и тем самым — к изменению климата.

Рассматриваются антропогенные изменения, происходшие в глобальном круговороте углерода начиная с середины прошлого столетия, а также некоторые конкретные результаты вычислений, связанных с парниковым эффектом углекислого газа.



ROZLOZSNIK PÁL EMLÉKÜLÉS

ELNÖKI MEGNYITÓ

HÁMOR GÉZA
A FÖLDTUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

Tisztelt Emlékülés!

A Magyar Tudományos Akadémia Földtani Tudományos Bizottsága nevében szeretettel és tisztelettel köszöntöm az Emlékülés résztvevőit.

ROZLOZSNIK PÁL emlékének szentelt mai ülésünkön szeretnénk születésének századik és halálának negyvenedik évfordulója alkalmából bemutatni a magyar földtannak azt a kiemelkedő egyéniségét, a korszerű tudóseszmény korai megvalósítóját, aki szaktudományunk analitikus és szintetizáló feladatait egyaránt eredményesen oldotta meg munkássága során.

Szeretnénk a műszaki képzettségű természettudós, a közéleti ember, az alkotó geológus portréját felvázolni; és szeretnénk illő tisztességgel megemlékezni

ROZLOZSNIK PÁLról. Személye és munkássága ünneplésén túl célunk ROZLOZSNIK PÁL méltó helyének kijelölése a hazai földtudomány történetében.

A megemlékezés időszerűségét az évfordulón túlmenően az általa felismert és a maga korában rendkívülien magas színvonalon megoldott problémák maisága, mindmáig tartó aktualitása húzza alá. Meggyőződésem, hogy emlékülésünk előadói nálam hivatottabban, ROZLOZSNIK PÁLhoz méltó tudományos alapossággal, munkásságához és egyéniségéhez méltó keretben, és méltó körülmények között fogják bemutatni ROZLOZSNIK PÁL munkásságát és eredményeit.

Méltóan fogják közvetíteni munkásságának a jelenlevők számára legfontosabb üzeneteit, melyek szerény véleményem szerint a szakma művelésében végtelen kitartásra, a megújulásra való képesség megőrzésére, a munkarészek harmonikus összhangjának a megteremtésére, az elszürkülés veszélyeinek elkerülésére szólítanak fel bennünket.

ROZLOZSNIK PÁL életműve időben felöleli a paleozoikumtól a kainozoikumig a teljes földtörténetet, térben pedig úgyszólván az egész Kárpát-medencét. Neve fémjelzi a bihari bauxit-, a macskamezői típusú vas-mangánérc-, a dobsina-aranyidai érc-, a dunántúli kréta és eocén korú barnakőszén-, az északmagyarországi szénhidrogén-kutatásokat és a recski mélyszinti színesérckutatás megindítását. Jelentős alkotásokat hozott létre a petrográfia (banatitok), őslénytan (nagyforaminiferák) és a bányaföldtan területén. Korát megelőzően és kiemelkedő eredményekkel tudta az ipari nyersanyagkutatás tudományos módszerű, és a tudományos munka ipari pontosságú-részletességű végrehajtását minden tevékenységében ötvözni.

Munkáját 37 éven át (1903—1940) a Földtani Intézet kötelékében végezte; halálakor igazgatóhelyettesként. Az intézeti élet többszöri megújulásában személyes érdemei és hatása akár külön tanulmányok tárgyát is képezhetnék. Azon kevesek egyike volt, akiket az Intézet gyakorlati tevékenységében elért eredményeik alapján választottak a Magyar Tudományos Akadémia tagjai sorába. Munkásságát a Magyarhoni Földtani Társulat — sajnos posztumusz — SZABÓ JÓZSEF emlékéremmel jutalmazta.

Tisztelt Emlékülés!

Hiszem, hogy a magyar föld kutatásának néhány, ROZLOZSNIK PÁL által megkezdett feladata ma is befejezetlen és eredményekkel biztató. Az általa 1927-ben, a jelenlegi recski mélyszinti bányamező közelében lemélyíttetett kutatófúrás után 50 évnek kellett eltelnie — az anyagi eszközök előteremtéséig, a földtani ismeretanyag és a generációs tapasztalatok kritikus tömegének megjelenéséig —, hogy a recski színesérckutatás kiemelkedő eredményei megszülessenek. Ez és hasonló példák sokasága, a ma is sürgető igények az ajkai barnakőszénkutatás, a Ny-Mátrai színesérckutatás, az észak-magyarországi szénhidro-

génkutatás terén ROZLOZSNIK PÁL munkájának kiteljesítésére hívják fel figyelmünket.

Úgy érzem, a jelenlevők és szakmánk egésze egyetértésével mondhatom: múltban gyökerező feladatainkat csak ROZLOZSNIK PÁL életútjában tapasztalt módszerekkel; a „tények gyűjtésével", kritikus problémalátással, generációk együttmunkálkodásából egymásrarétegződött tapasztalatok szintetizálásával, újabb törvényszerűségek felismerésével oldhatjuk meg. Ez azonban hozzá hasonlóan egész életet és teljes életet követel mindannyiunktól.

A Magyar Tudományos Akadémia ROZLOZSNIK PÁL emlékülését ezen gondolatok jegyében megnyitom.

ROZLOZSNIK PÁL ÉLETMŰVE

BALOGH KÁLMÁN
A FÖLDTUDOMÁNYOK DOKTORA

A földtani tudománykör kialakulásának és fejlődésének feltételeit a bányászat igényei teremtették meg. Innen van, hogy a mi nagyhírű geológusaink között is szép számmal vannak olyanok, akiknek eredeti bányamérnöki ambíciói főiskolai tanulmányaik során hangolódtak át életre szólóan a földtan és társtudományai hullámhosszára. Köszönhető ez a földtani gondolkodás képzeletet megragadó szépségein kívül az olyan nagytudású és dinamikus oktatók személyes varázsának, amilyen pl. Böckh Hugó selmeci professzor és adjunktusa, Vitális István volt. A családi hagyományoknak megfelelően bányamérnöki pályára készülő Rozlozsnik Pált ui. az ő hatásuk késztette arra a „pályamódosítás"-ra, amelynek eredményeként ő a magyar föld- és őslénytan legalaposabb, legképzettebb és külföldön is elismert művelői közé emelkedett. Sohasem feledkezett meg azonban a bányászat és a földtan—őslénytan szoros kapcsolatairól. A legnemesebb értelemben vett „all round" geológussá vált, aki mintegy életcélul tűzte maga elé, hogy a geológusok és a bányászok közötti összekötő kapocs szerepét töltse be.

Böckh Hugó iránti rajongása egész életét végigkísérte. Bizonyítják ezt azok a meleg sorok, amelyeket egykori mestere nekrológjában papírra vetett. Idézte ezekben a mesterétől először 1900-ban hallott, de számára is egész életében mértékadóvá lett hitvallást: „*Hogy a magyar bányászatot régi hírnevéhez méltó színvonalra felemeljük, két tárgykörben való elmélyedésre van szükségünk. Az első a ... technikai, ... a másik a ... geológiai vonatkozású tárgyakat*" öleli fel. Rozlozsnik vérbeli geológussá, kiváló paleontológussá válása idején is mindig szeme előtt tartotta a bányászat kívánságait és lehetőségeit. Élete végéig fáradhatatlanul gyűjtögette a munkaterületeire eső korábbi kutatások egyébként megsemmisülésre váró adatait, akár az aranyidai, dobsinai, ó- és újradnai, gyöngyösoroszi vagy recski érc-, akár az újbányai, dorogi, tatabányai, pilisi vagy ajkai kőszén-előfordulásokról volt is szó. Hogy mily nagy szolgálatot tett e pótolhatatlan adatok megmentésével az utókornak, szükségtelen ecsetelnünk.

Kiváló szellemi adottságai és szorgalma az egyetemes tudású, nagy olvasottságú, bámulatos emlékezőtehetségű, éles megfigyelőképességű és biztos ítéletű Mester teremtette szuggesztív légkörben jól érvényesültek. A hároméves bányászati stúdium után a vaskohászati szakot is elvégezte, és a tanult 54 tárgy

mindegyikéből jeles érdemjegyet kapott. Nem csoda hát, ha 1903-ban, vizsgái letétele után, BÖCKH HUGÓ ajánlására, nyomban a m. kir. Földtani Intézethez került. Nem volt ez kis dolog, hiszen a későbbi évtizedek során gyakran aranykorként feltüntetett, „boldog békeidők"-ben nem egy kortársának évekig kellett várakoznia az intézeti kinevezésre. Kiváló minősítésének megfelelően azonnal a legnehezebb feladatok egyikét bízták rá: a Bihar-hegységcsoport földtani térképezéséhez irányították, amely a beteges PETHŐ GYULA és a méltatlan nélkülözésekbe belepusztult PRIMICS GYÖRGY halálával végképpen megfenekleni látszott. Az előzmények azért sem voltak biztatóak, mert a nehezen járható, zord klímájú, hatalmas „erdélyi határhegység"-ről az 1886 óta intézeti megbízásból itt járt kilenc geológus 17 év alatt sem tudott hézagmentes képet kialakítani. Laphatárok közé szorított pionírmunkát végeztek, a problémák szerinti vizsgálódás igénye és lehetősége nélkül. ROZLOZSNIK azonban már első önálló munkája nyomán felveti, majd 30 esztendővel később részletesen is kifejti, hogy a Nagybihar (a Cucurbeta) környékét két, metamorfitokból álló tektonikai egység alkotja, amelyek délről észak felé tolódtak fel a mezozóikumot is tartalmazó északibb egységekre. Ezek azok a metamorf egységek, amelyeket a román geológusok ma a Biharia-takarórendszer fontos részeiként, Biharia- és Muncel—Lupşa-takarónak neveznek. Áttolódásuk szenon-előtti korát ROZLOZSNIK állapította meg.

E biztató eredmények ellenére ROZLOZSNIK bihari felvételei két esztendőre megszakadtak. Folytatásukra csak akkor került sor, midőn 1908 vége felé ID. LÓCZY LAJOS vette kezébe az Intézet irányítását. LÓCZY a SZONTAGH TAMÁS, PÁLFY MÓR és ROZLOZSNIK PÁL alkotta felvételi osztályt bízta meg a Bihar és a Kodru reambulálásával és monografikus leírásával. A szemléleti egység biztosítását LÓCZY három nyáron át történt együttes bejárásokkal kívánta elérni. Személyenkénti önálló munkára csak ezután kerülhetett sor.

Tragikus fordulata a szépen indult életpályának, hogy e nagyszabású terv végrehajtását az első világháború kitörése és a vizsgálati terület elvesztése gyökerében hiúsította meg. A Trianont követő gazdasági nyomorúság, az ebből adódó új és más természetű feladatok sokasága, az anyagfeldolgozás nehézségei s az egykori munkatársaknak a csatasorból való kidőlése folytán még az 1914—15-ig elért eredmények összefoglalására is csak 11—24 esztendővel később kerülhetett sor. Persze csonkán, mert a szerzőtársak közül utoljára maradt ROZLOZSNIK PÁL is csak egy évvel élte túl az egykor tervezett nagy monográfia első kötetének 1939-es megjelenését.

PÁLFY és ROZLOZSNIK bihari összefoglalásainak azonban csonkaságuk ellenére is nagy a jelentőségük, mert a takarós hegységszerkezet bizonyítása révén először fejeznek ki alapos kételyt a Magyar Masszívum nagy, egységes tömegként való felfogásával szemben. Igaz, hogy a kodrui és a királyerdő—bihari takarók száma és eredési helye tekintetében ma többet vélünk tudni, mint ők. Az azonban tény, hogy e takarók zömét már ők megállapították, s a

Biharia-takarórendszer irányítottságát is helyesen ismerték fel. A Királyerdő, az É-i Bihar és a Gyalui Havasok főtömegének legalább viszonylagos autochtoniáját a mai román geológusok is elismerik. A három kodrui és a két fericsei takarónak a Fekete Kőrös völgy tercier árkából vagy a Kodru-hegység Ny-i előteréből való származtatása, ill. ezen hegységrészek csapásának az eredeti geoszinklinális-irányokkal való azonosítása az egyetlen olyan következtetésük, amelyen — nyilván az Erdélyi Érchegység átfogó ismeretének hiányai következtében — a kor nálunk uralkodó, túlzóan fixista szemléletének hatása tükröződik.

ROZLOZSNIK működésének jellemző vonása a széles alapvetésre való törekvés. Kitűnő petrográfiai alapképzettsége folytán a nagybihari metamorfitok leírása mellett az első világháború végéig örömmel vállalkozik a krassó-szörényi banatitok átfogó jellemzésére, ismételten megvizsgálja a medvesi bazaltok vegyi és ásványos összetételét, foglalkozik a Radnai-havasok, Aranyida és Dobsina ércelőfordulásaival és — igaz, már csak háborús kényszerűségből — a kristályospalákhoz fűződő, „Macskamező típusú" vas-mangánércek, valamint a királyerdő-ruszkahavasi bauxittelepek genetikájával. A korábbi bányaműveleti adatok aprólékos följegyzése mellett, de a korában divatos, öncélú petrografizáláson messze túlhaladva, az előfordulásokat földtani miliőjükbe ágyazva igyekszik bemutatni, mert tisztában van vele, hogy az elterjedés, a keletkezésmód és a kor kérdése — amelyek a kőzet esetleges hasznosításának a kereteit is megszabják — csak ily módon válaszolhatók meg. Így leszűrt, klasszikus megállapításainak többsége ma is helytálló.

Az első világháború számunkra oly gyászos kimenetelével beköszöntött energiaínség arra kényszerítette a Földtani Intézetet, hogy legjobb geológusait a megkisebbedett ország szükségleteinek kielégítése céljából a kőszén-, majd a szénhidrogénkutatás szolgálatába állítsa. Az eddig főleg prekarbon, újpaleozóos és mezozói képződményekben mozgó ROZLOZSNIK PÁLnak ezentúl az előtte csaknem ismeretlen, Ajkától Mádig, sőt Túrricséig terjedő területsáv zömmel harmad- és negyedidőszaki, üledékes és eruptív képződményeivel kellett megbarátkoznia. Elbúcsúzott hát egy időre a bihari—kodrui eredmények monografikus formába öntésének a gondolatától, és teljes erővel új feladatainak szentelte idejét. Lehetetlen meghatottság nélkül forgatni ez időben készült jegyzeteit, amelyek a harmadidőszaki réteg- és őslénytani ismeretanyag hasonló mélységű elsajátításának igényéről tanúskodnak, amilyennel ő idáig eruptív és metamorf tanulmányait végezte. Ebből az igényből fakadtak hírneves *Nummulites*-tanulmányai, de buzgón igyekezett úrrá lenni a paleogén csigákra és kagylókra vonatkozó korabeli ismereteken is. Új munkaterülete szélesebb, de egyben tagoltabb és bonyolultabb annál, hogy — az akkor fennállott nagy ismereti hézagok mellett — egyetlen nagy monográfia tárgya lehessen. ROZLOZSNIKnak — munkatársakkal vagy egyedül — e sáv egyes részeiről írott értekezései mégis napjainkig érvényes módon körvonalazzák az egész sáv felső-kréta—harmadidő-

szaki fejlődéstörténetének fő vonásait. Működésének súlypontja a dunántúli kőszénkutatás és -becslés területéről fokozatosan az Alföld-peremi szénhidrogénnyomok felderítésére helyeződik át, amelybe egyre inkább beleszövődik a geofizikai módszerek alkalmazása is. A szénhidrogén-indikációk két fő területe (a csomád—fót—váchartyáni és a recsk—mátraballai) közül az utóbbi bizonyul kedvezőbbnek. SCHRÉTER ZOLTÁNnal és TELEGDI KÁROLY-lyal közös erőfeszítéseik jutalmaként 1937-ben Bükkszéken felfakasztják az első magyar kőolajforrást, és megállapítják Észak-Magyarország legjelentősebb szerkezeti elemét, a Darnói-vonalat.

A szülőföld — a Szepesség —, valamint a pályakezdés első nagy örömeit adó bihari tájak iránti szeretetét azonban még ekkor, az intézeti funkcióiból fakadó gondok ellenére sem felejti. Előbb régi dobsinai észleléseit egészíti ki, részben unokaöccsének — a nagyon tehetséges, de fiatalon elhunyt RAKUSZ GYULÁnak — az őslénytani és rétegtani megállapításaira támaszkodva, pompás, a vepori és a szepességi takaró fogalmát és egymáshoz való viszonyát helyesen megvilágító kismonográfiává, amelyet a csehszlovák geológusok ma is alapvetőnek tekintenek. Tervezi a bihari monográfia kiadását is, de ebből már csak az „alaphegység" és a paleozóikum jellemzésére és a hegységszerkezet felvázolására futja erejéből. Még 60. évének betöltése előtt kiüti kezéből a tollat az alattomos halál . . . Az a tragédia-sorozat, amely a Bihar-csoport magyar részről való tanulmányozását kísérte, az ő halálával válik teljessé!

ROZLOZSNIK PÁLt kortársai szerény, a feltűnés minden formáját kerülő, zárkózott és pedáns emberként jellemzik, akinek éles elméje rendkívüli szorgalommal párosult. A magyar geológia egységét akkor megosztó csoportok egyikéhez sem tartozott, mégis mindenki elismerte és tisztelte. Mind a bécsi Földtani Intézetnek, mind a Magyar Tudományos Akadémiának anélkül lett levelező tagja (1928-ban, ill. 1934-ben), hogy erre különösebben törekedett volna. BÖCKH HUGÓ halála után (EMSZT KÁLMÁNnal együtt) csaknem egy évig kormányozta a Földtani Intézet hajóját, és az új igazgató, IFJ. LÓCZY LAJOS is őt választotta helyetteséül. Az állami nyersanyagkutatás fontos döntéseinek előkészítését célzó Geológiai Tanácsadó Bizottságnak (1930—1935) kezdettől fogva tagja volt; ennek ülésein tárgyilagosságával tűnt ki. Publikációit nem azok száma, hanem az igényesség és a korszerűség jellemzi. Kéziratos munkáinak és értekezéseinek együttese arról tanúskodik, hogy szerzőjük az ország szinte valamennyi korabeli földtani problémáját áttekintette. Tanítványok közvetlen nevelésére nem nyílt alkalma; a tudás oly széles skáláját felölelő egyéniségének a szakma néhány későbbi jeles művelőjére (pl. FÖLDVÁRI ALADÁRra vagy PANTÓ GÁBORra) tett hatása azonban kétségtelen. Nem vitás, hogy ő volt a modern petrogenetikának a földtani tudománykör egészét átfogni képes, első hazai nagy képviselője. Emellett még a mikropaleontológia terén is nagyot alkotott.

Bizonyára vannak közöttünk olyanok, akik tudományunk mai rendkívüli differenciáltságára hivatkozva, a múltbeli polihisztori teljesítmények létrejöttét

viszonylag könnyűnek találják. Ez azonban csak ritka esetben van valóban így. A nagy tehetségek célkitűzéseinek megvalósítása ui. népük és koruk történelmi fordulatainak, gazdasági, politikai és szellemi adottságainak is függvénye. Sajnos, a múlt számos magyar tudósának tevékenységét — s közöttük a ROZLOZSNIK PÁLét is — éppen a koruk gátló tényezőivel való szembekerülés határozta meg. ROZLOZSNIK alakja azonban fényesen és példamutatóan emelkedik ki abból a harcból, amelyet tehetségének és vasakaratának élete hat évtizedének változó viszonyaival meg kellett vívnia. Születésének 100., elmúlásának 40. évfordulóján övezze emlékét a szakmai társadalom egészének tisztelete és hálája!

ROZLOZSNIK PÁL ŐSLÉNYTANI MUNKÁSSÁGA

KECSKEMÉTI TIBOR

Elnök úr!

Tisztelt Emlékülés!

Az előbbiekben láttuk, milyen kiemelkedő eredményeket ért el ROZLOZSNIK PÁL a földtani, ásvány-kőzettani, teleptani és tektonikai kutatások terén. Nem kisebbek eredményei az őslénytan szakterületén sem.

Ahhoz, hogy ezirányú munkásságát kellőképpen értékelni tudjuk, át kell tekintenünk azokat a kereteket, amelyben élt és alkotott, s figyelembe kell vennünk azokat a tényezőket, melyek tevékenységét megszabták vagy befolyásolták.

A kor

Vázoljuk fel röviden a kort, melyben őslénytani munkássága indult. Az első világháború véget ért. A vesztes háború után az ország területe erősen megkisebbedett. A területcsökkenés főként az ásványi nyersanyagokban leggazdagabb országrészeket érintette. A jelentkező energiahiány enyhítésére megindultak az ország területén a barnakőszén- és szénhidrogén-kutatások.

Az 1919-ben katonai szolgálatból leszerelt ROZLOZSNIK PÁL mindkettőbe bekapcsolódik. Előbb, 1920-ban a szén-, majd a harmincas években a szénhidrogénkutatásokba. Bányamérnöki képzettsége mindkettőben nagy előnyt jelentett számára, de munkájához legtöbb segítséget az őslénytantól várhatta. Új szakterületre kellett lépnie.

Negyven éves amikor témát változtat, de fiatalos rugalmassággal áll át az új kutatási területre és rendkívül gyorsan sajátítja el az ahhoz szükséges ismeretanyagot és módszert.

Az ősmaradványanyagból túlnyomórészt a Nummulitesek kerülnek vizsgálatai körébe. Ezek tanulmányozásába hatol be, s kizárólag ezek képezik vizsgálati anyagát az elkövetkező évtizedben.

A helyszín

A külső helyszín a terep. Térképezési és gyűjtő munkája a Dunántúli-középhegység valamennyi eocén területét, illetve az Északi-középhegység több harmadidőszaki medencéjét érintette.

A barnakőszénkutatást szolgáló első munkaterülete az *Esztergomi-medence*. Itt 1919—1923 között SCHRÉTER Z.-nal és TELEGDI ROTH K.-lyal végzett bányabeli és felszíni felvételezést. A gyümölcsöző együttműködés eredménye az 1922-ben megjelent „Az esztergomvidéki szénterület bánya-földtani viszonyai" c. monográfia, melyet egy kitűnő, 1 : 7500-as méretarányú bányaföldtani térkép egészít ki.

A munka három szakterületen is fontos eredményeket hozott, azonban közüle itt csak a ROZLOZSNIK részletes faunavizsgálatai alapján konstruált új rétegtani vázlatot említjük. Felvételi munkájának részeredményeit egy jelentésben publikálta (1925); ez később németül is megjelent (1934).

A következő terület *Ajka környéke* volt. Itt a magasabb szénfedő eocén képződmények térképezése volt feladata. Erről a munkáról felvételi jelentésében (1925, németül 1934) számol be. Később, 1928-ban a Nemzetközi Paleontológiai Társaság kirándulásán, illetve a kirándulás Führerjében nemzetközileg is ismertté tehette itteni rétegtani eredményeit.

Újabb felvételi területe a *Tatabányai-medence* lett. Részletes térképezés felszínen és bányában, kiteljesedő faunisztikai vizsgálatok s a medence eocén rétegtanának alapvetése jelentik a munka főbb eredményeit. Minderről felvételi jelentésében, a Nemzetközi Paleontológiai Társaság kirándulásainak Vezetőjében, valamint a Tatabányai-medence 1 : 25 000-es méretarányú, kitűnő bányaföldtani térképében számol be.

A húszas évek közepére, az akkor ismert eocén szénmedencék közül már csak a *Solymár-pilisvörösvári-medence* tanulmányozása volt hátra. 1925 és 1928 között ezt is vizsgálat alá vette. Az erről szóló jelentés (1935) nemcsak a HANTKEN M. és HOFMANN K. vitája óta élő rétegtani problémákat vette sorra, hanem azt ki is egészítette saját megfigyelési eredményeivel.

Előbbi, barnakőszénkutatást szolgáló intenzív munkáján túl részt vett ROZLOZSNIK az egyre jobban kibontakozó *szénhidrogén-kutatások*ban is. A harmincas években egyre több reménybeli terület került ilyen irányú vizsgálat alá. Az ő része a Mátra északi előtere; a bükkszéki szerkezet kutatása során több olyan adatot hoz, mely szénhidrogén jelenlétére utal, s ő mutatja ki Nummulitesek alapján a recski felső-eocént. Eredményei a Földtani Intézet 1933—1935. és 1936—1938. évről szóló jelentéseiben jelentek meg.

A helyszínnél meg kell említenünk munkájának belső színterét is, a Földtani Intézetet. Kitűnő vezetők irányították, jól képzett és szorgalmas munkatársak vették körül, a tudomány művelését szolgálatnak tekintő szemlélet uralkodott. Mindez olyan légkört biztosított ROZLOZSNIK PÁL személyiségének és munkájának, melyben gyorsan és maximálisan kibontakoztathatta kiemelkedő képességeit és nagy szakmai felkészültségét.

E kor és helyszín meghatározó vagy alakító keretei közt született meg ROZLOZSNIK őslénytani, közelebbről nummulitológiai működésének műve. E művet és alkotóját 3 aspektusból vizsgáljuk.

A taxonómus

Vizsgált szelvényeinek nagy többségében a szénfedő rétegeket Nummulitesek jellemzik. Ez ősmaradványok nélkül nem lehet rétegtant, rétegtan nélkül tektonikát konstruálni, tektonika nélkül pedig nem lehet barnakőszenet kutatni.

ROZLOZSNIK felmérve a feladatot, azonnal nekifeszül a munkának. Szélesköru és gyors *irodalmi tájékozódás*sal kezdi. Erről tanúskodnak az ebből az időből származó, rengeteg irodalmi adatot és jegyzetet tároló, rendkívüli pontossággal vezetett jegyzőkönyvei. Hamarosan elkészül a Nummulitesekre vonatkozó, addig felhalmozódott nagy ismeretanyag összegyűjtésével, s az átérlelt, saját megfigyeléseivel kiegészített és rendezett anyagot 1924-ben kézikönyvben jelenteti meg. A munka, mely a „*Bevezetés a Nummulinák és Assilinák tanulmányozásába*" címet viseli ma is kitűnően használható s minden Nummulites-kutató vademecumja.

Egyidejűleg megkezdi a gyűjteményi anyag *revízió*ját és a saját gyűjtésű anyag *taxonómiai feldolgozás*át. Előbbi eredménye a HANTKEN M. és MADARÁSZ ZS. munkájához készült 5 tábla Nummulites-ábráinak magyarázata. A hátrahagyott kéziratot saját megfigyeléseivel egészíti ki. Utóbbié, a felvételi jelentésekben szereplő fauna meghatározása, illetve a faunisztikai adatok rögzítése.

Taxonómiai munkáját jellemzi

— a pontos morfológiai elemzés,
— összehasonlító anyag használata,
— lehetőleg a típusokig, de legalább a topotípusokig visszamenő revízió,
— a jellegek egzakt értékeléséhez mérések alkalmazása,
— kitűnő mikroszkóptechnika és rajzkészség. (Egykori tanára, VITÁLIS ISTVÁN róla írt nekrológjából tudjuk, hogy ROZLOZSNIK milyen magas szinten sajátította el már egyetemi hallgató korában a mikroszkóptechnikát!)

A taxonómus újabb megtisztelő feladata, a Nummulites-kutatás egyik legnagyobb alakja, de la HARPE, PH. hátrahagyott *kéziratainak sajtó alá rendezése*. A kéziratot a Nummulitesekre vonatkozó ismeretek „kincsesbányájának" nevezi. Számos magyar vonatkozás és adat található benne; pl. az Ajka környéki Nummulitesekre vonatkozóan többet tudunk meg belőle, mint az addigi magyar irodalomból. A francia nyelvű munka, melynek ROZLOZSNIK valójában társszerzője, 1926-ban jelent meg a Földtani Intézet Évkönyvében.

Egy év múlva, 1927-ben a „*Bevezetés*" *német nyelvű kiadása* tovább növeli ROZLOZSNIK nemzetközi hírnevét és tudományos tekintélyét.

Közben készül a főmű s 1929-ben meg is jelenik a Geologica Hungarica sorozatban. Címe: „Studien über Nummulinen". A nagy mű két részből áll. Az első rész 24 Nummulites-faj összehasonlító taxonómiai elemzését, a második rész NOWACK, E. albániai Nummuliteseinek feldolgozását tartalmazza.

A részletek említése nélkül itt csak annyit szögezünk le, hogy a munka

minden fajleírása a taxonómia gyöngyszeme. A széles alapú összehasonlításon álló, precíz leírások közt 5 új faj (*N. bactchisaraiensis*, *N. oppenheimi*, *N. boussaci*, *N. praetauricus*, *N. praetuberculatus*) és 13 kisebb taxonómiai egység (varietas, race) is szerepel.

A munka alaposságára jellemző, hogy 144 taxont vont be összehasonlító vizsgálataiba, precizitására pedig az, hogy számos spiradiagramot használ a morfológiai különbségek feltárására. Nagyban emelik a munka értékét a kitűnő — határozásra is alkalmas — fotótáblák.

Taxonómiai munkájának derivátuma, a magasabb rendszertani kategóriák elkülönítésére alkalmas *kamraalak-típusok* felismerése. Az operculinoid-, assilinoid- és nummulitoid kamratípus elkülönítése számos modern rendszerezés használt eleme.

A sztratigráfus

Új munkaterületére behatolva fokozatosan halad a rétegtani megismerésben. Az idő függvényében más és más Nummulites-asszociációkat ismer fel. A faunaszukcessziók egyes asszociációit időegységre konkrétizálja, így azok rétegtani értéket kapnak.

Első rétegtani megállapításai még sok bizonytalanságot hordanak magukban. Esztergomi monográfiájában (1922) saját vizsgálatai még nem elégségesek a pontos rétegtani besoroláshoz. Régi irodalmi adatok alapján (Lóczy L. sen., Taeger H.) a kőszenet paleocénnek s a kőszénfedőt (subplanulatusos-rétegek) mély eocénnek veszi.

A Hantken M. és Madarász Zs. tábláihoz írt kísérő szövegben (1924) már magasabb rétegtani helyet jelöl ki a subplanulatusos összletnek. Ebben nagy szerepet játszottak Rozlozsnik vizsgálatai: a *N. subplanulatus* pontos és részletes leírását adta, s rögzítette a taxon pontos rétegtani elterjedését is.

Később rétegtani megfigyelései és adatai gyarapodnak. Ezek sporadikusan minden munkájában jelen vannak s a Studienben már önálló fejezetté kerekednek. Sőt a Studien egy összefoglaló rétegtani vázlat érlelődését is jelzi. Sajnos ez a szénhidrogénkutatások miatt eltolódott, később pedig a váratlan halál meggátolta rétegtani munkájának kiteljesedését.

A törzsfejlődés kutató

Az időfaktor figyelembevételével a Nummulitesek evolúciója is tisztázható lett. Hogy ez minél teljesebben kirajzolódjon, szükséges volt a rokonsági kapcsolatok feltárása. Ezek kikutatásában Rozlozsnikнak elévülhetetlen érdemei vannak.

Vizsgálatai során 7 rokonsági csoportot különített el, ebből 5 ma is helytálló s a modern törzsfejlődési vázlatok szerves része. Különösen a *N. irregularis-distans*, a *N. discorbinus* és a *N. laevigatus* csoport evolúciójának tisztázása mél-

tánylandó. Idevonatkozó megállapításai szinte változtatás nélkül elfogadottak ma is.

Mindez a húszas évek végén, 10 évvel az első morfogenetikai s 20 évvel az első evolúciós sorokkal foglalkozó publikáció előtt! Mindezek meggyőzően bizonyítják munkájának úttörő jellegét és szemléletének újszerűségét.

*

Meg kell említenünk, hogy ROZLOZSNIK jelentős mértékben részt vett a nemzetközi tudományos életben is. Dolgozataiból, kéziratos hagyatékából, összehasonlító anyagából és különlenyomat-gyűjteményéből kiderül, hogy kora szinte valamennyi Nummulites-kutatójával kapcsolatban állt. Közülük kiemelkedik a francia DOUVILLÉ, H. és ABRARD, R., valamint a lengyel BIEDA, F. Jelentősek még POPESCU-VOITEȘTI, J., GOČEV, P. és GÖTZINGER, G. Nemzetközi szaktekintéllyé emelkedését jól mutatják azok a felkérések is, melyek a de la HARPE-féle kéziratanyag sajtó alá rendezésére és a bécsi NOWACK, E. professzor albániai Nummuliteseinek feldolgozására vonatkoztak.

Tisztelt Emlékülés!

ROZLOZSNIK PÁL Nummulites-vizsgálataival maradandót alkotott. Nevét a magyar őslénytani irodalomban 1 Nummulites- és 1 Tympanotonus-faj őrzi. Művei ma is élnek, s meghatározóak a Nummulites-kutatásban. Ahány külföldi kollégánál megfordultam, mindegyiknél ott láttam sorakozni munkáit a Nummulites-kutatás alapművei között. Eredményei és érdemei nem fakultak meg az évtizedek során sem. Halála után 30 évvel, a Földtani Intézet fennállásának centenáriumán, a külföldi delegációk üdvözlőbeszédeiben a magyar földtudományok kiemelkedő tudósai közt, egyik legtöbbet emlegetett név ROZLOZSNIK PÁLé volt.

Becsüljük meg őt, s amikor emlékezünk rá, ne felejtsük, nevéhez a Nummulites-kutatás legragyogóbb eredményei fűződnek.

ROZLOZSNIK PÁL MUNKÁI

Rövidítések:

ÉJ. = M. kir. Földtani Intézet évi jelentése, Budapest.
Évk. = M. kir. Földtani Intézet Évkönyve, Budapest.
FIAK = M. kir. Földtani Intézet Alkalmi Kiadványai, Budapest.
FK. = Földtani Közlöny, Budapest.
Jb. = Jahresberichte der ung. kgl. Geologischen Anstalt, Budapest.
Mitt. = Mitteilungen a. d. Jahrbuche der ung. kgl. Geologischen Anstalt, Budapest.

A) PUBLIKÁLT ÉRTEKEZÉSEK

1905: A Maros—Körös közének eruptiós kőzetei Arad és Hunyad vármegyék határos részein. (Die Eruptivgesteine des Gebietes zwischen den Flüssen Maros und Körös an der Grenze der Komitate Arad und Hunyad.) FK., **35,** 455—483, 505—537.

1906: Adatok a Nagybihar környékének geológiájához. ÉJ., **1905,** 104—122.
A Nagybihar metamorph és paleozóos kőzetei. Évk., **15,** 2, 125—158.

1907: Beiträge zur Geologie der Umgebung des Nagybihar. Jb., **1905,** 122—143.
Über die metamorphen und paläozoischen Gesteine des Nagybihar. Mitt., **15,** 143—182.
A Bihar hegység déli részének geológiai viszonyai Nagyhalmágy és Felsővidra között. ÉJ., **1906,** 69—84.

1908: Die geologischen Verhältnisse des südlichen Teiles des Bihargebirges zwischen Nagyhalmágy und Felsővidra. Jb., **1907,** 78—96.
(cum Emszt K.) Beiträge zur genaueren petrographischen und chemischen Kenntnis der Banatite des Komitates Krassó-Szörény. Mitt., **16,** 4, 143—306.
(cum Emszt K.) Adatok Krassó-Szörény vármegye banatitjainak pontosabb petrographiai és chemiai ismeretéhez. Évk., **16,** 4, 137—275.
(cum Emszt K.) Előzetes jelentés a Medves-hegység (Nógrád m.) amphibolos nephelines basanitjairól. (Vorläufiger Bericht über einen Amphibolnephelinbasanit des Medvesgebirges (Komitat Nógrád).) FK., **38,** 36—37; 136—137.

1909: Az óradnai bányavidék geológiai viszonyai. ÉJ., **1907,** 100—122.
Die geologischen Verhältnisse der Umgebung des Bergrevieres Óradna. Jb. **1907,** 113—140.

1910: Az Újradna, Nagyilva és Kosna községek között elterülő hegyvidék földtani viszonyai. ÉJ., **1908,** 118—122.
(cum Szontagh T. et Pálfy M.) A Kodru-Móma mezozóos területe. ÉJ., **1909,** 113—117.

1911: Die geologischen Verhältnisse der Gebirgsgegend zwischen den Gemeinden Újradna, Nagyilva und Kosna. Jb., **1908,** 129—134.
(cum Szontagh T. et Pálfy M.) Geológiai jegyzetek a Bihar-hegységből. ÉJ., **1910,** 80—93.
(cum Emszt K.) A Medves-hegység bazaltos kőzetei. (Beiträge zur Kenntnis der Basaltgesteine des Medves-Gebirges.) FK., **41,** 257—272; 343—361.
Néhány adat a riskulica—tomnateki szirtes mészkővonulat geológiájához. ÉJ., **1909,** 45—54.
Einige Beiträge zur Geologie des Klippenkalkzuges von Riskulica und Tomnatek. Jb., **1909,,** 49—59.
(cum Szontagh T., et Pálfy M.) Geologische Notizen aus dem Bihargebirge. Jb., **1910,** 84—98.

1912: (cum Szontagh T. et Pálfy M.) Das mesozoische Gebiet des Kodru-Móma. Jb., **1909,** 127—132.
Aranyida bányageológiai vizonyai. Évk., **19,** 233—354.

(cum SZONTAGH T. et PÁLFY M.) Adatok a Bihar-hegység középső részének földtani ismeretéhez. ÉJ., **1911**, 99—105.
(cum SZONTAGH T. et PÁLFY M.) Beiträge zur geologischen Kenntnis des centralen Teiles des Bihargebirges. Jb., **1911**, 107—114.
Die montangeologische Verhältnisse von Aranyida. Mitt., **19**, 263—402.
1913: A Béli-hegység triász korú és triásznál idősebb rétegei. ÉJ., **1912**, 80—93.
(cum EMSZT K.) Az újmoldovai bazalt. (Der Basalt von Újmoldova.) FK., **43**, 416—420; 494—499.
1914: Die triadischen und prätriadischen Schichten des Gebirges von Bél. Jb., **1912**, 87—101.
Jelentés az 1913. év nyarán végzett fölvételekről. ÉJ., **1913**, 221—224.
Földtani jegyzetek Dobsináról. ÉJ., **1913**, 373—390.
Geologische Notizen über Dobsina. Jb., **1913**, 423—442.
1915: Bericht über meine Aufnahmen im Sommer 1913. Jb., **1913**, 247—250.
Földtani megfigyelések a tágabb értelemben vett Bihar hegycsoport különböző tagjaiban. ÉJ., **1914**, 287—292.
Dobsina környékének bányaföldtani felvétele. ÉJ., **1914**, 365—369.
Die montangeologische Aufnahme der Umgebung von Dobsina. Jb., **1914**, 418—423.
1916: Geologische Beobachtungen in verschiedenen Gliedern der im weiteren Sinne genommenen Bihar-Gebirgsgruppe. Jb., **1914**, 326—332.
1917: Előzetes jelentés a bauxit előfordulási körülményeiről az északi Biharban (Királyerdőben). ÉJ., **1916**, 450—454.
1918: Vorläufiger Bericht über die Art des Auftretens der Bauxite im nördlichen Bihar (Királyerdő). Jb., **1916**, 506—510.
1919: Megjegyzések a *Mysidioptera (Pseudocesta ?) grandis* GAÁL új lelőhelyéről Felső Kénesd környékén. Bemerkungen über den neuen Fundort von *Mysidioptera (Pseudocesta ?) grandis* GAÁL in der Gegend von Felsőkénesd. FK., **49**, 46; 140.
A „Macskamező"-típusú vas—mangánércek elterjedése Erdélyben. (Über die Verbreitung des Erzlagerstättentypus „Macskamező" in Siebenbürgen.) FK., **49**, 21—43; 122—137.
A bauxit előfordulása a Bihar-hegységben és ipari felhasználhatóságának gyakorlati lehetőségei. Term. tud. Közl., **51**, 11, 282—288.
1922: (cum SCHRÉTER T. et TELEGDI ROTH K.) Az esztergomvidéki szénterület bányaföldtani viszonyai. FIAK., 1—128.
1923: Jegyzetek a bauxit előfordulásairól a Pojana-Ruszkában és a D-i Biharban. ÉJ., **1917—19**, 261—267.
1924: Bevezetés a Nummulinák és Assilinák tanulmányozásába. Évk., **26**, 1, 1—136.
(cum HANTKEN M. et MADARÁSZ Zs.) Nummulinák Magyarország óharmadkori rétegeiből. Földt. Szemle, **1**, 4, 159—189.
A tatabányai szénmedence bányaföldtani térképe. 1 : 12 500. FIAK.
1925: Adatok Ajka vidékének geológiájához. ÉJ., **1920—23**, 82—88.
Földtani jegyzetek az esztergomvidéki paleogén medence nyugati részéről. ÉJ., **1920—23**, 50—59.
1926: (cum PH. DE LA HARPE) Adalékok a Nummulinák és Assilinák monografiájához. (Matériaux pour servir à une monographie des Nummulines et Assilines.) Évk., **27**, 1, 1—99.
1927: Einleitung in das Studium der Nummulinen und Assilinen. Mitt., **26**, 1, 1—154.
1928: Führer in Tatabánya. In: Führer Studienr. Pal. Ges. bei Gelegenh. Paläontologentages Budapest, 33—41.
Führer in Ajka—Csingervölgy, Ibidem, 59—65.
1929: Studien über Nummulinen. Geol. Hung. Ser. Pal., **2**, 1—164.
1931: Nagysúri BÖCKH HUGÓ élete és munkái. (Hugó BÖCKH von Nagysúr.) FK., **61**, 15—36.
Dobsina bányászata. 3—13.
1934: Beiträge zur Geologie der Umgebung von Ajka. Jb., **1917—24**, 47—51.
Notizen über das Vorkommen von Bauxit im Pojana-Ruszka und im südlichen Bihargebirge. Jb., **1917—24**, 201—208.
Adatok a Kazánszoros melletti Újbánya (Baia Noua) felsőkarbon szénteknőjének ismeretéhez. (Beiträge zur Kenntnis der Oberkarbonmulde von Újbánya (Baia Noua) bei der Kazanenge.) FK., **64**, 26—31.
Geologische Notizen über den westlichen Teil des paläogenen Beckens der Umgebung von Esztergom. Jb., **1917—24**, 67—77.
1935: Dobsina környékének földtani viszonyai. — Die geologischen Verhältnisse der Umgebung von Dobsina. Geol. Hung. Ser. Geol., **5**, 1—42; 1—118.
Adatok a Buda—Kovácsii hegység óharmadkori rétegeinek ismeretéhez. (Beiträge zur Kenntnis des Paläogens des Buda—Kovácsier Gebirges.) ÉJ., **1925—28**, 65—86.

Új adatok a Nagybihar (Cucurbeta) metamorf kőzeteinek ismeretéhez. (Neue Beiträge zur Kenntnis der metamorphen Gesteine der Umgebung des Nagybihar (Cucurbeta)). FK., **65,** 81—90.
SCHAFARZIK FERENC r. tag emlékezete. A Magyar Tud. Akad. elhunyt tagjai fölött tartott emlékbeszédek, **22,** 13, 1—31.
1936: A Bihar-hegycsoport helyzete a Kárpátok rendszerében. Mat. Term. tud. Ért., **55,** 46—74.
1937: A Tokajhegyalja délnyugati részének s a vele dél felől határos sík terület földtani viszonyai. (Die geologischen Verhältnisse des südwestlichen Tokaj-Hegyalja Gebirges und seines südlichen Nachbargebietes.) ÉJ., **1929—32,** 329—364.
(cum EMSZT K.) Jelentés 1931—32-ről. Bericht über 1931—32. ÉJ., **1929—32,** 40—63.
Die tektonische Stellung der Bihar-Gebirgsgruppe (Mtii Apuseni) im Karpatensystem. Math. Nat. w. Anzeiger Ung. Akad. Wiss., **55,** 69—76.
1939: A Bihar- és Béli-hegységek földtani viszonyai. I. rész. Alaphegység és paleozóikum. (Geologie des Bihar- und Béler Gebirges. I. Teil.) Kristallin und Paläozoikum. Geol. Hung. Ser. Geol., **7,** 1—200.
Csomád, Fót és Váchartyán környékének földtani viszonyai. (Die geologischen Verhältnisse der Umgebung von Csomád, Fót und Váchartyán.) ÉJ., **1933—35,** 2, 851—878.
Geológiai tanulmányok a Mátra északi oldalán Parád, Recsk és Mátraballa községek között. (Geologische Studien am Nordfusse des Mátragebirges in der Umgebung der Gemeinden Parád, Recsk und Mátraderecske.) ÉJ., **1933—35,** 545—620.
1940: Zur systematischen Stellung des „Syenit"-s von Plovdiv. Festschr. Prof. Dr. STEFAN BONČEV zu seiner 70. Geburtstag.
A csingervölgyi bányászat múltja, jelene és jövője. (Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft des Bergbaues im Csingertale.) ÉJ., **1933—35,** 3, 1179—1245.
1941: Jelentés a recski kincstári bányában észlelt olajfelfakadásról. (Bericht über den Petroleumausfluss im Bergwerk der kgl. ungarischen Kammer bei Recsk.) ÉJ., **1936—38,** 1, 209—221.
1942: Adatok a Gyöngyösoroszi környéki érctelérek ismeretéhez. (Beiträge zur Kenntnis der Erzgänge von Gyöngyösoroszi.) ÉJ., **1936—38,** 2, 731—806.
1950: Mátrabánya ércelőfordulása. — Das Erzvorkommen von Mátrabánya (Recsk). ÉJ., **1939—40,** 3, 111—137.

B) KÉZIRATOK
(a Magyar Állami Földtani Intézet Adattárában)

A szabadbattyáni andezit.
Jugoszláviai vasércelőfordulások.
A füzérradványi porcelánföld.
A hollóházi kaolin.
Az únyi szénelőfordulás.
A rohonci mangánérc.
Karancsalja, Karancsberény, Mizserfa és Nádújfalu szénelőfordulásai.
Az újbányai krómvasércelőfordulás.
1921: Szakvélemény a Miskolci Gőztéglagyár Rt. sárhídpusztai szénjogosítványáról.
1922: Jelentés az É-i Bakony Csesznek, Esztergár, Pénzeskútpuszta és Szentgál községek között fekvő szénterületéről.
1926: Szakvélemény a bárnai Nagykő-tető bazaltjáról.
1928: Szakvélemény a csolnoki orvosi lakás környékén keletkezett falrepedések ügyében.
1930: (cum FERENCZI I.) Földtani tanulmányok Csonkaszatmár-megye területén.
(cum FERENCZI I.) Jelentés az 1930. évi felvételről.
(cum SCHRÉTER Z.) A kisgyőri állami palabánya környékének geológiai térképe. 1 : 2000.
A kisgyőri agyagpalaterület A—B szelvénye 40° irányban. 1 : 1000.
1931: A Tokaj-Hegyalja DNy-i részének földtani viszonyai.
Szakvélemény Újhuta község vízellátása ügyében.
Szakvélemény DEZSŐ REZSŐ Nyíri község környékén fekvő bányakutatásairól.
Jelentés DEZSŐ REZSŐ fehérhegyi és a Várszély Testvérek komlóskai kutatásai tárgyában.
1932: Tájékoztató jelentés a m. kir. Földtani Intézet által az 1931. év folyamán végzett felvételekről és javaslat a ricsei minimum megfúrására.
Jelentés a Tokaji-hegység déli részében és a Taktaközben végzett földtani felvételekről.
1933: (cum IFJ. LÓCZY L.) Jelentés a m. kir. Földtani Intézet által a m. kir. Pénzügyminisztérium számára az 1932. évben végzett földtani felvételekről és javaslat a túrricsei geofizikai minimum megkutatására.

Jelentés az Úrkúti Bányamű Rt. mangánbányáiról.
Szakvélemény Piliscsaba-tábor lőterének vízellátása ügyében.
Szakvélemény a pomázi szénelőfordulásról.

1934: (cum IFJ. LÓCZY L.) Jelentés a m. kir. Földtani Intézet által a m. kir. Pénzügyminisztérium számára az 1933. évben végzett földtani felvételekről és javaslat az aszfaltot tartalmazó bogács—tardi boltozatrög megfúrására.
Előzetes jelentés az 1934. év nyarán Parád, Recsk és Mátraballa környékén végzett földtani felvételről.

1935: Vélemény a Salgótarjáni Kőszénbánya Rt. Gyúró községi szénszerződéséről.
Az Ajkai Szénbánya Rt. szénkészlete.
Jelentés az 1934. év folyamán Parád, Recsk és Mátraballa környékén végzett bányaföldtani felvételről.
(cum IFJ. LÓCZY J.) Jelentés az Ércbánya és Festékipar Rt. nézsai vasérckutató területéről.

1936: Adatok Csomád, Fót és Váchartyán környékének földtani ismeretéhez.
Szakvélemény Parád, Recsk geofizikai felvételének tektonikai értelmezése tárgyában.
Az óparádi fúrás helyének kitűzése.
(cum PANTÓ D.) Jelentés a martonyii vasércelőfordulásról.

1937: Szakvélemény a Dohányos-hegy körüli erdőbirtok szénkincséről.
A komlói kincstári szénbánya s közelebbi környékének rövid földtani vázlata.
Előzetes jelentés a gyöngyösoroszi bányaterületen végzett bányageológiai felvételről.
Előzetes jelentés a szeptember hóban Gyöngyösoroszin végzett bányageológiai felvételről.
Jelentés a gyöngyösoroszi érctelérekről.
Jelentés Romhány, Bánk és Rétság községek földtani viszonyairól.

1938: Földtani szakvélemény a Magyaregregy határában levő szénelőfordulásról.
Szakvélemény Bódvarákó és Tornaszentandrás környékének vasércelőfordulási lehetőségeiről.

1939: Szakvélemény a „Rodopski Metal" szófiai részvénytársaságnak a Rodope-hegységben levő Sztrasimir, Sofia, Szaglasszie, Sarenka és Szpoluka nevű bányajogosítványairól.
Szakvélemény a Magyar Bauxit Rt. nyirádi és perepusztai bauxitbányáiról.
Jelentés az Ördögpuszta mellett felkutatott derítőföldről.
A Kenyérmező-770. sz. fúrásban keresztezett fekvő mészkő valószínű viselkedése karsztosodás tekintetében.

EGYED LÁSZLÓ EMLÉKÜLÉS

Az MTA Geofizikai Tudományos Bizottsága és a Magyar Geofizikusok Egyesülete 1980. december 11-én ülést rendezett az MTA Roosevelt téri székházában EGYED LÁSZLÓ (1914—1970) emlékére. A Kossuth-díjas akadémikus, az ELTE Geofizikai Tanszékének vezetője, az ELTE Természettudományi Karának dékánja, aki sokoldalú munkásságával jelentősen hozzájárult a hazai geofizika fejlődéséhez, 10 éve halt meg.

Ugyanezen a napon, délelőtt avatták fel az MTA GGKI Szeizmológiai Obszervatórium épületén elhelyezett emléktáblát is, mely KÖVESLIGETHY RADÓ, a magyar szeizmológiai kutatások megindítója és EGYED LÁSZLÓ, a korszerű szeizmológiai hálózat újjászervezője emlékét örökíti meg. BISZTRICSÁNY EDE, az obszervatórium vezetője elmondotta, hogy az emléktábla felavatását két évforduló tette aktuálissá: a kutatások 75 éve indultak meg, míg az újjászervezés 25 éve kezdődött el.

Az MTA X. Osztálya nevében MARTOS FERENC akadémikus, osztályelnök, az ELTE TTK és a Geofizikai Tanszék nevében SZEMERÉDY PÁL docens, a Magyar Geofizikusok Egyesülete képviseletében DERES JÁNOS főtitkár, az ELGI részéről MÜLLER PÁL igazgató, végül az obszervatóriumot működtető MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet nevében SOMOGYI JÓZSEF igazgató helyezte el a megemlékezés koszorúját.

Az MTA székházában tartott emlékülés programja a következő volt:

MARTOS FERENC: Megnyitó

BARTA GYÖRGY: EGYED LÁSZLÓ, a tudományszervező

MÁRTON PÉTER: EGYED LÁSZLÓ tudományos munkássága

BISZTRICSÁNY EDE: 75 éves a magyar szeizmológia

MESKÓ ATTILA: Geofizikus képzés a Természettudományi Karon

A továbbiakban közöljük az előadások anyagát.

EGYED LÁSZLÓ A TUDOMÁNYSZERVEZŐ

BARTA GYÖRGY
AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

EGYED LÁSZLÓ fiatal szakemberként, matematika-fizika szakos tanári diplomájának megszerzése után, természetesen még nem foglalkozhatott tudományszervezéssel, hiszen nem volt meg ehhez a kellő tapasztalata és tekintélye; de folyamatos, nívós törekvése a tudomány művelésére és az oktatás szervezésére és fejlesztésére már megmutatta, hogy a fiatal kutató rövidesen szakmájának vezéregyénisége lesz.

Matematikai tehetsége korán megmutatkozott. VERESS PÁL professzornál, tanári diplomája megszerzése után, azonnal tanársegédi kinevezést kapott, ami abban az időben nagy szó volt, hiszen akkor a krónikus munkanélküliség nagyon megnehezítette a fiatalság elhelyezkedését. 1938-ban Varsóban egy matematikai kongresszuson már előadást tartott, ami később a kongresszus kiadványában megjelent. Doktori értekezését is matematikai tárgykörből írta.

Rövid tanársegédsége után a Magyar—Amerikai Olajipari Részvénytársaságnál helyezkedett el és itt jegyezte el magát örökre kedves tudományával, a geofizikával. Habár első munkaadója gyakorlati intézmény volt, az elméleti kérdések iránti érdeklődését továbbra is megtartotta, sőt hivatali felettesei véleményével szembeszállva harcolt érte. A Meteorológiai Intézet *Időjárás* c. folyóiratában a mágneses hatószámításról cikke jelent meg. Itt magyarázatul meg kell említeni, hogy akkor a Meteorológiai Intézet még földmágnességi feladatokat is ellátott, a földmágnesség a címében is szerepelt és a keretében működött az ógyallai meteorológiai és földmágnességi obszervatórium.

A háború után tovább dolgozott a MAORT-nál, de ottani egész tevékenysége alatt tovább törekedett kapcsolatban maradni különböző oktatási intézményekkel. 1942-től az akkori Felsőipariskolában tanított matematikát, 1947-ben magántanárrá habilitálták a budapesti Tudományegyetemen, ahol 1949-ben kezdte megszervezni a geológusok geofizika oktatását. Geofizikával foglalkozó kortársaiból előadókat gyűjtött maga köré speciális kollégiumok tartására. Így az ő felkérésére kezdtem én is földmágnesség előadásokat tartani a budapesti egyetemen 1949-ben. Ebből a munkacsoportból 1951-ben alakult az ELTE Természettudományi Karán a geofizikus képzés, illetve Geofizikai Tanszék, amelynek először tanszékvezető docense, majd 1956-tól professzora lett. A Tan-

szék első felszerelése részben archív, részben kölcsön műszerekből, majd lassan vásárolt műszerekből alakult ki.

A Tanszék szervezése során EGYED professzor észrevette, hogy Magyarországon a földrengéskutatás elhanyagolt. Az 1905-ben megindult nemzetközi szinten is értékelt kutatás a trianoni béke következtében az obszervatóriumi hálózat megcsonkulása miatt megakadt és KÖVESLIGETHY RADÓ világhírű szeizmológusunk a háború után, jórészt pénzügyi okokból, nem tudta újjászervezni. EGYED felismerve a szeizmológiának a Föld belső kutatásában betöltött fontos szerepét, a Tanszéken szakembereket nevelt és megkezdte egy új hálózat alapjainak a lerakását. Lényegesen fejlesztette a meglevő hálózat műszerezettségét és szorgalmazta új obszervatóriumok létesítését. Ezeknek szakmai irányítását és továbbfejlesztését EGYED professzor kiváló tanítványa BISZTRICSÁNY EDE vette át.

Most 10 év távlatában meg lehet állapítani, hogy EGYED professzor igen jó érzékkel választotta ki munkatársait, akik ma már nemzetközileg elismert vezetői szakterületüknek. Első munkatársa SZEMERÉDY PÁL, fizikusi diplomával főleg a fejlődő tanszék műszeres problémáival foglalkozva szerzett a szakkörökben tekintélyt és segítette az egyes kutatási ágak bevezetését és kifejlesztését. EGYED LÁSZLÓ széles látókörrel választotta ki a kutatásra érdemes korszerű és Magyarországon még nem művelt témákat és irányította fiatal munkatársai figyelmét ezekre a lehetőségekre.

A tihanyi obszervatórium megnyitása után szinte azonnal megindította ott a szferix, az ionoszféra és később a whistler kutatásokat. Ezzel bekapcsolta a geofizikát a magyarországi űrkutatásokba, ahol TARCSAI GYÖRGY munkatársa kiváló eredményeket ért el. Majd MÁRTON PÉTER irányításával a paleomágnesség művelését is megindította a Tanszéken, amely szakterület kiváló hídnak bizonyult a geofizikai és geológiai tudományok között és eredményeivel a hazai geológiai mozgások fizikai bizonyítékát és méretét is megadta. A saját maga által kezdeményezett és művelt hatószámításokból önálló, sikeres, nemzetközileg is jelentős iskola fejlődött, amelynek egyes korszerű ágait tanítványai és munkatársai gondozzák pl. a szűrőelméletet MESKÓ ATTILA, az információelméletet pedig SALÁT PÉTER és munkatársai.

Nemcsak munkatársai kiválasztásában volt sikeres szervező EGYED LÁSZLÓ, hanem saját maga is tevékenyen részt vett a magyarországi geofizikai kutatás alapjainak lefektetésében. 1954-ben megkezdte egy a *Föld fizikája* című könyvsorozat megszervezését. A sorozatból három kötet el is készült, ő írta a gravitációs és szeizmológiai részt, AUJESZKY LÁSZLÓ a légkör fizikáját és jómagam a földmágnességgel foglalkozó részt. Sajnos a tervezett vizek fizikájával foglalkozó negyedik rész MAUCHA REZSŐ akadémikus idős kora miatt már nem készült el.

Közben megalkotta dinamikus földmodelljét, amelyet általában a táguló Föld hipotézisére alapított. Ennek a gondolatnak a jelentősége a maga korában

főleg abban állt, hogy bemutatta, hogy az újszerű feltevéssel sok geológiai-geofizikai jelenséget az eddiginél jobban meg lehet magyarázni. Ezzel korai úttörője lett a földfejlődés dinamikus felfogásának.

A geofizikus képzés szervezése során kiderült, hogy az országban már jelentős számú autodidakta geofizikus működik. Többnyire matematika-fizika szakos tanárok, illetve különböző mérnöki diplomával rendelkező szakemberek. Kívánatos őket a közös cél, tudományuk fejlesztése érdekében szervezetbe tömöríteni. EGYED LÁSZLÓ előharcosa lett a Magyar Geofizikusok Egyesülete megszervezésének és a megalakuló Egyesületben pedig oroszlánrésze volt a később nemzetközivé fejlesztett, évenként rendezett geofizikai ankétok szervezésében. Ezzel a működésével nemzetközi hatású tevékenységet fejtett ki és a magyar geofizikát a közép-európai tudományos működés élvonalába vezette és központi szerepűvé fejlesztette.

Ő vetette fel Egyesületünk legmagasabb kitüntetésének az EÖTVÖS LORÁND emlékéremnek a gondolatát. Kiadásának feltételeit először ő fogalmazta meg úgy, hogy azok lényegében negyed század elteltével ma is érvényesek.

Tudományos és tudományszervezői működése nemzetközi szinten jó hangzású nevet szerzett neki. Elméletét sok nemzetközi konferencián ismertette és különböző külföldi akadémiák meghívására róla tucatnyi előadást tartott. Tagja lett a nemzetközi űrkutatási bizottság (COSPAR) 7-tagú elnökségének és 1967. augusztustól 1 évig UNESCO kiküldöttként japán geofizikai intézetekben dolgozott. Jelentős szerepe volt a nemzetközi geofizikai év és együttműködés magyarországi munkái megindításában és lebonyolításában, majd ezt követően a szocialista országok folyamatos geofizikai együttműködésének a KAPG-nek a megszervezésében.

Itthon a Tanszék tantervének kialakításával és kutatási irányainak megszabásával, majd az egyesület megszervezésével sikerült kialakítania egy geofizikai szervezet vázát és a saját tanszékének, valamint a soproni — később Miskolcra helyezett — Nehézipari Műszaki Egyetem diplomásaival ezt a vázat élő tartalommal kitöltenie.

A minősítések hierarchiájának kiépítése során a gyakorlati és elméleti kutatások értékelésére sok gondot fordított. El kell mondani, hogy ebben a tényked ésében — nagyon helyesen — igen magas mércét emelt, de a szeme előtt mindig az igazság érvényrejuttatása lebegett.

Szókimondásával és harcos természetével természetesen közben ellenfeleket is szerzett, de igazságszeretetével és objektivitásával a szakkörök megbecsülését is kivívta, amely számára 1956-ban az oktatásügy kiváló dolgozója címet, 1957-ben pedig KOSSUTH-díjat eredményezett. A Magyar Tudományos Akadémia 1960-ban levelező, 1970-ben pedig rendes tagjává választotta.

Szervezőképességét és nemzetközi tekintélyét az egyetem is kihasználta akkor, amikor tanszékvezető funkciója mellé a Természettudományi Kar dékánságával is megbízta. Ebben a minőségben alkalma volt a geofizika speciális

területén kívül tágabb tudományszervezési és tudománypolitikai területeken dolgoznia. Jelentős szerepe volt — habár ezen a területen életműve nem fejeződött be — a Természettudományi Kar új elhelyezésének megindításában és az új elhelyezés szükségességének elfogadtatásában az illetékesekkel. Reméljük, hogy ez a távlati, de még meg nem valósult terve belátható időn belül létrejön.

Saját maga is sokat dolgozott, több könyvet és jegyzetet írt és több mint 100 tudományos publikációja jelent meg a legkülönfélébb hazai és nemzetközi folyóiratokban. Tanítványait és munkatársait saját példájával buzdította munkára és ennek eredményeképpen tucatnyi jegyzet, könyv és sok száz tudományos dolgozat jelent meg, alapját képezve egy sajátos magyar, nemzetközileg is elismert és méltányolt geofizikai iskolának. Halála után 10 évvel már felmérhetjük, hogy számunkra a kutató, oktató, szervező tudós példaképe lehet és személyes munkája nélkül a magyar geofizika nem állna sok területen a nemzetközi kutatás élvonalában, és az egyes kutatók sem élveznék azt a megbecsülést és elismerést, amelyben manapság is részesülnek.

Egy tudományág szinte megalapításától a nemzetközi tekintélyig vezető művelése a halála óta eltelt tíz év távlatában is méltán kelti fel bennünk mai magyar geofizikusokban és szakemberekben a hála és tisztelet érzését. Kegyeletünket legjobban úgy róhatjuk le emléke előtt, ha igyekszünk minél teljesebben kifejleszteni az általa annyira szeretett tudományágat, a geofizikát, hazánk és az egész emberiség javára.

EGYED LÁSZLÓ TUDOMÁNYOS MUNKÁSSÁGA

MÁRTON PÉTER
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

A tudomány munkásainak tevékenysége publikációikban tükröződik. EGYED LÁSZLÓ irodalomjegyzéke (176 old.) 115 tételből áll. Szerzőjük tudományos kutatásai mindig időszerű problémák megoldására irányultak, eredményei pedig általános érdeklődésre tartottak számot. Ezt bizonyítja, hogy legfontosabb dolgozatai nemcsak idehaza, hanem külföldön is megjelentek. Az ismertebb folyóiratok közül a *Nature* 5, a *Pageoph* és a *Geologische Rundschau* 3—3, a *Geophysics*, a *Gerlands Beiträge* és a *Zeitschrift für Geophysik* 1—1 cikkét közölte. Különböző külhoni fórumok további 16 tanulmányát publikálták. Nemzetközi kiadású, geofizikai tárgyú tankönyvek és kézikönyvek hivatkozásaiban az EGYED-féle expanziós elmélet és annak különböző vonatkozásai újra és újra fellelhetők.

A jelen megemlékezés célja a fenti számok mögött levő tudományos tevékenység főbb szakaszainak és eredményeinek áttekintése.

EGYED LÁSZLÓ egyik első geofizikai tárgyú publikációja 1953-as keltezésű [4], amelyben eljárást adott tetszőleges csapásirányú (függőlegesen) félvégtelen telér mélységének, szélességének és mágneses szuszceptibilitásának meghatározására a ΔH és a ΔZ anomáliák egyesítésével. Ehhez csatlakozik a kurszki és kirunaihoz hasonló felszín alatti táblás előfordulások értelmezésével foglalkozó cikke [6], amelyben megmutatta, hogy a telep geometriai jellemzői mind a gravitációs gradiens és görbület, mind a mágneses (ΔH és ΔZ) szelvényekből meghatározhatók. A gradiens és ΔH valamint a görbület és ΔZ között fennálló analógia miatt a módszer lényegében ugyanaz, mindkét esetben. Ebből az időből származik az Akadémián RYBÁR ISTVÁN által bemutatott munkája [8], amelynek tárgya két felszínnel párhuzamos félsíkkal és egy lejtővel határolt felszín alatti szerkezet (vetőmodell) felett, dőlésirányban mért gradiens és görbület szelvény értelmezése. Exakt eljárást adott a szerkezet geometriai adatainak és a sűrűségkülönbségnek a meghatározására. A függőleges törés (lépcső) mind a gradiensben, mind a görbületben felismerhető és ilyenkor az egyik anomália elegendő az értelmezéshez. Például a gradiens, amely viszont graviméteres szelvényből is származtatható.

A terrénhatás elhanyagolásmentes számításához szerkesztett egyszerű kiolvasó diagramját gyakorlati példával illusztrálta [9]. A gravitációs anomáliák

magassági redukciójáról írott dolgozatának [12] fő eredményeként tekinti a Δg redukciójához szükséges függőleges gradiens abszolút értékének általa adott meghatározási módszerét. (Az anomáliák e redukciója azért szükséges, mert a BOUGUER-anomáliák eredetileg nem egy szintfelületre, hanem a Föld fizikai felszínére vonatkoznak.) Hosszabb ideig foglalkoztatta az átlagsűrűség meghatározásának problémája, mint a gravitációs kiértékelés egyik centrális kérdése. Eljárásokat adott az átlagsűrűség meghatározására, amelyek a NETTLETON-féle elv kvantitatív átfogalmazására épülnek [13, 40]. Ezek használhatóságát gyakorlati példákkal igazolta.

A gravitáció alkalmazott geofizikai vonatkozásai közül foglalkozott még a második derivált módszerrel, illetve annak elvi megalapozásával [34], de 1950-től kezdve figyelme mindinkább a Föld egészére, annak fizikai fejlődésére és belső szerkezetére koncentrálódott. Ezt a korszakot az izosztáziáról írt dolgozata vezeti be [18, 19], amelyben az új szeizmikus eredmények nyomán újravizsgálta a kéreg izosztatikus egyensúlyát és az AIRY-HEISKANEN-féle modell finomítását javasolta a kéreg kétosztatúságának és a fedő üledékeknek a figyelembevételével.

A földkéreg egyensúlyáról írott munkájában [31] a „kéreg helyzetét, egyensúlyát és mozgását" három erőhatásból vezeti le. Ezek az izosztatikus egyensúlyt létrehozó erők, a tektonikai erők és a kéreg rugalmassága. Azokat a zónákat vizsgálja részletesen, amelyek nincsenek izosztatikus egyensúlyban, vagyis 1) a mélytengeri árkok, 2) az alpi orogén, 3) az afrikai árkok, 4) India és 5) az eljegesedés területeit.

A mélytengeri árkok keletkezésének elméletét először 1953-ban publikálta [21]. Úgy tűnik ő volt az első, aki figyelembe vette, hogy az árkok kontinentális és óceáni kéreg találkozásánál horizontális kompressziós erők hatására jönnek létre, noha az utóbbiak kialakulására abban az időben még nem találhatott kielégítő magyarázatot. Az árok, a vulkáni sor és a mögötte fekvő sekély tenger képződését egyedül a magmán úszó kéreg deformációjára vezette vissza, ugyanúgy, mint az afrikai árkok keletkezését. India izosztatikus anomáliáit úgy értelmezi, hogy „*ott ahol nagy negatív izosztatikus anomáliák vannak, a kéreg jobban benyomódott a magmába, míg a pozitív rendellenességek éppen a magma felemelkedését jelölik*", — vagyis a kéreg horizontális erők hatására történt behajlásával. „*Az anomáliák szerint a legerősebben meghajlított rész a Ganges síkság területére esik, míg India közepe és délibb része kisebb igénybevételnek van alávetve*", amelyet a szeizmicitás is megerősít. „*Az egész kép azt a benyomást kelti, hogy a Himalája tömegei nekinyomódtak az indiai félszigetnek*" és ez okozta a kéregdeformációt.

E tektonikai hipotézisei igen közel állnak a jelenségek modern lemeztektonikai modelljeihez.

1955-től kezdve jelentek meg azok a dolgozatai, amelyekben az egész Földre kiterjedő földtani-geofizikai jelenségek és folyamatok magyarázatát a Föld tágulásában igyekezett megtalálni. EGYED LÁSZLÓT az egész világon az ún.

lassú expanziós hipotézis fő képviselőjeként tartják számon és a Föld tágulásának elmélete nevétől idehaza is elválaszthatatlan. A gondolat egyik első fogalmazása a következő [30].

Eltekintve a mintegy 100—300 km-t kitevő legfelső övtől, a Föld ugyanannak a szilikátos anyagösszességnek három módosulata, amelyek a belső és külső magot, illetve a köpenyt alkotják. A magot felépítő fázisok instabilak. A belső mag anyaga folytonosan átalakul a külső mag anyagába, míg az utóbbi a köpenyt alkotó stabilis módosulatba. Az átmenetek irreverzibilisek és a sűrűség csökkenésével járnak, amelynek közvetlen folyománya a Föld térfogatának állandó növekedése.

A hipotézis mellett szóltak, hogy a földtörténet folyamán a Föld vízzel borított területei csökkentek, a Föld forgása pedig lassúbbodott és mindkettő lényegében ugyanazt a félmilliméter per év sugárnövekedést szolgáltatta. Az, hogy a kontinentális kéreg a primitív Földet egységesen beborította, hipotézis volt a hipotézisben, de a számított tágulási mérték a fentivel egybevágott és a tudás akkori szintjén úgy tűnt, hogy ezzel a „kontinensvándorlás" és az óceánok keletkezése is magyarázatot nyer, egyszerűen az egységes szial kéreg tágulás miatti felrepedésével és az alkotó blokkok eltávolodásával.

Ebben a modellben az instabil módosulatok átalakulásának oka azonban nem volt tisztázott. Az elmélet későbbi megfogalmazásában [63] a gravitációs állandó Dirac által feltételezett időbeli csökkenése szolgáltatja a szükséges fizikai okot. Ramsey (1949) szerint ui. a földmag határa az a kritikus nyomású felület, amely a szilikátok nemfémes (köpeny) és fémes (mag) állapotát választja el. A gravitációs állandó időbeli csökkenése a nehézségi gyorsulás és így a nyomás csökkenését eredményezi, tehát a kritikus nyomás felülete az idő előrehaladásával beljebb és beljebb kerül a Föld belsejébe. Ily módon a Dirac *posztulátum* teljesülése maga után vonja a belső illetve a külső mag átalakulásait, vagyis a Föld tágulását.

Az expanzió fizikai feltétele, a gravitációs állandó időbeli csökkenése, egyben a bolygók Napból való származtatását is sugallta. Az Egyed által felvázolt elmélet [66, 69, 70, 75] összhangban van az impulzusmomentum „anomális" eloszlásával, földtani-geofizikai következményei pedig (Egyed László szerint) a következők:

Amikor a Föld kivált a Napból, átlagsűrűsége mintegy hétszerese volt a mainak és csak a legfelső mintegy 100—200 km-es öve volt a köpeny mai fázisállapotában, olvadék formájában. A Föld belseje több nagynyomású degenerációs fázisból állt. A kezdeti nagy gravitációs tér a primitív köpenyben erős differenciációt hozott létre, amelynek hatására kialakult az első légkör, a sial és a sima övek. A tágulás létrehozta új köpenyanyag a gravitációs állandó rohamos csökkenése miatt egy idő után már nem differenciálódott így összetétele a primitív köpenyével kell azonos legyen, vagyis nagy illótartalmú anyagból kell állnia, amelynek felszínre vonatkoztatott sűrűsége mind a sima, mind a sial

sűrűségénél kisebb. Létrejön tehát az elmélet szerint egy olyan sűrűség-, ill. sebességprofil, amelyben az *asztenoszféra* világosan kirajzolódik.

A fentiek természetes következményeképpen a mély fészkű földrengéseket andezites, a sekély rengéseket pedig bazaltos vulkánosság kíséri.

A vízkör legalább 80%-a a primitív köpeny differenciációjával jött létre, így mindaddig megvédte a kérget a lepusztulástól, amíg a Föld méretei annyira megnövekedtek, hogy a sial egy része a tengerszint fölé került. Ekkor kezdődhetett az első lepusztulási-hegységképződési ciklus egyezésben a legidősebb metamorf kőzetkorral, ami 3—3,5 milliárd év.

A paleomágneses vizsgálatok eredményei kezdettől fogva érdekesek voltak mind a kontinensvándorlás, mind a földtágulás hipotézisei szempontjából. Ismeretes, hogy a kontinensvándorlást a geológusok és geofizikusok 1926-ban véglegesen elvetették (*Symposium on Continental Drift*, 1926. november 15, New York, American Association of Petroleum Geologists). Közel 30 év elteltével az első paleomágneses eredmények (Blackett és Runcorn) független bizonyítékot szolgáltattak rá, és 1967-től kezdve szinte senki nem kételkedik benne.

Az expanziós elmélet paleomágneses tesztjére Egyed László két, formailag különböző, de tartalmukban azonos módszert javasolt. Az ún. *paleomeridián módszer* [65] azt használja ki, hogy két azonos paleomeridián mentén fekvő hely paleoszélességeinek különbsége a paleomágneses inklinációkból kiszámítható. Ha ezzel a két hely felszíni távolságát elosztjuk, megkapjuk a paleorádiuszt. Az ún. *háromszögelési módszer* [81] akkor is alkalmazható, ha a mintavételi helyek nem egyetlen paleomeridián mentén fekszenek.

Az elvégzett tesztek megmutatták, hogy gyors expanzió (Carey, Hilgenberg) lehetetlen, viszont az Egyed-féle lassú tágulásnak nem mondanak ellent.

Az expanziós elmélet eddigi megfogalmazásaiban a hőnek nem volt közvetlen szerepe, holott a Föld tágulását termális dilatáció is okozhatná. Ez utóbbi azonban a korábban említettnél sokkal kisebb sugárnövekedésre vezet. Egyed László kimutatta, hogy a kellő 0,5 mm/év sugárnövekedés a valóságos Földön csak úgy érhető el, ha a gravitációs állandó csökken, megvannak a nagynyomású fázisok és az átlag rádioaktív hőtermelés a Föld belsejében a bazalt 50 erg/év/g-jának felel meg. A modell kiadja a külső mag nagy és a belső mag kis hőmérsékletét, ami előbbi folyadék voltát, utóbbi szilárd jellegét magyarázná, de nem kielégítő a köpeny vonatkozásában [85, 109].

Miután a kontinensvándorlás menetrendjét a paleomágneses vizsgálatok rekonstruálták, kiderült, hogy lassú tágulás nem elegendő a viszonylag fiatal óceáni medencék méretének kialakításához. Egyed László szerint az expanzió az „új" óceáni területeknek mintegy 10—15%-át produkálja, vagyis a középóceáni hátságok által elfoglalt területeket, a kontinensek pedig eltávolodnak a hátságoktól, miközben mintegy ráúsznak a régebbi óceáni területekre. A mechanizmus a következő [111].

A drift-epizód egy mély törésrendszer kialakulásával kezdődik. E mentén a Föld belsejének tágulásából eredő anyagi konvekció indul meg és a felszín közelében megatumort hoz létre. A tumor lejtőt képező szárnyain a szegélyező kontinensblokkok részben az aljzattal együtt, gravitációsan lecsúsznak. A csúszást csak az aljzat súrlódása fékezi ui. a megaundulációt a tágulás állandóan pótolja. Az árkok környezetében a mély fészkű földrengések hipocentrumainak eloszlása a drift irányát mutatja. Ez a magyarázat az expanziós elmélet, a VAN BEMMELEN-féle megaundulációs elmélet és a passzív konvekció elméletének ötvözete. Szerzője így látta összeegyeztethetőnek a *sea-floor spreading* és az expanzió elméletét. Eddig jutott el a Föld dinamikájáról megalkotott szintézisében, amikor alkotó erejének teljében a halál elszólította.

EGYED LÁSZLÓ tudományos munkásságának ez a keresztmetszete csak a főbb állomásokat, az alapvető gondolatokat és néhány következményt exponált. Ő maga a földi hő [61] és a földmágnesség [39, 41] eredetére meg a hegységképződésre [71, 77] is igyekezett magyarázatot találni elméletének keretei közt. Egyéb kérdések is foglalkoztatták, mint például az elemek kompresszibilitása [23, 27], a vízhálózat és a mélyszerkezet kapcsolata [28, 45], a felszíni hőmérséklet és a mágneses aktivitás korrelációja [82] stb. Érdeklődési köre az egész ún. általános geofizikára kiterjedt. Dolgozatait az egzaktságra való törekvés jellemzi. Különös képessége volt a problémák kvantitatív megfogalmazására és megoldására, amellyel új utat nyitott a hazai földtani irodalomban.

75 ÉVES A MAGYAR SZEIZMOLÓGIA

BISZTRICSÁNY EDE
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Évfordulóra akkor emlékezünk, ha valaki vagy valami megszületett vagy megszűnt, az évforduló az a nap, amely az eseménytől számított egy vagy több év után következik be. Néha még egy ember megszületési dátuma sem deríthető ki pontosan és ez még inkább nehéz, ha történelmi esemény bekövetkezési idejét szeretnénk meghatározni.

Az EGYED LÁSZLÓ emlékülés többszörös évfordulónak tiszteleg. 75 éves a magyar földrengéskutatás. De valóban annyi? Az 1810-ben lezajlott móri rengésről KITAIBEL és TOMTSÁNYI 1814-ben, tehát 166 éve már olyan tanulmányt készítettek, amelyben körülhatárolták a kárt szenvedett területet, azaz bevezették — talán a világon először — az izoszeizta fogalmát. Ettől kezdve több tanulmány is született a századfordulóig lezajlott földrengésekről. 1880 végén SCHAFARZIK FERENC a Magyarhoni Földtani Társulat választmányi ülésén javasolta, hogy svájci mintára, amely első volt Európában, földrengésvizsgáló intézményt hozzanak létre. Ennek nyomán 1881 végén hattagú földrengési bizottság alakult a Magyar Tudományos Akadémia anyagi támogatásával, melynek olyan tagjai voltak, mint SZABÓ JÓZSEF, LÓCZY LAJOS, SCHAFARZIK FERENC. Ekkor fogalmazták meg az első kérdőívet, amely elősegíti a makroszeizmikus jelenségek megfigyelését, illetőleg leírását. Ennek akkor a mainál még nagyobb jelentősége volt, hiszen műszeres észlelés nem létezett. — Ha ezeket a dátumokat választanánk a megalapítás évfordulóinak, a magyar földrengéskutatás 99 vagy 100 éves lenne.

A 19. század már majdnem a végéhez közeledett, amikor sor kerülhetett műszervásárlásra. E műszerek azonban nem voltak szeizmográfnak tekinthetők, az általuk feljegyzett rezgésekből a földmozgások mechanizmusát, a hullámterjedés sebességét még nem határozták meg. E műszer a földmozgás létének rögzítésére szolgált. (Mai neve szeizmoszkóp). Újabb 10 év után, 1900-ban kért SCHAFARZIK a Magyar Tudományos Akadémiától anyagi támogatást külföldi tanulmányútra, amit KÖVESLIGETHY RADÓ kapott meg, akinek 38 éves korában ily módon lehetősége nyílt a strasbourgi intézet tanulmányozására. Hazatérése után javaslatot tesz a magyarországi szeizmológiai hálózat létrehozására, budapesti, fiumei, kolozsvári, zágrábi és ógyallai állomások felépítésével. Ennek nyomán a *Földrengési Bizottság*, melynek ettől kezdve KÖVES-

LIGETHY is tagja volt, 10 000 korona államsegélyt kapott a hálózat létrehozására, fenntartására pedig évi 1000 koronát. (Meg kell itt említenem, hogy a földművelődésügyi miniszter 10 000 helyett csak 5000 koronát engedélyezett.) 1904-ben a földrengéskutatás abban a kitüntetésben részesült, hogy KÖVESLIGETHY RADÓt a nemzetközi földrengéskutató szövetség állandó bizottságának tagjává választották. A következő évben pedig KÖVESLIGETHY az MTA támogatásával megalapította a budapesti *Földrengési Obszervatóriumot* és a *Nemzetközi Földrengési Számoló Intézetet*. A központi obszervatórium helyéül a Magyar Nemzeti Múzeum pincéjét jelölték ki. Ettől kezdve vált lehetővé a rendszeres műszeres megfigyelés és ennek folyományaként az észlelésen alapuló elméleti munka. Ezt a dátumot tekintjük ma a szervezett földrengéskutatás kezdetének.

KÖVESLIGETHY a szeizmográf részére a helyet csak ideiglenesnek fogadta el. Ennek ellenére a WIECHERT-szeizmográf majd 60 évig e helyen maradt. — De ne vágjunk a dolgok elébe. — 1911-ben KÖVESLIGETHY elkészítette egy megfelelő állomás terveit és lépéseket tett, hogy egy új központi épületnek helyet biztosítson. 1912-ben a KÖVESLIGETHY alapította két intézmény egyesült *Budapesti Földrengési Obszervatórium* néven. 1914-ben a Főváros az Istenhegy déli lejtőjén megfelelő területet adományozott, de az első világháború és annak következményei e szép elképzelést meghiúsították.

Földrengéskutatás terén a hálózat fejlesztésén kívül elmélyült elméleti munkát is végzett KÖVESLIGETHY. A CANCANI-egyenlet továbbfejlesztésével, az izoszeizták felhasználásával hipocentrum meghatározási formulát dolgozott ki. E munka szép sikerét jelenti, hogy GUTENBERG 1932-ben megjelent *Handbuch der Geophysik* IV. kötete ennek az egyenletnek teljes levezetését idézi. A földrengés előrejelzés lehetőségeivel is foglalkozott és már akkor felvetette, hogy mérni kell a feszültség alatt levő kőzetben terjedő hullám sebességét, továbbá felhívta a figyelmet a szeizmológia gyakorlati alkalmazására.

1934-ben KÖVESLIGETHY meghalt. Ezután az intézmény két év alatt kétszer változtatta helyét. 1937-ben a Deák Ferenc utcába költözött és ott is maradt megsemmisüléséig. Míg az első világháború következményei a lassan meginduló, majd szépen fejlődő intézetet akadályozták csupán, a második világháború során a SIMON BÉLA által igazgatott *Országos Földrengésvizsgáló Intézet* csaknem teljesen elpusztult. SIMON BÉLA igazgatása alatt a harmincas évek végén minden kutató részére már külön szoba, kis könyvtár állt rendelkezésre. Ez a létesítmény 1943-ban az addig összegyűjtött nagy mennyiségű makroszeizmikus anyaggal együtt megsemmisült és 1945-ben a kecskeméti és szegedi állomások felszerelése is tönkrement.

1945-től 1952-ig szűkös körülmények között, egy elhagyott magánlakásban működött az intézet. Amikor 1951-ben a Vallás- és Közoktatásügyi Minisztérium leadta a nem oktatási jellegű intézményeit, megmagyarázhatatlan okok miatt ez az eredetileg a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával létrejött intézet a Bánya- és Energiaügyi Minisztérium felügyelete alá került.

Ugyanakkor a Csillagvizsgáló Intézetet az MTA intézményei közé sorolták. — Az ismét új helyre sodródó *Földrengésvizsgáló Intézet* az előbb említett főhatóság alatt a Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet osztályává vált, ahol sajátságos tárgyi és személyi okok miatt a háború alatt megállt fejlődés állapotában maradt.

Az ötvenes években a világ szeizmológiai műszerszínvonala nagyot fejlődött. A hazai szeizmológiai kutatás azonban mind műszerezettség, mind elméleti munkásság tekintetében messze elmaradt a KÖVESLIGETHY által megindított színvonaltól. Erre figyelt fel EGYED LÁSZLÓ, aki akkor az *Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszék*ének volt a vezetője. Elhatározta, hogy új korszerű szeizmológiai hálózatot szervez. A munkát a már létező és a MÁELGI keretében működő szeizmológiai osztálytól teljesen függetlenül kezdte el.

A szeizmológiai munka alapja, hogy megfelelő állomáshálózat legyen. Ez azonban nem volt olcsó mulatság az 1950-es években sem. EGYED LÁSZLÓ tehát oly módon oldotta meg ezt a nehézséget, hogy az új állomások zömét mások építették fel. Így került *a piszkéstetői állomás* az *MTA Csillagvizsgáló Intézet*ének területére és tulajdonába, a *soproni állomás* az ottani *Geodéziai Laboratórium* sopronbánfalvai obszervatóriumába, a *jósvafői a BME jósvafői karsztvízkutató állomásának területére* és tulajdonába. (Meg kell jegyeznem — mert tükrözi a szeizmológia helyzetét —, hogy ezek az állomások a mai napig (Sopron kivételével) nincsenek tulajdonunkban.)

Megkezdődött tehát a tanszéki szeizmológiai hálózat létrehozása, vele egyidőben, sőt azt megelőzve, a szeizmológiai kutatás is. Évtizedes szünet után tudományos publikációk jelentek meg, és lassan növekedni kezdett az először egy kutatóval induló tanszéki kutatócsoport is.

EGYED LÁSZLÓ eközben egyik javaslatot tette a másik után egy újbóli földrengésvizsgáló intézet létrehozására. Idézek egy 1961-ben kelt előterjesztéséből: „... Az Eötvös Loránd Tudományegyetem Geofizikai Tanszékének kezdeményezésére megépült a budapesti Sashegyen az első magyar földrengési obszervatórium ... kísérleti működését a napokban kezdte el. Ugyancsak építés alatt áll a piszkéstetői csillagászati obszervatórium területén is egy földrengésészlelő állomás ... a már folyamatban levő munkák is lehetetlenné teszik a Tanszék keretében való működést ... kérem az Elnök elvtársat, hogy hozza létre az MTA Szeizmológiai Kutató Laboratóriumot ...". Eddig az idézet. Az előterjesztés különböző tárgyi és személyi okok miatt nem talált meghallgatásra. Ezután kapcsolatba lépett a honvédséggel. Ez a kapcsolat manapság már nem titok, de akkor egy ésszerű, előrelátó kezdeményezés volt.

Ismét idézek egy levélből: „... A hálózat ... nem hiábavaló munka teljesen békés állapotok mellett sem ... Fel kell hívnom az érdekelt szervek figyelmét, hogy a rendszer kiépítéséhez, az egyes szakemberek képzéséhez, a szolgálat begyakorlásához idő kell és ha az érdekelt szervek ... nem nyújtanak reális segítséget, akkor könnyen kerülhetnek olyan helyzetbe, hogy hirtelen

válik szükségessé a rendszer felállítása és működtetése, ami pedig ... biztonsággal nem lesz kivitelezhető".

Ezután három év telt el, időközben felépült a budapesti, a piszkéstetői, a jósvafői és a soproni állomás. Ezeket az állomásokat az akkori korszerűségi követelményeknek megfelelően az eddigi kétszázszoros nagyítás helyett tízezerszeres, sőt százezerszeres nagyítású műszerekkel szerelték fel.

1963-ban a MÁELGI Szeizmológiai Osztálya a tanszéki szeizmológiai csoporthoz csatlakozott. Ekkor EGYED LÁSZLÓ javaslatot tett egy a Magyar Tudományos Akadémia keretében működő *Országos Földrengésjelző Intézet* létrehozására. E javaslatban KÖVESLIGETHY RADÓ születésének 100. évfordulójára az általa alapított Országos Földrengésvizsgáló Intézet utódaként kívánt intézményt létrehozni. A terv részletesen foglalkozott a létesítendő intézet szervezeti felépítésével, kutatási programjával. 1964. október 15-én ismét javaslatot tett MTA Szeizmológiai Kutató Laboratórium létesítésére. A javaslat itt is tartalmazta a szervezeti felépítést, a kutatási tervet és a költségvetést.

Mint az előző tervek, ez sem valósult meg. Az épület, melyben jelenleg is dolgozunk, az Akadémia tervében — mint utólag kiderült — nem is szerepelt. Létrejött egy kis jóakarattal, EGYED LÁSZLÓ javaslatára az Akadémia felső szerveinek hallgatólagos együttműködésével, de előzetes okmányok nélkül. Ez azonban a tényeken nem változtatott. Az épület kész lett, sajnos azonban EGYED LÁSZLÓ a munka megindulását, a felavatást már nem érte meg.

Itt most megszakítom egy rövid időre a szeizmológia hazai fejlődésének ismertetését. Engedjék meg, hogy néhány személyes jellegű mondatot is beleszőjek a szeizmológia 75 éves történetébe. 1954-től 1970-ig módom volt közelebbről megismerni EGYED LÁSZLÓ munkamódszerét, vezetési elképzeléseit. Alapos matematikai képzettsége és tehetsége lehetővé tette, hogy a geofizika számos ágában is tevékenykedjen a szeizmológián kívül. A földrengéskutatásban végzett munkáját alapul véve minden téren elmélyült munkát végzett, ez azonban óriási energiapusztító tevékenység volt. A szeizmológiát érintő megbeszéléseken, vitákon körültekintő volt, még akkor is, ha természetének megfelelően hevesen vitázott. Hevesen vitázott, de soha nem haraggal. Ha valakivel a munka szervezésekor összekülönbözött, nem maradt a nyomán tüske. Ha mégis maradt — mert előfordult — nem benne kellett a hibát keresni. Munkamódszerét, elképzeléseit nem erőltette senkire. 1954-ben kerültem hozzá aspiránsnak. Első találkozásunkkor ismertette elképzeléseit, mivel kellene a következő három évben foglalkoznom. Néhány hónap után közöltem vele, hogy jobban megvalósítható gondolatom van. Habozás nélkül elfogadta javaslatomat, végig figyelemmel kísérte munkámat és hasznos tanácsokkal látott el. Soha nem igényelte, ha segített, hogy neve a dolgozatokban szintén szerepeljen. Tizenhat év alatt — miután én sem vagyok tejvérű — többször vitáztunk, de egyszer sem haragudtunk egymásra. Mai napig ideális vezetőnek tartom.

Halála után 1971-ben, miután a szeizmológiai kutatócsoport mindenkép-

pen kinőtte a tanszéki kereteket, a Sopronban levő MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Laboratóriummal együtt új intézetet alkotott, melynek neve attól kezdve MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézet.

A világ szeizmológiai fejlődése ebben az időben igen nagy mértékben felgyorsult. Ennek több oka volt. Ezek közül elsőnek a tömegtájékoztatást tekinthetjük. Az emberek érdeklődése kitágult a szűk környezetből az egész világ eseményeire. Távoli földrészek katasztrófáinak helye beszédtéma, az egész világra kiterjedő közügy lett. Közép-Amerika eseményeiről egy-két órás eltéréssel képekben veszünk tudomást a televízión keresztül. Távoli természeti csapások hazai katasztrófák lehetőségére hívják fel a figyelmet, így a szeizmológia a társadalmi érdeklődés központjába került szerte a világon.

A fejlődésnek egy másik oka közvetlen kapcsolatban van a nukleáris bombakísérletekkel és az atomháború fenyegetésével. Miután az első nukleáris robbantást 1945-ben végrehajtották, a nukleáris háború veszélye DAMOKLESZkardként lebeg az emberiség feje fölött. Az Egyesült Államok, a Szovjetunió és Anglia légköri kísérletei után rövidesen megkezdődtek azok a tárgyalások, amelyekkel meg kívánták akadályozni a nukleáris fegyvergyártás elterjedését. Tudjuk azt is, hogy ez csak részleges eredményt hozott, hiszen a tárgyalások alatt több, a tárgyalásokban részt nem vevő ország is végrehajtott hasonló kísérleteket. A leszerelési tárgyalások azonban tovább folytatódtak és a három előbb említett hatalom a légkörben, világűrben és tengerekben kísérleti tilalomban, a föld alatti robbantásokra mennyiségi felső korlátban egyezett meg. A teljes tilalom megszületését előkészítő tárgyalások jelenleg folynak és mint ismeretes, a tilalom ellenőrzésének leghatékonyabb eszköze a szeizmológiai világhálózat. E feladat teljesítésére azonban a szeizmológia csak az esetben tud vállalkozni, ha egy nagy érzékenységű műszerekkel felszerelt világhálózat gyors adatcsere lehetőséggel rendelkezik. Ennek a célnak elérésére szerte a világon megindult a földrengésjelző állomások fejlesztése.

A fejlesztés ránk nézve is kötelező. Módot is kaptunk a mostani ötéves terv kezdetén, hogy a jelenleginél korszerűbb szeizmológiai hálózatot építsünk. A fejlesztés nemcsak a műszerépítéshez szükséges anyagiakat, hanem az ehhez elengedhetetlen minimális létszámfejlesztést is biztosította. A tervek szerint a jeleket rádiólánccon keresztül juttatjuk a budapesti központba, ahol automatikus jelfeldolgozást tervezünk. Analóg jelküldés a mátrai állomásról már évek óta folyik, a végleges digitális adatközlés és automatikus jelfeldolgozás 1981 közepétől várható, három állomás felhasználásával. További két állomás üzembeállítását 1982—83-ra tervezzük.

A hazai szeizmológia fejlődésénél nem elhanyagolható az a tény, hogy a katasztrófák következményeinek elkerülésére a Honvédelmi Minisztérium fejlett Polgári Védelmi alakulatokkal rendelkezik, amelynek Országos Parancsnoksága többek között a szeizmológiai kutatásokat is mind erkölcsileg, mind a gyakorlatban hatékonyan támogatja.

A szeimológia gyors fejlődéséhez még hozzájárult az elektronika nagymértékű korszerűsödése és a gazdasági helyzet évtizedek folyamán bekövetkezett javulása. A fejlődés gyorsaságát, az észlelés hatékonyságát példával érdemes megvilágítani.

1940—45 között egy 200-as nagyítású műszerekkel felszerelt hálózat — mint a hazai állomások — évi 200 földrengést észlelt. Az előbbiekben említett új hálózattal már 2000—3000 földrengésesemény vált észlelhetővé évente. A legkorszerűbb array-k, ahol a nagyítás néhány millió körüli érték, évente tizenötezer rengést rögzítenek. Ma már megfelelő elektronikával 10^{-9} m tehát 10 Å amplitúdójú földrezgések is észlelhetők.

Az Obszervatóriumban dolgozó tudományos dolgozók száma csak kis mértékben nőtt meg az utóbbi huszonöt évben, hiszen négyről csupán ötre emelkedett, de a kutatás hatékonysága megsokszorozódott. Ma már nyugodtan állíthatjuk, hogy a változás nemcsak mennyiségi, hanem minőségi is volt. Több vizsgálatunk eredményét felhasználják az egész világon. Első nemzetközi sikert elért eredményt a felületi hullámok időtartamán alapuló földrengés magnitudó számítási módszer hozott, amelyet 1957-ben tettünk először közzé a torontói UGGI konferencián. E módszer ma már a *World Data Center* által kiadott szeizmológiai obszervatóriumok részére készült kézikönyvbe is bekerült.

Új szeizmikus várhatósági térkép készült, számos izoszeizta térképet szerkesztettünk, s mindezek elősegítik hazánk területén a lakótelepek, ipari létesítmények gazdaságos és földrengésbiztos tervezését.

A szeizmicitás térképek további részévé váltak a szocialista országok együttműködése keretében megszerkesztett Közép-Európa földrengés-veszélyeztetettségi térképének.

A mikroterületbeosztási térképek gyors elkészítésére módszert dolgoztunk ki, és az ez irányú kutatásainkat tovább kívánjuk folytatni. Bányabiztonsági vizsgálatokat néhány év óta végzünk és javaslatot készítettünk a Nehézipari Minisztérium részére mi módon lehetne a bányakatasztrófák bekövetkezésére előrejelző tudományos vizsgálatokat végezni.

Az előbb említett távészlelő hálózat létrehozása igen bonyolult feladat. Néhány egység kivételével magunk fejlesztjük ki az automatikus észlelő jelfelismerő és helymeghatározó rendszert. E rendszer kifejlesztésénél kapott eredmények felhasználhatók a bányabiztonsági vizsgálatokhoz szükséges műszerek kidolgozásánál is. Remélhetőleg a megindult munka hamarosan egy korszerű földrengésjelző hálózathoz vezet, melyet nem szűnünk meg mindig továbbfejleszteni. Erre pedig biztosíték, ha Kövesligethy Radó és Egyed László szellemében továbbra is fáradhatatlanul dolgozunk.

GEOFIZIKUS KÉPZÉS AZ ELTE TERMÉSZETTUDOMÁNYI KARÁN

MESKÓ ATTILA
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

EGYED LÁSZLÓ akadémikus nemcsak a geofizika kiemelkedő művelője, tudományos kutatások szervezője volt, de elhivatott oktatója is. 1947-től kezdve magántanárként tartott előadásokat az ELTE Természettudományi Karán. 1951-ben az akkor megalakult Geofizikai Tanszék vezetőjének nevezték ki. Ez a haláláig tartó, több mint két évtizedes oktatói tevékenység életművének jelentős része. Ő dolgozta ki a geofizikus képzés első koncepcióját, építette fel tantervét és szívós munkával teremtette meg a korszerű oktatás hátterét, az igények és lehetőség szerint bővítette a Tanszéket. Műszereket szerzett be, a műszerépítés és szaklaboratórium igényeinek kielégítésére műhelyt rendezett be, gondoskodott a nemzetközi fejlődést közvetítő könyvek és folyóiratok beszerzéséről.

A tanterv alapvonása volt az első két év biztos alapokat nyújtó matematika és fizika oktatása. Ezekre épült az általános és gyakorlati geofizika elmélete. A gyakorlati (nyersanyagkutató) geofizika végső soron földtani következtetéseket von le az értelmezett mérési anyagból. Ez indokolta a harmadik és negyedik évben számos földtani tárgy beállítását. A geofizikai labormérések, terepgyakorlatok készítették fel a hallgatókat arra, hogy végzés után eredményesen beilleszkedjenek a geofizikusok döntő többségét foglakoztató nyersanyagkutatásba. Az alapos fizikai és matematikai ismeretek ugyanakkor lehetővé tették, hogy néhányan a módszer- és műszerfejlesztésbe is bekapcsolódjanak.

Ez a képzési koncepció eléggé rugalmas volt ahhoz, hogy konkrét szakmai ismereteket adjon (a kor technológiáját is tanítsa) és ugyanakkor el nem évülő alapokat, a továbbfejlődéshez szükséges szemléleti nyitottságot biztosítson — ezzel megnyitva az utat a jövő technológiájának elsajátítása felé.

A specializálódás, választott szakágban való elmélyülés lehetőségét teremtette meg az ötödik év viszonylag kevés kötött előadása, sok speciális kollégiuma és szaklaboratóriuma. Más tényezők mellett bizonyára ez is hozzájárult ahhoz, hogy az érdeklődő, tehetséges hallgatók az ötödik évben már lényegében tudományos kutatásokat végezzenek és néhány hallgatónk diplomamunkája tudományos folyóiratokban közölhető eredményeket is tartalmazzon.

Az eredményes egyetemi oktatómunka egyik alapvető feltétele volt a magyar nyelvű szakirodalom megteremtése. EGYED LÁSZLÓ 1955-ben megjelent

„*Geofizikai alapismeretek*" című egyetemi tankönyve az első nagyszabású vállalkozás az általános (a Föld egészével foglalkozó) és a gyakorlati (nyersanyagkutató) geofizika elveinek, műszereinek, főbb eredményeinek magyar nyelvű összefoglalására.

A modern értelemben vett gyakorlati geofizika kezdetei mintegy 60—70 évre nyúlnak vissza. Az első geológiai célú Eötvös-inga mérést Egbell környékén 1916-ban végezték. A reflexiós szeizmika első méréseként a Belle Isle környékén (Oklahoma, USA) 1921-ben végrehajtott robbantást és észlelést tartják számon. A gyakorlati geofizika „megszületésétől" a könyv megírásáig tehát alig több idő telt el, mint megjelenésétől napjainkig. Tisztelettel gondolunk a szerzőre, aki kellő időben, sokak számára tette lehetővé, hogy ennek, az akkor különösen fiatal tudományágnak alapjait elsajátítsák, műveléséhez indítást kapjanak.

A „*Geofizikai alapismeretek*" alapos, arányaiban, felépítésében, az elvek exponálásában ma is korszerű könyv. Tárgyalásmódja, az objektivitás károsodása nélkül is egyéni. Sejteti, hogy alkotója nem egyszerűen megértett, rendszerezett és visszaadott bizonyos ismereteket de maga is aktív részese a tudományágnak — hozzájárulva annak fejlődéséhez. A könyv illusztrációs anyaga kiemelkedően jó. Ez elősegíti az anyag gyors és lényegi megértését. A könyv nemcsak Egyed László hallgatói, de a geofizika más végzettségű művelői számára is valóban alap, kézikönyv volt. Ezt egyértelműen bizonyítja a geofizika folyóiratok cikkeinek sok hivatkozása. Egyed László tanítványainak száma sokkal nagyobb volt, mint hallgatóié.

Kiemelkedő, hogy a geofizikai kutatást — az alapgondolattól egészen a megvalósulásig — szerves egységként mutatja be. Az egyes módszerek (gravitációs, mágneses, elektromos, szeizmikus stb.) tárgyalása mindig e módszerek alkalmazhatóságának fizikai és földtani alapjaival kezdődik; ezt követi a műszerek leírása, a mérések elvégzése, feldolgozása, végül a matematikai módszerekkel finomított, átalakított adatok földtani értelmezése. A felépítés természetessé teszi, hogy a geofizika szükségképpen interdiszciplináris tudomány. Fizikai mennyiségeket: gyorsulást, térerőt, elektromos ellenállást, beérkezési időket stb. mérünk a terepi körülményekhez, kutatási célokhoz illesztett műszerekkel. Az eredményeket a matematika számos területének ismeretét igénylő módszerekkel dolgozzuk fel. De mindezt a földtani felépítés megismerése vagy a nyersanyagok felkutatása érdekében tesszük. A három alkotórésznek egyensúlyban kell lennie, különben tevékenységünk egészének eredményességét kockáztatjuk.

A könyv megjelenése óta eltelt negyedszázadban a műszerek — elsősorban az elektronika gyors fejlődése következtében — a feldolgozás és értelmezés matematikai módszerei — a számítógépek kiterjedt alkalmazása révén — lényegesen megváltoztak. Az általános geofizika területén sok új eredményt hozott az űrkutatás és a lemeztektonika. Az elvek megfogalmazása, a földtani model-

lek, néhány kutatómódszer alkalmazási példáinak egy része azonban még ma is használt oktatási anyag.

EGYED LÁSZLÓ nem csupán a geofizika első magyar nyelvű tankönyvét alkotta meg. A publikációs jegyzékben a tudományos dolgozatokon kívül számos más könyv, jegyzet is szerepel. Kiemelkedő a „*Föld fizikája*" (1956), mely az ismertetett tankönyv első részének jelentősen átdolgozott és kibővített változata és ennek német nyelvű, az Akadémiai Kiadó és a lipcsei Teubner Kiadó közös gondozásában megjelent továbbfejlesztése.

Az oktatói és oktatás szervezési tevékenységen túl EGYED LÁSZLÓ hatásának lényeges eleme példája. A munkavégzés alaposságában, a tudomány önzetlen művelésében, mások munkájának és eredményeinek korrekt értékelésében sok tanítványa számára ma is mérce, követendő mintakép.

EGYED LÁSZLÓ rendelkezett a jövő elképzelésének és alakításának képességével. Önzetlenül, a tudományos igazság erejében bízva állt ki a geofizikai kutatások, a geofizikus képzés, élete utolsó éveiben a Természettudományi Kar fejlődésének ügye mellett. Talán ez a legfőbb oka annak, hogy hiányát most, 10 évvel halála után is a geofizika, a magyar tudomány, a felsőoktatás fájó veszteségének érezzük.

EGYED LÁSZLÓ

IRODALMI MUNKÁSSÁGA

1. A kiválasztási axiómáról és a vele kapcsolatos kérdésekről. Doktori értekezés. Mat. és Fiz. Lapok, **XLV**, Budapest, 1—20, 1938.
2. Über die Äquivalenz einiger grundlegender Sätze aus der Theorie der Punktmengen. Fundamenta Mathematicae, Warsawa, 74—78, 1938.
3. Végtelen gráfok jólirányíthatóságáról. Mat. és Fiz. Lapok, **XLVIII**, Budapest, 505—509, 1941.
4. Mágneses anomáliák értelmezése a vertikális és horizontális intenzitásgörbe egyesítése alapján. Időjárás, **XLVII**, 185—188, 1943.
5. Deutung unterirdischer geologischer Strukturen auf Grund der Drehwagemessungen. Mat. és Term. Tud. Ért., **LXII**, 635—636, 1943.
6. Felszínalatti táblás előfordulások adatainak meghatározása gravitációs és mágneses mérések alapján. Bányászati és Kohászati Lapok, **8**, 1—3, 1944.
7. Megjegyzés egy HAALCK-féle tételhez. Bány. és Koh. Lapok, **24**, 345—346, 1944.
8. Felszínalatti geológiai szerkezetek értelmezése a torziósinga mérések alapján. Bány. és Koh. Lapok, **5**, 1—6, 1947.
9. Topografikus korrekció a graviméteres és ingamérések esetében. Bány. és Koh. Lapok, **10**, 1—3, 1948.
10. The determination of an infinite inclined dike from the results of gravity and magnetic surveys. Geophysics, **13**, 3, 437—442, 1948.
11. Eötvös Loránd, mint geofizikus. Földtani Közlöny, 1948.
12. Az anomáliák magassági redukciójáról. Földtani Közlöny, 1—4, 1—20, 1949.
13. Átlagsűrűség meghatározás a gravitációs módszerekkel. Bány. és Koh. Lapok, **1**, 1—6, 1949.
14. Fizika az ásványolajkutatás szolgálatában. Természet és Technika, **CIX**, 11, 685—691, 1950.
15. Kihűl-e a Föld? Élet és Tudomány, 1951.
16. Geofizikai nyersanyagkutatás. MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl., **1**, 31—34, 1951, (hozzászólás VADÁSZ É. előadásához).
17. Hozzászólás SZÁDECZKY-KARDOSS E.: Kőzetátalakulás és szénkőzetek c. előadásához. MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl., **1**, 1951.
18. Az izosztázis kérdéséhez. Földtani Közlöny, 374—383, 1951.
19. Some notes concerning the question of isostasy. Acta Technica, **IV**, 1—4, 75—84, 1952.
20. Hozzászólás O. J. SMIDT: Négy előadás a *Föld keletkezésének elméletéről* c. könyvéről tartott ankéton. MTA Mat. és Fiz. Oszt. Közl., **III**, 4, 592—593, 1953.
21. The formation of deep sea troughs and related geophysical phenomena. Acta Geologica, **II**, 1—2, 33—50, 1953.
22. Az EÖTVÖS-inga. Élet és Tudomány, 470—473, 1954.
23. Az elemek kompresszibilitásáról. Földtani Közlöny, **84**, 1—2, 47—52, 1954.
24. A radioaktív bomlás kérdéséhez. Földtani Közl., **84**, 3, 265—267, 1954.
25. Mi van a Föld belsejében? Társ. és Term. Tud. Ism. Társulat, 1—36, 1954.
26. Geoelektromos módszerek a talajkutatásban. Felsőoktatási Jegyzetellátó V., Budapest, 1—25, 1954.
27. On the compressibility of elements (oroszul). Acta Geologica, **II**, 3—4, 205—214, 1954.
28. Mélyszerkezetek és a morfológia kapcsolata Dunántúlon a geofizikai vizsgálatok tükrében. ELTE TTK 1952—53 tanévi évkönyve. Tankönyvkiadó, Budapest, 95—100, 1954.
29. Geofizikai alapismeretek. Tankönyvkiadó, Budapest, 1955.
30. A Föld belső felépítésének új elmélete és annak földtani-geofizikai következményei. Földtani Közl., **LXXXV**, 3, 277—318, 1955.
31. A földkéreg egyensúlya. Földtani Közl., **85**, 1, 44—59, 1955.

32. The change of the Earth's dimensions determined from palaeogeographical data. Geofisica pure e applicata, **33,** 42—48, 1956.
33. A Föld fizikája. Általános geofizika I. Akad. Kiadó, Budapest, 365, 1956.
34. A regionális anomáliák elvi kérdéseiről. Geofiz. Közl., 1—8, 1956.
35. A Föld méreteinek változása a paleogeográfiai adatok alapján. Földtani Közl., **86,** 2, 120—126, 1956.
36. A tektonikai erők eredete és a kéregmozgások. Földtani Közlöny, **1,** 12—16, 1956.
37. A new theory on the internal constitution of the Earth and its geological-geophysical consequences. Acta Geol., **IV,** 1, 43—83, 1956.
38. Determination of changes in the dimensions of the Earth from paleogeographical data. Nature, 1956.
39. The magnetic field and the internal structure of the Earth. Acta Geol., **IV,** 2, 221—228, 1956.
40. Új módszer az átlagsűrűség meghatározására. Geofiz. Közl., 31—36, 1956.
41. A földi mágneses tér kapcsolata a Föld belső szerkezetével. Geofizikai Közl., 3—8, 1957.
42. Új elmélet a Föld belsejéről. Természettud. Közl., 1957.
43. The role of tectonics and morphology in the development of the drainage-pattern. Gerlands Beitr. z. Geoph., **4,** 271—273, 1957.
44. Investigations on seismology and the physics of the interior of the Earth in Hungary 1954—56. Acta Technica, **XVIII,** 1—2, 123—131, 1957.
45. Vízfolyások, morfológia és tektonika kapcsolata. Földtani Közl., **87,** 1, 69—72, 1957.
46. Investigations on the interior of the Earth. Annales Univ. Sci. Bp. Sec. Geol., **I,** 37—76, 1957.
47. A new method of average density determination. Annales Univ. Sci. Bp. Sec. Geol., **I,** 33—36, 1957.
48. A new dynamic conception of the internal constitution of the Earth. Geologische Rundschau, **46,** 101—121, 1957.
49. A kéregmozgások okai és a magyarországi kéregmozgások. Geofiz. Közl., 47—52, 1957.
50. A mélyfészkű rengések eredetének mechanizmusáról (oroszul). Szeizmológiai Tanács Bull. No 6, Moszkva, 89—95, 1957.
51. A Föld dinamikus modellje. Szeizm. Tanács Bull. No. 6, Moszkva, 52—58, 1957.
52. Nemzetközi Geofizikai Év (társszerzők: Barta Gy., Béll B., Flórián E., Somogyi A.). Magyar Tudomány, **1—4,** 71—86, 1957.
53. Gondolatok egy „geomechanika" nyomán. Földt. Közl., **88,** 1, 138—146, 1958.
54. A hőfluxus eredetéről. Geofiz. Közl., **VII,** 2, 97—100, 1958.
55. On the mechanism of deep-focus eartquakes. Studia geoph. et geod., **2,** 291—292, 1958.
56. Continental drift, polar wandering and the internal constitution of the Earth. Acta Zoologica, **III,** 3—4, 201—204, 1958.
57. The expansion of the Earth in connection with its origin and evolution. Geophysica 7 : 1, Helsinki, 13—21, 1959.
58. A gravitációs mérések fejlődése. Fizikai Szemle, **IX,** 291—295, 1959.
59. Die Änderung der Dimensionen der Erde auf Grund paläogeographischer Daten und ihre geodätischen Konsequenzen. Acta Technica, **XXIII,** 1—3, 243—248, 1959.
60. Zsugorodás, tágulás vagy magmaáramlások? Földrajzi Közl., **1,** 1—20, 1959.
61. On the origin of terrestrial heat flow. Annales Univ. Sci. Bp. Sec. Geol., **II,** 89—92, 1959.
62. A Hold és a Föld. Élet és Tudomány, **6,** 167—169, 1960.
63. Physical background of a dynamical Earth model. (Társszerző: Stegena L.) Zeitschr. f. Geophysik, **4/5,** 24, 260—267, 1960.
64. Zur Frage der Schweremessungen in Bohrlöchern. Freiberger Forschungshefte, C **81,** 167—170, 1960.
65. Some remarks on continental drift. Geofisica pura e applicata, **45,** 115—116, 1960.
66. A Naprendszer keletkezésének kérdéséről (oroszul). Annales Univ. Sci. Bp, Sec. Geol., **III,** 35—40, 1960.
67. On the origin of the Red Sea. Annales Univ. Sci. Bp. Sec. Geol., **III,** 27—31, 1960.
68. Investigations on seismology and the physics of the interior of the Earth in Hungary 1957—1959. Acta Technica, **XXX,** 1—2, 15—27, 1960.
69. Die Erdausdehnung und ihre Verbindung mit der Entstehung und Entwicklung der Erde. Wiss. Zeitschr. d. Karl Marx Univ. Leipzig, **9,** 485—488, 1959/60.
70. Dirac's cosmology and the origin of the solar system. Nature, **186,** No. 4725, 621—622, 1960.
71. A hegységképződés és gyűrődés mechanizmusáról. Földtani Közl., **90,** 3, 322—330, 1960.
72. Eszköz törésirányok eloszlásának mechanikus meghatározásához és annak alkalmazása. (Társszerző: Szemerédy P.). Geofiz. Közl., **IX,** 1—2, 31—34, 1960.

73. A Föld tágulásának fizikai megalapozásához. (Társszerző: STEGENA L.) Geofiz. Közl., **IX,** 1—2, 23—30, 1960.
74. A földrengések és az újabb geofizikai kutatások. Magyar Tudomány, **11,** 681—688, 1960.
75. A Föld dinamikája és kialakulása. MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl., **XXVII,** 1—2, 133—155, 1960.
76. On the origin and constitution of the upper part of the Earth's mantle. Geol. Rundschau, **50,** 251—258, 1960.
77. On the mechanism of mountain building and folding. Geologisches Rundschau, **50,** 225—234, 1960.
78. A befagyott mágnesség és a kontinensek vándorlása. Népszerű Technika, **6,** 164—165, 1961.
79. The expanding Earth. Trans. of the New York Academy of Sci., II, **23,** 5, 424—433, 1961.
80. *A Föld* c. könyvben: *„A Föld belül"* c. fejezet. Gondolat kiadó, Budapest, 53—131, 1960.
81. Paleomagnetism and the ancient radii of the Earth. Nature, **190,** 4781, 1097—1098, 1961.
82. Temperature and magnetic field. Annales of the New York Acad. of Sci., **95,** 72—78, 1961.
83. The effect of internal processes and paleoclimates. Annales of the New York Acad. of Sci., **95,** 508—513, 1961.
84. A Föld dinamikája. Magyar Tudomány, **12,** 749—753, 1961.
85. The internal energies of the Earth as revealed in the course of evolution of natural sciences. Acta Technica, **XXXVII,** 3—4, 427—434, 1961.
86. Geofizikai adatok értelmezésének dinamikus módszerei a Föld belső szerkezetének kutatásában. Magyar Geofizika, 5—9, 1962.
87. A Vörös-tenger kialakulásának kérdéséhez. Geofiz. Közl., **X,** 1—4, 69—75, 1962.
88. A Föld belső energiái és azok kapcsolata a természettudományok fejlődésével. MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl., **31,** 1—4, 207—212, 1962.
89. Some geophysical problems in connection with recent and past crustal movements. Akad. Verlag Berlin, 423—432, 1962.
90. The expanding Earth? Nature, **197,** 4872, 1059—1060, 1962.
91. Investigations on seismology and the physics of the interior of the Earth in Hungary 1960—62. Acta Technica, **43,** 1—2, 13—21, 1963.
92. La Théorie dynamique de la Terre. Revue de Géographie Physique et de Géol., Dyn (2) **V,** 3, 221—230, 1963.
93. The satellite geoid and the structure of the Earth. Nature, **203,** 4940, 67—69, 1964.
94. A Föld belső felépítéséről. Geofiz. Közl., **XIII,** 2, 169—174, 1964.
95. Gravity, geophysics and astronomy. Annales Univ. Sci. Bp. Sec. Geol., **VII,** 19—22, 1964.
96. A szekuláris variációk kérdéséhez. Geofiz. Közl., **XIII,** 3, 367—368, 1964.
97. Ellipticity, viscosity and expansion of the Earth. Nature, **207,** 4999, 847, 1965.
98. The change of ellipticity of an expanding Earth. Acta Technica, **52,** 3—4, 273—276, 1965.
99. Az egyesület 10 éve a szimpoziumok tükrében. Magyar Geofizika, **6,** 3—4, 1—51, 1965.
100. Internal constitution of the Moon in the light of the dynamic Earth model. Annales Univ. Sci. Bp. Sec. Geol., **IX,** 3—5, 1965.
101. A földrengések és a Föld. Akad. Kiadó, Budapest, 135, 1966. (Korunk Tudománya)
102. Investigations on seismology and the physics of the interior of the Earth in Hungary 1963—1965. Acta Geod. Geoph. et Mont., **2,** 1—2, 19—23, 1967. (Társszerzők: BISZTRICSÁNY E., MÁRTON P., STEGENA L.)
103. Determination of focal depth from macroseismic data. Pure and Applied Geophysics, **67,** 107—111, 1967/II, (Társszerző: MESKÓ A.).
104. Some consequences of the expansion on the figure and rotation of the Earth. Sonderh. 25 der Öster. Zeitschr. f. Vermessungswesen, Proc. of the Int. Symp. Figure of the Earth and Refraction. Vienna 14—17 March 1967.
105. A magyarországi kéregszerkezeti vizsgálatok állása. MTA Föld- és Bány. Tud. Oszt. Közl., **1,** 3—4, 279—280, 1967.
106. Hozzászólás SZÁDECZKY-KARDOSS E.: A magyarországi földtani kutatások újabb eredményei és távlatai a nemzetközi fejlődés tükrében c. cikkéhez. MTA Föld- és Bány. Tud. Oszt. Közl., **1,** 1—2, 1967.
107. A tanárképzés és a szakképzés kérdései a Természettudományi Karon. Az ELTE Évkönyve, 1967.
108. Az egyetemen folyó tanárképzés a reform tükrében (1967. május 30-án tartott ülés anyaga). Budapest, Főv. Ny. soksz. 229 old., 1968.
109. Theoretical estimation of the rate of yearly radius increase. Bull. of the Intern. Inst. of Seismology and Earth Eng., **5,** 7—17, 1968. (Társszerző: M. IZUMI.)
110. New network of seismological stations in Hungary. Proc. of the eight Assembly of the ESC. Akad. Kiadó, Bp. 333—338, 1968. (Társszerzők: BISZTRICSÁNY E., CSOMOR D., KISS Z.)

111. The slow expansion hypothesis. — S. K. RUNCORN: The application of modern physics to the Earth and planetary interiors c. könyv fejezete, p. 65—75. Wiley Interscience, London, New York, Sydney, Toronto, 1969.
112. Physik der festen Erde. Leipzig, Teubner — Budapest, Akad. Kiadó 368, 1969.
113. Áramlások lehetőségei a földköpenyben geofizikai vizsgálatok alapján. MTA X. Oszt. Közl., **3**, 321—327, 1970.
114. Calculation of LVL depth for the territory of Hungary. Acta Geod. Geoph., **7**, (3—4), 403—404, 1972. (Társszerző: BISZTRICSÁNY E.)
115. Bevezetés a szeizmológiába. Jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest 117, 1976.

AKADÉMIAI BIZOTTSÁGAINKRÓL

A MISKOLCI AKADÉMIAI BIZOTTSÁGRÓL

1979. január 30-án az MTA Elnöksége határozatot hozott, hogy a vidéki testületi szervek kialakításának befejezéseként létrehozza a Miskolci Akadémiai Bizottságot. Az előző négy székhelye Szegeden, Pécsett, Veszprémben, Debrecenben van. Ezzel Magyarországon Pest megyét kivéve, mindegyik megye tartozik valamelyik vidéki bizottsághoz. A MAB illetékessége: Borsod-Abaúj-Zemplén, Heves, illetőleg Nógrád megye.

1979. február 9-én az MTA elnökétől 25 személy kapott megbízást. Elnök: ZAMBÓ JÁNOS, az MTA rendes tagja, alelnök: SZÜCS LÁSZLÓ és BANDUR KÁROLY, tudományos titkár: TERPLÁN ZÉNÓ, szervező titkár: TAKÁCS ERNŐNÉ. A Bizottság 25 tagja három megye különböző tudományterületét képviseli.

A MAB alakuló ülésére 1979. november 30-án került sor, amikor már az MTA egységesített szervezeti határozat-tervezete elkészült. — A MAB-on belül 8 szakbizottság alakult, ezek: a társadalomtudományi, közgazdaságtudományi, mezőgazdasági, bányászati, kohászati, gépészeti, vegyészeti, egészségügyi. Az alakuló üléseken megválasztották a szakbizottságok elnökeit.

A MAB szervezeti határozata megfogalmazza részletesen feladatait, ezekből 3 gondolat emelhető ki:

— régió kutatásainak figyelemmel kísérése és koordinálása;
— fontosnak ítélt témák kutatásának kezdeményezése;
— komplex, interdiszciplináris témák gondozása.

Az egyes Szakbizottságok munkabizottságokban folytatják tevékenységüket.

A Bányászati Szakbizottság elnöke: SZILAS A. PÁL lett. E szakbizottság alakuló ülését 1980. február 21-én tartotta meg. Az ülésen elhangzottakról a mellékelt rövid tájékoztatóban számolunk be. A Bányászati Szakbizottság keretén belül munkabizottságok is alakultak: az Ércbányászati-, az Ásványbányászati-, a Mélyművelési-Szénbányászati-, a Külszíni-szénbányászati- és a Geo-munkabizottság. E munkabizottságok már megtartották mind a vezetőségválasztásokat, mind pedig alakuló ülésüket és a munka megindult.

BESZÁMOLÓ A RECSKI ÉRCBÁNYÁSZAT HELYZETÉRŐL

FODOR GYULA
OKL. BÁNYAMÉRNÖK, FŐMÉRNÖK

A recski ércbányászat több évszázados múltra tekinthet vissza. A bányászati gyakorlat teremtette meg a nagyobb mélységek felé való kutatás igényét és lehetőségét.

A melyszinti kutatások 1959-ben indultak meg. 1967-ben megtalálták a nagymélységű recski ércesedést. Ettől kezdve a kutatás felgyorsult. 1969 végére külszíni fúrásokkal a mélységi ércesedés ismertté vált. 1970-ben kutató akna; 1974-ben pedig már a második akna mélyítése indult meg; 1979-ben megtörtént a két akna összelyukasztása 900 m-es mélységben. 1979 végéig az aknákon kívül 5300 m vágat és 30 em bányabeli kutatófúrás készült el.

A kutatások nagy jelentőségű ércelőfordulást tártak fel a felszíntől számított 500—1200 m-es mélységközben. Az ércesedés központi kb. 2 km² kiterjedésű rézérces formációját Pb és Zn tartalmú polimetallikus ércesedés veszi körül.

Az ércelőfordulás a világ 25 legnagyobb előfordulása közé sorolható. Nagy jelentőségű hazai ércbányászat megteremtésére nyújt alapot. Mód van 5 mill t évi érctermeléssel 60 et/év Cu előállító komplex Cu termelő vertikum létrehozására. A vertikum felépítése Recsken lenne a legcélszerűbb. Üzemeléshez a tervek szerint kb. 3300 fő szakemberre lesz szükség. Ebből a mérnök igény 150 fő.

A vertikum módot ad a legmodernebb technika és technológia alkalmazására. Ennek kialakításához széles körű összefogásra van szükség.

Ebben kiemelkedő szerepe lesz a miskolci NME-nek is, nemcsak a szakemberek képzésében, hanem a kutatási feladatok megoldásában is.

Recsken ma rendelkezésre áll a leendő nagyüzem szakember gárdájának magja; a szükséges létszám kb. 1/3-a. A szakemberképzés és továbbképzés, valamint a kutatási feladatok megoldása érdekében a

— régi lahócai bányát kísérleti tanbányává,
— az ércelőkészítő üzemet kísérleti üzemmé alakítjuk át,
— a kísérleti üzemekhez kapcsolódóan gyakorlati oktatási, kutatási központot tervezünk létrehozni.

A recski, többségében fiatal szakemberek megfelelő gyakorlati felkészültséget szereztek, várjuk a recski beruházás kedvező eldöntését.

Készek vagyunk a munkában széles körű együttműködésre az oktatási és kutatási intézményekkel.

Munkánkban a NME-re és a MAB-ra különösen számítunk.

A BORSODI SZÉNBÁNYÁK HELYE ÉS SZEREPE A MAGYAR SZÉNBÁNYÁSZATBAN

BALOGH BÉLA
OKL. BÁNYAMÉRNÖK, MŰSZAKI IGAZGATÓ

A növekvő energiafelhasználás, a Föld energiakészletének megoszlása, valamint az olajárak változása világosan mutatja, hogy a szén még hosszú ideig az egyik legjelentősebb energiaforrásunk marad. A Borsodi Szénbányák a Bükk hegység peremén elhelyezkedő miocén-korú szénelőfordulásokra települt. Jelenleg 12 termelő aknája és egy központi kiszolgáló üzeme van. Az ország mélyműveléssel kitermelhető szénvagyonának 31%-a — 866,4 Mt — Borsodban van. A vállalat termelési terve az V. ötéves tervben 5,0 Mt/év. A tervciklus folyamán a túlteljesítés meg fogja közelíteni az 1,5 millió tonnát. Ez a rendszeres többlettermelés az adott fejlesztési alap mellett csak az ember és gép túlzott igénybevétele árán valósítható meg. Amíg 1975-ben az összes termelés 37,9%-a származott komplex frontokból, addig 1979-ben már 66,5%-a.

A jövőre vonatkozóan elkészítettük a „*Vállalatpolitika, vállalati stratégia*" című elemzéseket, intézkedéseket összefoglaló tanulmányt, mely tulajdonképpen a vállalat gazdaságpolitikáját tartalmazza. A BSZ célkitűzése, a minőségi és a hatékonysági tényezők fokozottabb előtérbe állításával javítani a vállalat gazdaságosságát, ezáltal hozzájárulni a népgazdaság egyen-

súlyi helyzetének javításához. A termelési program számítógépes feldolgozása után 270 alternatívából a három legmegfelelőbbet választottuk ki, melyek a távlati terv alternatíváit, ill a vállalati taktikát képezik.

A vállalat 281 fős mérnökgárdája a termelés és irányítás mellett az alábbi három területen fejt ki szakmai, tudományos munkája. A legjelentősebb a mintegy három éve alakult innovációs központként működő team-csoport munkája, továbbá 440 tagot számláló OMBKE Borsodi Csoportjának és a fiatalokat összefogó FMKT-nak a tevékenysége. A műszaki fejlesztési alapunk 4—5 MFt, ezt főleg a nagyobb volumenű kutatásokra fordítjuk. Szívből örülünk az MTA Miskolci Akadémiai Bizottsága megalakulásának, mert tudjuk, hogy e bizottság tevékenysége nagy segítség lesz számunkra, főleg olyan tudományos kérdések megoldásában, amely az elméleti tudományok területén kíván nagyobb jártasságot.

VÁZLATOS TÁJÉKOZTATÁS A KÜLFEJTÉSES SZÉNTERMELÉS HELYZETÉRŐL, LEHETŐSÉGEIRŐL, FEJLESZTÉSI, KUTATÁSI FELADATOK

GODA MIKLÓS
OKL. BÁNYAMÉRNÖK, VEZÉRIGAZGATÓHELYETTES

Hazánk ma ismert energiahordozó ásványvagyonának 60%-a pannonkorú lignit. A nyilvántartott lignitvagyon 5,2 mrd tonna, a reménybeli vagyon kb 2,3 mrd tonna.

A lignitvagyonból 168 m. t a THOREZ külfejtéses bányaüzem területén található. A külfejtéses és mélyműveléses bányászkodást jelenleg a fajlagos letakarítási arány 10 m^3/t határértéke választja szét, de ez változhat a meghatározó tényezők változásával. A viszonylag kis beruházási költségek a külfejtéses bányászat fokozott fejlesztésére ösztönzik az egyes népgazdaságokat.

A fajlagos bányászati beruházási költség a THOREZ külfejtésnél 1965—70 viszonylatában 570 Ft/t, az 1981. évi önköltség 211,— Ft/t volt. A szén termelői árának rendezése után 1 tonna 1500 kcal/kg fűtőértékű lignit ára 287 Ft/t termelői árat képvisel. Mivel a magyar szénárak erősen eltérnek a világpiaci áraktól, a realizált nyereség nem valós érték.

A GAGARIN Hőerőmű energia-önköltsége 1979-ben csupán 54,4 fillér/kWó volt, ebből a tüzelőanyagé 25,8 fillér/kWó, míg a szénhidrogén bázisú, ill. import villamos energia költség 1—2 Ft/kWó volt. Tehát az erőmű önköltsége minden más energiahordozóra épülő erőmű önköltségével felveszi a versenyt.

A tervek egyrészt hagyományos fejlesztést, másrészt komplex hasznosítást irányoznak elő.

A hagyományos fejlesztés a visontaihoz hasonlóan energetikai komplexumok létrehozását célozza. Bükkábrány, Kápolna, Füzesabony, Karácsond területén összesen mintegy 7 000 MW kapacitású, míg Toronyban egy 2000 MW kapacitású energetikai komplexum hozható létre 39—34 éves élettartammal.

*A komplex hasznosítás*t a telepszerkezetből adódó nagy hamu- és víztartalom gátolja. A hamutartalom *dúsítás*sal (nehézszuszpenziós eljárással) kb 8—9%-kal csökkenthető, 97%-os tömegkihozatallal, míg a nedvesség 2%-kal növekszik. Az előkészítés költsége részben kompenzálható lenne a dúsítással járó kisebb bányaművelési veszteséggel.

Második lépésként az *ahidrálás-brikettezés* jöhet szóba. A csökkenő víztartalom fűtőérték növekedéssel jár.

Az *agrokémiai hasznosítás*t huminsav előállítása és komplex műtrágya gyártása tenné lehetővé.

A fejlesztési kutatási fő feladatok:

1 A külfejtési technológia korszerűsítése
2. A külfejtési járulékos tevékenységek korszerűsítése
3. Számítógépes külfejtési folyamatirányító rendszerek kialakítása
4. A szén- és mellékkőzetei felhasználási lehetőségeinek fejlesztése.

A NEMÉRCES ÁSVÁNYI NYERSANYAGOKKAL KAPCSOLATOS KUTATÁSI-FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK ÉSZAK-MAGYARORSZÁGON

MÁTYÁS ERNŐ
GEOLÓGUS, A FÖLDTUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

A felszínalkotó képződmények földrajzi elterjedése és vele az egyes kéregdarabok földtani jellege szempontjából 9 földtani kistáj különül el az ÉK-magyarországi térségben. A nemérces ásványi nyersanyagok előfordulásának s egyben bányászatának egyik fő területe ÉK-Magyarországon a Tokaji-hegység. A Tokaji-hegység neogén vulkanitokból és szedimentogén kőzetekből felépített területe egyike ÉK-Magyarország legváltozatosabb földtani kistájainak. Napjainkban 13 ásványi nyersanyag 27 változata ismert, 47 előforduláson a hegység területén. A mintegy 90 millió Ft-os beruházási ráfordítással több mint 20 év alatt felkutatott ásványvagyon mennyisége megközelíti a félmilliárd tonnát. Jelen ipari felhasználási paraméterek mellett a műrevaló készlet 170 millió tonnára tehető. A 47 előfordulás közül mindössze 13-on működik bánya és korszerű nedves előkészítő üzem csak most épült fel a hegység területén (erdőbényei kalcináló).

Különös súlyt helyeztünk három új ásványi nyersanyag, a zeolit, az alunit és a pumicit kutatására.

A *zeolitok*, mint új ásványi nyersanyagok, szelektív szorpciós, ioncserélő, nyomelemfelvétel-katalizáló tulajdonságaiknál fogva az ipar és a mezőgazdaság legkülönbözőbb területein nyerhetnek alkalmazást.

Az utóbbi évtized másik új ásványi nyersanyaga a Japánban felhasználásra kezdeményezett *alunit*. A kerámia- és a vegyiparban nyerhet felhasználási területet.

A hegység harmadik, az utóbbi években felkutatott ásványi nyersanyaga a termikusan duzzadt, de még tovább duzzasztható vulkáni üveg a *pumicit*.

A nemérces ásványi nyersanyagok egész szériája fordul itt elő. Különösen az újonnan felismert és felhasználási területet nyert ásványi nyersanyagok, a természetes zeolitok, alunit, a pumicit és a különböző magas káliumoxid-tartalmú kerámiai adalékanyagok további felhasználási területeinek felkutatásában látunk tudományos és kutatási együttműködési lehetőséget az É- és ÉK-Magyarországon dolgozó tudományos kutatók, intézmények között.

DOKTORI, KANDIDÁTUSI VÉDÉSEKRŐL

CZUCZOR ERNŐNÉ, MILETITS JUDIT: *A Pc típusú geomágneses pulzációk periódusának szélességfüggése* című kandidátusi értekezésének vitájáról

CZUCZOR ERNŐNÉ, MILETITS JUDIT az MTA Geodéziai és Geofizikai Kutató Intézetének tudományos munkatársa 1981. február 26-án megvédte „*A Pc típusú geomágneses pulzációk periódusának szélességfüggése*" című kandidátusi disszertációját. Az értekezés opponensei SZEMERÉDY PÁL és TAKÁCS ERNŐ, a műszaki tudományok kandidátusai voltak.

A Pc típusú geomágneses pulzációk jelentősége az, hogy segítségükkel a földkörüli térség egyes részeinek állapotáról felszíni mérések révén nyerhetünk információt, anélkül, hogy szükség lenne költséges szatellita-mérésekre; emellett a pulzációk nyújtotta adatok nagyobb térrészre vonatkoznak, nem szigorúan helyi jellegűek, mint a szatellita-mérések eredményei. Természetesen ahhoz, hogy a pulzációk paramétereiből a földkörüli térségre vonatkozó következtetéseket vonhassunk le, ismernünk kell keletkezésük és terjedésük körülményeit is. Ezek az elméleti kérdések azonban még ma sem teljesen megoldottak, sőt bizonyos megfigyelési kérdésekben is vannak viták. Ezeknek a vitás pontoknak egyikével foglalkozik a megvédett értekezés.

A *Pc* típusú pulzációk jellegzetessége, hogy viszonylag hosszú ideig, akár több óráig is folyamatosan jelentkeznek állandó periódussal, némileg változó amplitúdóval. Innen ered a nevük: pulsations continues. Tipikus periódusuk 20—40 *s*, amplitúdójuk néhány század vagy tized *nT* körüli. Egyes paramétereik szoros kapcsolatban vannak a bolygóközi térrel, így amplitúdójuk közelítően arányos a napszél sebességének négyzetével, a periódusuk pedig a bolygóközi mágnestér térerősségének reciprokával. Emiatt nagyon valószínű, hogy keletkezésük vagy a bolygóközi térben, vagy a magnetoszféra határán történik. Evvel szemben ha egyes *Pc*-eseményeket figyelünk meg, azt tapasztaljuk, hogy a periódus a (földrajzi vagy pontosabban a geomágneses) szélesség függvényében változik. Bár a szélességfüggést már több évtizede kutatják, mégis elég eltérő nézetek uralkodnak felőle, sőt egyesek ma is tagadják létezését.

CZ. MILETITS JUDIT négy, közel egy meridián mentén fekvő állomás, az NDK-beli Niemegk, a magyar Nagycenk, és a Csokonyavisonta mellett ideiglenesen létesített Alexandra-puszta, valamint az olasz L'Aquila egy hónapos adatsorában olyan eseményeket keresett ki, szám szerint mintegy háromszázat, amelyeknek pontosan meghatározható volt a periódusa. Ezeknek a periódusok-

nak a vizsgálata alapján vonta le az értekezésben összefoglalt következtetéseit.

Megállapítása szerint a két-két állomás között észlelt periódusváltozások eloszlása nem tekinthető normáleloszlásnak, hanem két normáleloszlás összegével közelíthető meg. A két eloszlás közül az egyik középértéke közel 0%/° változás (a periódusváltozás százalékos mértéke egy szélességi fokra), és szórása kicsi. A másik középértéke 3—4%/°, és szórása is lényegesen nagyobb.

A periódusváltozás mértékét az egyik állomáson, pl. a Nagycenken észlelt periódus függvényében rendezve az derült ki, hogy a rövidebb periódusú események (mintegy 30 *s*-os felső határig) periódusa a szélesség függvényében nagyon eltérő mértékben változik, a hosszabb periódusú események periódusában viszont 2%/°-nál nagyobb változás nem fordul elő. Az egyes események jellegének vizsgálata azt mutatta, hogy a nagy szélességfüggéssel rendelkező esetekben a jelalak sokkal szabályosabb, mint a kis szélességfüggésű esetekben.

Így végeredményben két típus látszott elkülöníthetőnek a *Pc* típusú pulzációkban, az egyik esetében a periódus 15—30 *s* közötti, a jelalak szabályos, a periódus szélességfüggése nagy; a másik esetben a periódus 10—120 *s* közötti, a jelalak szabálytalan, a szélességfüggés kicsi. A két típus bizonyos értelemben megfelel a nemzetközileg elfogadott osztályozás szerinti *Pc* 3 és *Pc* 4 típusnak, de ezek között a határ 45 *s*-nál van, és nem fedik át egymást, illetve az elhatárolás egyetlen kritériuma a periódus különbözősége.

Cz. Miletits Judit eredményei beleilleszkedtek a Geodéziai és Geofizikai Intézetben folyó pulzációkutatások programjába. Ezek során több olyan tényre derült fény, amely összhangban van eredményeivel, és az említett szétválasztást alátámasztja. Így a *Pc* 3 típus esetén a napszél sebessége és az amplitúdó közötti összefüggésben a napszélsebesség kitevője 2 vagy ennél több, keletkezésére legkedvezőbb az olyan bolygóközi mágnestér, amely a magnetopauza homlokrészén a felület normálisával (a Nap—Föld iránnyal) kb. 30°-os szöget zár be, és a tevékenység a nap folyamán a helyi dél körül maximális. Evvel szemben a *Pc* 4 típus esetében a napszélsebesség kitevője 2-nél kisebb, a legkedvezőbb mágnestér-irány a Nap—Föld vonal menti, és a tevékenység maximuma hajnalban és szürkületkor van.

Az értekezés még egy ponton segítette elő a két típus eredetének tisztázását: sikerült kimutatni, hogy az állomáslánc egyik részén tapasztalt szélességfüggés nincs összefüggésben a lánc másik részén tapasztalt periódusváltozással, vagyis pl. lehetséges, hogy nagyon gyors periódusváltozást követhet a lánc következő szakaszán állandó érték (pl. egy esetben Alexandrapusztán a periódus 14,5 *s*, a 180 km-re északra fekvő Nagycenken 17 *s*, és ugyanennyi az 570 km-rel északabbra fekvő Niemegkben is). Ennek magyarázatára más lehetőség, mint az ún. héjrezonancia, aligha található. A héjrezonancia azt jelenti, hogy azonos sajátperiódusú erővonal-héjak kerülnek a beérkező spektrum egy-egy komponensével rezonanciába (toroidális magnetohidrodinámikus hullám), míg a szom-

szédos héj egy másik rezonáns periódust emel ki. Az egyes héjak vastagságára nagyon eltérő becslések vannak, de általában 100—200 km közötti (felszíni) vastagság látszik elfogadhatónak. Így pl. a fenti esetben Nagycenk és Niemegk azonos héjon volna, míg Alexandrapuszta vagy a szomszédos héjon, vagy az átmeneti zónában foglal helyet.

Az értekezés eredményeinek értékelésénél azt figyelembe kell venni, hogy eredményei tudatosan a közepes szélességekre vonatkoznak, mert a magasabb szélességeken a plazmapauza hatására a rezonáns periódus nem növekszik folyamatosan, mint a vizsgált tartományban. Választ ad többek között arra is, miért nem találtak egyesek szélességfüggést anyagukban: a meglehetősen nagy számú, de szabálytalanabb jelalakú *Pc* 4 eseménnyel foglalkoztak (pl. azért, mert a regisztrátumaik időbeli felbontása csak erre volt alkalmas).

SZEMERÉDY PÁL opponensi véleményében az ismertetett két csoport megkülönböztetését tartja az értekezés legjelentősebb eredményének, mellette a héjrezonancia valószínűsítésére végzett vizsgálatokat értékelte. Kérdései az adatok milyenségére, pontosságukra, valamint a geomágneses tevékenység szerepére vonatkoztak.

TAKÁCS ERNŐ értékelte az értekezésben leírt vizsgálatokhoz felhasznált hatalmas anyagot, valamint a két csoport elkülönítésével elért eredményt. Nem látta egyértelműen bizonyítottnak a héjrezonancia létét az eredmények alapján. Kérdései a felhasznált lánc minőségére, a vizsgálatok reprodukálhatóságára, valamint az egyes komponensek (geomágneses északi—déli és kelet—nyugati) viselkedése közötti különbségekre vonatkoztak.

Válaszában Cz. MILETITS JUDIT úgy foglalt állást, hogy a leírt eredmények értelmezésére a legmegfelelőbb elméletnek a héjrezonancia látszik, olyan formában, amint az a KELVIN—HELMHOLTZ instabilitásból eredő elsődleges hullám esetére már meglehetősen általánosan elfogadott. Az elsődleges, magnetoszférán kívüli forrás, amelyet pedig a földkörüli térség paramétereivel való szoros kapcsolat miatt fel kell tételezni, ilyen periódus-szélességfüggést semmi esetre sem okozhat.

Néhány, a bíráló bizottság által felvetett kérdés megválaszolása után a bizottság a TMB-nek az értekezés elfogadását javasolta.

VERŐ JÓZSEF
A FÖLDTUDOMÁNYOK DOKTORA

A LÉGKÖRI KÉN NAGYTÁVOLSÁGÚ TRANSZMISSZIÓJA

„A légköri kén nagytávolságú transzmissziója" címmel SZEPESI DEZSŐ 1980. október 28-án védte meg doktori értekezését. A disszertáció témája egyre inkább az érdeklődés előterébe kerül, mivel a légkört szennyező anyagok — így a tüzelőanyagok kéntartalmából származó kén-dioxid — a levegőbe kerülve a forrásoktól nagy távolságokra elkeverednek. Ebből következik, hogy egy-egy ország levegőjének minősége nemcsak belföldi, hanem külföldi emisszióktól is függ. Különösen igaz ez kisebb országok esetében. Így érthető, hogy az ENSZ keretében működő Európai Gazdasági Bizottság programot indított a nagyléptékű légszennyeződés modellezése és mérése céljából. Ebben a programban SZEPESI DEZSŐ, mint az Irányító Testület alelnöke kezdettől fogva fontos szerepet játszik.

SZEPESI DEZSŐ azonban nemcsak a nemzetközi program szervezésében, hanem a téma kutatásában is komoly eredményeket ért el. Doktori disszertációjában a kén nagytávolságú transzmissziója leírására az irodalomban található modelleket alkotó módon továbbfejlesztette. Munkájának legfontosabb eredménye a különböző átalakulási és ülepedési mechanizmusok trajektória menti részidejének figyelembevétele, illetve a folyamatokat jellemző felezési idők optimalizálása.

A terjedés modellezése úgy történik, hogy az emisszió mezőben (esetünkben Európa térképe a megfelelő területi kénkibocsátás feltüntetésével) a szélmező által meghatározott trajektória mentén Δt időtartamnak megfelelő távolságra adott magasságú légoszlopot mozdítunk el. A légoszlop magassága az ún. keveredési magassággal egyenlő, amely magaslégköri mérésekből határozható meg. Feltételezzük, hogy a légoszlopban a szennyezőanyag egyenletesen keveredik el. A számítás menete az, hogy minden Δt időtartamnak megfelelő emittált SO_2 mennyiséget a léposzlophoz hozzáadunk. Kivonjuk viszont a szulfáttá kémiailag átalakult, valamint a légoszlopból a csapadékkal (nedves ülepedés), illetve a turbulencia hatására (száraz ülepedés) a talajra ülepedett SO_2 tömegét. Az ülepedést természetesen szulfát esetén is kiszámítjuk. Amennyiben adott terület levegőjét magas pontforrások (100 m-nél magasabb kémények) is befolyásolják, akkor megfelelő módszerrel (ún. GAUSS-féle egyenletek) ezek hatását is figyelembe vesszük.

SZEPESI számításai szerint az Alföld középső részén elhelyezkedő, háttérszennyezettséget megfigyelő állomásunkon a mért kén-dioxid 47%-a kontinentális, 44%-a regionális (az állomás 200 km-es körzetén belüli) alacsony és 9%-a regionális magas forrásokból származik. Szulfát részecskék esetén megfelelő értékek rendre 49%, 28% és 23%. A mért és számított kén-dioxid koncentrációk közötti korrelációs együttható 0,72-vel egyenlő. Azt a következtetést vonhatjuk le, hogy az ország háttérlevegőjében levő kén mennyiségének legalább a fele külföldi forrásokból ered.

Az opponensek — BEDE GÁBOR, a műszaki tudományok kandidátusa; MÉSZÁROS ERNŐ, a földtudományok doktora; PÉCZELY GYÖRGY, a földtudományok doktora — és a bíráló bizottság egyhangúlag megállapították, hogy az értekezés jelentős eredményeket tartalmaz. Leszögezték, hogy a jelölt munkájának köszönhetően olyan hazai légköri modellel rendelkezünk, amellyel kielégítően szimulálható a különböző távolságokban levő (így pl. külföldi) forrásokból érkező kénszennyeződés. Így SZEPESI disszertációjának eredményei a magyar környezetvédelem szempontjából alapvető fontosságúak.

MÉSZÁROS ERNŐ
A FÖLDTUDOMÁNYOK DOKTORA

A KÉNVEGYÜLETEK LÉGKÖRI KÖRFORGALMÁNAK VIZSGÁLATA GLOBÁLIS, KONTINENTÁLIS ÉS REGIONÁLIS LÉPTÉKBEN

A fosszilis tüzelőanyagok kéntartalmának jelentős része elégetéskor a levegőbe jut, elsősorban kén-dioxid formájában. Ily módon az emberi tevékenység mobilizálja a szilárd kéregben levő ként és megváltoztatja természetes körforgalmát. A kérdés meteorológiai szempontból azért érdekes, mivel a kéndioxid a levegőben szulfáttá oxidálódik és a szulfátból álló antropogén aeroszol részecskék befolyásolják a felszínre érkező napsugárzás intenzitását, módosítják a felhő- és csapadékképződést, valamint a látástávolságot. Ezenkívül a légköri kénszennyeződés számos nem meteorológiai problémát is okoz. A kénsav koncentrációjának emelkedése növeli a levegő és a csapadékvíz savasságát és korróziós hatékonyságát, illetve elősegíti a légzőszervi megbetegedések gyakoriságát.

A kén légköri körforgalmának vizsgálatát ezért a magyar levegőkémikusok fontos feladatuknak tekintik. E kutatások jelentős állomása VÁRHELYI GABRIELLA „A kénvegyületek légköri körforgalmának vizsgálata globális, kontinentális és regionális léptékben" c. kandidátusi értekezése, melyet szerző a Magyar Tudományos Akadémián 1980. december 15-én védett meg (aspiránsvezető: MÉSZÁROS ERNŐ, a földtudományok doktora).

Munkájában VÁRHELYI többek között kimutatja, hogy globális léptékben a kéngázokból keletkező szulfát részecskék tömegének mintegy fele antropogén eredetű. Az Európában kibocsátott kénszennyeződés (25 millió tonna évente) kb. 15—20%-a nem rakódik le a kontinens felszínére, hanem hozzájárul a globális légköri körforgalomhoz.

Különösen érdekesek VÁRHELYI GABRIELLA hazai kénmérlegre vonatkozó számításai. Eredményei szerint Magyarországon az antropogén emisszió meghaladja a teljes ülepedés mértékét. Ez más szavakkal azt jelenti, hogy több kénszennyeződést „exportálunk", mint amennyit „importálunk". Az export és import különbsége kénegyenértékben kifejezve évente 0,37 millió tonnával egyenlő, amely a hazai emisszió közel 50%-a. Az ország levegőjét elhagyó kén 75%-a SO_2-ből, 25%-a szulfát részecskékből áll.

KERTÉSZ MAGDA a biológiai tudományok kandidátusa és SZEPESI DEZSŐ a műszaki tudományok kandidátusa opponensként az értekezést pozitívan értékelte, kiemelve annak hazai vonatkozásban úttörő jellegét. Véleményük és a vita alapján a bizottság javasolta a kandidátusi fokozat odaítélését.

MÉSZÁROS ERNŐ
A FÖLDTUDOMÁNYOK DOKTORA

BESZÁMOLÓ TUDOMÁNYOS ÜLÉSRŐL

AZ EURÓPAI GEOFIZIKAI TÁRSASÁG ÉS AZ EURÓPAI SZEIZMOLÓGIAI BIZOTTSÁG TALÁLKOZÓJA

Az Európai Geofizikai Társaság (European Geophysical Society) és az Európai Szeizmológiai Bizottság (European Seismological Commission) 1980. augusztus 22 és 29 között Budapesten tartotta közös kongresszusát. Ezt a jelentős nemzetközi találkozót az Eötvös Loránd Tudományegyetem és a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával a Magyar Geofizikusok Egyesülete szervezte. A helyi szervezőbizottság elnöke STEGENA LAJOS egyetemi tanár, titkára SZANYI BÉLA volt. Az egyhetes konferencia megnyitójára augusztus 22-én az ELTE dísztermében került sor. Az előadások, viták, könyv- és műszerkiállítás a budapesti Műszaki Egyetemen zajlottak, és a találkozót szakmai kirándulások követték.

A találkozón több mint 600 hazai és külföldi szakember vett részt elsősorban Európából, de számosan érkeztek a tengerentúlról (Japán, USA, Kanada) is. Minden eddigi rekordot megdöntött, hogy közel 500 előadás hangzott el az egy hét során rendezett 14 szimpózium, 7 nyílt szekció, 2 műhely és 6 albizottsági ülés során. Ezek a rendezvények a következő témákat ölelték fel:

Szimpóziumok

1. Bolygókutatás és koradatok a Naprendszerben
2. Geomágneses pulzációk
3. Geofizikai folyadékdinamika
4. Folyórendszerek és tavak hidrológiai modellje
5. Talajfizikai koncepciók
6. Sugárzások a meteorológiában
7. A földköpeny fizikai és kémiai tulajdonságai
8. Recens kéregmozgások és szeizmicitás
9. Európa kéregszerkezete
10. Kelet-Európa lemeztektonikája
11. Geotermika és geotermális energia
12. A keleti Mediterraneum tengeri geofizikája
13. Európai digitális szeizmikus állomáshálózat
14. Földrengésveszélyeztetettség és előrejelzes

Nyílt szekciók

1. Geomágnesség és paleomágnesség
2. Geodézia és gravitáció
3. Ionoszféra és mezoszféra fizika
4. Általános geofizikai folyadékdinamika
5. Matematikai geofizika
6. Nap-bolygó kapcsolatok
7. Glaciológia

Műhelyek

1. Bolygók és csillagok mágnessége
2. Pliocén-kvarter üledékek mágnessége

ESC albizottsági ülések

1. Szeizmicitás
2. Adatszerzés
3. Fészekmechanizmusok és földrengéselőrejelzés
4. Mikroszeizmika és szeizmikus zaj
5. Elmélet és értelmezés
6. Szeizmikus mélyszondázások

Ezen túlmenően három hosszabb összefoglaló előadás hangzott el az összes résztvevő számára; B. BOLT kaliforniai professzor a szeizmológia egy speciális területéről beszélt, J. ALLEGRE francia kutató a geokémia föld-dinamikai vonatkozásait ismertette, míg J. J. MILANOVSKY moszkvai professzor az alpi-mediterrán térség vulkanizmusát foglalta össze. Amint a programból látható, a találkozó egyik jellegzetessége a geofizika tudományterületének nagymérvű kiterjesztése volt. A szűkebb értelemben vett geofizikus szakterületek mellett előadások hangzottak el a bolygókutatás, a hidrológia, a talajfizika, meteorológia és geodézia tárgyköréből. Ez arra mutat, hogy napjainkban megfigyelhető differenciálódás mellett, a fizikai szemlélet előtérbe kerülése eredményeképpen a földtudományokban jelentős integrálódási folyamatok is lejátszódnak.

A találkozón elhangzott számos érdekes eredmény és technikai újítás közül csak néhányat tudunk kiemelni. Először hangzott el átfogó tájékoztatás a Skandináviától a Bohémiai masszívumig húzódó földkéregkutató szelvény (Fennolora) vizsgálata során kapott legfontosabb eredményekről. Megismerkedtünk a földrengések előrejelzése terén kapott legújabb eredményekkel és a további fejlődést nagymértékben elősegítő egységes európai digitális szeizmológiai állomáshálózat megteremtésének jelenlegi helyzetével. Számos szakembert és érdeklődőt vonzottak a planetológiai szimpózium előadásai, ahol többek között a Venus, Jupiter és Szaturnusz, valamint holdjaikról kapott legújabb adatokat és elméleteket ismertük meg. Úgy tűnik, hogy a Venus fejlettségét tekintve valahol az aktív Föld és a „halott" Mars között áll. A tervezett jövőbeni kutatások feladata lesz annak tisztázása, hogy működik avagy működött-e a Venuson is a lemeztektonika. A Kelet-Európa lemeztektonikája című szimpóziumon elhangzott 36 előadás meggyőzően demonstrálta a lemeztektonikai szemlélet gyümölcsöző hatását a terület tektonikájának megértésében.

Az egyik legérdekesebb formai-szervezési kísérlet a bolygók és csillagok mágnességével foglalkozó műhely volt. Az elképzelés az volt, hogy néhány hosszabb (40—50 perces) összefoglaló előadás köré csoportosított rövidebb előadások és kötetlen vita építené fel ezt a fajta tudományos találkozót. Az eredmény teljes mértékben igazolta az elképzelést. 4 teljes napon keresztül nem csökkenő érdeklődéssel és létszámmal folyt az eszmecsere, amelynek eredményeit nemzetközi szaklapban fogják publikálni. Több mint száz szeizmológiai

témájú előadás az Akadémiai Kiadó gondozásában, külön kötetben fog megjelenni. A találkozó iránt megnyilvánuló nemzetközi érdeklődést jól jellemzi az, hogy az összes elhangzott előadás kivonatát az Amerikai Geofizikusok Egyesülete által kiadott földtudományi tájékoztató újság (EOS) is publikálta.

A szakmai színvonalon túlmenően a zökkenőmentes szervezés, a társadalmi és kulturális programok színvonala, valamint a kiadványok szép kiállítása is általános megelégedést váltott ki.

A budapesti találkozó legnagyobb jelentősége mégis abban áll, hogy 200 szocialista és 400 nyugati résztvevővel első alkalommal sikerült valóban összeurópai geofizikus találkozót tartani. Budapesten ugyanis olyan országok kutatói is bemutatkoztak, amelyek eddig nem vettek részt az Európai Geofizikusok Egyesülete munkájában. Reméljük, hogy a „budapesti szellem" mindannyiunk tudományos és emberi hasznára tovább fog folytatódni.

HORVÁTH FERENC

TARTALOM

AKADÉMIAI SZÉKFOGLALÓ

Pécsi Márton: Bevezető *Martos Ferenc*, az MTA rendes tagja székfoglaló előadásához 111
Martos Ferenc: Bányakár és környezet 115

TUDOMÁNYOS ÉRTEKEZÉSEK

Kovács Ferenc—Somosvári Zsolt: A gázkitörések természeti körülményei és feltételei a homokkő mellékkőzetekben (Natural Conditions of Gas Runs in Sandstones Host Rocks). (Натуральные обстоятельства и условия газовых извержений в песчаных вмешающих породах) 135
Tarján Gusztáv: Adalék a hazai erőműépítési programhoz (Contributions to the Program of the Hungarian Powerstation-building). (Данные к программе строения отечественных енергетических установок) 147
Tarján Gusztáv: A nyersvasérc dúsításának gazdaságosságáról (Profitability of the Crude-iron Concentrating). (О рентабельности обогащения чугуна) 151

TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKOK, EMLÉKÜLÉSEK

METEOROLÓGIAI TUDOMÁNYOS NAPOK 1980. NOVEMBER 20—21.

Az éghajlat változásának és változékonyságának elméleti kérdései

Götz Gusztáv: Éghajlati Világprogram — az éghajlatváltozások kutatásának jelentősége, lehetőségei és problémái (World Climate Programme — the Importance, Possibilities and Problems of Investigating Climate Change). (Всемирная климатическая программа — значение, возможности и проблемы изучения изменения климата) 157
Mika János: A globális éghajlat statisztikai-dinamikai modellezése (Statistical-dynamical Modelling of the Global Climate). (Статистико-динамическое моделирование глобального климата) 177
Koppány György: Az éghajlatingadozások kutatásának eszközei, együttműködés különböző tudományágakkal (Tools for the Study of Climatic Variations — a Cooperation with Other Branches of Sciences). (Способы изучения колебаний климата — сотрудничество между различными отраслями науки) 193
Kordos László: Éghajlatváltozások és környezetfejlődés (Climatic Change and Environmental Development). (Изменение климата и развитие природной среды) 209
Dobosi Zoltán: Kontinensvándorlás és éghajlat (Continent Movement and Climate). (Перемещение континентов и климат) 223
Péczely György: A hőmérséklet szekuláris változása az északi félgömb poláris területén, összefüggésben az általános cirkulációval (Secular Variation of Temperature in the Polar Region of the Northern Hemisphere and its Connection with the General Circulation). (Вековая вариация температуры в полярном районе северного полушария и ее связь с общей циркуляцией) 231
Molnár Gyula: A klímaváltozások és a naptevékenység lehetséges kapcsolatai (On the Possible Effect of Solar Activity on Climatic Change). (О возможном влиянии солнечной деятельности на изменение климата) 239

Az éghajlat és az emberi tevékenység kapcsolata

Varga-Haszonits Zoltán: A gazdasági növények terméshozamának éghajlati potenciálja (Climatic Potential of Industrial Crop). (Климатический потенциал выхода сельскохозяйственной продукции) 253

Lépp Ildikó: Az éghajlat ingadozásának és változásának hatása az emberi tevékenységre (The Effect of Climatic Variation and Climatic Change on Human Activity). (Влияние колебаний и изменений климата на человеческую деятельность) 271
Szász Gábor: A légköri széndioxid-koncentráció változásának hatása a kultúrnövények produktivitására (The Effect of the Variation of Atmospheric Carbon Dioxide Concentration on the Productivity of Cultivated Plants). (Влияние изменения концентрации углекислого газа в атмосфере на продуктивность культурных растений) 277
Probáld Ferenc: Városklíma és várostervezés (Urban Climate and City Planning). (Городской климат и планирование городов) 293
Kovácsné Pataki Márta: A Föld ultraviola sugárzáséghajlatának emberi tevékenység okozta változásai és a változások hatása a bioszférában (Anthropogenic Changes in the Earth's Ultraviolet Radiation Climate and their Effect in the Biosphere). (Антропогенные изменения ультрафиолетового радиационного климата Земли и их влияние на биосферу) 307
Haszpra László—Miskolci Ferenc: Az emberi tevékenység hatása a szén-körforgalomra és a hatások klimatikus következményei (Effect of Human Activity on Carbon-Cycle and its Climatical Consequences). (Влияние человеческой деятельности на круговорот углерода в природе и его климатические следствия) 317

EMLÉKÜLÉSEK

Emlékülés Rozlozsnik Pál születésének 100. évfordulóján

Hámor Géza: Elnöki megnyitó 327
Balogh Kálmán: Rozlozsnik Pál életműve 331
Kecskeméti Tibor: Rozlozsnik Pál őslénytani munkássága 337
Rozlozsnik Pál munkái 343

Emlékülés Egyed László halálának 10. évfordulóján

Meskó Attila: Egyed László emlékülés 347
Barta György: Egyed László a tudományszervező 349
Márton Péter: Egyed László tudományos munkássága 353
Bisztricsány Ede: 75 éves a magyar szeizmológia 359
Meskó Attila: Geofizikus képzés az ELTE Természettudományi Karán 365
Egyed László irodalmi munkássága 369

AKADÉMIAI BIZOTTSÁGAINKRÓL

A Miskolci Akadémiai Bizottságról 373
Fodor Gyula: Beszámoló a recski ércbányászat helyzetéről 374
Balogh Béla: A borsodi szénbányák helye és szerepe a magyar szénbányászatban 374
Goda Miklós: Vázlatos tájékoztatás a külfejtéses széntermelés helyzetéről, lehetőségeiről, fejlesztési, kutatási feladatok 375
Mátyás Ernő: A nemérces ásványi nyersanyagokkal kapcsolatos kutatás-fejlesztési lehetőségek Észak-Magyarországon 376

DOKTORI, KANDIDÁTUSI VÉDÉSEKRŐL

Verő József: Czuczor Ernőné, Miletits Judit: „A Pc típusú geomágneses pulzációk periódusának szélességfüggése" című kandidátusi értekezésének vitájáról 377
Mészáros Ernő: Szepesi Dezső: „A légköri kén nagytávolságú transzmissziója" című doktori értekezésének vitájáról 381
Mészáros Ernő: Várhelyi Gabriella: „A kénvegyületek légköri körforgalmának vizsgálata globális, kontinentális és regionális léptékben" című kandidátusi értekezésének vitájáról 383

BESZÁMOLÓ TUDOMÁNYOS ÜLÉSRŐL

Horváth Ferenc: Az Európai Geofizikai Társaság és az Európai Szeizmológiai Bizottság találkozója 385

MTA Könyvtára
Periodika 1982/2263 sz.
MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA KÖNYVTÁRA

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója
Műszaki szerkesztő: Sándor István
A kézirat a nyomdába érkezett: 1981. júl. 21. — Terjedelem: 24,85 (A/5 ív)
82.9883 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György

316.418

AZ MTA X., FÖLD- ÉS BÁNYÁSZATI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

TARTALOM

1. FÜZET

ÉRTEKEZÉSEK

Erdélyi Mihály: A felszínalatti víz mozgásának vizsgálata közvetett módszerekkel a Magyar Medence példáján (Investigations of the Ground-water-moving Applicating Indirect Methods, Based on the Example of the Great Hungarian Plain). (Исследование движение подземных вод ковенными методами на примере Венгерского Бассейна) 3

Bobok Elemér—Navratil László—Szilas A. Pál: Pszeudoplasztikus kőolaj turbulens áramlási veszteségeinek vizsgálata (A Study of the Loss on Turbulent Flow of Pseudoplastic Oil). (Изучение потерь псевдопластичной нефти в процессе турбулетного движения жидкости) 75

Bobok Elemér—Szalay Árpád: Kontinuummechanikai eszközök alkalmazása a közvetett szénhidrogén-genetikai kutatásban (The Use of Continuum Mechanical Means in Indirect Investigation of Hydrocarbon Genesis). (О примененнии континуо-механических средств в косвенном исследовании генетики углеводородов) 95

2—4. FÜZET

AKADÉMIAI SZÉKFOGLALÓ

Pécsi Márton: Bevezető *Martos Ferenc* az MTA rendes tagja székfoglaló előadásához 111

Martos Ferenc: Bányakár és környezet 115

TUDOMÁNYOS ÉRTEKEZÉSEK

Kovács Ferenc—Somosvári Zsolt: A gázkitörések természeti körülményei és feltételei a homokkő mellékkőzetekben (Natural Conditions of the Gas Runs in Sandstones Host Rocks). (Натуральные обстоятельства и условия газовых изверженний в пещаных вмешающих породах) 135

Tarján Gusztáv: Adalék a hazai erőműépítési programhoz (Contributions to the Program of the Hungarian Powerstation-building). (Данные к программе строения омечественных енергетических установок) 147

Tarján Gusztáv: A nyersvasérc dúsításának gazdaságosságáról (Profitability of the Crude-iron Concentrating). (О рентабельности обогащения чугуна) 151

TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKOK, EMLÉKÜLÉSEK

METEOROLÓGIAI TUDOMÁNYOS NAPOK 1980. NOVEMBER 20—21.

Az éghajlat változásának és változékonyságának elméleti kérdései

Götz Gusztáv: Éghajlati Világprogram — az éghajlatváltozások kutatásának jelentősége, lehetőségei és problémái (World Climate Program — the Importance, Possibilities andProblems of Investigating Climate Change). (Всемирная климатическая программа — значение, возможности и проблемы изучения изменения климата) 157

Mika János: A globális éghajlat statisztikai-dinamikai modellezése (Statistical-dynamical Modelling of the Global Climate). (Статистико-динамическое моделирование глобального климата) 177

Koppány György: Az éghajlatingadozások kutatásának eszközei, együttműködés különböző tudományágakkal (Tools for the Study of Climatic Variations — a Cooperation with Other Branches of Sciences). (Способы изучения колебаний климата — сотрудничество между различными отраслями науки) 193

Kordos László: Éghajlatváltozások és környezetfejlődés (Climatic Change and Environmental Development). (Изменение климата и развитие природной среды) 209

Dobosi Zoltán: Kontinensvándorlás és éghajlat (Continent Movement and Climate). (Перемещение континентов и климат) 223

Péczely György: A hőmérséklet szekuláris változása az északi félgömb területén, összefüggésben az általános cirkulációval (Secular Variation of Temperature in the Polar Region of the Northern Hemisphere and its Connection with the General Circulation). (Великовая вариация температуры в полярном районе севечного полушария и ее связъ с общтей циркуляцией) 231

Molnár Gyula: A klímaváltozások és a naptevékenység lehetséges kapcsolatai (On the Possible Effect of Solar Activity on Climatic Change). (О возможном влиянии солнечной деятельности на изменение климата) 239

Az éghajlat és az emberi tevékenység kapcsolata

Varga-Haszonits Zoltán: A gazdasági növények terméshozamának éghajlati potenciálja (Climatic Potential of Industrial Crop). (Климатический потенциал выхода сельскохозяйственной продукции) 253
Lépp Ildikó: Az éghajlat ingadozásának és változásának hatása az emberi tevékenységre (The Effect of Climatic Variation and Climatic Change on Human Activity). (Влияние колебаний и изменений климата на человеческую деятельность) ... 271
Szász Gábor: A légköri széndioxid-koncentráció változásának hatása a kultúrnövények produktivitására (The Effect of the Variation of Atmospheric Carbon Dioxide Concentration on the Productivity of Cultivated Plants). (Влияние изменения концентрации углекослого газа в атмосфере на продуктивность культурных растений) 277
Probáld Ferenc: Városklíma és várostervezés (Urban Climate and City Planning). (Городской климат и планирование городов) 293
Kovácsné Pataki Márta: A Föld ultraviola sugárzáséghajlatának emberi tevékenység okozta változásai és a változások hatása a bioszférában (Anthropogenic Changes in the Earth's Ultraviolet Radiation Climate and their Effect in the Biosphere). (Антропогенные изменения ультрафиолетового радиационного климата Земли и их влияние на биосферу) 307
Haszpra László – Miskolci Ferenc: Az emberi tevékenység hatása a szén-körforgalomra és a hatások klimatikus következményei (Effect of Human Activity on Carbon-Cycle and its Climatical Consequences). (Влияние человеческой деятельности на круговорот углерода в природе и его климатические следствия) 317

EMLÉKÜLÉSEK

Emlékülés Rozlozsnik Pál születésének 100. évfordulóján

Hámor Géza: Elnöki megnyitó 327
Balogh Kálmán: Rozlozsnik Pál életműve 331
Kecskeméti Tibor: Rozlozsnik Pál őslénytani munkássága 337
Rozlozsnik Pál munkái 343

Emlékülés Egyed László halálának 10. évfordulóján

Meskó Attila: Egyed László emlékülés 347
Barta György: Egyed László a tudományszervező 349
Márton Péter: Egyed László tudományos munkássága 353
Bisztricsány Ede: 75 éves a magyar szeizmológia 359
Meskó Attila: Geofizikus képzés az ELTE Természettudományi Karán 365
Egyed László irodalmi munkássága 369

AKADÉMIAI BIZOTTSÁGAINKRÓL

A Miskolci Akadémiai Bizottságról 373
Fodor Gyula: Beszámoló a recski ércbányászat helyzetéről 374
Balogh Béla: A borsodi szénbányák helye és szerepe a magyar szénbányászatban 374
Goda Miklós: Vázlatos tájékoztatás a külfejtéses széntermelés helyzetéről, lehetőségeiről, fejlesztési, kutatási feladatok 375
Mátyás Ernő: A nemérces ásványi nyersanyagokkal kapcsolatos kutatás-fejlesztési lehetőségek Észak-Magyarországon 376

DOKTORI, KANDIDÁTUSI VÉDÉSEKRŐL

Verő József: Czuczor Ernőné, Miletits Judit: „A Pc típusú geomágneses pulzációk periódusának szélességfüggése" című kandidátusi értekezésének vitájáról 377
Mészáros Ernő: Szepesi Dezső: „A légköri kén nagytávolságú transzmissziója" című doktori értekezésének vitájáról 381
Mészáros Ernő: Várhelyi Gabriella: „A kénvegyületek légköri körforgalmának vizsgálata globális, kontinentális és regionális léptékben" című kandidátusi értekezésének vitájáról 383

BESZÁMOLÓ TUDOMÁNYOS ÜLÉSRŐL

Horváth Ferenc: Az Európai Geofizikai Társaság és az Európai Szeizmológiai Bizottság találkozójáról 385

NÉVMUTATÓ

Balogh Béla 374
Balogh Kálmán 331, 343
Barta György 349
Bisztricsány Ede 359
Bobok Elemér 75, 95

Dobosi Zoltán 223

Erdélyi Mihály 3

Fodor Gyula 374

Goda Miklós 375
Götz Gusztáv 157

Haszpra László 317
Hámor Géza 327
Horváth Ferenc 385

Kecskemét Tibor 337
Koppány György 193
Kordos László 209
Kovács Ferenc 135
Kovácsné Pataki Márta 307

Lépp Ildikó 271

Martos Ferenc 115
Márton Péter 353
Mátyás Ernő 376
Meskó Attila 347, 365
Mészáros Ernő 381, 383
Mika János 177
Miskolci Ferenc 317
Molnár Gyula 239

Navratil László 75

Pécsi Márton 111
Péczely György 231
Próbáld Ferenc 293

Sholtz György 373
Somosvári Zsolt 135

Szalay Árpád 95
Szász Gábor 277
Szilas A. Pál 75

Tarján Gusztáv 147, 151

Varga-Haszonits Zoltán 253
Verő József 377

Ára: 75 Ft

ISSN 0230–368X

Megjelent: 1982. IV. 23.

Index 26.510