

"KLÍMA-21" Füzetek

KLÍMAVÁLTOZÁS – HATÁSOK – VÁLASZOK

Kerti tó mellett szőlő zöld varangy
(*Epidalea viridis*)



Forrás: Puky M. tanulmánya

A TARTALOMBÓL

A 2010. májusi–júniusi rendkívüli időjárás

Vízkészletek, vízhasználat agroklimatológiai vonatkozásai

Belvizek hidrológiai értékelése

Az extrém időjárás és az agrárműszaki feladatok

A klíma- és időjárás-változáshoz igazodó talajművelés

Erdők a szárazsági határon

Időjárás és ökológia

Időjárás-változás, utak és a közlekedés

Katasztrófavédelmi koncepció

2010. 61. szám

„KLÍMA-21” FÜZETEK
KLÍMAVÁLTOZÁS – HATÁSOK – VÁLASZOK

“CLIMA-21” BROCHURES
CLIMATE CHANGE – IMPACTS – RESPONSES

„KLIMA-21” HEFTE
KLIMAÄNDERUNG – AUSWIRKUNGEN – LÖSUNGEN

«КЛИМА-21» БРОШЮРЫ
ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА – ВЛИЯНИЯ – ОТВЕТЫ

SZERKESZTŐ:

CSETE LÁSZLÓ
c. egyetemi tanár

SZERKESZTŐSÉG:

1093 Budapest, Zsil u. 3–5.
Tel.: 476-3295, Fax: 342-7571
E-mail: csetel@mail.datanet.hu

KIADJA:

MTA KSZI KLÍMAVÉDELMI KUTATÁSOK KOORDINÁCIÓS IRODA

FELELŐS KIADÓ:

LÁNG ISTVÁN
akadémikus

ISSN 1789-428X

Készült:

AKAPRINT KFT. BUDAPEST – Felelős vezető: Freier László

TARTALOM

TANULMÁNY

<i>Móring Andrea – Lakatos Mónika – Nagy Andrea – Németh Ákos: A 2010. május–júniusi időjárás rendkívüliségei éghajlati szempontból</i>	3
<i>Somlyódy László – Nováky Béla – Simonffy Zoltán: Éghajlatváltozás, szélsőségek és vízgazdálkodás</i>	15
<i>Tőkei László – Juhos Katalin: A csapadékvíz, a vízkészletek és vízhasználat kapcsolatrendszerének agroklimatológiai vonatkozásai</i>	33
<i>Pálfai Imre: A 2010. évi belvíz hidrológiai értékelése</i>	43
<i>Biró Szabolcs – Czinege István: A mezőgazdasági vízgazdálkodás helyzete, kilátásai</i>	52
<i>Soltész Miklós – Szabó Zoltán – Nyéki József: A gyümölcsstermelés biztonsága</i>	56
<i>Szenteleki Károly – Gaál Márta – Mézes Zoltán: Időjárási anomáliák és a nyugat-dunántúli gyümölcsstermelés</i>	72
<i>Mátyás Csaba – Fűhrer Ernő – Berki Imre – Csóka György – Drüsler Áron – Lakatos Ferenc – Móricz Norbert – Rasztovíts Ervin – Somogyi Zoltán – Veperdi Gábor – Vig Péter – Gálos Borbála: Erdők a szárazsági határon</i>	84
<i>Fűhrer Ernő: A fák növekedése és a klíma</i>	98
<i>Török Katalin – Lohász Cecília – Szitár Katalin: Időjárási fluktuációk hatása a kiskunsági nyílt homokpusztagyepek ökológiai restaurációjára</i>	108
<i>Puky Miklós: A klímaváltozás hatása a kétéltűekre</i>	114
<i>Neményi Miklós – Milics Gábor – Kovács Attila József – Sitkei György: Agrárműszaki feladatok az extrém csapadékos időszakok kapcsán</i>	121
<i>Jóri J. István: Környezetorientált talajművelési technológia (3E) és géprendszer – válasz a klímaváltozásra</i>	135
<i>Birkás Márta – Szemők András – Milan Mesić: A klímaváltozás talajművelési, talajállapot tanulságai</i>	144
<i>Tánczos Lászlóné: Események, hatások, tanulságok a közlekedés témakörből</i>	153
<i>Gáspár László: Az éghajlatváltozás utakra gyakorolt hatása (feladatok, tapasztalatok)</i>	158
<i>Bukovics István: Általános katasztrófavédelmi rendszermodell koncepciója</i>	165
Helyesbítés	42
Summary	186
Contents	198

A 2010. MÁJUS–JÚNIUSI IDŐJÁRÁS RENDKÍVÜLISÉGEI ÉGHAJLATI SZEMPONTBÓL

MÓRING ANDREA – LAKATOS MÓNICA – NAGY ANDREA – NÉMETH ÁKOS

Kulcsszavak: 2010. május-június, ciklonok, csapadék, erős szelek.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A 2010. május és június időjárását hazánkban két mediterrán ciklon, a Zsófia és az Angéla alakította. A Zsófia ciklon hatására 2010. május 15–18. között lehullott csapadék az egész ország területén rendkívüli volt. Négy nap alatt lehullott az átlagos havi összeg, de egyes helyeken annak kétszerese, sőt voltak olyan területek, ahol a háromszorosa esett. A május 15–18. közötti napok szél tekintetében is rendkívülinek számítanak.

Az Angéla ciklon hatására május 30. és június 4. között lehullott csapadék meghaladta a 30 mm-t, de a középhegységeken 120 mm fölötti összegeket regisztráltak.

Jól jellemzi az időjárást, hogy míg 1971–2000 között éves átlagban 586,3 mm, tavasszal 140,5 mm, májusban 61,1 mm csapadék hullott, addig 2010 májusában 179,1 mm.

Júniusban is jelentős volt a csapadék, de a májuséhoz képest alacsonyabb összegeket mértünk. Míg 1971–2000 között a júniusi csapadék 73,4 mm-t, addig a 2010. júniusi 115,8 mm-t tett ki.

A május és június hónapok időjárását hazánkban két intenzív mediterrán ciklon, a Zsófia (2010. május 15–18.) és az Angéla (2010. május 31. – június 4.) tette mozgalmassá. Mindkét ciklon rendkívül erős szelekkel és jelentős csapadékkal érkezett hazánk térségébe. Jelen összeállításunkban az idej május és júniust vesszük górcső alá, minél átfogóbb képet adva a két hónap csapadék- és szélviszonyainak éghajlati jelentőségéről.

A ZSÓFIA CIKLON IDŐJÁRÁSA ÉGHAJLATI NÉZŐPONTBÓL

A csapadékviszonyok

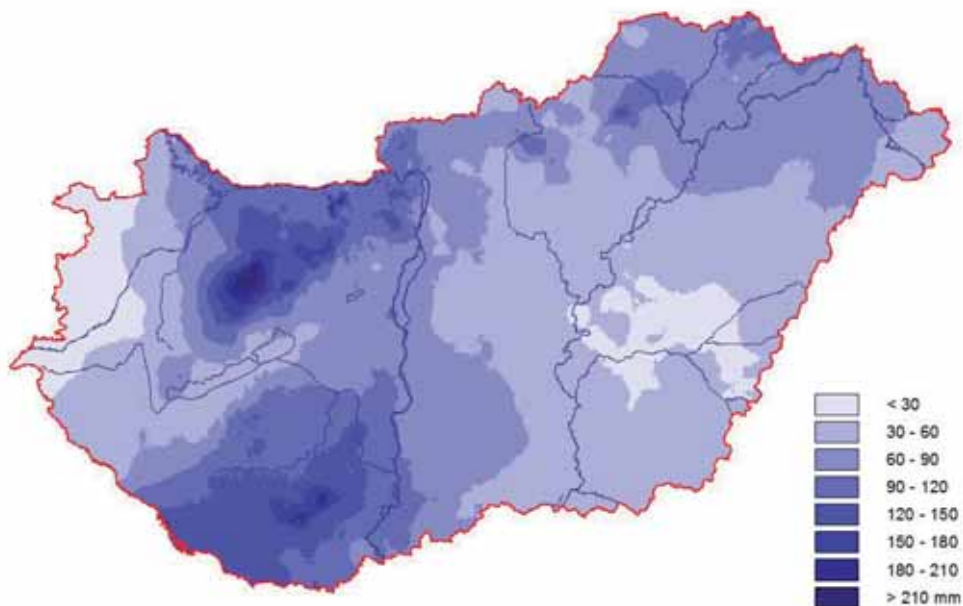
A 2010. május 15–18. között lehullott csapadék mennyisége az egész ország területén rendkívüli volt (1. ábra). Legkevesebb eső a Körösök térségében és az Alpokalján hullott (0–30 mm), legtöbb pedig az Észak- és

Dél-Dunántúlon (helyenként közel 240 mm), illetve a Bükkben (90 mm feletti). Május hónap sokéves átlagos csapadékösszege országosan 62,1 mm. A kérdéses időszakban hullott csapadék mennyisége ezt az értéket hazánk jelentős részén meghaladta, vagyis a négy nap alatt a havi csapadékhozamnak, sőt egyes területeken a kétszeresének, háromszorosának megfelelő mennyiségű eső zúdult az országra.

2010. május 15-én 30 állomásunkon mértek nagyobb csapadékösszeget, mint az eddigi 1981-es, 74 mm-es rekord (2. ábra). A két legnagyobb összeget, 157 és 146 mm-t Kőrishegyén és Bakonybélben regisztráltak. Az első 40 legnagyobb mért összeg között ezen a napon az 1981-es értéken kívül mindössze egy nem 2010-es mérés szerepel, az 1985-ös a 34. helyen.

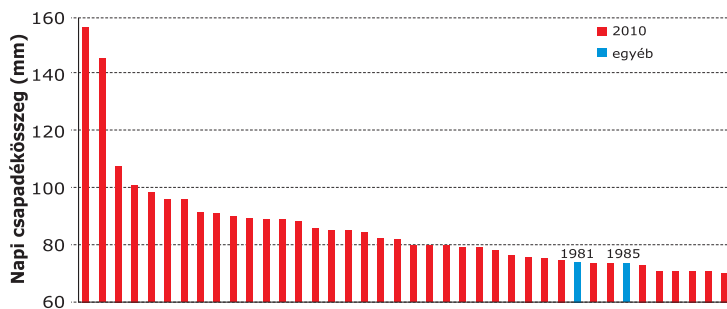
Egy nappal később a 2. ábrával azonos feldolgozásban már az első húsz legnagyobb napi csapadékösszegben is megjelennek

1. ábra

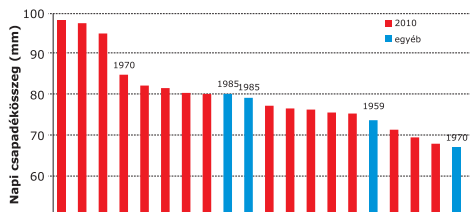


2010. május 15–18. között lehullott csapadék összege Magyarországon

2. ábra

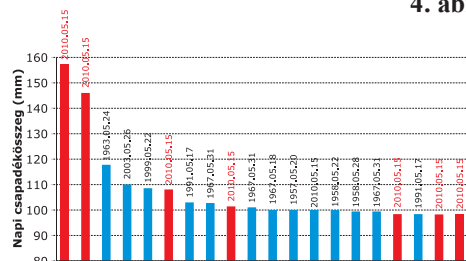
A negyven legnagyobb napi csapadékösszeg,
amit 1951 óta május 15-én mértek

3. ábra



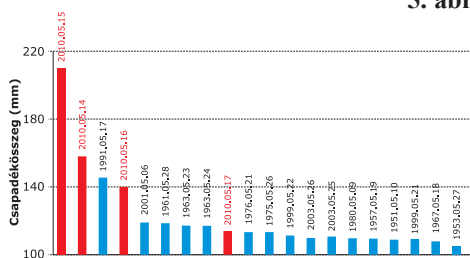
A 20 legnagyobb napi csapadékösszeg, amit 1951 óta május 16-án mértek

4. ábra



A húsz legnagyobb napi csapadékösszeg, amit 1951 óta májusban mértek

5. ábra



A húsz legnagyobb kétnapos csapadékösszeg májusban 1951 óta

nem idei évek (3. ábra). Az 1970-es rekord (85 mm) ezen a napon három helyen dőlt meg, Zircen 98,2 mm, Herenden 98,0 mm, Pécs Kertváros állomáson pedig 95,4 mm eső hullott.

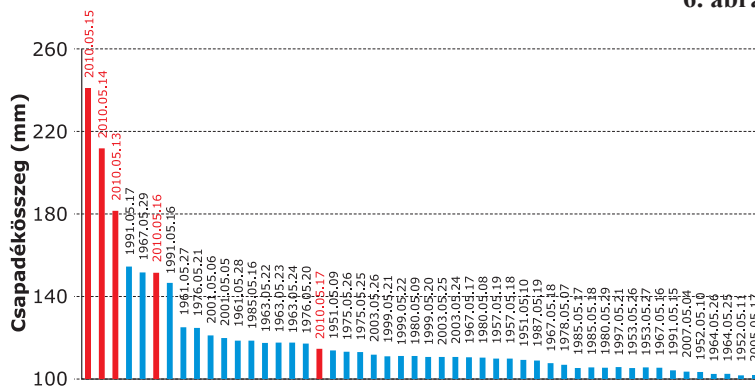
A 15-én mért két legnagyobb csapadékösszeg az egész hónap tekintetében is rekord-

menyiségnek számított, az eddigi májusi csapadékrekord (1963. május 24., Tiszabercel, 117,5 mm) így a harmadik helyre szorult (4. ábra). Az első húsz helyezett között még további öt 2010-es érték jelenik meg, három 15-ei (a 6., 9. és 17. helyen) és két 16-ai (a 19. és 20. helyen).

A napi csapadékösszegek mellett azt is vizsgáltuk, hogy két, illetve három nap alatt összesen mennyi eső esett. Az előzőekkel ellentétben ennél az elemzésnél minden időszakból csak egy értéket, a maximumot tüntettük fel.

A májusi kétnapos csapadékösszegeket tekintve is rendkívülinek számított ez az időszak (5. ábra). Az eddigi legnagyobb érték (1991. május 17–18., Sopron Kuruc-domb, 145,4 mm) közel másfélszerese (210 mm) hullott Kőröshegy állomáson május 15. és 16. kö-

6. ábra



Az 50 legnagyobb háromnapos csapadékösszeg májusban 1951 óta

zött, illetve ugyan ezen az állomáson május 14. és 15. között (158,5 mm) szintén megdőlt az 1967-es rekord. Az extrém csapadékos időszak május 16–17. közötti kétnapos periódusa is helyet kapott az első húsz érték között: negyedik helyen szerepel a zirci állomás 141 mm-es csapadékösszeggel,

12. ábra



A napi szélmaximum területi eloszlása 2010. május 17-én

A május 16-ai szélrekordokat nézve még nagyobb a 2010-es értékek dominanciája (8. ábra). Ezen a napon is átvette az első helyet egy idei érték, melyet az előző naphoz hasonlóan a Kab-hegyi állomáson mértek, és elég jelentős különbséggel előzte meg az eddig vezető 2004-es Balatonmáriafürdőn regisztrált maximális széllelkést. A 4-5., a 7-8., a 14. és a 16-20. helyen láthatunk még 2010-es értékeket, melyek mindegyikét a Dunántúlon regisztrálták.

A kérdéses négy nap közül 17-én került be a legtöbb (14 darab) 2010-es érték a húsz legnagyobb napi maximális széllelkésérték közé (9. ábra). A 2004-es rekord (Balatonmáriafürdő, 36,8 m/s) két állomáson is megdőlt, Kab-hegyen 45,0, Balatonfüreden 39,7 m/s nagyságú volt a legerősebb széllelkés ezen a napon. A Kab-hegyi 45 m/s-os érték új országos rekord az egész év tekintetében is.

2010. május 18-án is megdőlt a 2005-ös napi szélrekord (Debrecen, 32,9 m/s), ismét Kab-hegyen az előzőeknél ugyan már alacsonyabb, 35,3 m/s-ot mértek (10. ábra). Az erre a napra jellemző legnagyobb húsz érték között ez esetben már csak egy további 2010-es érték jelenik meg a 17. helyen.

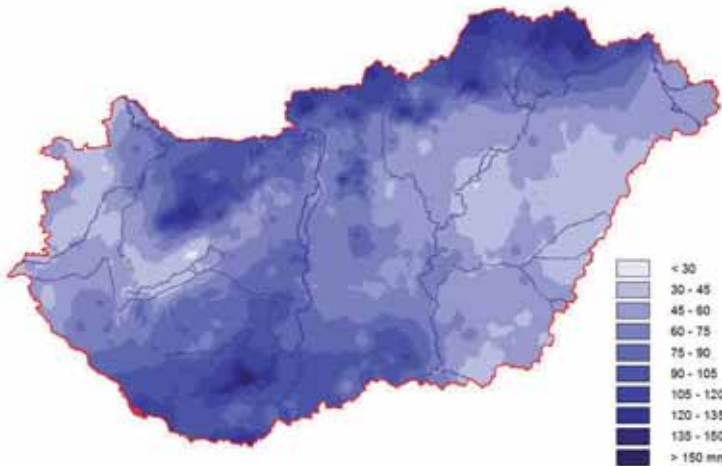
Az egész hónap napi maximális széllelkéseit tekintve a kérdéses 2010. május 15–18. időszakban három alkalommal dőlt meg a 2004. május 28-ai rekord (11. ábra). Az első két legerősebb 17-ei, valamint a legerősebb 16-ai haladta meg az eddigi legnagyobb, 39,4 m/s-os értéket. Az első húsz legnagyobb mérés között ezen kívül további két idei érték szerepel a 8. és 15. helyen.

Térképen ábrázoltuk az országos szélrekord napján, azaz 2010. május 17-én a napi szélmaximumok eloszlását (12. ábra). Jól látható, hogy viszonylag csendes csak a Tiszántúl középső régiója volt, míg a Tiszától nyugatra jobbra 15 m/s-ot meghaladó értékek fordultak elő. A legerősebb szelek a Bakony térségét érintették, itt többnyire orkán erejű (33 m/s-ot meghaladó) szél fúj, kisebb területen az értékek a 40 m/s-ot is meghaladták.

AZ ANGÉLA CIKLON – HÁROM HÉT IDŐJÁRÁSA

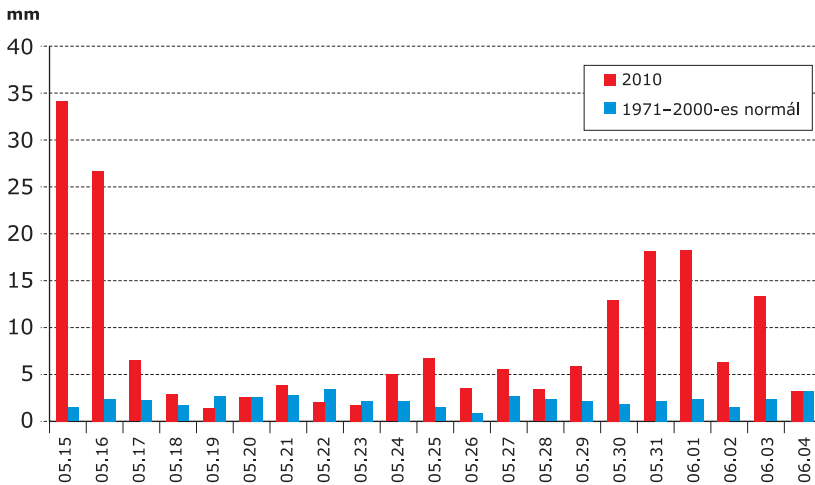
Az Angéla ciklon május 31-én érkezett a Kárpát-medence térségébe, de előoldalán a labilis állapotú légkörben már egy nappal

13. ábra



2010. május 30. – június 4. között lehullott csapadék összege Magyarországon

14. ábra



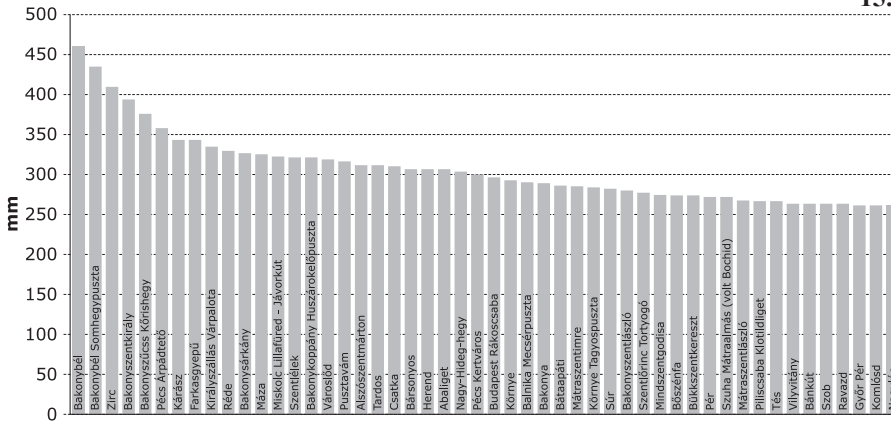
A 2010. május 15. – június 4. időszak napi összegei országos átlagban a normál értékekkel

korábban jelentős csapadékkal járó helyi záporok, zivatarok alakultak ki országszerte. Ezért az időszakos csapadékösszeget május 30-tól kezdődően vizsgáljuk.

A 2010. május 30. és június 4. között lehullott csapadékmennyisége kicsiny területek kivételével az ország nagy részén meghaladta a 30 mm-t (13. ábra). A legkevésbé

csapadékosnak a Nyírség, az Alpokalja és a Bakony térsége bizonyult. A legtöbb csapadékot (120 mm fölötti összegeket) a középhegységeken mértek, de ezek közül is kiemelkedett a Mecsek, ahol 150 mm-t meghaladó mennyiség volt jellemző.

15. ábra



A legnagyobb háromhetes összegek nagyság szerint rendezve 2010. május 1-től június 4-ig a lecsapadékosabb régiókban

Az OMSZ mérőhálózatában rögzített legnagyobb csapadékösszegek május 30. és június 4. között az alábbiak szerint alakultak:

- május 30. Révleányvár 59 mm
(Borsod-Abaúj-Zemplén megye)
- május 31. Balatonújlak 62,3 mm
(Somogy megye)
- június 1. Pécsvárad 107,9 mm
(Baranya megye)
- június 2. Farkasgyepű 39,2 mm
(Veszprém megye)
- június 3. Boldogkőváralja 50,5 mm
(Borsod-Abaúj-Zemplén megye)
- június 4. Tápiószéle 23,4 mm (Pest megye)

Országos átlagban az időszakban 64,5 mm csapadék hullott, ami meghaladja az átlagos május havi összeget. Önmagában nem tekinthető kiugrónak ez az érték, a helyzet rendkívüliségét az adja, hogy a megelőző időszakban, egészen május elejétől, de főként május 15–16. között nagy mennyiségű csapadék hullott (14. ábra).

A június 4-ét megelőző három hétben több átlagánál nagyobb mennyiségű csapadékot regisztráltak. Megvizsgáltuk, hogy ezek a csapadékhozamok 1951 óta a május elejétől június 4-ig tartó összes 21 napos időszak tekintetében mennyire számítanak rendkívülinek. A múlt század közepétől tekintve

a legnagyobb értékek egyértelműen az idei május–június eleji csapadékos időszakban léptek fel. A 15. ábrán kiemeltük azokat a mérőhelyeket, ahol tartósan, a háromhetes időszakok tekintetében a legnagyobb csapadékhozammal kellett szembenézni 2010. május 1-től június 4-ig bezárólag.

Az 1. táblázatban közöljük azokat az éveket és településeket, amikor a 2010-es, május–június eleji időszakhoz hasonlóan igen magas összegeket regisztráltak három hét távlatában. Látható, hogy az elmúlt 60 év során 200 mm-t meghaladó összeget csak elvétve mértek, ellentétben a mögöttünk hagyott esős időszakokkal, amikor 250 mm-t meghaladó mennyiségek szerte az országban több helyen előfordultak.

Akárcsak elődje, az Angéla is említésre méltó szélviszonyokat eredményezett hazánkban.

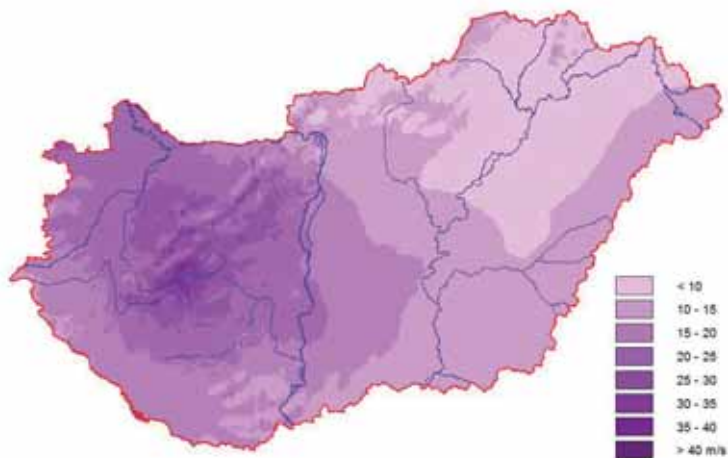
A ciklonhoz kapcsolódóan jelentős szélsebességeket regisztráltunk. A 16. ábrán a ciklon átvonulásának legszelesebb napján, 2010. június 1-jén jellemző napi maximális szélsebesség területi eloszlását mutatjuk be. Látható, hogy elsősorban a Dunántúl volt érintett, az értékek többnyire 20 m/s fölött voltak. A legszelesebb csakúgy, mint a Zsófia ciklon esetében, ekkor is a Bakony térsé-

1. táblázat

A május 1. – június 4. időszak 180 mm-t meghaladó háromhetes csapadékösszegei az éves háromhetes maximum kiemelésével, 1951-től 2009-ig

Év/Állomás	21 napos összegek	Év/Állomás	21 napos összegek
1959	187,5	1988	205,0
Csörnyeföld	187,5	Kékestető	205,0
1965	196,0	1991	181,9
Kőszeg Stájerházak	189,0	Sopron Kuruc-domb	181,9
Zalalövő	196,0	1995	195,5
1967	184,7	Bükkszentkereszt	195,5
Sopron Görbehalom	184,7	1998	181,5
1975	192,5	Miskolc Lillafüred – Jávorkút	181,5
Barcs Középrigóc	185,4	2006	222,4
Felsőszentmárton	192,5	Bánkút	221,4
1976	190,3	Iklódbördőce	191,6
Monok	185,0	Kékestető	203,1
Tarcal	190,3	Mátraszentimre	216,5
1984	227,1	Mátraszentlászló	198,5
Budapest Békásmegyér	193,1	Miskolc Lillafüred – Jávorkút	221,1
Budapest Hűvösvölgy	227,1	Nagy-Hideg-hegy	185,7
Szokolya Királyrét	200,6	Répáshuta	189,1
1985	188,5	Salgótarján Rónafalu	192,2
Kékestető	188,5	Szentlélek	222,4
1987	188,9	Szilvásvárad Szaljkavölgy	183,3
Budapest	188,9		

16. ábra



A napi szélmaximum területi eloszlása 2010. június 1-jén

ge volt, a maximális szélesség, beleértve a Balaton déli partját is, nagy területen meghaladta a 30 m/s-ot, sőt az orkán (33 m/s-nál nagyobb) erősséget is elérte. 40 m/s fölötti értékek – szintén a Bakonyban – csak elvétve jelentek meg.

A MÁJUSI ÉS JÚNIUSI CSAPADÉKÖSSZEGEK

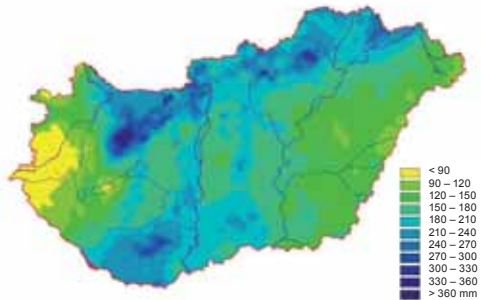
Az ország nagy részén 90 mm-t meghaladó mennyiségű csapadék hullott, ez alól kivételt csupán a Kemeneshát térsége jelentett (17. ábra). Hegységeinkhez képest az Alföld bizonyult viszonylag szárazabbnak, de már itt is megjelentek 150 mm-nél nagyobb értékek. A legcsapadékosabb régió a Dunántúli-középhegység volt, a Bakonyban a havi csapadékhozam a 360 mm-t is átlépte. Emellett jelentős, 300 mm fölötti havi összegek rajzolódtak ki az Északi-középhegységben, valamint a Mecsekben is.

Az Alpokaljától eltekintve a havi csapadékösszeg országsszerte meghaladta a sokéves átlagot (18. ábra). Az eltérés a Dunántúl nyugati felében, illetve az Alföldön volt a legkisebb, ezeken a területeken még alatta maradt, de hazánk többi részén a 2010. májusi csapadék már az ilyenkor szokásos érték háromszorosa fölött volt. A legmarkánsabb különbség a Bakonyban jelentkezett, itt az átlag mintegy ötszöröse is előfordult. Ugyancsak jelentős anomália jellemezte a Mecsek, valamint a Mezőföld térségét, ahol kisebb területen négyszeres összegek is előfordultak.

Ha az elmúlt 110 év országos átlagban vett május havi csapadékösszegeit tekintjük (19. ábra), szembeűnő, hogy az idei érték magasabb az eddigi legmagasabb érték (1939, 126,3 mm) fölé szökik.

Az országosan jellemző 2010. májusi csapadékhozamot nemcsak a májusi sokéves átlaggal érdemes összevetni, hanem az éves és évszakos középértékekkel is (2. táblázat). Ez alapján elmondható, hogy az ilyenkor szokásos havi összeg több mint két és félszerese hullott le az idei májusban országos átlagban,

17. ábra



A 2010. május havi csapadékösszeg területi eloszlása

18. ábra



A 2010. május havi csapadékösszeg eltérése az 1971–2000-es átlagtól

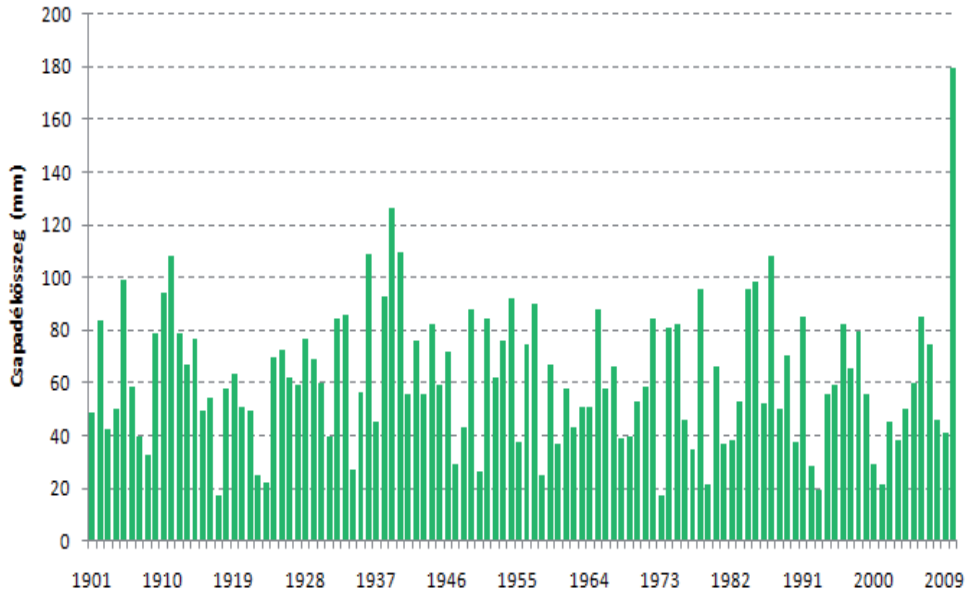
ezenkívül az is látszik, hogy ennek az egy hónapnak a csapadékösszege a tavasszal szokásos összeget mintegy 40 mm-rel meghaladta, illetve csak ebben a hónapban az éves átlagos csapadék több mint 1/3-a esett le.

2. táblázat

A 2010. május havi csapadékösszeg országos átlagban, illetve az országos átlagban vett éves, tavaszi és májusi csapadékösszeg 1971–2000-es normálértéke

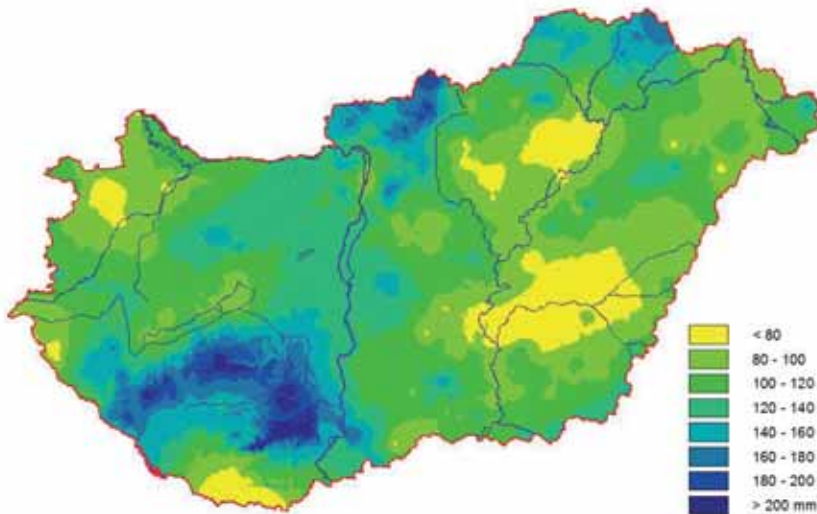
Országos átlagértékek	Csapadékösszeg (mm)
1971–2000	
Év	586,3
Tavasz	140,5
Május	62,1
2010. május	179,1

19. ábra



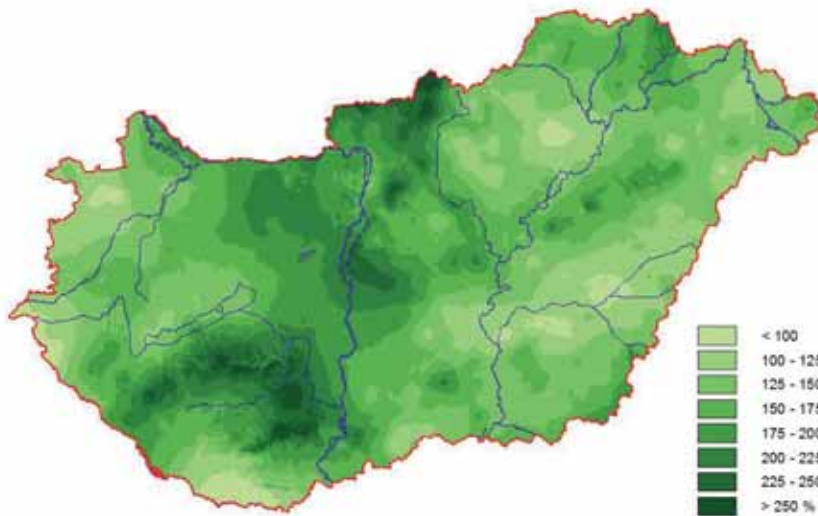
Május havi csapadékösszegek országos átlagban 1901–2010 között
(homogenizált, interpolált adatok)

20. ábra



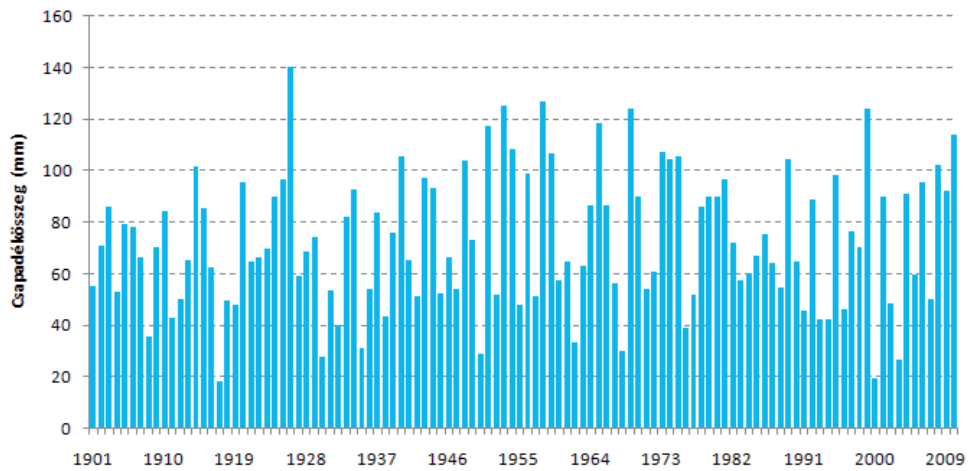
A 2010. június havi csapadékösszeg területi eloszlása

21. ábra



A 2010. június havi csapadékösszeg eltérése az 1971–2000-es átlagtól

22. ábra

Június havi csapadékösszegek országos átlagban 1901–2010 között
(homogenizált, interpolált adatok)

Az extrém eloszlás illesztés alapján a 2010-es május havi összeg visszatérési ideje közel 250 évnél adódott. Ez azt jelenti, hogy átlagosan 250 év távlatában kell hasonló mértékű esőzéssel számolni május hónapban.

2010 júniusában is jelentős csapadék hullott országszerte, de a májusi értékekhez képest alacsonyabb, túlnyomóan 200 mm alatti összegeket regisztráltak (20. ábra). A legszárazabb terület a Körös mentén rajzolódott ki, de csapadékban szegényebbnek bizonyult a Borsodi-mezőség, a Kisalföld egy része és a Dráva-mellék is. A legnagyobb összegek a Dunántúli-dombság és a Mecsek térségében jelentkeztek. A Mecsekben nagyobb területen 200 mm feletti csapadék hullott, helyenként 240 mm-t megközelítő összeg is előfordult. Emellett 160 mm-t meghaladó havi csapadékhozam jellemezte a Cserhát és a Zempléni-hegység régióit.

Az anomália-térképet tekintve (21. ábra) elmondható, hogy néhány kisebb területtől

eltekintve a június is országszerte csapadékosabb a sokéves átlagnál. Az anomália-értékek elrendeződése jól követi a havi csapadékösszegek területi eloszlását. A legnagyobb különbség ennek megfelelően a Dunántúli-dombság és a Mecsek térségében jelentkezett, nagyobb területen az ilyenkor szokásos mennyiség több mint két és félszerese volt jellemző. Hasonlóan nagy eltérés rajzolódott ki a Cserhátban is.

2010 júniusában az 1971–2000-es júniusi havi átlagos csapadékösszeg (73,4 mm) több mint másfélszerese, 115,8 mm hullott országos átlagban. Ez az érték összevetve az 1901-ig visszamenő júniusi értékekkel (22. ábra) korántsem volt olyan kiugró, mint a májusi összeg, a múlt század elejétől a nyolcadik legnagyobbjának bizonyult. Utoljára 1999-ben volt ennél csapadékosabb június (123,8 mm), az eddigi maximum (140,1 mm) pedig 1926-ban volt.

ÉGHAJLATVÁLTOZÁS, SZÉLSŐSÉGEK ÉS VÍZGAZDÁLKODÁS

SOMLYÓDY LÁSZLÓ – NOVÁKY BÉLA – SIMONFFY ZOLTÁN

Kulcsszavak: vízgazdálkodás, éghajlatváltozás, szélsőséges vízjárás, tározás, vízviSSzatartás, EU Víz Keretirányelv.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A vízgazdálkodás stratégiai feladatait nagymértékben befolyásolja, hogy a meteorológiai jellemzőkben az utóbbi húsz évben tapasztalt változások folytatódnak-e, sőt további erősödésük várható-e? A másik fontos kérdés, hogy a vízjárásban is megjelenő szélsőségek csak az éghajlati jellemzők változásának tulajdoníthatók-e, vagy vannak-e egyéb antropogén okai is? Egyelőre mindkét kérdés megválaszolásában – európai szinten is – jelentősek a bizonytalanságok.

A szélsőségek okozta növekvő károkkal szembeni cselekvések szükségessége és a bizonytalanságok együttesen határozzák meg a vízgazdálkodási feladatokat, összhangban a Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiával, valamint az EU irányelveivel és ajánlásaival (Víz Keretirányelv, Árvízi Irányelv, Közlemény az aszályról):

- Kiemelten fontosak azok a rövid távú intézkedések, amelyek a bizonytalanságok ellenére végrehajthatók, mert hatékonyan csökkentik a károkat, a költségek elfogadhatók, és nem csupán az éghajlatváltozás jelenlegi és várható hatásai miatt szükségesek. A fenntartható megoldást az árvíz, a belvív és az aszály összehangolt kezelése jelenti (a vízviSSzatartás különböző módszereit alkalmazva), a területhasználat vízgazdálkodási szempontokhoz való alkalmazkodásának támogatása mellett.

- Az éghajlati hatásvizsgálatoknak célszerű beépülnie a vízgazdálkodási tervezés folyamatába (ez vonatkozik a hosszabb távon megvalósuló intézkedések előzetes tervezésére is). A legfontosabb feladatok közé tartozik az éghajlatváltozás vízgazdálkodási hatásaival kapcsolatos jelentős ismerethiány csökkentése, az éghajlatváltozásra érzékeny indikátorok megállapítása és monitorozása, a kapcsolódó K+F tevékenység támogatása, valamint a nemzetközi együttműködés erősítése.

- Végezetül lényeges a felkészülés a szárazodásból adódó, hosszú távon jelentkező vízgazdálkodási hatásokra, azaz a vízkészletek számottevő csökkenésére és az egyre súlyosabb aszályokra. Kívánatos az éghajlatváltozás (bizonytalanul) előre jelzett mértékéhez igazodó tervek kidolgozása, amelyek akkor valósulnak meg, ha a megállapított indikátorok elérik a beavatkozásokat indokoltá tevő küszöbszintet.

BEVEZETÉS

Napjainkban nem ritkán feltett kérdés, hogy melyek az éghajlatváltozás vízgazdálkodásra gyakorolt legfontosabb hatásai. Válasz-

ként, jelenlegi ismereteinkre alapozva, gyakran soroljuk a következő megállapításokat

- nő a szélsőségesnek számító árvizek, belvizek és aszályok gyakorisága és mértéke;

– a vízfolyások nyári kisvízi készlete csökken és a tavakban gyakoribbá válnak az alacsony vízállású időszakok (kisebb sekély tavak kiszáradhatnak);

– az Alföld dinamikus (utánpótlódó) felszín alatti vízkészlete csökken;

– számottevően növekszik a növénytermelés és a halastavak vízigénye;

– a kisebb vízmennyiség és a magasabb hőmérséklet változatlan szennyezőanyag- és hőterhelés mellett a felszíni vizek rosszabb vízminőségét okozza.

A fenti megállapításokat az utóbbi évek tapasztalatai – legalábbis első ránézésre – alátámasztják. Az ezredfordulót megelőző és követő évtized bővelkedett szélsőséges vízjárási eseményekben. Több vízfolyáson 1992 nyarán és kora őszén a mértékadó kisvízhozamnál alacsonyabb értékeket észleltek, a holtágakban rendkívül alacsony vízszintek alakultak ki, a talajvízből táplálkozó tavak közül többnek a felülete csökkent, vagy a tó kiszáradt, jelentősen apadt a Velencei-tó. Az 1990–1994. évek közül háromban is volt súlyos aszály, az 1992. évet kissé meghaladó erősségű aszály a XX. században csak 1952-ben fordult elő. Az 1990-es évek második felében fordult a kocka, 1996–1999 között a kisvízfolyásokon gyakran alakult ki heves, a korábbi vízszinteket meghaladó áradás, a nagyfolyókon 1998–2002 közt minden korábbit meghaladó árvizek fordultak elő, és 1999–2000-ben rendkívüli belvizek is voltak. Az ezredfordulót követően előbb vízhiányos időszakok következtek: 2000 és 2003 aszályos éveknek számított, szélsőségesen kicsi vízhozamokat mértek a Dunában is, és szokatlanul alacsony vízállások fordultak elő a Balatonban. Az évtized második felében ismét növekedett az árvizek, különösen a kisvízfolyások heves árvizeinek gyakorisága. 2006 újabb árvízi rekordokat hozott a Dunán és a Tiszán egyaránt, és egészen frissek az emlékek a 2010. májusi és júniusi árvizekről. A Duna–Tisza közén a talajvízszint-süllyedés az utóbbi évtizedben is folytatódott, illetve nem indult meg a visszatöltődés, valamint az aszályok súlyossága a növények részére

csak korlátozottan hozzáférhető felszín alatti vizeknek is tulajdonítható.

Felmerül azonban a kérdés, hogy a tapasztalatok valóban hosszú távra érvényes változásokra utalnak, vagy az éghajlat változékonyságának egy újabb, egyelőre szokatlan, de nem tartós fejezetével találkozunk? És a kiegészítő kérdés: a változások mértékéért mennyire felelős a klímaváltozás és vannak-e/lehetnek-e egyéb okok is (például a változó területhasználat, a hullámterek állapota és feliszapolódása, a védelmi rendszerek fenntartási hiányosságai)? A válaszok vagy azok hiánya nagymértékben befolyásolják a vízgazdálkodás jövőbeni stratégiai lépéseit.

Jelen cikkünkben az éghajlatváltozás és a vízgazdálkodás kapcsolatát főként abból a szempontból elemezzük, hogy ismereteink mennyire megbízhatóak és milyen következtetések levonását engedik meg (a vízminőségre gyakorolt hatások elemzésével itt nem foglalkozunk részletesen, mert ismereteink igen korlátozottak). Az is roppant fontos felvetés, hogy – a bizonytalanságokat is figyelembe véve – milyen stratégiai célok jelölhetők meg rövid és hosszabb távon, és melyek a legfontosabb megválaszolendő kérdések.

Cikkünk felépítése a következő. Először a különböző jellegű szélsőségekkel (árvíz, belvíz, aszály stb.) és múltbeli előfordulási gyakoriságukkal foglalkozunk. Érdeklődésünk középpontjában Magyarország és annak vízei állnak, de röviden áttekintjük az európai tapasztalatokat is. Ezt követően az éghajlatváltozásnak a vízgazdálkodásra gyakorolt hosszú távú hatásait elemezzük, és táblázat formájában összefoglaljuk a meteorológiai viszonyokban várható változások hatásainak erősségét. Az utolsó fejezetben a legfőbb feladatokat tekintjük át: a rövid és hosszú távon szükséges intézkedéseket, továbbá az ismerethiány mérséklését szolgáló teendőket.

SZÉLSŐSÉGEK ÉS GYAKORISÁGUK

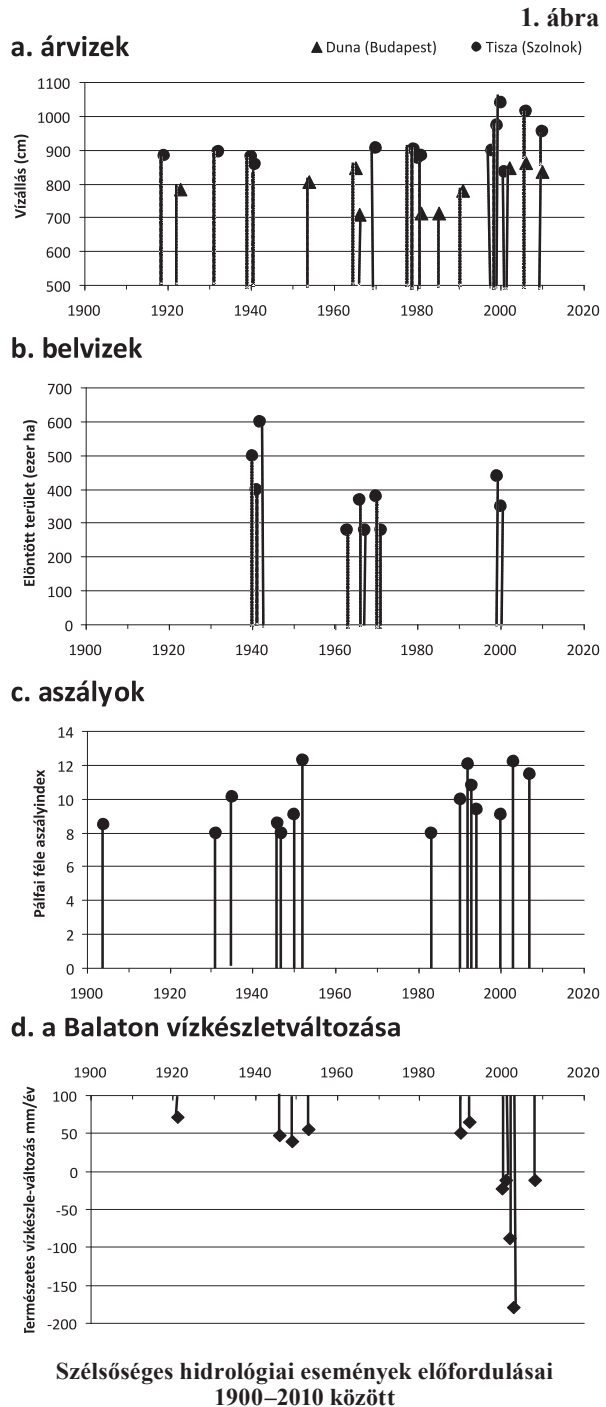
Vizsgáljuk meg, hogy az utóbbi két évtizedben tapasztalt szélsőséges hidrológiai,

vízgazdálkodási események hogyan illeszkednek a teljes XX. századot magában foglaló elmúlt 110 év vízjárási történéseibe, mennyire igazolható a szélsőséges vízjárási események gyakoriságának feltételezett növekedése, és igenlő válasz esetén melyek a legfontosabb kiváltó okok. A vízigenyek kielégíthetőségére és a vízminőségre gyakorolt hatás lassúbb folyamat eredménye, ezért a hatások csak hosszabb távon mutathatók ki (lásd később).

Az 1. ábrán a szélsőségesnek tekintett árvizek, belvizek és aszályok előfordulását, valamint a Balaton extrém vízhiányos időszakait mutatjuk be 1900-tól napjainkig (a Balatonra 1921-től, a belvízre 1935-től rendszeres és részletes az adatgyűjtés). Az ábra az események gyakorisága mellett azt is mutatja, hogy hogyan változott a szélsőségek mértéke. Az éghajlatváltozás meteorológiai paraméterekre gyakorolt hatása a hidrológiai folyamatokon keresztül befolyásolja a párolgást, a lefolyást, a felszín alatti vizek táplálását, és így a felhasználható vízkészleteket, az árvizeket, a belvizeket és az aszályos időszakokat. Elsőként tehát minden esetben azt fogjuk értékelni, hogy a klímaváltozáshoz közvetlenül kapcsolható meteorológiai jellemzőkben, azaz a hőmérsékletben és a csapadékban kimutatható-e olyan mértékű szélsőségek, amelyek a vízjárás szélsőségeit önmagukban magyarázhatják.

Árvizek

A Duna és a Tisza árvizeinek jellemzésére azokat a nem jeges árvizeket választottuk, amelyek tetőző vízállása meghaladta Budapesten a 700 cm-t, Szolnokon pe-



dig a 800 cm-t. Ezeket a szinteket a folyók mindkét szelvényben megközelítően azonos gyakorisággal, 10-szer, illetve 14-szer lépik túl. A jeges árvizek azért maradtak ki az elemzésből, mert a jégtorlaszok képződésének egyedi körülményeihez kapcsolódnak, illetve az utóbbi 50 évben nem fordultak elő. A jeges árvizek számának csökkenése, vagy tartós elmaradása feltehetően részben a telek enyhülésének tudható be, jóllehet egyértelmű igazolás ebben a tekintetben nincsen.

A Dunán 1990-ig összesen 6, a Tiszán 8 kiemelt árvíz vonult le. Az események 4-31 évenként követték egymást, ez alól kivétel volt 1940–41, 1979–80–81 a Tiszán és 1965–66 a Dunán, amikor egymást követő években alakult ki jelentős árhullám. 1991-től napjainkig majdnem azonos az árhullámok száma, mint az előző 90 év alatt: a Dunán 4, a Tiszán pedig 6. A Dunán az 1965. évi, a Tiszán pedig az 1970. évi, jelentős elöntéseket és károkat okozó, kitelepítéseket is igénylő árvizek jelentették az „évszázad árvizeit”. Az 1965. évit felülmúló árvíz a Dunán 2002-ig nem fordult elő, a Tiszán azonban tartósságában ugyan kisebb, de a vízállásokat tekintve az 1970-eshez hasonló mértékű, sőt újabb vízállásrekordokat jelentő árvizek következtek 1979-ben, 1980-ban és 1981-ben, majd 1998-ban, 1999-ben, 2000-ben és 2001-ben. Ezeknek az árvizeknek figyelemreméltó sajátossága volt, hogy három, illetve négy egymást követő évben fordultak elő (jelezve, hogy az extrém árvizek kialakulását elősegíti, ha az előző években is jelentős árvizek fordultak elő), és 2001-ben a Tisza 1970 után ismét településeket öntött el a Beregben. A Tiszán napjainkig két újabb jelentős árvíz következett (2006 és 2010). Ezek érdekessége, hogy 1941 után ekkor fordult elő ismét (kétszer is), hogy a Tiszán és a Dunán egyszerre alakultak ki jelentős árhullámok, főként a Tisza alsó szakaszán súlyosbítva az árvízi helyzetet a Duna árvízének visszadzuzasztó hatása miatt. A rekordok a Dunán sem maradtak el: 2002-ben és 2006-ban az előző maximumnál nagyobb vízállások alakultak ki, és a 2010. évi árvíz is alig maradt el az újabb rekordtól.

Az utóbbi 20 évben tehát mind a Tiszán, mind a Dunán a korábbiakhoz képest gyakoribbá váltak a jelentős árvizek, sőt jellemző volt a korábbi maximumoknál nagyobb tetőző vízállás kialakulása. Az 1901-től napjainkig tartó időszak 24 jelentős árvizéből 13 az utóbbi 20 évben fordult elő, és ebből négy nagyobb volt, mint az azt megelőző maximum. Ez egyértelmű változásnak tekinthető a teljes 110 év viszonylatában.

A mellékfolyók árvizeiről nem készült a Dunához és a Tiszához hasonló feldolgozás. A hozzáférhető adatbázisok alapján ugyanakkor kijelenthető, hogy van példa a mérték és a gyakoriság növekedésére (például: Körösök, Hernád), van arra is, ahol a csúcsvízszint megdőlt, de a gyakoriság nem nőtt (például: Rába, Bódva, Zagyva), és vannak olyan folyók is, ahol egyik jellemzőben sem történt változás (például: Szamos).

Az ezredforduló körüli években nem csak hazánkban, de Európa más térségeiben is jelentős károkat okozó és áldozatokat követelő árvizek fordultak elő a nagy folyókon (EEA, 2008). Az árvizek gyakoriságának utóbbi évtizedekben tapasztalt növekedésében szerepe lehetett az éghajlati hatásoknak. Európában például 1960-tól fokozódó változékonyságot mutat a kontinens időjárását alapvetően meghatározó Észak-atlanti Oszcilláció (North Atlantic Oscillation, NAO), amelynek következtében a téli időszakban növekedett a nyugatias légáramlás, ezzel együtt az igen csapadékos, alacsony nyomású légköri helyzetek gyakorisága, ami gyakran vezet jelentős árvizek kialakulásához (Kron – Bertz, 2007). Ugyanakkor nyitott kérdés, hogy a NAO tevékenységében bekövetkező változások mennyire hozhatók összefüggésbe a globális melegedéssel. Megjegyezzük, hogy több európai folyóra, így az Elba és az Odera (Becker – Grunewald, 2003; Mudelsee et al., 2003), valamint a Rajna (Glaser – Stangl, 2003; Pinter et al., 2006) hosszú idejű, akár 100 évet is meghaladó idősoraiiban nem állapítottak meg a Dunához és a Tiszához hasonló szignifikáns változásokat.

2. ábra



A kisvízfolyások szélsőséges árvizeinek előfordulási helyei az 1999–2010. években

A hazai folyókat tekintve nincsenek részletes feltáró vizsgálatok az árvízi gyakoriság utóbbi években több folyón tapasztalt növekedésének okaira. Valószínűsíthető, hogy a NAO-ban tapasztalt változások az okai a hóolvadást kísérő jelentős esőknek, illetve a nyári időszakban a Duna és/vagy a Tisza vízgyűjtőjének jelentős részére egyidejűleg kiterjedő, többnapos ciklonoknak. Az Alpokban és a Kárpátokban, illetve azok előterében hulló csapadékokban és az olvadás intenzitásában bekövetkezett változások részletes elemzése azonban meghaladja ennek a cikknek a kereteit, tehát a Duna és a Tisza árvizei mértékének és gyakoriságának az utóbbi 20 évben tapasztalt növekedését nem tudjuk bizonyossággal igazolni csupán a meteorológiai jellemzőkben bekövetkezett változásokkal.

A kisvízfolyások szélsőséges árvizei hazánkban mintegy 9 ezer km²-nyi területet érintenek hegy- és dombvidékeken. Ezekről az árvizekről nem állnak rendelkezésre a nagy és közepes folyókéhoz hasonlóan évenként gyűjtött és rögzített adatok, ezért a századot átfogó vizsgálatra nincs lehetőség. Ugyanakkor az a rendelkezésre álló információkból (Szlávik,

2007, illetve internet hírek) is eléggé egyértelmű, hogy az utóbbi 10-12 évben gyakoribbá váltak a kisvízfolyások szélsőséges árvizei, a lakosok eddig még soha nem tapasztalt áradásokról nyilatkoztak. Szélsőséges árvizek különösen nagy számban az 1999, 2005 és a 2010. években fordultak elő, főként az ország északkeleti felében, a Sajó és a Hernád közötti térségben, valamint a Mátrában (2. ábra).

A közepes folyók és a kisvízfolyások árvizei szempontjából az egynapos vagy még annál is rövidebb nagycsapadékok a mérvadoak (a csapadék mértékadó időtartama annál kisebb, minél kisebb a vízgyűjtő mérete). Részletes vizsgálatok szerint az 1976–1999 időszakban a nagycsapadékok gyakorisága a jellemzésükre használt többféle mutató alapján¹ az ország egész területén erősen emelke-

¹ A nagycsapadékok jellemzésére használt mutatók: (i) nagyon csapadékos napok (amikor a csapadék meghaladja az 1961–1990. évek napi csapadékainak 95%-os kvantilisét), (ii) a 20 mm-t meghaladó (ún. extrém) csapadékos napok száma, (iii) a 10 mm-t meghaladó (ún. nagy-) csapadékos napok száma.

dő trendet mutat, és a legnagyobb egynapos csapadék is számottevően nőtt (*Pongrácz – Bartholy, 2004*). Az ugyancsak részletesen vizsgált 1946–1999 időszakban és a XX. század egészében ilyen emelkedő trendek nem mutathatók ki, sőt helyenként csökkenés tapasztalható (*Bartholy et al., 2005*). Nyitott kérdés, hogy a század utolsó negyedében a szélsőséges csapadékesemények gyakoribbá válása milyen mértékben tulajdonítható a természetes változékonyságnak, illetve a globális melegedés 1970-es években megindult erősödésének.

Összefoglalva megállapítható, hogy hazánkban az utóbbi 20 évben markánsan jelentkeztek a szélsőséges árvizek. Ez azonban nem általában, az összes vízfolyásra jellemző, és az ok sem kizárólag meteorológiai eredetű. Az árvízi események mértékében és gyakoriságában – nem csak Magyarországon – megfigyelt módosuló kép azt jelzi, hogy a csapadéktevékenységben tapasztalt változások mellett (a csapadékeloszlás éven belüli változásai, a korábbiaktól eltérő ciklonok, növekvő intenzitású rövid idejű záporok stb.) más okok is közrejátszhatnak, amelyek egyes vízgyűjtőkön különböző mértékben hatnak. Ezek közé sorolhatók (i) a területhasználatban bekövetkezett, gyorsabb összegyülekezést jelentő változások (erdőterületek csökkenése, a burkolt felületek növelése stb.), (ii) a meder levezető képességének romlása (az ártér beszűkítése gátakkal a felső szakaszon, illetve a mellékvízfolyásokon, az árterek lefolyást figyelmen kívül hagyó hasznosítása és beépítettsége, a túl dús hullámtéri növényzet, a hullámtér feltöltődése stb.), (iii) a meder és a műszaki létesítményeinek (átereszek, hidak) nem megfelelő állapota. Mindezek a hatások érzékenyebb körülményeket teremtenek, torzítják a csapadék-árvíz kapcsolatokat és növelik a küszöbnek tekintett árvízszintet meghaladó események számát.

Ha a kivételes árvizeket az okozott károk alapján elemezzük, az utóbbi évtizedekben tapasztalt trend még nagyobb ütemű növekedést mutat, mint a gyakoriságuk. Külföldi adatok azt jelzik, hogy 1996 és 2006 között

az árvízi károk nagysága nagyobb ütemben nőtt, mint ugyanezen időszak alatt az árvizek gyakorisága (*Kron – Bertz, 2007*). A jelentős károkkal járó árvizek száma 1990 és 2005 között mintegy kétszerese az 1970 és 1989 közöttinek (*Barredo, 2007*). Ugyanakkor az 1970 és 1999 közötti hosszabb időszakra nem mutatható ki a károk szignifikáns növekedése az EU országaiban. Az árvízkárok utóbbi évtizedekben feltételezett növekedésének lehetnek éghajlati és nem éghajlati okai, de arányukat tekintve ismereteink korlátozottak (*Pielke Jr – Downton, 2000; Barredo, 2007*). Az „aránytalan” növekedés oka elsősorban az lehet, hogy nőtt az árvizekkel veszélyeztetett területek kárérzékenysége (értékesebb területhasználat, beépítés az árvízzel veszélyeztetett területeken stb.). Magyarországon ilyen felmérés nem történt, de a 2001-es, a 2006-os és a 2010-es rekordévek becslött értékei (60 Mrd Ft, 40 Mrd Ft, kb. 200 Mrd Ft²) jó iránymutatók, és valószínűsítik, hogy a többi országra tett megállapítás feltehetően a hazai viszonyokra is érvényes.

Belvizek

A rendszeres belvízi adatgyűjtés kezdete (1935) előtti időszakból csak szórványosan rendelkezésre álló adatok nem teszik lehetővé a XX. századot átfogó teljesebb értékelést, azonban a rendkívüli belvizek előfordulásával kapcsolatos legfontosabb következtetések így is levonhatók. A belvizek gyakoriságát az évi országos maximális elöntés alapján vizsgáljuk. Az 1. ábrán (*Pálfai, 2004 és KvVM, 2008*) azokat az éveket tüntettük fel, ahol ez meghaladta a 250 ezer ha-t (ehhez a küszöbszinthez összesen 10 túllépés tartozott). A két forrás nem min-

² Ehhez hozzá kell adni a heves árvizek által okozott szintén többször tízmilliárdos károkat (tájékoztató: a 2010. májusi viharok által okozott károkat 5 Mrd forintba becsülték), és a tényleges költségek miatt célszerű hozzátenni a védekezés és a gátak helyreállításának költségeit is, ami az utóbbi 10 évben mintegy 120 Mrd Ft volt.

den évben egyezett meg, eltérés esetén a nagyobb értéket fogadtuk el, feltételezve, hogy a kisebbik érték oka főként a hiányos adatok miatti alulbecslés (az utóbbi néhány év kivételével, az előtések felmérése helyszíni szemlével, a felvételt végző csatornaőrök tapasztalatától és gondosságától függő pontossággal, azaz szubjektivitástól nem mentesen történt, és a nyilvántartás sem volt hiányoktól mentes). Országos szinten a tél végi, tavasz eleji, nagy területeket érintő belvizek előtések számitanak kiemelkedőnek, tehát nem szerepelnek azok az évek, amikor csak egy-egy régiót érintő jelentős belvizek fordultak elő, amelyek között voltak nyári nagy esők miatt kialakult belvizek is.

A vizsgált 75 évben három országosan is jelentős belvizes időszak rajzolódik ki: 1940–42, az 1963–1971, valamint az ezredforduló idején 1999 és 2000. Szembetűnő, hogy gyakran egymást követő évekről van szó, ami jelzi, hogy a belvizek kialakulásában komoly szerepe van az előzményeknek: egy jelentős belvíz utáni évben már kevésbé szélsőséges meteorológiai viszonyok is okozhatnak az előző évihez hasonló vízborítást. Figyelemre méltó, hogy az 1960-as évek árvizei kivételével az említett kiemelkedően belvizes évek jelentős tisztai árvizekhez kapcsolódnak. Ennek magyarázata, hogy árvizek idején a belvízvédelmi csatornákból nem lehet átemelni a vizet a befogadó folyókba, emiatt a csatornák sem képesek a területre érkező vizeket befogadni, a víz így a területen tározódik. Érdekes felvetődő kérdés, hogy az 1979–81 között ismétlődően kialakuló jelentős tisztai árvizekhez, a többi árvizes időszakhoz hasonlóan, miért nem tartozott kiemelkedő belvízi előntés is.

Az 1935-től kezdődő teljes időszakban az országos jelentőségű, kiemelkedő belvizek gyakoriságában lényegi változás nem mutatható ki. Az egyik kézenfekvő indok, hogy ezek az események főként jelentős Tisza-völgyi árvizekhez kapcsolódnak, amelyekről az előző fejezet alapján láttuk, hogy gyakoriságuk nem csökkent. Ha azonban figyelembe vesszük az ábrán nem jelzett – extrémnek

nem tekinthető – közepes jelentőségű belvizeket is (az előntött terület nagyobb, mint 100 ezer ha, de kisebb, mint 250 ezer ha), akkor inkább csökkenés figyelhető meg: míg (i) 1982-ig ezek rendszeresen „beékelődtek” a kiemelkedő belvizes évek közé, addig (ii) az 1982–1998 közötti 17 évben csak kétszer volt közepes belvizes év, (iii) 1987–1998 között egy sem és (iv) 1992-ben, a belvizek történetében először, egyáltalán nem fordult elő belvízi előntés az országban. Az előtések ezen időszakban tapasztalt ritkulása annak ellenére következhetett be, hogy a talajok tömörödése növelte a belvizek kialakulásának kockázatát. A csökkenés jórészt az éghajlat 1980 utáni alakulásának tulajdonítható, amikor is a téli hőmérséklet emelkedett és a téli csapadék csökkent, ami együttesen jelentősen mérsékelte a belvizek kialakulása szempontjából alapvető fontosságú hófelhalmozódást és talajfagyot. Ebbe a tendenciába az 1999. és 2000. évi jelentős belvízi előtések nem illenek bele, jóllehet a nevezett két évben is országosan folytatódott a téli hőmérséklet és csapadék korábbi éveket jellemző fő tendenciája. Ami mégis magyarázatot adhat a két év eltérő viselkedésére, az az a tény, hogy a belvizekkel erősen érintett térségekben a meteorológiai helyzet az országostól eltérően alakult, és ezen túlmenően az évszagnál rövidebb idejű események alakultak rendkívüli módon. Valóban, (i) az 1999. évi belvizeket megelőzően az őszi csapadék jóval az átlag felett volt, a talaj erősen telítődött, (ii) egyes térségekben, így az Alföld északkeleti részén az országostól eltérően igen jelentős, helyenként 70–80 cm-t is meghaladó hó képződött, (iii) az olvadás rendkívül gyors volt, (iv) 1998. novemberben és 1999. márciusban a Tisza-völgyben jelentős árhullám vonult le. 2000-ben az ismét kiemelkedő belvízborítás oka egyrészt az 1999. évi előzmény, másrészt az újabb jelentős Tisza-völgyi árvíz volt.

A belvízi előntés mértéke nem tisztán természeti-hidrológiai jellemző, hiszen mindenkor nagysága függ a belvízelvezető rendszer állapotától és üzemeltetésétől is. Ennek azonban inkább lokális-regionális jelentősé-

ge van, az országosan kiemelkedő belvizek kialakulását kevéssé befolyásolja.

Az árvizekhez hasonlóan, a belvízi károk mértékének változásáról sem áll rendelkezésre következtetésekre alkalmas feldolgozás³, azonban ebben az esetben is igaz, hogy a károk jelentős mértékben függenek a területhasználatától. Itt kell megemlíteni, hogy a belvizeknek két fő csoportját különböztetjük meg: a mezőgazdasági területeket és a lakott területeket veszélyeztető belvizeket. Ez utóbbiak esetén, noha az elöntött terület országos vagy regionális viszonylatban nem számottevő, az 1 ha-ra vonatkoztatott károk számottevően nagyobbak, mint a szántókon vagy legelőkön, és így a keletkezett károk jelentős hányada a települési belvizekhez kapcsolódik.

Aszályok

Az aszályt a hazai gyakorlatban (újabbban a Kárpát-medence több térségében is) elterjedten használt *Pálfai-indexszel*⁴ jellemezzük. Az 1. ábrán a 8-nál nagyobb értékkel, azaz a rendkívül súlyos aszályval jellemezhető éveket tüntettük fel (*Pálfai, 2007*). A vizsgált 110 évben 15 olyan év fordult elő, amikor az index országos értéke ezt a küszöbértéket meghaladta.

Az 1. ábra egyértelműen igazolja, hogy hazánkban az aszályok az ezredforduló idején gyakoribbá váltak, megnőtt a közepes

vagy annál súlyosabb aszályos évek száma. A feltüntetett 15 esemény közül 7 az utóbbi 20 évben fordult elő, és az indexek is szignifikánsabban magasabbak voltak, mint korábban. Látható, hogy országos szinten általában nem találkoznak a belvizes és az aszályos évek (kivétel a 2000-es esztendő), ezek inkább egyes alföldi régiókban fordulnak elő.

A Pálfai-index a változó csapadék- és hőmérsékleti viszonyokat közvetlenül tükrözi (azokból számítható), tehát az éghajlati jellemzőkben bekövetkezett változások hatása közvetlenül igazolható. A nyári hónapok magasabb hőmérséklete és kisebb csapadéka jelenik meg a szélsőséges indexszel rendelkező évek gyakoriságának növekedésében. Az utóbbi évtizedekben Európában is több alkalommal fordult elő jelentős aszály, így 1976, 1989, 1991. években, újabban 2003-ban. Spanyolországban 2005-ben az utóbbi 60 év legnagyobb aszályát élték át (*IPPC, 2007*). Az aszály esetében is fontos, hogy hogyan alakul az okozott kár mértéke. Magyarországon egy-egy közepesen aszályos évben a mezőgazdasági kár 15–20 Mrd Ft között változik, de a 2003-as extrém aszálykárt mintegy 100 Mrd Ft-ra becsülték. A számok jelzik, hogy mi a következménye annak, ha az extrém események gyakorisága növekszik.

A meteorológiai aszálytól eltérően a kisvízi vízhozamokkal jellemezhető ún. hidrológiai aszály gyakorisága (és erőssége) a hazai vízfolyások jelentős részén nem igazolható, mert ezt egyrészt befolyásolja a felszín alatti vizek állapota is, másrészt a vízfolyások kisvizei közel sem természetes állapotúak, a különféle vízkészlet-gazdálkodási beavatkozások (tározás, átvezetés, felszín alatti vizek bevezetése) a vízhozamokat éppen a kisvízi időszakban növelik meg számottevően (*Koncsny, 2010*). Ugyanakkor a nem vízgazdálkodási célú tározók (például horgászati és halászáti hasznosítású tározók) által kisvízi időszakban visszatartott természetes lefolyás a tározók alatti vízfolyásszakaszokon súlyosbíthatja is a szárazodásból adódó kisvízi hozamcsökkenést. Az antropogén beavatkozások kisvizekre gyakorolt hatásait illetően

³ A 200 ezer ha-t meghaladó belvízi elöntések becsült kára 10–20 Mrd Ft között lehet. A védekezés átlagosan évente mintegy 1,5 Mrd Ft-ba kerül, míg a fenntartás 4–5 Mrd Ft-ot igényelne (szemben a tényleges 0,5–2 Mrd Ft-tal).

⁴ Pálfai-index: Csapadék- és hőmérséklet-jellemzők alapján osztályozza a hidrometeorológiai aszály mértékét. Alapértéke az április–augusztusi középhőmérséklet és az október–augusztus havi súlyozott csapadékösszeg hányadosa. Korrekció a hőségnapok száma, a csapadékszegény időszakok hossza és talajvízállás függvényében. Az országos jellemző a hosszú idejű észlelésekkel rendelkező meteorológiai állomásokra kiszámított értékek átlagaként értelmezhető.

hasonló következtetésre jutnak az európai vizsgálatok is (*Hisdal et al., 2001; Svensson et al., 2005; EEA, 2008*). Erdemes kiemelni, hogy a Duna alsó szakaszán 2003-ban minden korábrinál szélsőségesebb kisvíz alakult ki, amiben feltehetően közrejátszottak a légköri frontokban az utóbbi évtizedekben bekövetkező változások (*Mares et al., 2006*).

A Balaton természetes vízkészletváltozása

A Balaton évenkénti természetes vízkészletváltozása (TVK) a tó egy évi vízbevételének és párolgásának különbözeteként számítható. A vízbevételt a tó felületére hulló csapadéknak és a vízgyűjtőről érkező hozzáfolyásnak a tó felületére átszámított, vízoszlopban kifejezett értékének összege adja meg. Az 1. ábrán azokat az éveket tüntettük fel, amikor az éves TVK kisebb, mint a 100 mm-ben megállapított küszöbszint (a sokéves átlag 582 mm).

Az ábráról látható, hogy a szélsőséges állapotok az elmúlt évezred utolsó és az új évezred első évtizedében gyakoribbá váltak, megjelentek a rendkívül súlyos szélsőséget jelentő negatív vízmérlegű évek.⁵ Ennek fő oka, hogy a hőmérséklet-emelkedés miatt növekvő párolgás mellett jelentősen csökkent az évi csapadék. A tó vízgyűjtőjének nagy részén a csapadékcsökkenés évtizedenkénti üteme 1951–2004 között mintegy 3% volt, a Balatont tápláló legnagyobb vízfolyás, a Zala vízgyűjtő nagy részén elérte a 4%-ot. A csapadék csökkenésének kettős a hatása: (i) növeli a tó felületére érvényes párolgási többletet, és (ii) csökkenti az éves lefolyást. A hozzáfolyás csökkenésében emberi tényezők is szerepet játszottak (a Dunántúli-középhegységéből érkező patakok hozama csökkent a bányavíz bevezetések elmaradása miatt, ugyanakkor az elapadt források még nem „szólaltak” meg), de ennek mértéke a vízmérleg hiányához képest elhanyagolható.

⁵ Ez felvetette a vízpótlás esetleges szükségességét, amelyet a részletes elemzések azonban nem támasztottak alá (*Somlyódy, 2004*).

AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS VÁRHATÓ VÍZGAZDÁLKODÁSI HATÁSAI

Az ember és az élővilág számára jövőben rendelkezésre álló víz mennyisége és bizonyos mértékben minősége alapvetően függ attól, milyen hosszú távú változások lesznek az éghajlatban. A szélsőséges vízjárás események pedig az árvizek, belvizek, aszályok mértékét és gyakoriságát befolyásolják. A vízgazdálkodás szempontjából meghatározó kérdés, hogy a meteorológiai jellemzőkben az elmúlt 20 évben tapasztalt, és az előző fejezetben bemutatott változások egy közepes (néhány évtizedes) periódusú ingadozás eredményei-e, vagy hosszabb távon jelentkező, sőt esetleg erősödő hatásokról van szó. Az másodlagos, hogy – mondjuk – a következő 100 évben várható változások hosszabb periódusú természetes változékonyság vagy az emberi tevékenység által gerjesztett mesterséges folyamat következményei-e (vagy a kettő kombinációjaként adódnak). Természetesen a folyamatok előrejelzése és befolyásolhatósága⁶ szempontjából egyáltalán nem mindegy, hogy melyik esetről van szó, csak azt kívántuk jelezni, hogy a vízgazdálkodási döntéseket a meteorológiai viszonyokra vonatkozó előrejelzések határozzák meg, függetlenül attól, hogy mi a kiváltó ok. Nem közömbös viszont az előrejelzések megbízhatósága, hiszen a vízgazdálkodást érintő intézkedések általában nehezen módosíthatók, költségesek, hosszú megtérülési idejűek.

A hazai éghajlati forgatókönyvek (*Bartholy et al., 2009; Bozó, 2010*) szerint a közelebbi jövőben, 2021–2040-ig, a meteorológiai jellemzőkben a következő változások várhatók:

⁶ Az egyes éghajlati forgatókönyvek különböznek attól függően, hogy milyen jövőbeli üvegházgáz-kibocsátással számolnak. Még a csökkentés szempontjából optimista forgatókönyvek esetén is, az érdemi javulás a légkörben csak 100 év múlva várható. Vagyis ha egyéb kompenzációs folyamatok nem javítanak a helyzeten, akkor az intézkedések ellenére hosszú távon fennálló változásokkal kell szembenézni.

– A hőmérséklet az évben és minden évszakban emelkedik, a legnagyobb mértékben az Alföldön és legkevésbé a Dunántúlon. Az évi középhőmérséklet emelkedése a figyelembe vett forgatókönyvek átlagában $1,3\text{ °C}$ az 1961–1990. évekhez képest, az emelkedés jól illeszkedik az országos átlagos évi középhőmérsékletnek az utóbbi évtizedekben tapasztalt változásához. A hőmérséklet emelkedésével nő a potenciális párolgás mértéke is.

– A csapadék várható változása kevésbé egyértelmű. Az évi csapadék inkább csökken, az egyes regionális forgatókönyvek szerint eltérő (0 és 6% közötti) mértékben. A nyári csapadék az éves értéket meghaladóan csökken. A téli félévi csapadék forgatókönyvtől függően növekedhet vagy csökkenhet, és számottevő eltérések lehetnek az ország egyes térségei között. Kevesebb lesz a hó formájában hulló csapadék.

– Változások lehetségesek a szélsőséges időjárási eseményekben: egyebek között jelentősen csökken a fagyos napok ($T_{\min} < 0\text{ °C}$) száma, jelentékenyen nő a nyári meleg napoké ($T_{\max} > 25\text{ °C}$), csökken a csapadékos napok száma és növekszik a száraz időszakok hossza. Egyes modellek szerint növekszik az extrém, 20 mm/nap-ot meghaladó nagycsapadékok gyakorisága, különösen az ország északkeleti részében. A légköri áramlási folyamatok (NAO) változása miatt gyakoribbá válhatnak a jelentős csapadéktevékenységet eredményező ciklonok.

Ami az előrejelzések megbízhatóságát illeti, a hőmérséklet emelkedése erősen valószínűsíthető, a csapadéokra és a szélsőségekre jelzett változások azonban nem szignifikánsak. A vízgazdálkodást érő hatások bizonytalanságát növeli, hogy a múltra vonatkozóan sem kellően feltártak a meteorológiai és a hidrológiai események közötti kapcsolatok, ami a hidrológiai folyamatok előrejelzésének alapja, ezért a készletekre és a szélsőséges vízjárás események mértékére és gyakoriságára is csupán óvatos becslésekre vállalkozhatunk (Nováky – Somlyódy, 2009).

Figyelembe véve az éghajlati jellemzőkben várható, fentiekben ismertetett válto-

zásokat, a következőkben összefoglaljuk, hogy melyek is lehetnek az éghajlatváltozás vízgazdálkodási következményei. A legegyszerűbb előrejelzés, hogy a tendenciák folytatódnak. A szélsőségek esetén ez azt jelenti, hogy fennmaradnak, esetleg tovább erősödnek az elmúlt 20-25 évben tapasztalt jelenségek. A hőmérséklet és a csapadék hosszú idejű, tendencia jellegű változásának következményeit a folyamatok kutatása alapján indokolt elemezni. A modelleken alapuló részletes vizsgálatok, számszerű eredmények azonban általában hiányoznak, ezért legfeljebb arra vállalkozhatunk, hogy a folyamatokra vonatkozó ismeretek alapján a meteorológiai jellemzőkben várható változásokból kiindulva, főként kvalitatív módon elemezzük a vízgazdálkodást érintő várható hatásokat, tekintettel az eddigi tapasztalatokra és bizonytalanságokra.

Árvizek

A nagy folyók tavaszi, olvadásos árvizei szempontjából elsősorban az a mérvadó, hogy az olvadás milyen gyorsan következik be, és ezt kíséri-e erős csapadéktevékenység. A tárolt hőtömeg nagyságának főleg közvetett hatása van. Minél vastagabb a hótakaró, annál hosszabb az olvadási időszak. Ezáltal nő a valószínűsége annak, hogy (i) intenzív olvadást okozó melegfront és jelentős eső együttesen előforduljon, és (ii) az így kialakuló árhullám a megelőző olvadás miatt már egy közepesen telt mederre fusson rá. Ezek az árvizek inkább a Tiszára jellemzőek (14-ből 11 extrém árhullám ebbe a csoportba sorolható, és a három legnagyobb vízállás is tavaszi árhullámokhoz kapcsolódik, 1. ábra). Az éghajlati előrejelzések szerint a téli félévi hőmérséklet növekedése miatt az olvadás ideje előbbre húzódik és várhatóan csökkenni fog a hófelhalmozódás. Ez az árvizek szempontjából egyértelműen kedvező változás. Ugyanakkor az eső formájában hulló csapadék várhatóan nő, sőt elképzelhető nagy területre kiterjedő, a nyárihoz hasonló jelentős intenzitású csapadékot hozó időjá-

rási frontok kialakulása, ami az olvadással párosulva (akár kisebb hótakaró mellett is) extrém árvizekhez vezethet. A két hatás eredőjeként kialakuló tél végi – tavaszi árvizek jellege tehát csak bizonytalanul prognosztizálható, de a szélsőségek további növekedése nem zárható ki.

A nyári félévi (esetleg késő őszi) árvizeket a vízgyűjtők felső részére hulló néhány napos intenzív csapadékok okozzák, különösen akkor, ha a ciklont megelőzően már számottevő mennyiségű csapadék „telítette” a vízgyűjtő talajának felső rétegét. A dunai szélsőséges árhullámok között a nyári féléviéket a gyakoribbak (10-ből 7 ilyen volt, 1. ábra). A csapadéktevékenységre vonatkozó előrejelzések e tekintetben igen bizonytalanok. Egyelőre kérdéses, hogy megmaradnak-e vagy tovább erősödnek azok a tendenciák, amelyeket a nyári félévi ciklontevékenységekben az utóbbi évtizedekben tapasztaltak. Ha igen, akkor a Dunán az utóbbi évtizedhez hasonló gyakorisággal további rekordárvizekre lehet számítani, és a Tiszán is növekedhet a jelentős nyári árvizek gyakorisága.

A kisvízfolyások (a vízgyűjtő kisebb, mint 500 km²) melletti, általában nem védett településeket veszélyeztető heves árhullámok (flash floods) gyakorisága várhatóan nőni fog, a nagycsapadékok mértékének és gyakoriságának valószínűsíthető növekedése miatt.

A közepes folyókon a vízgyűjtő méretétől és fekvésétől függően (mekkora a jellemzően hóval borított részvízgyűjtő nagysága, illetve a Duna vagy Tisza vízgyűjtőjéhez tartozik-e) a nagy folyókra vagy a kis vízfolyásokra leírt változásokra lehet számítani, esetleg 1000 és 5000 km² közötti vízgyűjtőméret között mindkettő előfordulhat.

Belvizek

Országosan extrém (250 ezer ha-t meghaladó) belvizek akkor alakulnak ki, ha (i) nagy területeken jelentős a hófelhalmozódás, (ii) hirtelen olvadás és/vagy számottevő tavaszi eső fordul elő, valamint (iii) árhullám miatt korlátozott a belvízelvezetés. Az éghajlatra

vonatkozó előrejelzéseket figyelembe véve (csökkenő hófelhalmozódás és gyengülő talajfagy) országos jelentőségű belvizekre főként a Tisza-völgyi tél végi – tavaszi árvizekhez kapcsolódóan kell számítani. Az árvizek gyakoriságának várható növekedését némiképp kompenzálja a szárazodás, tehát nem minden jelentős árvízhez kapcsolódik majd kiemelkedő belvízborítás is. Az egymást követő, kiemelkedően belvizes évek előfordulása feltehetően csökkenni fog. Ugyanakkor a melegedés miatt kevesebbszer számíthatunk közepes mértékű (100 ezer ha-t meghaladó) belvízelöntésekre.

Az átlagos hó- és hőmérsékleti viszonyoktól eltérő években, bár kisebb gyakorisággal, a korábban jellemző mértékű belvizek kialakulása várható, de ez egyidejűleg csak egyes régiókat érint, a belvízrendszerek méretezése szempontjából azonban ez a mértékkadó.

Az intenzív nagycsapadékokból keletkező nyári és őszi belvizek némileg növekedhetnek, és a települési belvizek esetén várhatóan ezek lesznek a meghatározók.

Aszályok

Az aszályos időszakok gyakorisága nagy valószínűséggel növekedni fog. Ennek oka (i) a hőmérséklet emelkedése és (ii) ezzel együtt a párolgás növekedése, továbbá (iii) a meglehetősen biztonsággal előre jelzett nyári csapadékcsökkenés és (iv) a csapadékmentes napok számának várható növekedése. Az aszályhajlamot fokozza, hogy a téli félévben nem várható a talaj korábbiakban megszokott feltöltődése (csökken a talajnedvesség formájában tárolt vízkészlet) és valószínűleg a talajvízszint csökkenésével kapilláris úton is kevesebb víz juthat a gyökérszónába. Az érzékenység csökkentésében kiemelt szerepe lehet a csapadék területen történő – a jelenleginél nagyobb mértékű – visszatartásának.

Vízkészletek és vízigények

A kisvízfolyások nyárra jellemző kisvízi készletét alapvetően a felszín alatti vizekből

származó táplálás határozza meg, források, illetve a mederbe beszivárgó ún. alaphozam formájában. Az éghajlatváltozás felszín alatti vizekre gyakorolt hatásával bővebben a következő bekezdésben foglalkozunk, itt annyit érdemes kiemelni, hogy éghajlati modelltől függően a változatlan állapotoktól a közepes mértékű csökkenésig várhatók a változások. A felszín alatti vizek esetében elsősorban az éghajlatváltozás hosszú idejű hatásai dominálnak, amelyek a szélsőségekkel szemben némi tompítást jelentenek, de több szélsőségesen száraz év esetén ez a puffer kimerülhet és a kisvízi hozam szélsőségesen kicsi lehet. A vízgyűjtő méretével a kisvízi hozamon belül növekszik a csapadékból származó felszíni lefolyás aránya, amely viszont várhatóan kisebb lesz a hosszabb csapadékmentes időszakok miatt. Az éghajlatváltozás tehát várhatóan annál nagyobb mértékben csökkenti a kisvízi hozamot, minél nagyobb a vízgyűjtő, ugyanakkor a nagyobb folyók egyre kevésbé érzékenyek kisvízi készleteik csökkenésére (például a Dunán 2003-ban kialakult kivételesen kicsi vízhozam is sokszorosan elegendő volt az igények kielégítésére, nem okozott ökológiai problémát és nem jelentett gondot a paksi erőmű üzemeltetésében).

A felszín alatti vizek állapotának egyik meghatározója a csapadékból történő beszivárgás (utánpótlódás). Mértéke függ a téli félévi csapadék és potenciális párolgás különbségétől, valamint a talaj őszi végi nedveségállapotától (Simonffy, 2003). Amint arra utaltunk, a téli félévi csapadék a Kárpát-medence térségében csak nagyon bizonytalanul jelezhető előre, de valószínű, hogy a téli félévi potenciális párolgás egyértelmű növekedését is figyelembe véve, a kettő egyenlege már mindenütt inkább kicsi vagy közepes mértékű csökkenést jelent. Tovább csökkenti a beszivárgás sokévi átlagos értékét, hogy az általánosan várható nyári szárazodás miatt a talaj nedvességtartalma őszi végére kisebb lesz, így a téli félévi csapadék nagyobb hányada fordítódik a talaj feltöltésére és kevesebb marad a felszín alatti vizeket tápláló beszivárgásra. A kisebb beszivárgás egyben kisebb haszno-

sítható vízkészletet jelent, de csökken a növényzet és a vízfolyások táplálását szolgáló felszín alatti vízmennyiség is. A csapadékra vonatkozó előrejelzések szerint a változás mértéke valószínűleg az Alföldön és az Északi-középhegységben lesz számottevő, és kisebb csökkenés várható a Dunántúlon.

A sekély tavak vízkészletét meghatározó csapadék, vízfelület-párolgás és felszíni vagy felszín alatti táplálás közül valamennyi kisebb-nagyobb mértékben, de a vízhiány irányába hat. Az összegződő hatás jelentős lehet. A lefolyástalan tavak esetében ez átlagos vízszintjük és felületük csökkenéséhez vezet (pl. alföldi szikes tavak, vizenyős területek), míg a lefolyással rendelkező tavak esetében az elfolyó vízmennyiség csökkenése – vagy szabályozott esetben csökkentése – kompenzál(hat)ja a tendencia jellegű negatív változásokat. Többéves aszályos időszakban szélsőségesen alacsony vízállás, akár időszakos kiszáradás is előfordulhat, és ez – amint azt a Balaton példáján láttuk – a lefolyással rendelkező szabályozott tavakra is érvényes.

A vízigények közül az éghajlatváltozás elsősorban az öntözési vízigényekre van számottevő hatással: egyfelől nő a növények vízigénye, másfelől csökken a nyári félévi csapadék, sőt ebből a szempontból igen fontos a csapadékmentes napok számának növekedése is. Említendő még a halastavak nyári frissvíz-igénye, amely a nyári félévi vízfelület-párolgás és a csapadék különbségében bekövetkező változás szerint növekszik. A többi vízigényt (lakossági, ipari, energetikai, állattartás) az éghajlatváltozás várhatóan csak kismértékben fogja módosítani.

A hatások összegzése

Az 1. táblázat az éghajlatváltozás miatt a meteorológiai jellemzőkben várható változások vízgazdálkodási hatásait foglalja össze. A fejlécben csillagokkal jelöltük az egyes meteorológiai jellemzők előrejelzésének megbízhatóságát is. A táblázat egyes rubrikáiban pedig azt jeleztük, hogy az adott sorban szereplő vízgazdálkodási prob-

1. táblázat

A meteorológiai jellemzőkben várható változások vízgazdálkodási következményei és az előrejelzés megbízhatósága

Vízgazdálkodási probléma	Hőmérséklet és potenciális párolgás nő	Nyári csapadék csökken	Téli csapadék nő, stagnál vagy csökken	Téli kevesebb hó, több eső	Változó ciklonok	Intenzív rövid idejű csapadékok, több csapadékmentes nap
	***	***	*	***	*	**
Kisvízi vízkészletek csökkenése	+	++	+			-/+
Felszín alatti vízkészletek csökkenése	++	+	-/+	+/-		
Állóvizek: vízhiány, illetve vízszint-csökkenés	++	++				
Vízkészletek minőségének romlása	++	+/-	+/-			+
Nagy folyók árvizeinek mértéke és gyakorisága	-			-/+	++	
Közepes folyók árvizeinek mértéke és gyakorisága	-			-/+	++	++
Heves árvizek kisvízfolyásokon					+	+++
Belvízelöntések	-		+/-	--		+
Aszály	++	+++				-/+
Vízigények növekedése	++	++				++

Jelmagyarázat: az előrejelzés megbízhatósága: *** jó; ** közepes; * gyenge

lémát az oszlopokban leírt változás erősíti (+) vagy gyengíti (-). A jelek száma a hatás erősségét mutatja. A +/- azt jelzi, hogy ellentétes hatások is előfordulhatnak, az üres mező pedig azt, hogy nincs hatás vagy elhanyagolható.

A LEGFŐBB FELADATOK

Amint az előző fejezetekből kitűnik, a klímaváltozásnak a vizeket és a vízgazdálkodást érintő közép- és hosszú távú hatásai bizonytalanul jelezhetők előre. A folyamatok elemzésére alapozva viszonylag jól meghatározhatók a változás irányai, mértékük azon-

ban kevésbé. Ugyanakkor már most jelentkeznek olyan hatások (főként a szélsőségek gyakoriságának növekedése, egyes alföldi területek tendencia jellegű szárazodása), amelyek a klímaváltozáshoz kapcsolódnak és már most intézkedéseket követelnek. Ebből kiindulva a hazai vízgazdálkodás klímaváltozással kapcsolatos stratégiáját három pontban foglalhatjuk össze:

– A rövid távú intézkedést igénylő problémák esetén az éghajlatváltozás hatásait csökkentő intézkedések beépítése a tervezésbe és megvalósításba (hatásvizsgálatok, kiegészítő intézkedési javaslatok).

– Az ismerethiány csökkentése (monitoring, kutatás-fejlesztés).

– Felkészülés a hosszú távon várható erős hatásokra (felmérések, előzetes tervek kidolgozása, társadalmi egyeztetések).

A következőkben, anélkül, hogy teljességre törekednénk, ennek a három feladatcsoportnak a legfontosabb elemeit vázoljuk fel, egyrészt utalva a *Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégiában* (NÉS) foglaltakra és az EU klímaváltozással foglalkozó anyagaira, másrészt röviden bemutatva a problémák több ágazatot érintő és gazdasági-társadalmi aspektusait.

Rövid távon szükséges intézkedések

Sürgős intézkedéseket igénylő problémák közé sorolhatjuk az egyre szélsőségesebbné mutatózó árvizeket és aszályokat, valamint a települési csapadékvíz-elvezetéssel (belterületi belvizekkel) kapcsolatos gondokat. Noha ezeken a területeken is jelentősek az ismerethiányok, főként az éghajlatváltozás hatásának mértékét illetően, gyakran nem lehet megvárni a részletes kutatások eredményeit. A bizonytalanságok miatt elsősorban olyan intézkedések megvalósításáról lehet szó, amelyek (i) egyéb szempontból is indokoltak, (ii) költségeik elfogadhatóak, (iii) a változtatás, bővítés szempontjából rugalmasak, (iv) elhalasztásuk komoly kockázatot jelent és fennáll valamilyen visszafordíthatatlan károsodás veszélye. Az éghajlatváltozás hatásainak figyelembevétele nem valamiféle „kívülről érkező” előírás vagy ajánlás, hanem a hatáselemzés részeként célszerű beépülnie a vízgazdálkodási tervezés folyamatába. A hatás lényegében az adott problémától függően, konkrétan megjelenő, a kockázatot, illetve a bizonytalanságot növelő tényező, és ennek megfelelően kezelendő.

Az egyre magasabb vízállásokkal tetőző *árhullámokkal szembeni hatékony védekezést* a gátak előírt biztonsági szintre történő kiépítése és feltétlenül szükséges erősítése⁷,

⁷ A gátak erősítése, szintjük emelése ott célszerű, ahol a kiépített rendszernek „gyenge pontjai” vannak és extrém árhullám esetén a leginkább valószínű a gátzakadás, vagy a gáton való

a nagyvízi meder levezető kapacitásának javítása⁸ mellett az árhullámcsúcsok csökkentését szolgáló különböző tározási lehetőségek biztosítják (rendszeresen elárasztott holtágak és mély fekvésű területek, kivételes esetekben használt vésztározók, kisvízfolyásokon a heves árvizek csökkentésére alkalmas többcélú állandó tározók vagy ún. záportározók). A tározók rendszere egyben a bizonytalanságokhoz is alkalmazkodó rugalmas megoldást jelent: egyrészt a rendszer fokozatosan bővíthető, másrészt igénybevételek igazítható az árhullám nagyságához. Az EU előírása szerinti árvízi kockázatkezelési tervek kidolgozása jelenleg az előkészítő szakaszban tart, a terveknek 2015-ig kell elkészülniük. Fontos, hogy a tervek a fentiekben vázolt szempontok szerint készüljenek, illetve ahol az árvízi kockázat ennél sürgősebb intézkedéseket igényel (például heves árhullámok elleni védekezés egyes kiemelten veszélyeztetett településeken vagy a Sajó–Bódva–Hernád árvízvédelmének megerősítése), ott a tervezés és a megvalósítás ezekre az elvekre épüljön.

Az aszálykárak csökkentése érdekében első lépésben – a NÉS-sel és az EU aszálystratégiájával összhangban – a termeléshez közvetlenül kapcsolódó, víztakarékos megoldások alkalmazását kell ösztönözni. Ebbe a körbe tartozik (i) a csapadék minél nagyobb

átbukás. Célszerű, ha a gátakkal védett szakaszon az árvízvédelem biztonsági szintje megközelítően azonos.

⁸ A nagyvízi meder levezető kapacitásának helyreállítása az ártéri gazdálkodási forma megvalósítását jelenti (ez rét és ligeterdő váltakozását és kevés szántóföldi művelést jelent, és nem jelenti az ártéri növényzet teljes megszüntetését, sem pedig a nem megfelelő fenntartás miatt sok helyen kialakult, túlzott növényborítottság fenntartását). Bizonyos esetekben szükség lehet a beépítettség felülvizsgálatára. Gazdaságos lehet nyílt ártér kialakítása vagy a hullámtér szélesítése a gátak elbontásával, illetve áthelyezésével. Ezek a megoldások ökológiai és vízminőség-védelmi szempontból is kedvezőek.

arányú visszatartása a területen (megfelelő agrotechnikai megoldásokkal a talajban, táblaszintű vízelvezető rendszerekkel a művelt területhez közeli lokális mélyedésekben, vagy belvízvédelmi csatornákkal összegyűjtve belvíztározókban, esetleg később öntözési célú felhasználása), (ii) víztakarékos öntözési technológiák alkalmazása, (iii) kis vízigényű növények termelése. Ezek a megoldások a víztakarékosság (a vízkészletekkel való gazdálkodás) és a költséghatékonyság szempontjából egyébként is kedvezőek, ezért támogatásuk az éghajlatváltozás hosszú távú hatásainak pontos ismerete nélkül is indokolt. Az intézkedések csökkentik a már most is jelentkező szélsőségesen aszályos évek káros hatásait is. Tényleges hatékonyságuk a fokozatos megvalósulás mellett értékelhető, amely lehetővé teszi a további megvalósítással kapcsolatos módosító döntéseket, illetve az esetleges kiegészítő intézkedéseket (vízátvezetések, illetve vízpótlás). Az aszály megelőzése szempontjából kedvező, ha a rugalmas árvízvédekezéssel összefüggésben említett vízkivezetési lehetőség a holtágakba és a mélyárterekre úgy valósul meg, hogy az rendszeresen, kisebb árvizek esetén is működjön.

A mezőgazdasági területek belvízproblémáit az árvízi kockázatkezelési tervhez kapcsolva célszerű kidolgozni. Annál is inkább, mert – mint láttuk – a jelentős belvizek gyakran árvizekkel együtt lépnek fel. Külön sürgős intézkedéseket a probléma nem igényel, az aszályal szembeni megelőző tevékenység részeként megvalósuló vízvisszatartás a belvizek szempontjából is kedvező.

A fenti intézkedésekből is látható, hogy a *fenntartható megoldást az árvíz, a belvíz, az aszály és a területhasználat összehangolt kezelése jelenti.* Ez nem elsősorban műszaki-tudományos, hanem sokkal tágabb stratégiai kérdés, ami alapvetően függ a mezőgazdaság átalakulásától az EU keretei között, a vidékfejlesztéstől, az emberek megélhetésétől és alkalmazkodásától, és nem utolsósorban az éghajlatváltozás szélsőségeket erősítő, bizonytalan hatásaitól. Az utóbbi években nö-

vekvő védekezési költségek és károk (lásd a szélsőségekről szóló fejezetet) egyaránt arra figyelmeztetnek, hogy a hangsúlyt a megelőzésre célszerű helyezni⁹, aminek kulcskérdése, miként alakul a területhasználat, főként a mezőgazdasági földhasználat stratégiája (támogatási rendszere). Amennyiben ez utóbbi az eddigieknél jobban alkalmazkodik a természeti adottságokhoz és jobban figyelembe veszi a vízgazdálkodási szempontokat, önmagában jelentős mértékben csökkentheti az aszály- és a belvíz-veszélyeztetettséget és az elszennvedett károkat.

A települési belvizek a gyors hóolvadások és a nagyintenzitású nyári csapadékok idején okoznak, egyre gyakrabban, jelentős károkat. A nagyobb gyakoriságban a szélsőségek növekedése mellett a csapadékvízrendszerek elhanyagoltsága is szerepet játszik. A jelentős károkat elszennvedő településeken indokolt a gyors beavatkozás. Akár új elvezető rendszer építéséről, akár a meglévő felújításáról van szó, olyan kisebb tározókkal kombinált megoldásokat célszerű alkalmazni, amelyek rugalmasságot biztosítanak a szélsőséges csapadékesemények idejére, és vízminőségi szempontból is kedvezőek.

A hazai vízhasználatok jelentős részét felszín alatti vizekből elégítik ki. *A felszín alatti vízkészletek szempontjából már most készlethiányos területnek számít az Alföld nagy része. Az éghajlatváltozás ezt a helyzetet várhatóan tovább súlyosbítja. Ezeken a területeken megelőzésként a közeljövőben indokolt bevezetni a víztakarékos és költséghatékony vízhasználatok ösztönzését (vízkészletjárulékok módosítása, vízjogi engedélyek piacának bevezetése), megakadályozandó a súlyos készlethiányokhoz vezető, nehezen visszafordítható túlhasználatot.*

⁹ A megelőző védelemnek és a területhasználat-váltás támogatásának a költségei mintegy egy évtized alatt megtérülhetnek. Az utóbbi tíz évben a védelem költségei és a károk éves átlagban mintegy 50 Mrd Ft-ot jelentettek (ebből az árvíz kb. 50%-ot, az aszály 40%-ot és a belvíz 10%-ot képvisel).

Az ismerethiány csökkentése

Az előző elemzések egyik fontos általános következtetése, hogy jelentős az ismerethiány, és ha vannak is bizonyos eredmények, ezek megbízhatósága sok esetben alacsony. A bizonytalanságok sorát az éghajlatváltozás különböző forgatókönyveihez tartozó hőmérséklet- és csapadék-szimulációk nyitják, különösen a szélsőséges időjárás események tekintetében. Magyarországon elsősorban a nemzetközi együttműködésben kidolgozott *regionális éghajlati modellek hazai pontossítása* (az ún. leskálázási módszerek továbbfejlesztése) a feladat.

Ahhoz, hogy a hidrológiai folyamatok előrejelzésében és a következményként jelentkező vízgazdálkodási problémák azonosításában előbbre lépjenek, mindenképpen szükséges a *hidrológiai modellek ilyen irányú fejlesztése*. A modellek, és ezzel az elemzések megbízhatósága sokat javítható az elmúlt 20–25 évben tapasztalt jelenségek megértésével, és azzal, hogy ezeket a tapasztalatokat hatékonyan hasznosítják a modellek kalibrációja és validációja során. Olyan modellrendszer szükséges, amellyel a vízháztartási jellemzőkben (párolgás, lefolyás, beszivárgás) várható változások a fokozatosan pontosabbá váló éghajlati forgatókönyvekhez tartozó meteorológiai jellemzők idősorainak felhasználásával könnyen újraszámíthatók, és mint alapadatok – a meteorológiai adatokkal együtt – hozzáférhetők a vízgazdálkodási elemzésekhez. Az eredményeknek tükrözniük kell a bizonytalanságot. Jelentős módszertani fejlesztés szükséges, de ennek részletességében szem előtt kell tartani a kiinduló meteorológiai információk pontosságát.

A vízgazdálkodási következmények hatékony értékelése szempontjából alapvető, hogy a *változásokra érzékeny indikátorokat* állapítsanak meg. Ezeket az indikátorokat kell meghatározni az összehangolt meteorológiai, hidrológiai (vízminőségi) és vízgazdálkodási monitoringgal, és a térségi vizsgálatok során is. Ez utóbbiak egyre inkább átveszik az ágazati vizsgálatok szerepét, biztosítva a

különböző szempontok/érdekek összehangolását. Az éghajlatváltozással kapcsolatos hatáselemzéseket is ezekbe a vizsgálatokba szükséges beépíteni, amelyek egyik fő célja a visszafordíthatatlan folyamatok megelőzése. Tekintve a bizonytalanságokat, sokszor inkább csak érzékenységvizsgálatokról, mint konkrét, számszerű eredményekről lehet szó. A gazdasági-társadalmi elemzések célja, hogy feltárják a lehetséges intézkedések költségeit és ehhez kapcsolódva a beavatkozások (a megelőzés) hasznát, vagy éppen fordítva, a nem cselekvéssel kapcsolatos növekvő kockázatokat és esetleges károkat.

Az elmúlt években számos K+F programjavaslat készült a fenti feladatok végrehajtására, ugyanakkor nagyon kevés projekt valósult meg, és így csekély az eredmények listája. Ennek tulajdonítható, hogy a klímaváltozás hatásairól továbbra is elsősorban csak kvalitatív jellegű leírásokra vállalkozhatunk, és a bevezetőben – és általában – megjelenő következtetések alig pontosodtak, konkretizálódtak.

A globális jellegből adódóan, a klímaváltozás hatásainak értékelésében kiemelt szerepe van a *nemzetközi együttműködésnek*. Ez magában foglalja a határokkal osztott vízgyűjtőkre vonatkozó közös monitorozást, modellezést és vízgazdálkodási elemzéseket, a tapasztalatok és új technológiák átvételét, és nem utolsósorban az intézkedések összehangolt tervezését.

Felkészülés a hosszú távon jelentkező erős hatásokra

A klímaváltozás hosszú távon megjelenő vízgazdálkodási hatásai a hőmérséklet és a csapadék trendszerű, fokozatos változásából adódnak, ami főként az öntözési és halastavi vízigényeket és a vízkészleteket érinti, illetve egyre gyakrabban előfordul, egyre tartósabb száraz időszakok következhetnek. Ezeknek a hatásoknak a mértéke egyelőre nem ismert, és így nem is célszerű az éghajlatváltozásra hivatkozva a készletek módosítását célzó azonnali döntéseket hozni. Az előző pontban

említett fejlesztések eredményeire alapozva azonban elkészíthetők azok a tervek, amelyek egyfajta előregondolkodást jelentenek. A megvalósításra – akár adaptálva – akkor kerül sor, ha a változás mértéke olyan szintet ér el, hogy az intézkedések gazdasági és társadalmi szempontokat is mérlegelve indokoltá válnak. Ez a tervezési fázis is célszerűen a területi (vagy az adott vízgazdálkodási ágazat) tervezési rendszerébe illeszkedik. Lényegében alternatív tervekről van szó, olyan esetekre, ha az éghajlatváltozás kedvezőtlen változatai valósulnak meg. A következőkben – a teljesség igénye nélkül – néhány fontos, felkészülést jelentő feladatot sorolunk fel.

A felszín alatti vízkészletek várható csökkenése miatt (az Alföldön 50–100 éves távlatban elérhet egy olyan szintet, hogy már az ivóvízigények sem elégíthetők ki) még idejében fel kell tárnunk azokat az *vízbázisokat*, amelyek átvehetik a „kimerülő” alföldi felszín alatti készletek szerepét. Főként parti szűrősű, talajvízdúsítással létrehozott vagy közvetlen felszíni vizet hasznosító vízbázisokról lehet szó. Az ivóvízhiány kialakulása előtti fokozatos átállás előnye, hogy a felszabaduló felszín alatti készletek lokális öntözési vízigények kielégítésére használhatók fel, csökkentve az aszályos időszakok stresszhelyzeteit.

A kisvízfolyások kisvízi készletének jelentős csökkenése esetén *tározók építésével* lehet elérni, hogy a téli időszak lefolyása, illetve a nyári nagycsapadékokból származó vizek felhasználhatók legyenek a nyári csapadékmentes időszakok vízhiányának csökkentésére. A tározók másik funkciója lehet a heves árvizek csúcsvízhozamainak csökkentése. Egy tározóépítési program terve, amelyben megjelenik a klímaváltozás várható hatása is, hatékonyan segítené a regionális tervezést. Sürgősséggel épülő árvízcsúcs-csökkentő tározók esetén figyelembe vehető lenne a vízkészlet-gazdálkodási cél is.

A nem sürgősséggel megvalósuló árvíz- és belvízvédelmi intézkedéseket a 2015-re elkészülő *árvízi (és belvízi) kockázatkezelési tervek* alapján kell megvalósítani, azonban hangsúlyozzuk, hogy ezek rendszeres felül-

vizsgálata során a tervbe indokolt beépíteni az éghajlatváltozás hatására vonatkozó mindenkori eredményeket. A NÉS-hez kapcsolódva, illetve a rövidesen kiadásra kerülő EU aszálystratégiát figyelembe véve hasonló tervek készíthetők az *aszállyal szembeni védelemhez* is.

Az aszály gyakoriságának és mértékének növekedésével, amikor egy térségben már a megélhetési feltételek is veszélybe kerülnek (a gazdasági tevékenység nem adaptálható a megváltozott viszonyokhoz), szükség lehet a *bővizű területekről vízátervezésekre, vízpótlásra*. Ezeket a beavatkozásokat csak megfontoltan, sokrétű elemzésekre támaszkodva szabad megtenni.¹⁰ A szempontok között szerepel a mennyiségi és minőségi hatások mértéke és időtartama, az előrejelzés megbízhatósága, a cél fontossága és tartóssága, gazdaságosság, társadalmi vélemények.

Valamennyi feladat teljesítése szorosan kapcsolódik az *EU Víz Keretirányelv végrehajtáshoz*, amely egyfelől előírja, hogy a tagállamoknak az ivóvízkészletek biztosítása, valamint az árvizek és az aszályok káros környezeti hatásainak csökkentése érdekében hozott intézkedéseik tervezésekor figyelembe kell venniük az éghajlatváltozás lehetséges hatásait, másfelől az éghajlatváltozás miatt a vízhasználatokhoz kapcsolódó fejlesztéseket (tározók, vízátervezések, vízpótlás) fenntartható módon kell megvalósítani, azaz összehangolva a gazdasági, társadalmi és ökológiai szempontokkal.

¹⁰ Az óvatosságra jó példa a Balaton, ahol 2000 és 2003 között a turizmusból származó bevételeket veszélyeztető mértékű vízhiány/vízszintcsökkenés következett be és felmerült a vízpótlás szükségessége. A részletes vizsgálatok azzal a következtetéssel zárultak, hogy az extrém alacsony vízszint egy rövid idejű szélsőségesen száraz periódus következménye, és emiatt a vízpótló rendszer kiépítése nem indokolt. A természet rövid időn belül igazolta a feltevést, a 2004-es csapadékos esztendő végére a tó ismét megtelt. A jövőben esetleg gyakrabban ismétlődő hasonló mértékű vízhiány következményeinek megelőzésére a partok jellegét, növényzetét és a tó vízszint-szabályozási rendjét célszerű megváltoztatni (Somlyódy, 2003).

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) BARREDO, J.I. (2007): Major flood disasters in Europe: 1950–2005. *Natural Hazards* 42. 125-148. pp. (2) BARTHOLY J. – MIKA J. – PONGRÁCZ R. – SCHLANGER V. (2005): A globális melegedés sajátosságai a Kárpát-medencében. In: Takács-Sánta A. (szerk.): Éghajlatváltozás a világban és Magyarországon. Alinea Kiadó – Védegyelet, Budapest (3) BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. – CSIMA G. – HORÁNYI A. – PIECZKA I. – SZABÓ P. – SZÉPSZÓ G. – TORMA Cs. (2009): 2021–2040-re várható éghajlatváltozás a Kárpát-medence térségében magyarországi regionális klímamodellek együttes kiértékelése alapján. (Alapozó tanulmány a Környezeti jövőkép – környezet- és klímabiztonság stratégiai programhoz) (4) BECKER, A. – GRUNEWALD, U. (2003): Disaster management – flood risk in Central Europe. *Science* 300 (5622). 1099-1099. pp. (5) BOZÓ L. – HORVÁTH L. – LÁNG I. – VÁRI A. (2010): Környezeti jövőkép. Környezet- és klímabiztonság. MTA Köztisztületi Stratégiai Programok, 64 p. (6) EEA (2008): Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicato-base assessment. Joint EEA-JRC-WHO report (7) GLASER, R. – STANGL, H. (2003): Historical floods in the Dutch Rhine Delta. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3. 605-613. pp. (8) HISDAL, H. – STAHL, K. – TALLAKSEN, L. M. – DEMUTH, S. (2001): Have droughts in Europe become more severe or frequent? *International Journal of Climatology* 21. 317-333. pp. (9) IPCC (2007): Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikoff, P. van den Linden and C. E. Hanson, Eds. Cambridge University Press. Cambridge, 976 p. (10) KONECSNY K. (2010): A kisvizek hidrológiai jellemzői a román-magyar határ által metszett folyón. VÍZKO 2010, Székelyudvarhely Nemzetközi Vízgazdálkodás-tudományi Konferencia 2010. június 3-4. (11) KRON, W. – BERTZ, G. (2007): Flood disasters and climate change: trends and options – a (re)insurer's view. *Global Change: Enough Water for All?* J.L. Lozán, H. Grassl, P. Hupfer, L. Menzel, C.D. Schönwiese (eds.), University of Hamburg, Hamburg, 268-273. pp. (12) KÖRNYEZETVÉDELMI ÉS VÍZÜGYI MINISZTERIUM (2008): Belvizek alakulása 1936–2006 között. (kézirat) (13) MARES, C. – MARES, I. – STANCIU, A. (2006): On the possible causes of the severe drought in the Danube lower basin in 2003. International Conference on Water Observation and Information System for Decision Support (14) MUDELSEE, M. – BÖRNGEN, M. – TETZLAFF, G. – GRUNEWALD, U. (2003): No upward trend in occurrence of extreme floods in Central Europe. *Nature* 425. 166-169. pp. (15) Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia 2008–2025. 2008 (16) NOVÁKY B. – SOMLYÓDY L. (2009): Hidrológiai rendszerek, vízgazdálkodás. (Alapozó tanulmány a Környezeti jövőkép – környezet- és klímabiztonság stratégiai programhoz, kézirat) (17) PÁLFAI I. (2004): Belvizek és aszályok Magyarországon. Hidrológiai tanulmányok, Budapest (18) PÁLFAI I. (2007): Aszályos évek a Kárpát-medencében a 18-20. században. „Klíma-21” Füzetek, 57. szám 107-112. pp. (19) PINTER, N. – ICKES, B.S. – WLOSINSKI, J.H. – VAN DER PLOOG, R.R. (2006): Trend in flood stages: Contrasting results from the Mississippi and Rhine River systems. *Journal of Hydrology* 331. 554-566. pp. (20) PONGRÁCZ R. – BARTHOLY J. (2004): Klímaváltozás: a szélsőségek eltolódása a XX. században. *Természet Világa* II. különszám (21) SIMONFFY Z. (2003): Szélsőséges meteorológiai események hatása a vízkészletekre. *Vízügyi Közlemények*, 4. füzet (22) SOMLYÓDY L. (2005): A balatoni vízpótlás szükségessége: tenni vagy nem tenni? *Vízügyi Közlemények*, Balaton különszám (23) SVENSSON, C. – KUNDZEWICZ, W.Z. – MAURER, T. (2005): Trend detection in riverflow series: 2. Flood and low-flow index series. *Hydrological Sciences Journal* 50. 811-824. pp. (24) SZALAI S. – BIHARI Z. – LAKATOS M. – SZENTIMREY T. (2005): Magyarország éghajlatának néhány jellemzője 1901-től napjainkig. OMSZ, 12 p. (25) SZLÁVIK L. (2007): Hegy- és dombvidéki területek szélsőséges árvizeinek vizsgálata. (Projekt riport OTKA-34490)

A CSAPADÉKVÍZ, A VÍZKÉSZLETEK ÉS VÍZHASZNÁLAT KAPCSOLATRENDSZERÉNEK AGROKLIMATOLÓGIAI VONATKOZÁSAI

TŐKEI LÁSZLÓ – JUHOS KATALIN

Kulcsszavak: vízkészletek, vízháztartás, csapadékvíz, vízhasználat, öntözés.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A csapadék gyakran szélsőséges eloszlása kedvezőtlen vízháztartási helyzeteket idéz elő. A hidrológiai viszonyoknak a lakosság nemcsak hatásviselője, hanem a területhasználat révén alakítója is. A vízbőség és vízhiány értelmezése viszonylagos: az átlagos vízháztartási helyzethez és a társadalmi tevékenységek vízigényéhez képest definiálható. Ezekre a kihívásokra térben és időben dinamikus, rendszerszemléletű válaszokat szükséges adni, melynek fontos eleme a lehulló csapadékkal való ésszerű gazdálkodás, a csapadékvíz megőrzése, nem csupán a művelt területeken, hanem a települések ökológiai rendszerében is.

A csapadékmennyiség tér- és időbeli változása, a gyakran lokális jellegű, rövid idő alatt lehulló, extrém mennyiségű csapadékhullás gyakoriságának növekedése, az éghajlat szárazabbá válása, a területhasználat megváltozása, az intenzív tájhasználat számottevő mértékben hozzájárultak a talaj–növény–légkör rendszer vízháztartásának kedvezőtlen alakulásához. A szükségletekhez igazodó, kiegyenlített vízellátás megoldása ezért rendkívüli kihívást jelent. A hazánk területére hulló csapadékkal való gazdálkodáshoz pontosan szükséges ismerni tér- és időbeli eloszlását, különböző valószínűségű összegeit szezonális bontásban, nemcsak a jelenben, hanem a különböző klímaszenáriók valószínű esetében is.

A csapadék jobb hasznosításának érdekében célszerű felmérni és használni a tározási lehetőségeket a talajban, árvíz- és belvíztározókban, illetve csökkenteni szükséges a veszteségeket. A csapadékvíz-veszteségek közül az evaporáció és a lefolyás folyamataiba lehet és kell hatásosan beavatkozni. Ez nemcsak technológiai kérdés, hanem terület-, föld- és talajhasználati problémákat is felvet, valamint a térségi (külterületi) vízgazdálkodás mellett alapvető kérdés a települési, városi vízgazdálkodás újragondolása is.

A vízkár-elhárítási és vízhasznosítási feladatok tervezése, összehangolása szempontjából nagy jelentőségű a felszíni vízmérlegszámítás, melyet országos, regionális és termőhelyi szinten, természetes térbeli egységekre, időben pedig nemcsak egész évre, hanem szezonális, évszakos bontásban is szükséges elvégezni. Ez térbeli adatbázisépítést igényel, amely két fő részből állhat: a meteorológiai paraméterekből (csapadék és párolgás) és a lefolyási tényezőkből (felszínborítás, domborzat, talaj fizikai félesége). A végeredmény: vízháztartási szempontból homogén térbeli egységek, amelyekre konkrét intézkedéseket és technológiákat tartalmazó cselekvési programok írhatók.

Gyakorlati szempontból fontos lenne egy olyan aszályérzékenységi térkép szerkesztése is, amelyben a meteorológiai paraméterek mellett szerepet kapnak a talajtani és

földhasználati tényezők is. Ebben jó kiindulópont lehet Pálfi aszályindexe. Ez a mutatószám kiegészíthető a talaj szántóföldi vízkapacitás értékével, és ráhelyezhető a különböző léptékű talajtérképekre, illetve a területhasználati, földhasználati térbeli adatbázisokra (pl. a magyarországi földhasználat körzetei, tájai, területrendezési tervek, településrendezési tervek, földhivatali kataszteri térképek).

A csapadékvízzel történő gazdálkodás akkor lehet eredményes, ha a helyi megoldásokra törekszenek, és a felszíni vízmérlegek, valamint a cselekvési programok kidolgozásában a lokális szintig eljutnak. Az eredményeket pedig a támogatási rendszerek és a terület- és földhasználati jogszabályok szintjén is érvényre juttatják (pl. Helyes Gazdálkodási Gyakorlat, településrendezési tervek, építési szabályzatok stb.).

BEVEZETÉS

Az éghajlat a világ minden táján rendelkezik előnyös és kedvezőtlen vonásokkal. Természetesen a kedvező és nemkívánatos vonások aránya erősen eltérhet egymástól, és ezek megítélése függ attól is, hogy milyen szempontból értékelik a klímát. A Kárpát-medence, s benne Magyarország a mérsékelt szoláris övben helyezkedik el, s az Atlanti-óceán és az eurázsiai kontinens belseje között közelítőleg középütt foglal helyet. Éghajlatunkban egyaránt felismerhetők a kiegyenlítettebb hőmérséklet-járású, csapadékos tengeri (maritim) éghajlat, valamint a szélsőséges hőmérsékletű és kevés csapadékú szárazföldi (kontinentális) éghajlat jellemző vonásai. A nyári félévben az ideérkező légtömegek 60–70%-ban óceáni eredetűek, télen inkább a kontinentális származásúak vannak túlsúlyban. Számottevően alakítja éghajlatunkat a bennünket körülvevő hegyláncok koszorúja (Alpok, Kárpátok, Dináriák), az ország medencehelyzete. A medencehelyzet kihat csapadékviszonyainkra: a csapadékot hozó, de a hegységeken átkelni kényszerülő légtömegek jelentősen veszítenek párákészletükből. A medencehelyzetnek köszönhető a viszonylagos szélvédelem és a bőséges napsütés, de ezért az ország jelentős része csapadékszegény. Ez a megállapítás különösen az Alföldre vonatkoztatható, aminek a területe – legalábbis éghajlati szempontból – mélyen benyúlik a Dunántúl keleti felére.

A klímaváltozás egyik szembeötlő jelzője az időjárás szélsőségek gyakoriságának

növekedése, a csapadékhullás mennyiségi, időbeli és térbeli eloszlásának rendkívüli változékonysága. A meteorológiai elemek variabilitása rákényszeríti az embert, hogy a természet adta lehetőségeket a környezethez alkalmazkodó módon használja, a bioszféra válaszait, érzékenységét, sérülékenységét minél mélyrehatóbban megismerje, a további változásokra felkészüljön, az alkalmazkodást esetlegesen elősegítse.

Ismeretes, hogy hazánk medencehelyzetéből adódóan a felszíni és felszín alatti vízkészleteknek mintegy 5%-a származik az országhatárokon belülről, a többi a természetföldrajzi viszonyok függvénye, valamint a vízmegosztási jogszabályokkal szabályozott. Ezért kiemelt jelentőségű az ország területére érkező csapadék optimális hasznosítása. Alapvetően a lehullott csapadékkal lehet és szükséges gazdálkodni.

A CSAPADÉK VÁLTOZÉKONYSÁGA

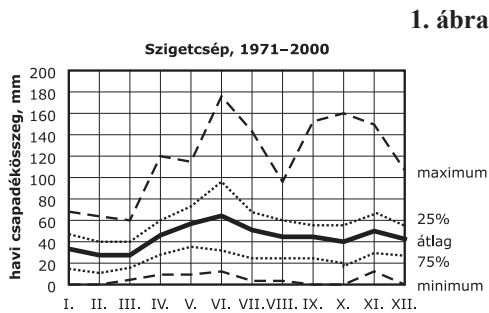
Ahhoz, hogy a csapadékviszonyokhoz alkalmazkodni tudjanak, jobban hasznosítsák azt, illetve a káros víztöbbletek és vízhiányos helyzetek kezelését megtervezzék, pontosan ismerni szükséges a csapadék tér- és időbeli eloszlását, variabilitását.

Hazánk legcsapadékosabb területei a Kőszegi-hegység, a Vasi-hegyhát, a Zalai-domb-ság nyugati és déli része (>800 mm), de hasonlóan sok csapadékot kap az Északi-Bakony, amelynek tömege gyors felemelkedésre készíti a Kisalföld felől érkező légtömegeket.

1. táblázat

Az évi és havi csapadékösszegek fontosabb statisztikai mutatói Szigetcsépen, mm (1971–2000)

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	Év
Átlag	32	27	28	46	56	64	51	45	45	41	52	45	532
Variációs koef. (%)	58,9	73,9	51,6	56,4	55,6	66,4	71,2	55,0	85,5	84,1	62,6	61,0	21,1
Maximum	70	65	58	119	115	179	144	96	156	160	151	106	818
Minimum	1	2	4	10	8	11	3	4	1	1	14	1	370
75%	15	11	17	27	36	32	24	25	24	19	31	28	448
25%	47	40	39	60	74	98	68	59	56	56	67	56	586



1. ábra

nedvességviszonyok és szárazság egyaránt. A csapadék időbeli változékonyságával kapcsolatban a vízkár-elhárítási létesítmények tervezéséhez az extrém, kis valószínűségű nagycsapadékok intenzitását, illetve az összegyülekező vízhozamokat is ismerni szükséges. A csapadékhasznosításhoz főként a különböző valószínűségű évi és szezonális csapadékösszegeket, a csapadék évi menetét, a csapadékos és száraz periódusok hosszának valószínűségét indokolt kiszámítani. Ez utóbbiakhoz példaként egy éghajlati szempontból tipikusnak mondható alföldi település, Szigetcsép csapadékadatainak statisztikai értékelését közöljük az 1971–2000 közötti időszakra. Az 1. táblázatban és az 1. ábrán az évi és havi csapadékösszegek variabilitását mutatjuk be.

Az évi csapadékösszegek harmincéves átlaga a területen 532 mm, ami – ahogy már korábban említettük – az Alföld legnagyobb részén is átlagosnak mondható. Ez az érték azonban igen nagy különbségeket takar: a vizsgált időszakban volt olyan év, amikor a csapadékösszeg a 400 mm-t sem érte el (370 mm; 1997), és előfordult már 818 mm (1999) is. Az 1. táblázatban a szórást az átlaghoz képest adtuk meg (variációs koeficiens, %). Látható, hogy a vizsgált időszakban a havi összegek is igen változóak, a variációs koeficiens értékek alapján különösen a júliusi, szeptemberi és októberi csapadékmennyiségek a legbizonytalanabbak.

A csapadék évi menetében a nyár eleji (júniusi) csapadékmaximum határozottan kirajzolódik (1. ábra). A harmincéves átlagok mellett ábrázoltuk a havi minimum, maximum értékeket, valamint a 75 és 25%-os

Ezzel szemben az Alföld nagyobbik, központi részén 550 mm alatt van az évi csapadék. A legkevesebb csapadékot a Hortobágy, a Nagykunság és a Körös–Tisza-szög kapja (<500 mm) (Szász – Tőkei, 1997). 93 036 km² területű országban tehát az évi csapadékösszegek tekintetében csaknem kétszeresek a különbségek!

Az évi csapadékmennyiségeket azonban célszerű a hőmérsékleti és párolgási értékekhez viszonyítani. A vízgazdálkodásban leggyakrabban használt mutató a lehetséges párolgás és az évi csapadékösszeg hányadosaként számított ariditási tényező. Magyarországon ez a viszonyszám 0,8 és 1,4 között alakul (Bukovinszky – Marjai, 2006). Nyugat-Magyarországon és a középhegységek magasabb térszínein ez a tényező 1 alatti, a Tiszántúl ariditásra hajló területein 1,2–1,4 közötti.

A csapadékviszonyokat tovább árnyalja, hogy az évi mennyiség időben gyakran szeszélyes eloszlásban hullik, így időszakosan szinte bárhol előfordulhatnak túl bő

2. táblázat

A fél éves és évszakos csapadékösszegek Szigetcsépen, mm (1971–2000)

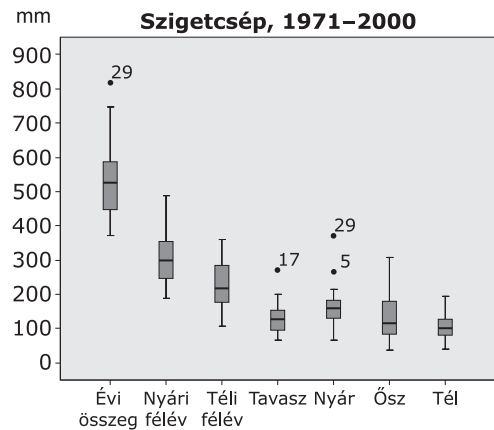
	IV–IX.	X–III.	III–V.	VI–VIII.	IX–XI.	XII–II.
Átlag	307	225	130	160	139	104
Szórás	80,5	63,0	44,2	58,0	69,8	40,5
Var. koeff. (%)	26,2	28,0	34,1	36,2	50,3	39,1
Medián	300	218	127	160	116	101
Minimum	188	107	66	65	37	38
Maximum	489	361	271	370	307	194

valószínűségű (alsó és felső kvartilis) összegeket is. A tervezés számára fontos tájékoztatást nyújtanak a 75 és 25%-os gyakoriságú havi értékek, hiszen ezek között szerepel az esetek 50%-a. A szélsőértékek alapján megállapítható, hogy a vizsgált időszakban nem volt olyan hónap, amikor legalább néhány tized mm mennyiségű csapadék ne hullott volna. A havi maximumok igen nagy értékek: júniusban előfordult már 178,6 mm is, de nem sokkal maradnak el ettől az őszi hónapok sem.

A mezőgazdaság számára az évi csapadékösszeg inkább fél éves és évszakos bontásban lényeges (2. táblázat). Szigetcsépen a téli félévben átlagosan 225 mm, a nyári félévben 307 mm csapadék hullik. A téli félév csapadéka azért érdekes, mert részben ez határozza meg, hogy mennyi vizet tudunk a nyári félévre a talajban tározni. A tenyészidőszak csapadékának viszont nemcsak az összege, hanem a valószínűsége és varianciája is fontos kérdés. Az adatok szerint minden évszakban igen nagy a csapadék abszolút ingása és változékonysága. A csapadék ilyen nagyfokú bizonytalansága lényegesen megnöveli a mezőgazdasági termelés kockázatát.

Érdeemes bemutatni az ún. boxplot-diagram segítségével is a csapadékösszegek csoportonkénti eloszlását, szóródását (2. ábra). Így egy ábrán megfigyelhető a medián, az alsó és felső kvartilisek, a 1,5-szeres interkvartilis terjedelme, valamint a kiugró értékek. A diagram legfőbb tanulsága a csapadék nagy varianciáján túl, hogy a nyári félév és az őszi csapadékának eloszlása bal oldali aszimmetriát mutat, ami a gyakorlatban azt

2. ábra



A csapadékösszegek alakulása éves, fél éves és évszakos bontásban

jelenti, hogy a leggyakoribb értéknél kisebb csapadékú évek előfordulása nagyobb, mint a több csapadékkal bíró éveké, ami a vízpótlás és a vízmegőrzés szempontjából nagy jelentőségű.

Szigetcsépen a csapadékos napok évi száma az ország száraz területein megfigyeltékhez hasonlóan alakul. Az 1 mm-t meghaladó hozamú napok évi átlagos száma 81 (ez alig több, mint az Alföld középső területein jellemző 76-77 körüli érték). A csapadékos napok számának gyakorisága szintén nagy szórást mutat. A vízhasznosítás és a mezőgazdasági munkaszervezés szempontjából fontos paraméter még a csapadékos időszakok tartamának gyakorisága is. A vizsgált harminc évben Szigetcsépen 1-8 napig tartó

3. táblázat

A csapadékos időszakok tartamának gyakorisága Szigetcsépen, % (1971–2000)

	1	2	3	4	5	6	7	8
Tavasza	59,7	25,7	8,8	3,2	1,6	0,5	0,3	0,3
Nyár	64,4	22,2	8,3	2,9	1,9	0,0	0,0	0,3
Ősz	61,4	24,8	7,4	3,2	2,1	0,9	0,3	0,0
Tél	61,0	23,8	9,6	3,5	0,9	0,6	0,6	0,0
Nyári félév (IV–IX.)	63,6	22,6	8,1	2,8	2,3	0,3	0,0	0,3
Téli félév (X–III.)	58,8	25,5	9,6	3,7	1,2	0,7	0,4	0,0
Év	61,5	24,2	8,5	3,2	1,7	0,5	0,3	0,1

4. táblázat

A csapadék nélküli időszakok tartamának gyakorisága Szigetcsépen, % (1971–2000)

	1-4	5-9	10-14	≥ 15
Tavasza	60,9	24,9	7,4	6,8
Nyár	58,2	25,9	9,9	6,0
Ősz	57,7	22,7	10,1	9,5

csapadékos periódusok fordultak elő (3. táblázat). Egész évben az 1 napos csapadékok valószínűsége a legnagyobb, 61,5%. Évszakos és fél éves bontásban vizsgálva árnyaltabb a kép: a nyári félévben, illetve nyáron valamivel rövidebbek, ősszel pedig hosszabbak a csapadékos periódusok.

A fentiekből látható, hogy Szigetcsépen átlagosan 4-5 naponta lehet esőre számítani. A növénytermelés számára a száraz periódusok hossza elsősorban tavasztól őszig érdekes és fontos adat. A csapadék nélküli időszakok tartamának gyakoriságát mutatja be a 4. táblázat. Az adatokból látszik, hogy a hetekig tartó száraz időszakoknak is komoly a valószínűsége. Szigetcsépen a vizsgált időszakban a legextrémebb értékek tavasszal a 36, nyáron a 47, és ősszel a 48 napig tartó szárazság voltak! A mezőgazdaság számára, bizonyos kultúrák vonatkozásában egy ilyen hosszú csapadékmentes periódus katasztrófával egyenértékű, különösen akkor, ha az hőségnapok sorozatával párosul. Szigetcsépre vonatkozóan a napi maximum hőmérsékletek havi középértékei között található 31 °C-os érték is (Tőkei, 1997).

Gyakorlati szempontból hazánk csapadékvízviszonyainak jellemzése nem merülhet ki csupán az országrészek havi és évi csapadékösszegeinek megadásában, hiszen – mint ahogy az előbbi példák is mutatják – a csapadék gyakran igen szeszélyes eloszlásban hullik. Az átlagos értékek pedig igen nagy szélsőségeket, extremitásokat takarnak, amelyek a vízgazdálkodás műszaki létesítményeinek tervezéséhez fontos információt jelentenek.

VÍZHÁZTARTÁSI HELYZETEK ÉS PROBLÉMÁK

A csapadék tér- és időbeli változékonysága miatt, valamint a talajtani és domborzati tényezők hatására hazánkban gyakoriak a szélsőséges vízháztartási helyzetek. Ezek gyakorisága várhatóan növekszik a klíma előre jelzett változása következtében. Különösen kritikus terület az Alföld, ahol gyakran egy éven belül ugyanazon a területen a tél végi – tavaszi káros vízbőséget nyári aszály követi. A vízkárelhárítás és a vízellátás megoldása és összehangolása a hazai vízgazdálkodás nagy kihívása technikailag és anyagilag.

A domborzati viszonyokból következően Magyarország kb. egynegyedéről természetes úton nem folyik le a víz (Dely – Westsik – Bencsik, 2010). Az ország területének 45%-át, művelt területének 60%-át veszélyeztetni tavasszal a belvízi elöntés. A települések 40%-a fokozottan belvízveszélyes mély fekvésű, sík területen helyezkedik el.

Következő nagy megpróbáltatás a vízfolyások tavaszi és nyár eleji árvizei, amelyek jó része az Alföldön találkozik össze (a Tisza és mellékfolyói). Az előre jelzett klímaváltozás egyik következménye, hogy az ext-

rém csapadékhozamok növekednek és egyre gyakoribbá válnak, ami hozzájárul a vízjárás szélsőségeinek növekedéséhez. Ez óriási probléma, mert az ország területének kb. egynegyede a mértékadó árvizek szintje alatt fekszik, ahol mintegy 700 településen hazánk lakosságának kb. egynegyede él (*Dövényi, 2009*). Az egyre nagyobb problémát okozó árhullámok kialakulása azonban nem vezethető vissza kizárólag a klímaváltozásra, hanem ebben nagy szerepet játszik a hullámterek vízlevezető képességének jelentős csökkenése is.

A leggyakrabban emlegetett klasszikus példa a Tisza: a folyó katasztrofális árvizeinek évszámait hosszasan sorolhatnánk. Például az 1998–2001 közötti négy év alatt négy veszélyes árvíz vonult le a folyón. A 2001. évi rendkívüli tavaszi árhullám át is szakította a töltést, és a Beregi-síkságon egész településeket, településrészeket törött el a föld színéről (*Dövényi, 2009*). A 2006-os árvíz pedig azért volt emlékezetes, mert a Körösök árhullámával találkozott. A Duna vonatkozásában ugyancsak említhetünk az utóbbi évtizedből néhány jelentős példát (2002 és 2006 tavasza), amikor is Budapest katasztrofaturizmusa fellendülni látszott. A szélsőséges vízjárás abban is megnyilvánul, hogy a rendkívüli árvizeket olyan évek is követhetik, amikor tavasszal és nyár elején a folyó még a medréből sem lép ki.

A Felső-Tisza vízállás-idősorai nagyon tanulságosak: közepes és kisvízi vízállás-idősorai erőteljesen csökkenő, a nagyvizeké pedig egyértelműen emelkedő tendenciát mutatnak (*Konecsny, 2004*). Például a sokévi átlagos vízállás Tivadarnál 1901–2003 között 43 cm, 1951–2003 között –84 cm, 1994–2003 között –90 cm volt. Az évi nagyvízállások változása bármely időszakra emelkedő trendet mutat. Ugyanitt az évi tetőző vízállások sokévi átlaga az 1901–2003-as időszakban 564 cm, 1951–2003 között 575 cm, 1994–2003 között 625 cm volt. Az emelkedő tendenciát alátámasztja az is, hogy a Felső-Tiszán a mindenkori legnagyobb vízállás- és a legnagyobb vízhozamértékek jelentősen nőttek.

A belvizekhez és árvizekhez hasonlóan nagy, de gyakran annál nagyobb gazdasági kárt okoznak az Alföldön a nyári aszályok. Az aszály nem egyenlő a szárazsággal, azaz a hidrológiai értelemben vett általános vízhiánnyal. Az aszály természeti és társadalmi tényezők kölcsönös viszonyának eredménye, ezért konkrét helyre és időszakra, növényfajra és földhasználatra értelmezzük: a növénytermelési tér a növényfaj (fajta) vízigényéhez viszonyított tartós és jelentős vízhiánya. Az *Országos Meteorológiai Szolgálat* 110 éves időszakot értékelt az évtizedenként előforduló meleg-száraz évek száma alapján. Az eredmények szerint az aszályos évek 10 éven belüli alakulása évtizedenként 0,3-0,6 évvel nőtt! Az Alföldön az évi átlagos csapadékmennyiség a jelenleginél nagyobb természetek esetén is kielégítheti a termelt növények túlnyomó részének vízigényét, azonban ez a csapadékmennyiség többnyire szeszélyes időbeli és térbeli eloszlásban hullik le, és gyakran csak szerény hányada jut el a növényekig.

A nyári légköri és talajaszályt tovább súlyosbítja hazánk egyes területein a vízbázisok mennyiségi állapotában jelentkező negatív tendencia. Ez a probléma a Duna–Tisza közti Hátságon már az 1970-es évek közepe óta megfigyelhető a talajvízszint változásában. Míg a vízszintsüllyedés üteme és mértéke az 1980-as évek közepéig a csapadék- és hőmérsékleti viszonyoknak megfelelően alakult, addig a 80-as évek második felétől – főleg a legmagasabban elhelyezkedő részen – felgyorsult (*VKI, 2009*). A süllyedés mértéke a sokéves átlagértékhez viszonyítva a Hátságon átlagosan 1-1,5 m, egyes helyeken viszont már 5-6 m-es talajvízszint-süllyedés is kimutatható volt. A 90-es évek végétől kezdve napjainkig a kiemelt térszínnel jellemezhető területeken a süllyedés mértéke lelassult, a Hátság egyéb területein a mármélyen található vízszintek stagnálnak.

A leírt jelenséget a Duna–Tisza közén mintegy két évtizede tartó csapadékhiány csak részben magyarázza. A talajvízszint csökkenésének a klimatikus tényezőkön ki-

vül számos egyéb oka is van. A rétegvizek és a talajvíz fokozódó kitermelése, az intenzív kultúrák területi arányának növekedése, a települések növekvő vízfogyasztása, belvíz-levezető csatornahálózat és a Tisza „leszívó” hatása is hozzájárul a süllyedés kialakulásához (Cserni – Füleky, 2008). Az öntözésre berendezett üzemi területek vízkivételének rendezetlensége, ellenőrizhetetlensége az egész országban problémát jelent, nemcsak a vízbázisok mennyiségi állapota, hanem minősége szempontjából is.

A Nyírségben és a Maros hordalékkúpján is megfigyeltek már hasonló talajvíz-szint-süllyedéseket, és a jelenség nemcsak medenceperemi homokos hordalékkúp-síkságainkon, a beszívargási (utánpótlódási) területekre jellemző, hanem az Alföld középső, feláramlási területein is. Példaként *Négyesi (2006)* munkáját említjük. A szerző Karcag külterületén elhelyezkedő 9 talajvízszintmérő kút, illetve a *Karcagi Kutatóintézet* csapadékmérő állomásának adatait vizsgálta. A város határterületein lévő, az antropogén hatásoktól közvetlenül mentesnek tekinthető, tehát az éghajlat behatása alatt álló kutak talajvízszintjében több évtized óta tartó süllyedési tendenciát tapasztalt. A terület klímaviszonyait a csökkenő csapadékmennyiség és a növekvő párolgás jellemzi.

VÍZHIÁNY ÉS VÍZBŐSÉG KEZELÉSE

A káros vízbőség és vízhiány kezelésének technológiai, lehetőségei már régen ismertek, a probléma inkább az, hogy az egyes beavatkozások térben és időben kevésbé koordináltak.

Az árvizek tekintetében hazánk rendkívül kiszolgáltatott a szomszédos országokból érkező lefolyásnak. Azonban a hazai vízgyűjtő területek lefolyásviszonyait sem sikerült még eddig kielégítően szabályozni. A dombvidéki vízrendezésnek pedig ez lenne a legfontosabb feladata a talajerózió elleni védekezés mellett. A lefolyás csökkentésének és a be-

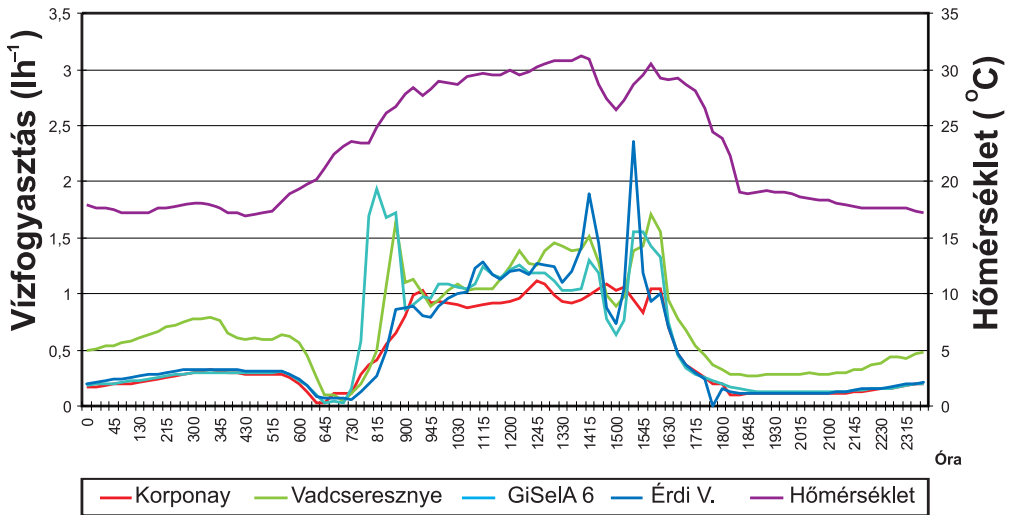
szívargás növelésének nemcsak műszaki eszközei adottak, mert a növényborítás, a helyes talajművelés, a talajt jobban fedő vetésforgó, az erdőtelepítés és gyepesítés mind a lefolyási tényezőt csökkentik, és a területre hulló csapadék jobb hasznosítását teszik lehetővé.

A folyók árvizeinek töltések között tartása, kártétel nélküli levezetése már nehezebb feladat. A *Vásárhelyi Terv Továbbfejlesztése (VTT)* I. ütemben tervezett árvízi tározói (Szamos–Kraszna közti, Cigánd–Tiszakarádi, Hanyi–Tiszasülyi, Nagykunsági, Tiszaroffi, Nagykőrű I. ütem) a jövőben ezt a problémát hivatottak orvosolni. Az ezekben tározható vízmennyiség sokat segítene a nyári aszályos periódusok átvészelésében.

A hazai belvízkár-elhárítási gyakorlat elsősorban a már komoly veszélyt jelentő kialakult belvizek elvezetésére koncentrált, és alig fordít figyelmet azok kialakulásának meteorológiai, hidrológiai, domborzati és talajtani hátterére, a belvízproblémák okainak és a megelőzés lehetőségeinek feltárására. A téli csapadék jobb megőrzése talajműveléssel, mélylazítással a belvíz kialakulásának valószínűségét csökkenthetné, és nem mellesleg hozzájárulna a termelt növények kiegyenlítettebb vízellátásához is.

Az aszály gyakoribbá válása ellenére Magyarországon egyre kevesebb területet öntöznek. Míg az öntözhető terület a 70-es és 80-as években a meliorációs és öntözésfejlesztési beruházások eredményeként megközelítette a 400 ezer hektárt, addig 2009-re a vízjogi engedéllyel rendelkező terület nagysága 206 ezer hektárra csökkent (*FVM, 2009*). Ez az összes termőterületnek csupán 2%-át teszi ki, és az öntözhető területnek is egyre kisebb hányadán folyik tényleges vízkijuttatás. Például az aszályos 2002–2003-as években az öntözött terület nagysága meghaladta a 120 ezer hektárt, miközben a hasonlóan száraz 2008-ban a 80 ezer hektárt sem érte el. Az utóbbi két évtizedben az öntözés ágazati szerkezete is átalakult. Ma az öntözött terület kb. felét a kertészet, másik felét a szántóföldi kultúrák adják, a kertészeti termékek értéke viszont többszöröse a szántóföldi növényeké-

2009. július 3.



A nedvaramlás napi menete különböző alanyok esetén a hőmérséklet-változás tükrében

nek (Dobos, 2006). A Kárpát-medence éghajlatának az ariditás felé történő eltolódása és a versenyképesebb hazai mezőgazdaság megteremtése az öntözhető területek nagyságának növelését teszi szükségessé.

Az öntözési módok közül a víz- és energiatakarékos mikroöntöző rendszerek használatát célszerű előnyben részesíteni, különösen a nagy értéket előállító kertészeti ágazatokban, ahol a beruházás nagyobb valószínűséggel megtérül. A víztakarékos, az állomány igényéhez igazodó öntözés megtervezése a növény vízgazdálkodási tulajdonságainak ismeretét követeli meg. A növényi vízfogyasztás követésére adnak lehetőséget a különböző nedvaram-mérő műszerek (Dynamax, Flow32). A módszer kertészeti alkalmazására már van példa. Cseresznyefák különböző alany-nemes kombinációin elvégzett kísérletek szerint (Juhász et al., 2008) a nedvaram-mérés módszere hatékony a különféle kombinációk eltérő vízigényének feltárására. A 15 perces adatregisztrációval tökéletesen követhető és elkülöníthető az eltérő alanyok

napi vízfelvételi üteme (3. ábra). Amennyiben kiválasztják a legmegfelelőbb vízfogyasztású kombinációt, intenzív ültetvény létrehozása esetén komoly vízmegtakarítással számolhatnak. Az ilyen jellegű vízmegtakarítással az állomány mikroklímája is javítható.

A jövőben az aszály elhárításának közvetett, a megelőzést célzó módjaira nagyobb hangsúlyt indokolt fektetni. Az agrotechnikai eljárások közül kiemelt szerepű a nedvességmegőrző talajművelés, a tenyészidőben és a tenyészidőn kívül hullott csapadék beszivárgásának elősegítése és megőrzése. Talajtani szempontból elsődleges cél, hogy a talajok pórusterében – elsősorban a gyökérzóna és közvetlen környezetében – olyan hasznos tározási formák jöjjenek létre, amelyekből a különböző növénytársulások ott, akkor és olyan mértékben jutnak nedvességhez, amennyire éppen szükségük van. Ehhez feltétlenül szükséges a különböző vízfornak energiaállapotának, hozzáférhetőségének agrotechnikai, meliorációs szabályozása.

Az aszálykárok mértékének csökkentésére további lehetőség a szárazságtűrő fajták kiválasztása, a növények jó kondícióban tartása, optimális tápanyagellátással, gyomirtással, ésszerű tőszámbeállítással.

A TELEPÜLÉSI VÍZGAZDÁLKODÁS

A települési vízgazdálkodás feladatai és eszközei számos ponton eltérnek a térségi vízgazdálkodástól, ezért problémáit célszerű külön tárgyalni.

A csapadékvíz-elvezetés a települések nagy részében komoly problémát jelent, a csatornahálózat nem mindenhol képes a funkcióját maradéktalanul ellátni. Egy-egy záporcsapadék alkalmával gyakran óriási vízmennyiség hömpölyög az utcákon, lehetlenné téve a közlekedést. Részben megoldást jelentene az elválasztott rendszerű csatornahálózat kiépítése (a kommunális szennyvíz és a csapadékvíz külön gyűjtése), amely lehetővé tenné a csapadék jobb hasznosítását is. Egy ilyen beruházás azonban óriási terhet róna a települési önkormányzatokra. Igazán mozgástér a zöldfelület-gazdálkodásban van, amellyel a beszivárgást és a lefolyást jelentősen lehetne szabályozni, és nem utolsósorban a városi komfortklíma kialakítása felé is komoly lépést jelentene.

A városokra le hulló csapadékvíz legnagyobb része hasznosítatlanul lefolyik, illet-

ve minél gyorsabban igyekszünk levezetni. A beépítettség, a burkolt felületek nagy aránya nagymértékben akadályozza a beszivárgást, a felszín alatti vizek utánpótlódását. Egy település ivóvízigényét, vízkitermelésének mértékét ismerve könnyen belátható, hogy ez hosszú távon nem tartható fenn.

A csapadékvíz települési hasznosítása terén alapvetően két lehetőségéről, a tetővizek hasznosításáról és a burkolt felületekről lefolyó csapadékvizek összegyűjtéséről beszélhetünk. A háztartások vízgazdálkodásában az épületek tetejéről lefolyó víz hasznosítása játszik szerepet, ezzel szemben a burkolt felületekről lefolyó vizek kezelése már települési szintű tevékenység. Mindkét csapadékvíz típusnak óriási jelentősége lehet az elkövetkező évtizedek települési vízgazdálkodásában (Fórián, 2009).

Egy szemléletes példát hozva: 550 mm évi csapadékösszegű területen elhelyezkedő családi ház 150 m² tetőfelületéről 82,5 m³ csapadék gyűlik össze. A veszteségtényezőket figyelembe véve ennek a mennyiségnek 80-90%-a összegyűjthető. Ebből az esővízből 300 m² kertet locsolhatunk, vagy felhasználhatjuk a csapadékot az épület nem ivóvíz minőségű vízigényének kielégítésére. Egy ekkora, összkomfortos házban élő 4 tagú család összes vízfogyasztása évente kb. 288 m³. A csapadékvíz felhasználásával a megtakarítás 25%-os is lehet (Szűcs, 2005).

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

(1) BUKOVINSZKY L. – MARJAI GY. (2006): Mezőgazdasági vízgazdálkodás. Vízkárelhárítás és vízhasznosítás. Főiskolai jegyzet. Tessedik Sámuel Főiskola Mezőgazdasági Víz- és Környezetgazdálkodási Kar, Szarvas, 203. p. (2) CSERNI I. – FÜLEKY GY. (2008): A Duna-Tisza közti homokhátság talajainak vízgazdálkodása. In: Simon L. (szerk.): Talajvédelem különszám. Talajtani Vándorgyűlés, Nyíregyháza, 2008. május 28-29. 53-62. pp. (3) DELY F. – WESTSIK V. – BENCSIK GY. (2010): Belvíz képződési és belvíz információs rendszer fejlesztése. XIV. GisOpen Konferencia. „Társadalom – térinformatika – kataszter” 2010. március 17-19., Székesfehérvár (4) DOBOS GY. (szerk.; 2006): Stratégia az öntözéses gazdálkodás és melioráció fejlesztésére 2007-2013. Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium, Öntözéses-gazdálkodás és Melioráció Fejlesztése Bizottság, Budapest (5) DÖVÉNYI Z. (2009): Víz és település Magyarországon. II. Települési Környezet Konferencia. 2009. 11. 27-28., Debrecen,

249-253. pp. (6) FÓRIÁN S. (2009): Csapadékvíz hasznosításának lehetősége a háztartásokban. Debreceni Műszaki Közlemények, 1-2. sz. 29-33. pp. (7) JUHÁSZ Á. – TÖKEI L. – NAGY Z. – HROTKÓ K. (2008): Estimating of water consumption of cherry trees International Journal of Horticultural Science. 14 (4) 15–17. pp. (8) KONECSNY K. (2004): Az éghajlatváltozás kimutatható jelei a Felső-Tiszai éghajlati és hidrológiai idősorokban. Magyar Hidrológiai Társaság XXII. vándorgyűlésén elhangzott előadások. „Felkészülés az EU tagságra a vízgazdálkodás területén” 2004. július 7-8., Keszthely (9) NÉGYESI G. (2006): Karcag talajvíz szintjének időbeli változása. Földrajzi tanulmányok Dr. Lóki József tiszteletére. Debrecen, 156-170. pp. (10) SZÁSZ G.- TÖKEI L. (szerk.; 1997): Meteorológia mezőgazdáknek, kertészeknek, erdészeknek. Egyetemi tankönyv. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 722 p. (11) SZÜCS J. L. (2005): Gazdaságos esővízgyűjtés. Építési Piac, június-július, 66-69. pp. (12) TÖKEI L. (1997): Szigetecsép éghajlata. Tanulmány. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Kísérleti Üzeme, Budapest, 31 p. (13) A Víz Keretirányelv Hazai megvalósítása. 1-10 Duna-völgyi főcsatorna. Konzultációs anyag a vízgyűjtő-gazdálkodási tervhez. Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság (14) Alsó-Duna-völgyi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság. 2009. május. (15) A magyar mezőgazdaság és élelmiszeripar számokban. Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium, 2009. (http://www.fvm.gov.hu/doc/upload/201001/hungarian_2009.pdf)

HELYESBÍTÉS!

Sajnálatos módon a „KLÍMA-21” Füzetek 60. számának 48. oldalán, Péter Béla és Mika János cikkében a 2. táblázat fejléce elcsúszott, ezért az adatok felett nem a megfelelő címek szerepelnek. A helyes táblázatot alább közöljük.
A nyomdatechnikai hibáért a szerzőktől elnézést kérünk!

2. táblázat

Az egyes éghajlati elemek pontértékei az ökológiai pontérték öt minőségi kategóriájában, a kukorica (felül) és a búza (alul) esetében, országos összesítés (1976–2006)

	Csapadék-pontérték	Napfény-pontérték	Hősszeg-pontérték	Xeroterm. index	Klíma-pontérték	Klíma-együttható	Talajpont	Ökológiai pontérték	Potenciális hozam t/ha	Termés-átlag t/ha	Tényi/potenciál hányados
Kukorica											
60,0 felett	13,1	10,1	9,3	12,2	44,8	1,53	42,2	64,2	11,06	7,12	0,64
50,1–60,0	11,1	8,4	7,5	9,5	36,5	1,38	39,6	54,4	9,88	6,16	0,62
40,1–50,0	9,1	6,9	5,0	7,3	28,3	1,21	37,6	45,1	8,77	5,35	0,61
30,1–40,0	5,8	5,7	4,7	4,0	20,1	0,97	36,9	35,5	7,62	4,48	0,59
30,0 alatt	3,8	5,4	3,4	1,6	14,1	0,81	34,5	27,9	6,71	3,66	0,54
Átlag	8,5	6,9	5,6	6,7	27,7	1,17	37,9	44,3	8,68	5,27	0,60
Búza											
60,0 felett	11,9	10,1	7,9	10,3	40,2	1,45	43,6	62,9	7,99	4,80	0,60
50,1–60,0	10,7	8,7	7,3	9,0	35,7	1,37	39,8	54,4	7,49	4,51	0,60
40,1–50,0	8,8	6,9	5,1	7,3	28,2	1,20	37,7	45,0	7,01	4,23	0,60
30,1–40,0	6,0	5,8	4,6	4,9	21,3	0,98	36,2	35,5	6,53	4,00	0,61
30,0 alatt	3,5	5,0	4,9	2,4	15,7	0,81	34,8	28,2	6,17	3,36	0,54
Átlag	8,3	7,1	5,6	6,9	27,9	1,17	37,9	44,4	6,99	4,22	0,60

A 2010. ÉVI BELVÍZ HIDROLÓGIAI ÉRTÉKELÉSE

PÁLFAI IMRE

Kulcsszavak: csapadék, belvízelöntés, éghajlatváltozás.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Rendkívüli belvízhelyzet jött létre 2010-ben Magyarországon, legfőképpen – ahogy általában – az Alföldön. Bár a téli – kora tavaszi időszakban is hatalmas terület (180 000 hektár) került víz alá, az igazi meglepetést és rendkívüliséget a késő tavaszi – nyári belvíz okozta, mely 230 000 hektárt borított el, különösen sok kárt okozva a mezőgazdaságban, de a települések belterületén is. A 2010. évihez mérhető téli – kora tavaszi belvíz átlagosan öt-hat évenként fordul elő, az ugyanezen évi késő tavaszi – nyári belvíz átlagos vízszatérési ideje viszont negyven év. Ennél súlyosabb nyári belvíz utoljára 1940-ben fordult elő! A 2010. évi összes elöntés, mivel a belvíz tavasszal és nyáron nem egészen ugyanott keletkezett, mintegy 270 000 hektárra tehető. Az elöntések több mint fele szántó-, azon belül nagyobb részt vetésterületet sújtott. A téli – kora tavaszi belvizet – a kiadós előkészítő csapadékok után – esővel kísért hóolvadás, a késő tavaszi – nyári belvizet a több hullámban ismétlődő rendkívül heves májusi–júniusi esőzés váltotta ki.

A Kárpát-medencében a következő néhány évtizedben várható regionális éghajlatváltozás hatására, bár a vizsgálatok határozott melegedést és éves átlagban mérsékelt csapadéksökkenést prognosztizálnak, a belvízképződés természeti feltételei lényegesen nem javulnak, sőt, a nagycsapadékos napok számának növekedése miatt – elsősorban a nyári időszakban – a helyzet még romolhat is. A belvízi kockázat csökkentése érdekében a belvízvédelmi rendszerek régóta halogatott felújítása, esetenként jelentős fejlesztése javasolható, mégpedig a mezőgazdasági-üzemi (meliorációs), a települési és a nagytársági feladatok tudományosan megalapozott és összehangolt stratégiai programja alapján.

A 2010. esztendőt Magyarországon a természeti csapások: az özönvízszerű esőzések, szélviharok, jégverések, súlyos árvizek és belvizek éveként fogják számon tartani, de lehet, hogy az idén aszály is lesz, hiszen e dolgozat kéziratának lezárása (2010. július 30.) után augusztusban a július közepéhez hasonló csapadékszegény időszak és kánikulai hőség is előfordulhat. Az ez évi különleges időjárás és vízjárás éghajlat-változási nézőpontból is megkülönböztetett figyelmet érdemel, mert – amint arra az ún. VAHA-

VA-jelentés is rámutatott – Magyarországon „...egyaránt fel kell készülni aszályra, belvízre, árvízre, fagykárokra, jégverésre, helyi özönvizekre, zivatarokra, ezekből eredő katasztrófákra, pontosabban azok lehetséges megelőzésére, a károk csökkentésére, helyreállításra, a jogszabályi háttér és a kártérítés lehetőségeinek megteremtésére” (Láng – Csete – Jolánkai, 2007, 110. old.).

Az alábbiakban a 2010. évi belvíz kialakulásának körülményeit, okait és főbb jellemzőit vázoljuk föl, majd a korábbi belvizekkel

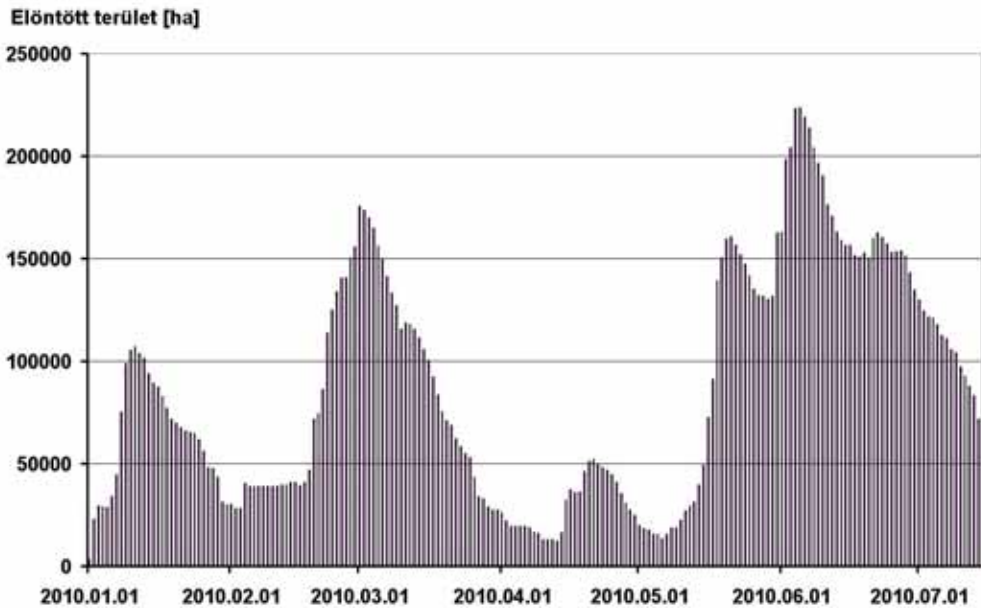
való összehasonlítás segítségével egy rövid hidrológiai értékelést adunk.

A mezőgazdasági területeken a belvízi elöntések a kiadós esőzések hatására már az előző, 2009. év végén (novemberben és decemberben) többfelé megjelentek, de a belvíz nagyobb területeket csak 2010 januárjától kezdve borított el (Iványi, 2010). Ebben az évben téli–tavaszi és – szokatlan módon – súlyos nyári belvíz is kialakult. A környezetvédelmi és vízügyi igazgatóságokon fölmért, a *Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság* által összesített elöntési adatok (1. ábra) azt mutatják, hogy a téli–tavaszi időszakban három belvízhullám alakult ki, melyek közül a hóolvadásból és egyidejű esőzésből kialakuló középső árhullám volt a legnagyobb: ez március 1-jén tetőzött, amikor egyidejűleg 175 ezer hektár volt víz alatt. A nyári belvízi elöntések május közepén egy mediterrán ciklon által keltett

intenzív esőzések nyomán ugrásszerűen alakultak ki. Az egyre növekvő vízborított terület – némi visszaesés után – a május végén és június legelején meg-megújuló esőzések következtében június 4-5-én tetőzött, amikor egyidejűleg 223 ezer hektárt borított belvíz. Az ezt követő apadási hullám június utolsó dekádjában kissé megtört, de július elején az elöntések határozott csökkenése folytatódott. Az elöntések július vége felé – főként a Felső-Tisza vidéki kiadós esőzések hatására – megújultak, s valószínűleg mindenütt csak augusztusban fognak megszűnni.

A súlyos belvízhelyzet enyhítésére mind a 12 környezetvédelmi és vízügyi igazgatóság és sok vízgazdálkodási társulat is belvív-védekezési készütséget rendelt el. A belvízi lefolyás, illetve az elvezetett és a folyóba juttatott belvíz mennyisége időbelileg az elöntéshez hasonlóan, de kiegyenlítetebben alakult. A június végéig elvezetett víz-

1. ábra



A belvízzel elöntött terület naponkénti változása Magyarországon
2010. január 1. – július 14. között

Forrás: VKKI

mennyiség összesen mintegy 3 milliárd m³ volt, melynek kb. felét – a folyókon levonuló árhullámok miatt – szivattyúsán kellett a folyókba emelni. Az összegyűlt belvizeknek kevesebb mint 10%-át lehetett tározókban elhelyezni. A mezőgazdasági területeken kívül a települések belterületén is keletkeztek belvízi elöntések. A belterületek mentesítése céljából június elején 133 önkormányzat rendelt el belvív-védekezési készültséget (Iványi, 2010; VITUKI – ATIKÖVIZIG, 2010).

Régi tapasztalat, hogy a belvízképződést befolyásoló sok tényező közül döntő súlya általában a csapadéknak van, mégpedig egy-

részt az ún. előkészítő csapadéknak, mely egyes esetekben többéves nedvességfelhalmozódással jár, és a talajvízszint fokozatos megemelkedését idézi elő, másrészt a belvizet közvetlenül kiváltó csapadéknak (Salamon, 1955; Orlóczy – Schlegel, 1967). Az idei téli–tavaszi belvív előkészítő csapadéknak tekinthető a 2009. év utolsó három hónapjának kiadós csapadékai, amelyek mintegy kiegyensúlyozták a 2009. évi száraz nyári csapadékhiányát, és jórészt telítették a talajt. A kiváltó csapadék a 2010 januárjában és februárjában a 15-20 cm vastag hóban tárolt vízkészletből és az olvadással egyidejű csapadékból tevődött össze (VITUKI – ATIKÖVIZIG, 2009/2010). A nyári belvizet ez az igen nedves téli–tavaszi időszak készítette elő, és a május közepétől június elejéig több hullámban érkező nagyintenzitású, az ország jelentős részére kiterjedő esők váltották ki. A novembertől júniusig terjedő időszak havi csapadékösszegeinek sokévi átlagát és 2009/2010. évi értékeit, valamint a köztük lévő eltéréseket Magyarország síkvidéki területére vonatkozóan – mintegy 50 meteorológiai állomás adataiból számítva – az 1. táblázatban közöljük.

1. fotó



Belvízi elöntés a Fehértó–Majsai főcsatorna mentén Balástya térségében (Csonrad megye), 2010. március 14-én

Fotó: Priváczkiné Hajdú Zsuzsa

2. fotó



Belvízi elöntés Makó határában, 2010. június 23-án

Fotó: Priváczkiné Hajdú Zsuzsa

1. táblázat

A havi csapadékösszeg sokévi átlagai, 2009/2010. évi értékei és az eltérések Magyarország síkvidéki területén novembertől júniusig

Hónap	Havi csapadék-összeg sokévi átlaga mm	Havi csapadék-összeg 2009/2010-ben mm	Eltérés mm
November	46	82	+36
December	43	57	+14
Január	30	46	+16
Február	29	57	+28
Március	30	18	-12
Április	46	63	+17
Május	58	168	+110
Június	70	104	+34
Összesen	352	595	+243

Forrás: OMSZ

Látható, hogy a vizsgált időszakban március kivételével minden hónapban a sokévi átlagnál több csapadék hullott. Különösen kiugró a május havi 110 mm-es többletcsapadék. Ezzel kapcsolatban *Móring Andrea*, az *Országos Meteorológiai Szolgálat* éghajlati szakértője egyik országos lapunknak úgy nyilatkozott, hogy „az elmúlt 110 év legesősebb májusán vagyunk túl, az éves csapadékátlag kb. egyharmadának megfelelő mennyiségű eső esett az elmúlt hetekben” (*MTI/METROPOL*, 2010). A májusi időjárás rendkívüliségét tovább növelte, hogy június legelső napjaiban is folytatódott az intenzív csapadéktevékenység: e hónap első három napján országos átlagban mintegy 20-30 mm csapadék hullott.

A nagy mennyiségű megelőző csapadék nemcsak a felső talajrétegek telítődését idézte elő, de bizonyos időeltolódással a talajvízszint jelentős emelkedéséhez is hozzájárult. A talajvízszint a 2007–2009 közötti viszonylag száraz és meleg években általában a sokévi átlagos szint alatt helyezkedett el az Alföldön, ez belvízképződési szempontból kedvező körülménynek tekinthető, de 2010-ben megváltozott a helyzet, és általános talajvízszint-emelkedés következett be (*VITUKI – ATIKÖVIZIG*, 2009/2010). Ezt illusztrálják pl. a hódmezővásárhelyi talajvízkút észlelési adataiból meghatározott havi közepes talajvízszintek (2. táblázat). Ebben a térségben 2009 novemberétől 2010 júniusáig kb. 2 métert emelkedett a talajvíz szintje, s júniusban már közel 1 méterrel a sokévi átlagos szint fölött volt. A szokatlanul magas nyári talajvízszint nagyban hozzájárult ahhoz, hogy a belvízi elöntések tartósan fennmaradjanak, s ez a körülmény nehezítette, helyenként lehetetlenné tette a víztelenítési és agrotechnikai munkálatokat.

A nyári belvízhelyzet súlyosságát tükrözi *Tóth Istvánnak*, a *Mezőgazdasági Szövetkezők és Termelők Országos Szövetsége* (MOSZ) titkárnak a június végi választmányi ülésről szóló beszámolója, mely szerint „a gazdálkodókat ért veszteségek hatalmasak, közel 200 ezer hektárt borít a víz, 150

2. táblázat

A havi közepes talajvízszint sokévi átlagai, 2009/2010. évi értékei és az eltérések a hódmezővásárhelyi 002318 sz. észlelőkútban novemberből júniusig

Hónap	Havi közepes talajvízszint a terep alatt		Eltérés
	sokévi átlag cm	2009/2010 cm	
November	307	364	-57
December	297	364	-67
Január	289	303	-14
Február	272	288	-16
Március	256	235	+21
Április	243	227	+16
Május	238	218	+20
Június	245	149	+96

Forrás: ATIKÖVIZIG

ezer hektáron pedig túlnedvesedett a talaj. Idén megközelítőleg 90 ezer hektáron már nem lehet vetni, a beérett árpát pedig sok helyütt nem lehet betakarítani, mert elakadnak a sárban a munkagépek. Az ár- és belvízkárokat, a jégverés és a viharkárokat eddig az agrárterületek mintegy 20 százalékát károsították meg.” (*Dénes*, 2010)

A csapadék mennyisége és időbeli eloszlása mellett a belvízképződést a hőmérséklet alakulása és ezen keresztül a párolgási viszonyok befolyásolják lényegesen. E tekintetben a tárgyalt 2009/2010-es időszak nem volt különleges, a havi középhőmérsékletek a sokévi átlagtól lényegesen nem tértek el. Január és február első fele az átlagosnál hidegebb volt, de belvízképződési szempontból hátrányos mély talajfagy nem alakult ki, viszont a február második felében bekövetkezett erőteljes fölmelegedés a hó olvadását siettetette (*VITUKI – ATIKÖVIZIG*, 2009/2010).

Az idej belvíz egyik különlegessége abban van, hogy a szokásos nagyobb nyári esőzések most nem júniusban vagy júliusban, hanem – igen nagy intenzitással – már május közepétől kezdve sorozatosan következtek, tehát olyan időszakban, amikor a talajból és a növényzeten keresztül még nem tudott annyi víz elpárologni, mint később, a nyár derekán.

3. táblázat

A 2010. évi téli–tavaszi és nyári belvívelöntési maximumok KÖVIZIG-enként

KÖVIZIG	Téli–tavaszi elöntés ha	Nyári elöntés ha
Észak-Dunántúli (Győr)	0	11 067
Közép-Duna völgyi (Budapest)	3 100	6 950
Alsó-Duna vidéki (Baja)	13 393	12 769
Közép-Dunántúli (Székesfehérvár)	300	12 130
Dél-Dunántúli (Pécs)	220	864
Nyugat-Dunántúli (Szombathely)	620	540
Felső-Tisza vidéki (Nyíregyháza)	13 400	28 100
Észak-Magyarországi (Miskolc)	18 330	31 815
Tiszántúli (Debrecen)	20 600	27 850
Közép-Tisza vidéki (Szolnok)	46 100	29 550
Alsó-Tisza vidéki (Szeged)	43 600	55 050
Körös vidéki (Gyula)	20 163	14 060
Összesen	179 826	230 745

Forrás: VKKI

Kutatási eredmények szerint pl. a kukorica és több kertészeti növény potenciális evapotranszpirációja májusban a júniusi értéknek általában a felét sem éri el (*Varga-Haszonits et al., 2006, 69. old.*).

A belvízi elöntés és előidézõ okai időbeli változásának áttekintése után ejtsünk néhány szót ezek területi eloszlásáról. A téli–tavaszi és a nyári belvízi elöntések környezetvédelmi-vízügyi igazgatóságokénti legnagyobb értékeit összefoglalóan – a VKKI összeállítása (*Iványi, 2010*) nyomán – a 3. táblázatban mutatjuk be.

Az elöntések zõme, amint az általában lenni szokott, a legnagyobb síkvidéki területtel rendelkező és belvízzel leginkább veszélyeztetett Tisza-völgyi igazgatóságok területén alakult ki. Az évszakos elöntési maximumok közül a legtöbb igazgatóságnál a nyári maximum a nagyobb, de néhány esetben, pl. a Közép-Tisza és a Körösök vidékén, a téli–tavaszi időszakban volt több az elöntés. Mivel a belvívelöntési hullámok tetõzése igazgatóságoként néhány napos eltolódással következett be, az igazgatósági maximumok 3. táblázatbeli összege – mind a téli–tavaszi, mind a nyári időszakban – valamivel nagyobb, mint a napi adatok összesítésével nyert, s az 1. ábra kapcsán már

említett egyidejű legnagyobb téli–tavaszi, illetve nyári elöntés. Még nagyobb elöntési végeredményt kapunk, ha a 3. táblázat adatait nem évszakonként összesítjük, hanem az adatokat az igazgatóságokénti nagyobb értéket választva adjuk össze. Ilyen módon az elöntött összes terület 254 102 hektárra adódik. Az év folyamán víz alatt volt összes terület föltehetően még ennél is nagyobb lehetett, mivel az egyes belvízhullámokban kialakult elöntések nem feltétlenül fedték le egymást. Ezért a 2010-ben (július 30-ig) Magyarországon belvízzel elöntött összes terület mintegy 270 000 hektárra becsülhető. Ennek pontosabb meghatározása részletes elöntési térképek ismeretében volna lehetséges.

A belvízi elöntés területi eloszlásának vizsgálatához kapcsolódva a 2. ábrán a 2009. november 1. – 2010. február 28. közötti négyhónapos időszak csapadékösszegének területi eloszlását, a 3. ábrán pedig a 2010. május 4. – június 3. közötti 31 napban lehullott csapadék területi eloszlását mutatjuk be. A két ábra, a Közép-Tisza vidék keleti része és a Körös vidék kivételével, meglepő hasonlóságot mutat, vagyis a május–júniusi rendkívüli nagy csapadék nagyjából ugyanazokban a térségekben hullott le, mint a november–

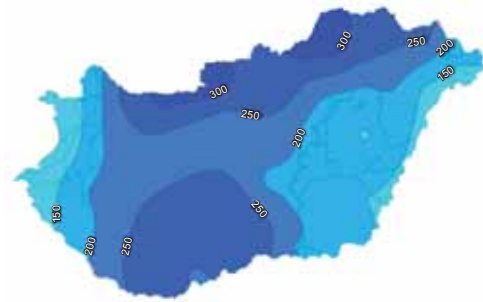
2. ábra februári csapadék. Feltűnő, hogy a késő tavaszi – kora nyári 31 napos időszak alatt Észak-Magyarországon és a Dunántúl délkeleti, valamint a Duna–Tisza köze délnyugati részén ugyanannyi csapadék (250 mm-nél is több) hullott, mint a négyhónapos téli–tavaszi időszakban.



A 2009. november 1. – 2010. február 28. közötti csapadékösszeg területi eloszlása

Forrás: OMSZ

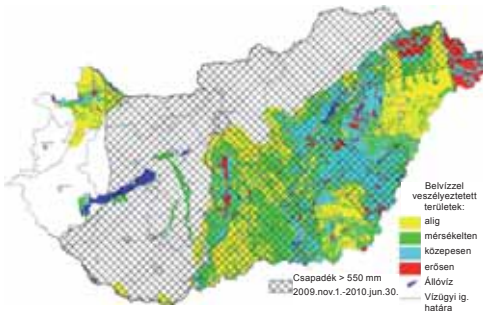
3. ábra



A 2010. május 4. – június 3. között lezuhalt csapadék területi eloszlása

Forrás: OMSZ

4. ábra



Magyarország belvív-veszélyeztetettségi térképe és az 550 mm-nél nagyobb csapadékösszegű terület

2009. november 1. – 2010. június 30. között

Forrás: OMSZ

Az egyes belvízrendszerekben (ezek általában 200-2000 km² nagyságú síkvidéki vízgyűjtő-egységek) a rendszer vízgyűjtő területéhez viszonyított maximális belvízelöntés nagy változatosságot mutat. Ez az arány a 2010. február–márciusi és a május–júniusi időszakban általában 2,5-10%-ot ért el, de több Tisza-völgyi belvízrendszerrel (Bodrogi, Taktaközi, Karcagi, Kurcai, Maros bal parti stb.) 10% feletti, míg a dunántúli és néhány Duna–Tisza közti rendszerrel 2,5% alatti értékekkel találkozunk (VITUKI – ATI-KÖVIZIG, 2009/2010). Ha a belvízrel előntött terület kiterjedését nem a teljes vízgyűjtő területéhez, hanem annak mezőgazdaságilag művelt részéhez viszonyítjuk, akkor az előző százalékos értékek közel kétszeresével számolhatunk.

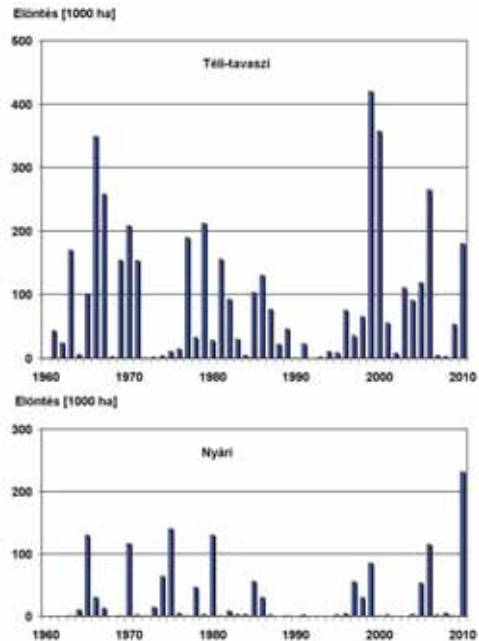
Külön kérdés, hogy mekkora lehet a károsodott összes terület és a belvízkár? Ehhez támpontot nyújt az előntött terület művelési ágak szerinti megoszlása, amely szerint a 2010. évi összes előntés mintegy 55%-a szántóterület (ezen belül nagyjából részét vesztés), 45%-a pedig rét-legelő és egyéb művelési ágba tartozik. A károsodás mértékét az előntés időszaka és tartóssága lényegesen befolyásolja. A tapasztalat és különböző vizsgálatok szerint a téli–tavaszi időszakban két-három hetes tartósság, a nyári időszakban már rövidebb idejű vízborítás után jelentős belvízkárok (termesztési károk, közvetett károk, környezeti károk) következnek be, de nemcsak a nyílt vízborítású területek, hanem az erősen túlmedvesedett, teljesen átázott területek is károkhoz vezethetnek (Kiss – Oroszlány – Vajdai, 1981, 80-109. old.). A belvízkárok „forintosítása” nem egyszerű feladat, e kérdéssel bővebben nem is kívánunk most foglalkozni, csupán megemlítjük, hogy a 2010. évihez hasonló méretű 2006.

évi belvíz kárösszegét – a belterületi károkkal és a védekezési költségekkel együtt – 35 milliárd Ft-ra becsültük (Pálfai, 2006, 2008). 2006-ban viszont nem a nyári, hanem a téli-tavaszi belvízborítás dominált, ami viszonylag kevesebb kárt okozott, ezért a 2010. évi belvízkárt határozottan nagyobbra becsülhetjük, mint a 2006. évit.

A 2010. évi belvízi elöntések és belvízkárok területi eloszlásának elemzésekor a csapadéktérképek mellett az ún. belvíz-veszélyeztetettség térképet (Pálfai, 2004, I. melléklet) is érdemes szemügyre venni és a csapadékeloszlással összevetni. A 4. ábrán közölt belvíz-veszélyeztetettség térképen azt a leginkább csapadékos zónát tüntettük fel sraffozással, ahol a 2009. november 1. – 2010. június 30. közötti 8 hónapos csapadékösszeg 550 mm feletti volt. Ez hozzávetőleg a teljes évi összeg sokévi országos átlagának felel meg. Ez a nagymennyiségű csapadék jórészt lefedi Magyarország síkvidéki, belvízzel különböző mértékben veszélyeztetett területeit, de kimarad belőle a Kisalföld jelentős része és a Tiszántúl északkeleti és délkeleti részének egy-egy része is, bár az említett tájak is igen csapadékosak voltak. A legtöbb csapadékot (650 mm-nél is többet) a szóban lévő időszakban Észak-Magyarországon, valamint a Dunántúl délkeleti részén és a Duna-Tisza köze délnyugati részén mérték, tehát olyan területeken, amelyek zömében nem tartoznak a belvízzel leginkább veszélyeztetett térségek közé. Ha a legcsapadékosabb zóna valamivel keletebbre húzódott volna, akkor összességében még nagyobb belvízi elöntés alakul ki.

A 2010. évi belvíz előfordulási valószínűségének meghatározása céljából – az 1961–1985 időszakra vonatkozó évszakos kimutatásunkat (Pálfai, 2004, 110. old.) további adatokkal (Váradi, 2000; Szlávik, 2003; Pálfai, 2006, 2008; Varga, 2008; VITUKI – ATIKÖVIZIG, 2007–2009) kiegészítve – összeállítottuk és az 5. ábrán bemutatjuk a téli-tavaszi és a nyári belvízi elöntés 1961–2010 közötti ötven éves országos adatsorát.

5. ábra



A téli-tavaszi és a nyári belvízi elöntés Magyarországon 1961–2010 között

A néhány évnél hiányzó vagy kétséges adatot hidrológiai becsléssel pótoltuk, illetve javítottuk.

Szembeötlő, hogy a téli-tavaszi belvíz sokkal gyakoribb és általában nagyobb területet önt el, mint a nyári. A vizsgált időszakban pl. 100 000 hektárnál nagyobb téli-tavaszi elöntések a következő években fordultak elő: 1963, 1965, 1966, 1967, 1969, 1970, 1971, 1977, 1979, 1981, 1985, 1986, 1999, 2000, 2003, 2005, 2006 és 2010, míg a hasonló nagyságrendű nyári belvizek évei: 1965, 1970, 1975, 1980, 2006 és 2010. A fősorolásból látható, hogy 1965-ben, 1970-ben, 2006-ban és 2010-ben téli-tavaszi és nyári belvöz egyaránt volt. A téli-tavaszi belvizek közül 200 000 hektárnál is nagyobb elöntést okozott az 1966, az 1967, az 1970, az 1979, az 1999, a 2000 és a 2006. évi belvöz, a nyáriak közül viszont ezt a határt csak a 2010. évi lépte túl!

Az ötvenéves adatsorral elvégzett eloszlásvizsgálatok alapján azt mondhatjuk, hogy a 2010. évi 180 000 hektáros téli–tavaszi belvíz előfordulási valószínűsége 18%, azaz átlagos visszatérési ideje öt-hat év, míg a 230 000 hektáros nyári belvízé kb. 2,5%, vagyis átlagosan negyvenévenként fordul elő, tehát rendkívülinek minősíthető! Ezt alátámasztja az is, hogy ehhez hasonló méretű nyári belvíz hazánkban a XX. században csak egyszer: 1940-ben fordult elő (*Trummer, 1945; Pálfi, 2004, 43–49. old.*). Végül a 270 000 hektáros évi összes elöntés előfordulási valószínűsége – az 1951–2006. évi adatok eloszlásvizsgálata szerint (*Pálfi, 2006*) – 10%, átlagos visszatérési ideje tíz év.

A 2010. évi belvíz hidrológiai értékelése kapcsán jogosan vehető föl a kérdés, hogy az éghajlatváltozás miképpen változtathatja meg Magyarországon a belvízviszonyokat, illetve tágabb értelemben a talajnedvességviszonyait? Erre vonatkozóan már az 1990-es években különféle vizsgálatokat végeztek, s többek közt arra a következtetésre jutottak, hogy a nyári félévben a talajnedvesség számottevően csökkenni fog, előbb mérsékelt, majd később erőteljesebben növekedhet, kompenzálva így a nedvesség nyári csökkenését (*Mika – Németh – Dunay, 1993*). *Nováky (1995)* hatásvizsgálatai szerint a téli középhőmérséklet 1-2 °C-os növekedése és a téli csapadék 5-10%-os csökkenése esetén a tél végi – tavasz eleji belvizek 15-30%-os mérséklődése valószínűsíthető, de ez nem feltétlenül zárja ki akár az eddigi legnagyobbat is meghaladó belvíz megjelenését. Az 1999. és a 2000. évi rendkívüli téli–tavaszi belvíz rövidesen igazolta ezt az óvatosságot. Az ezredforduló körül a hazai készítésű éghajlati forgatókönyvek a globális melegedés 0,3–1,0 °C közötti tartományában az országhatáron belül a csapadéknak a téli hónapokban kisebb növekedésével, a nyári félévben nagyobb csökkenésével számoltak. Ezt figyelembe véve – jóllehet a párolgás is növekszik és csökken a talajfagy-

veszély – a téli–tavaszi belvizek növekedése következhet be (*Nováky, 2000*).

A VAHAVA-jelentés (*Láng – Csete – Jolánkai, 2007*) a belvizekkel kapcsolatban – *Harkányi Kornél* megfogalmazásában – úgy foglal állást, hogy „a belvízvédekezés vízgazdálkodási feladatainak távlati stratégiáját az éghajlatváltozás alapvetően nem befolyásolja, továbbra is fel kell készülni tél végén, tavasz elején szélsőséges belvizek kialakulására. A belvízvédelmet sokkal inkább befolyásolja a területhasználat alakulása, ezért a belvízvédekezés és a területhasználat fejlesztését egymással szoros összefüggésben célszerű végezni.” Ezzel lényegében ma is egyet lehet érteni, a 2010. évi tapasztalatok alapján azonban egy olyan kiegészítő megjegyzés kívánkozik ide, mely a nyári belvizek nagyságának és gyakoriságának esetleges növekedésére hívja fel a figyelmet.

Újabbán egyre több jel mutat arra, hogy a Kárpát-medencében néhány éghajlati paraméternek, így a 20 mm-nél nagyobb csapadékú napok számának is növekvő a tendenciája (*Bartholy – Pongrácz, 2005*), ezek a nagycsapadékok pedig leginkább a nyári hónapokban fordulnak elő. A legújabb szimulációs vizsgálatok (*Bartholy – Pongrácz – Torma, 2010*) alapján a 2021–2050 közötti időszakban is az ilyen jellegű szélsőségek növekedésére lehet számítani. Mindemellett az aszályok gyakorisága és erőssége is növekedhet, mert a száraz napok száma is nőni fog.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány elkészítéséhez szükséges egyes adatok rendelkezésre bocsátásáért *Iványi Krisztinának* (VKKI), *Priváczkíné Hajdú Zsuzsának* (ATIKÖVIZIG) és az ATIKÖVIZIG Vízarjai Csoportja munkatársainak, az adatok feldolgozásáért és az ábrák szerkesztéséért *Herceg Árpádnak* tartozom hálálal köszönettel.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. (2005): Néhány extrém éghajlati paraméter globális és a Kárpát-medencére számított tendenciája a XX. században. „AGRO-21” Füzetek, 40. sz. 70-93. pp. (2) BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. – TORMA Cs. (2010): A Kárpát-medencében 2021–2050-re várható regionális éghajlatváltozás REGCM-szimulációk alapján. „KLÍMA-21” Füzetek, 60. sz. 3-13. pp. (3) DÉNES Z. (2010): Köddé vált búzahegyek. Magyar Nemzet, 2010. június 30. (4) IVÁNYI K. (2010): Összefoglaló tájékoztató a 2009. december 25. – 2010. június 25. közötti időszak belvízi eseményeiről. Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság (5) KISS K. – OROSZLÁNY I. – VAJDAI I. (1981): Gazdálkodás belvizes területeken. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 146 p. (6) LÁNG I. – CSETE L. – JOLÁNKAI M. (szerk., 2007): A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 220 p. + melléklet (7) MIKA J. – NÉMETH P. – DUNAY S. (1993): A felszín – légkör rendszer energia- és vízmérlegének regionális modellezése. OMSZ. Beszámolók az 1990-ben végzett tudományos kutatásokról, Budapest (8) MTI/METROPOL (2010): A víz az úr. Metropol, 2010. június 2. (9) NOVÁKY B. (1995): A regionális klímaváltozás hidrológiai hatásai az Alföldön. Vízügyi Közlemények, 3. füzet, 287-313. pp. (10) NOVÁKY B. (2000): Az éghajlatváltozás vízgazdálkodási hatásai. Vízügyi Közlemények, 3–4. füzet, 418-444. pp. (11) ORLÓCZI I. – SCHLEGEL O. (1967): Jelentősebb belvízvédekezéseink összehasonlító értékelése. Vízügyi Közlemények, 1. füzet, 51-71. pp. (12) PÁLFAI I. (2004): Belvizek és aszályok Magyarországon. Hidrológiai Tanulmányok. Közlekedési Dokumentációs Kft., Budapest, 492 p. + 2 melléklet (13) PÁLFAI I. (2006): Belvízgyakoriság és belvízkárok Magyarországon. Hidrológiai Közöny, 5. sz. 25-26. pp. (14) PÁLFAI I. (2008): A 2006. évi belvíz kialakulásának okai és sajátosságai. Hidrológiai Közöny, 5. sz. 1-6. pp. (15) SALAMIN P. (1955): Belvízgazdálkodás. Építőipari Műszaki Egyetem Tudományos Közleményei, I. kötet, 3. sz. 3-36. pp. (16) SZLÁVIK L. (2003): Az ezredforduló árvizeinek és belvizeinek hidrológiai jellemzése. Vízügyi Közlemények, 4. füzet, 547-565. pp. (17) TRUMMER Á. (1945): Az 1940–42. évi vízmentesítési munkálatok. Vízügyi Közlemények, 1-4. sz. 28-42. pp. (18) VARGA GY. (szerk., 2008): Magyarország vízkészleteinek állapotértékelése 13. A 2005. évi változások és az értékelések újabb eredményei. VITUKI Kht., Budapest (19) VARGA-HASZONITS Z. – VARGA Z. – LANTOS Zs. – EENZSÖLNÉ G. E. (2006): Az éghajlati változékonyság és az agroökoszisztémák. Nyugat-Magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Matematika-Fizika Tanszék, Mosonmagyaróvár, 410 p. (20) VÁRADI J. (2000): A vízkárelhárítás megosztott szerepköre. Országos Belvízvédelmi Konferencia 2000. Előadásainak anyagai. Gyula, 17-55. pp. (21) VITUKI – ATIKÖVIZIG (2007–2009): Integrált Vízháztartási Tájékoztató és Előrejelzés. VITUKI Kht. – Alsó-Tisza vidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, Budapest–Szeged (22) VITUKI – ATIKÖVIZIG (2009/2010): Integrált Vízháztartási Tájékoztató és Előrejelzés. VITUKI Kht. – Alsó-Tisza vidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság, Budapest–Szeged

A MEZŐGAZDASÁGI VÍZGAZDÁLKODÁS HELYZETE, KILÁTÁSAI

BIRÓ SZABOLCS – CZINEGE ISTVÁN

Kulcsszavak: édesvíz, csapadék, vízgyűjtő, gazdálkodás, EU.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A XXI. század egyik stratégiai természeti kincse az édesvíz, ezért e kincssel jó gazda gondosságával szükséges bánni. Magyarország felemelkedése többek között azon is múlik, hogy miként gazdálkodnak a meglévő vízkészletekkel, hogyan óvják és hasznosítják (újra) a vizeket. A VAHAVA-jelentés szerint az átlagos globális hőmérséklet emelkedik, a csapadék időbeni és térbeni eloszlása és intenzitása drasztikusan változik, ami eddig nem tapasztalt lokális árvizeket és belvizeket eredményezhet (lásd: 2010. évi belterületi előntéseket). Ismeretes, hogy hazánk vizei külföldről – jórészt a Kárpát-medencéből – érkeznek, ezért szükséges, hogy a vízgazdálkodásban valamennyi érintett ország közösen, felelősségvállalással, együttműködve vegyen részt. Hazánk az EU elvárásainak a Vízgyűjtő Gazdálkodási Terv szintjén összességében eleget tesz, de ez szerény vigasz a hazai mezőgazdasági vízfelhasználást illetően.

TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

Magyarországon tervszerű vízgazdálkodásról közel két évszázada lehet beszélni. A reformkor nagy alakjai nemcsak politikai, hanem konkrét gazdasági célok megvalósítását is előirányozták. A gazdasági célok között komoly szerepet töltött be a vízgazdálkodás, az addig megzabolázatlan folyók szabályozott mederbe terelése, az Alföld árvíz-veszélyeztetettségének mérséklése. 1845–46-ban készült el az „Általános Tisza Szabályozási Terv”, ami alapját képezte a Tisza szabályozásának. A 19. század végére már igényként jelentkezett a víz mezőgazdasági hasznosítása is, a vízgazdálkodás-korszerűsítés jogi kereteinek biztosítása. Így jött létre a Földművelésügyi – Ipar- és Kereskedelmi Minisztérium keretén belül *Kvassay Jenő* vezetésével 1879-ben a Kultúrmérnöki Hivatal. A Hivatal feladata a nem hajózható folyó- és patakrendezés, halászat, vízerő (vízenergia),

közegészségügy, vízműszaki felügyelet, talajjavítás, öntözés, belvízrendezés.

A II. világháború befejezését követően a vízügyi szolgálat önállóan működött. Komoly feladata volt a jelenlegi Magyarország területére kidolgozott Országos Vízgazdálkodási Keret (1954), melynek átdolgozása 1984-ben történt meg. Az Országos Vízügyi Hivatal és a Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium a mezőgazdasági vízgazdálkodás fellendítése érdekében sokáig eredményesen dolgozott együtt (Tisza – II FAO program), de később az új tárcák létrehozását követően a munkáknál esetenként átfedések, gyakran hiányosságok, nézeteltérések keletkeztek.

A JELENLEGI HELYZET

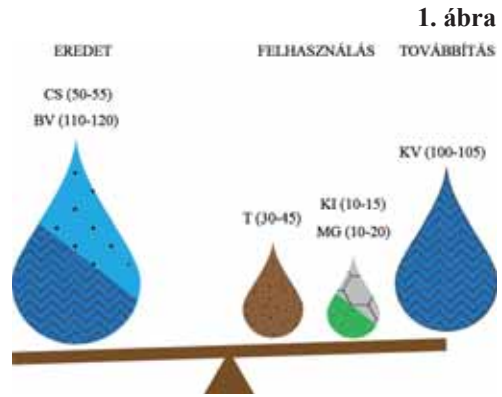
Magyarország komplex vízgazdálkodását az EU-tagságát megelőzően nemzetköz-

zi szerződések alapján önállóan irányította, ellenőrizte. Az EU-csatlakozást követően e helyzet gyökeresen megváltozott, mivel kötelezővé váltak az EU előírásai hazánk számára. Az EU Víz Keretirányelv (VKI) előírásait 2003 végéig be kellett építeni a nemzeti joganyagba, míg ezt követően el kellett készíteni a Vízyűjtő-gazdálkodási Terveket (VGT) a Duna vízgyűjtőjére, ezen belül a Duna, Tisza, Dráva, Balaton részvízgyűjtőjére is. A VGT elsősorban a tőlünk nyugatra fekvő, a környezetet nálunk lényegesen jobban szennyező országok igényeit és előírásait veszi figyelembe, és csak *érintőlegesen foglalkozik a mezőgazdasági vízgazdálkodással*.

Az időjárást elemezve *egyértelmű jelek mutatkoznak a szélsőséges időjárási helyzetekre* (árvíz, belvíz, aszály és télen komoly fagykár akár egy éven belül egyszerre is jelentkezhet), és e szélsőségek további növekedése várható. A mezőgazdasági vízgazdálkodásban az elmúlt húsz évben inkább visszalépés, mint előrehaladás tapasztalható. Az aszálykár évről évre növekedett, melynek mértéke esetenként elérte a 70 milliárd forintot, ezt meghaladó a 2010. évi belvízkárok mértéke (amit még meg sem lehet becsülni, akár 100 milliárdos értéket is jelenthet).

Évről évre *radikálisan csökken az öntözött terület nagysága, az öntözővíz-felhasználás*. 2008-ra az 1990. évi 470 millió m³ szántóföldi kultúrák öntözésére felhasznált víz mennyisége 137 millió m³-re csökkent, és a vízjogilag engedélyezett 200 ezer hektár területből 60-80 ezer ha az éves beöntözött terület. A területcsökkenéshez nagyban hozzájárul az is, hogy a *vízszolgáltatás piaci kategóriává vált*, az állam nem ad üzemeltetési támogatást, és a szolgáltatók sok esetben irreális árakon adják a vizet a felhasználóknak.

A *vízgazdálkodás rendszere „szétforgácsolódott”*, nincs összhang az egyes üzemeltetők között. A közel 100 ezer km hosszúságú vízhálózatból a belvizes csatornák teljes hossza 43,6 ezer km, míg a dombvidéki



Magyarország potenciális vízmérlege
(km³/év)

Megjegyzés: CS – csapadék; BV – beérkező vízhozam; T – talajban tárolható mennyiség; KI – kommunális és ipari felhasználás; MG – mezőgazdasági felhasználás; KV – kimenő vízhozam

Forrás: Goda, 1984 alapján saját szerkesztés

vízfolyások, patakok teljes hossza 57,0 ezer km. A vízfolyásokból KöVizIg kezelésű (kizárólagos állami tulajdonú) 12%, MgSzH vagyongazdálkodási társulati kezelésű 31%, önkormányzati tulajdon 9%, üzemi, magántulajdon pedig 43%. A sok kezelő és tulajdonos miatt nehéz a megfelelő karbantartás, melynek pénzügyi alapjai sem biztosítottak, ugyanakkor az irányítás és felügyelet kérdése sem egyértelmű. Komoly kivánnivalót hagy maga után a társulati és az állami kezelésű vízgazdálkodási művek állapota is.

Rendkívül *nehézkés és bonyolult a vízgazdálkodással kapcsolatos támogatási rendszer*, ahol a különböző tervek elkészítése, engedélyeztetése egy éven túli időtartamot is meghalad, ugyanakkor rendkívül magasak a kapcsolódó költségek. A KÖVIZIG-ek és MgSzH a legkülönbözőbb engedélyeket kérik be, ami szintén akadályozza a beruházások megvalósítását, vagy a kisebb gazdaságok esetében illegális beruházások megvalósítására „ösztönöz”.

A JÖVŐBENI CÉLOK ÉS ELKÉPZELÉSEK

A 2010 májusában megalakult a Vidékfejlesztési Minisztérium (VM), mely összefogja a mezőgazdaság, vízgazdálkodás, vidékfejlesztés és környezetvédelem feladatait. Ezzel megszűnik a tárcák közötti rivalizálás, és mód nyílik az 1900-ban megfogalmazott cél megvalósítására, amit *Kossuth Ferenc* határozott meg az 1900. évi XXXII. tv-ben: „Csak az állam lehet képes arra, hogy megfelelő lökést adjon az öntözés ügyének, s nagyon fontos a tervszerűség ebben a munkában.”

A szakirodalom megegyezik abban a kérdésben, hogy a XXI. század stratégiai alapanyaga az édesvíz lesz (a XX. században még az olaj volt), tehát e területen jelentős kapacitással rendelkezünk, feltéve, ha az EU-egyezmények keretében a határainkon túlról érkező vizek mennyiségét nem változtatják (1. ábra).

A vízkészlet megőrzése és gazdaságos felhasználása az alábbiak szerint képzelhető el:

– *A talaj* a legnagyobb vízbefogadó és víztározó, ezért a lehulló csapadékot minél nagyobb mértékben szükséges hasznosítani. Ehhez okszerű talajművelés, periodikus mélylazítás, a vízkapacitás növelése szükséges.

– *A teljes vízrendszer* (legyen az belterületi vagy külterületi) irányítását és felügyeletét állami kezelésbe kell adni, és a VM által irányítani. A VM-en belül önálló, EU kompetens főosztályt szükséges létrehozni, melynek feladata kifejezetten a mezőgazdasági vízgazdálkodás irányítása. A teljes vízgazdálkodás finanszírozási rendszerét át kell tekinteni.

– *Dombvidéki árvízcsúcs-csökkentő tározók* létesítésével (jelenleg öt dombvidéki tározó megépítéséről született döntés) csökken az alvízi területek veszélyeztetettsége, öntözési kapacitások alakulnak ki, a vonzó környezet, horgászat, vízi sportok eredményeként növekedhet a falusi turizmus. A belvízrendszer

kialakításánál pedig a mély fekvésű területeken akár oldaltározók kialakításával meg kell fogni a csapadékvizet, tárolni, és szükség szerint levezetni. Így a korábbi vízi élőhelyeket fel lehet éleszteni, és ideális környezetet teremteni mind a vízi világ, mind pedig a turizmus, rekreáció számára.

– *Kvassay Jenő* mondta már 100 évvel korábban, hogy „az öntözés ügye ... aluszik?”. *Vermes László* szerint a rendelkezésre álló víz és a talajok figyelembevételével Magyarországon 800 ezer hektár öntözhető, de ebből kívánatos lenne 300-500 ezer hektár öntözésre történő berendezése. *Ligetvári Ferenc* az öntözés területét hasonló mértékben javasolja növelni. Ehhez a szükséges vízkapacitás biztosított, de néhány esetben a főművek rekonstrukciója, illetve új főművek építése, a víztakarékos öntözésmódok elterjesztése mellett szükséges.

– *Komoly piackutatást* indokolt végezni annak érdekében, hogy mely kultúrák öntözését igényli a szakma. Jelenleg csak a hibridkukorica öntözéses termelése a stabil ágazat, de célszerű lenne több ágazatot bevonni a feltétlenül öntözendő kultúrák körébe (burgonya, csemegekukorica, kettős termesztés, ültetvények).

– *Célszerű átvizsgálni az EMVA előírásait* az ültetvények öntözése területén, valamint megteremteni az *összhangot a különböző támogatási rendszerek között*. Ajánlatos megvizsgálni a vízgazdálkodással kapcsolatos *beruházások engedélyezési* rendszerét, különböző földvédelemmel kapcsolatos előírásokat, ezek költségigényét. (Jelenleg egy tízhektáros gyümölcsöshöz a szakvélemény, az engedélyezés és tervezés költsége elérheti az egymillió forintot!)

– Fejleszteni szükséges mind a *szakmérnök*-, mind a *szakmunkásképzést*, mivel a korábbi szakemberek nyugdíjba vonultak, jelenleg vízgazdálkodási szakmérnökképzés a szükségesnél szerényebb mértékben történik, a technikus- és szakmunkásképzésről nem is beszélve.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

(1) FEJES L. – MARCZELL F. (2003): Kolossváry Ödön kultúr mérnök, a hazai öntözések ügyének egyik úttörője. Vízügyi Múzeum, Budapest (2) EGRÍ AGROBER KFT. (2008): A vízgazdálkodás integrálása a mezőgazdaságba EU – program hazai stratégiájának kidolgozása. Budapest (3) GODA L. (1984): Aszály-ankét. VITUKI, 1984. március 28. (4) IJAS I. (2008): Öntözés és Víz Keretirányelv. Szarvas (5) KVVM VÍZÜGYI ÉS KÖRNYEZETVÉDELMI KÖZPONTI IGAZGATÓSÁG (2009): A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása, Vízyűjtő-gazdálkodási Terv, A Duna-vízyűjtő magyarországi része (6) LÁNG I. – CSETE L. – JOLÁNKAI M. (szerk.; 2007): A globális klímaváltozás: Hazai hatások és válaszok. A VAHAVA jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest (7) VÁRALLYAY GY. (2003): A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Budapest (8) VERMES L. – SZÜCS I. (2008): A mezőgazdasági vízhasználat jogi szabályozásának aktuális kérdései. Szarvas (9) VITUKI (1975): Dombvidéki víztározók létesítése Magyarországon. Budapest

A GYÜMÖLCSTERMELÉS BIZTONSÁGA

SOLTÉSZ MIKLÓS – SZABÓ ZOLTÁN – NYÉKI JÓZSEF

Kulcsszavak: gyümölcsstermelés, biztonság, kockázat, feltételek, feladatok.

Stratégiai feladatok a magyarországi gyümölcsstermelés biztonságának növelésében:

1. Egyre fontosabb az optimális termőhelyek meghatározása és hasznosítása. Új alapokra szükséges helyezni a gyümölcskatasztereket. A helyi időjárási adatokra támaszkodva táblaszinten szükséges meghatározni az adott területeken a tervezett gyümölcsfaj termelését alapvetően befolyásoló extrém időjárási kockázatokat.

2. Az extrém időjárási hatások megelőzését szolgáló védelmi berendezésekről és technológiai megoldásokról táblaszinten, a rendelkezésre álló lehetőségek között a termelők döntenek, figyelemmel a megmentendő értékre és a védekezés költségeire.

3. A hazai gyümölcsstermő területek több mint kétharmada tartósan az alföldi területeken található, ezért kívánatos, hogy a termésbiztonság növelését szolgáló megoldások az alföldi területeken megkülönböztetett figyelmet kapjanak.

4. Világszerte erősödik a bio- és integrált gyümölcsstermelés pozíciója, amelyben az energia- és víztakarékos megoldások egyre nagyobb szerepet kapnak. A termésbiztonság növelésével kapcsolatos teendők egyben segíthetik a fenti termesztési módok magyarországi elterjedését.

5. A termelői összefogások, szakmaközi és érdekvédelmi szervezetek előmozdíthatják – ott, ahol szükséges és lehetséges –, hogy a közösségi védekezési módok is bevezetésre kerüljenek.

6. A társadalom érdekének megfelelően az állam, a kormányzati szervek lehetőleg sokoldalúan támogassák a hazai gyümölcsstermelés biztonságának növelését, különös tekintettel az extrém időjárási hatások elleni védelemre. Ezt az anyagi támogatáson kívül jogszabályi úton is indokolt elősegíteni. Nem szerencsés – hatékonysági megfontolásokból –, ha a támogatást csak egy fajta jégkárelhárításhoz vagy csak egy fajta fagyvédelmi megoldáshoz kötik.

7. Kiemelt figyelmet indokolt fordítani, és célzott támogatással előmozdítani a termésbiztonság növelését elősegítő innovációkat, mert csak így érhető el, hogy az extrém időjárási hatások megelőzésében, a károk mérséklésében sikerüljön lépést tartani hazánkban.

8. Az előbbieken felsorolt stratégiai feladatok sürgetőek a versenyképesség érdekében, mert más országokban már a termésbiztonság növelésére nagy gondot fordítottak, és komoly áldozatokat hoztak az extrém időjárási hatások káros következményeinek elkerülésére.

BEVEZETÉS

A termelésbiztonság nemcsak a gyümölcsstermelőket érinti, hanem közvetlenül vagy közvetve az egész nemzetgazdaságot, a társadalom minden tagját. A termelés biztonságát a gazdasági körülmények mellett leginkább az ültetvények termésbiztonsága befolyásolja. Ebben fontosak azok a lehetőségek, amelyek már az ültetvénylétesítéskor mérlegelhetők. Ide sorolható többek között a termőhely gondosabb megválasztása, a fajták kiválasztása, a művelési rendszer egyes elemeinek a kidolgozása, valamint a növényi kórokozók és állati kártevők összetételének várható módosulása. Bemutatjuk a termésbiztonságot leginkább veszélyeztető extrém időjárási hatások (téli és tavaszi fagy, jégeső, mennyiségben és/vagy időben extrém csapadék, túlzott hőmérséklet-emelkedés, extrém nap sugarzás) ellen alkalmazható megoldásokat. Részletesebben térünk ki az egyik legvitatottabb területre, a jégkárelhárítás lehetőségeire. Bemutatjuk az egyedi és közösségi jégvédelmi rendszereket, azok problémáit és alkalmazási feltételeit. Megvizsgáljuk a különféle extrém időjárási hatások elkerülésére alkalmas eljárások kombinálási lehetőségeit. Végül összefoglaljuk azokat a stratégiai célokat, amelyek mentén meghatározhatók a gyümölcsstermelés biztonságának növelése érdekében elvégzendő országos, regionális és üzemi feladatok.

A TERMELÉSBIZTONSÁG TÁRSADALMI HATÁSAI

A gyümölcsstermelés biztonságának növelése komplex feladat, és nemcsak a termelőket érinti, hanem közvetlenül a termékpálya valamennyi résztvevőjét, közvetve pedig a társadalom minden tagját. A biztonság más szempontból is összetett kérdés, hiszen egyaránt beleértendő az ültetvény rendszeres és kiegyenlített terméshozása évről évre, a termés mennyiségének és minőségének biztonsága az egyes években, az árukinálat kiszámít-

ható megbízhatósága, a frisspiaci és ipari nyersanyag-ellátás és a gyümölcsfogyasztás biztonsága, valamint a jövedelemtermelés és foglalkoztatás biztonsága. A biztonság ugyanakkor a termőföld és a vízkészletek megfelelő használatához, hazai tulajdonban való tartásához, illetve a természeti környezet védelméhez is kapcsolódik. A problémakör érinti a gazdabarat kárbiztosítási rendszerekkel szembeni igényt, az összefogáson alapuló közösségi kárenyhítési alapok hatékony működtetését, az országos és regionális meteorológiai adatszolgáltatást, valamint az előrejelző- és riasztórendszereket is.

A termésbiztonság növelésének hasznossága szűkebb és tágabb értelemben vizsgálható. Az előbbi az egyszerűbb feladat, mert közvetlenül csak a produktivitás és a minőség növelését kell összevetni a felmerülő költségekkel. A társadalmi hatékonyság megítélése nehezebb, s gazdasági mutatókkal nem is mindig támasztható alá (pl. a gyümölcsfogyasztásra, foglalkoztatásra gyakorolt hatás stb.).

A termelési biztonság határozott szerepet tölt be a globális gazdasági befolyásolás korlátozásában, a domináns lokális érdekek képviselésében.

A BIZTONSÁG KÖZVETLEN HATÁSAI A TERMELÉSBEN

A gyümölcsstermelés biztonsága szempontjából egyaránt kiemelt jelentőségű a faj- és fajtamegválasztás, a termőhely kijelölése, a művelési rendszer, a technológia, valamint az áruvá készítés és az értékesítés.

A termésbiztonságot leginkább az extrém időjárási hatások veszélyeztetik. A globális éghajlatváltozás legsúlyosabb következménye, hogy az extrém időjárási események gyakorisága és kiszámíthatatlansága megnőtt, s várhatóan ez a tendencia tovább erősödik. Erre különösen nagy gondot szükséges fordítani Magyarországon, amelynek területe az éghajlati zónák ütközőpontjába esik. Az extrém időjárási hatásokra akkor is nagy

gondot szükséges fordítani, ha azok rövid ideig, vagy csak egy-egy alkalommal jelentkezhetnek (téli és tavaszi fagy, gyümölcsérés előtti/közbeni esőzés stb.), de akkor is, ha azok huzamosabb ideig veszélyeztetik a biztonságos termelést (belvíz, jégeső, aszály, vihar, zivatarral kísért tartós esőzések, káros napsugárzás stb.).

A termésbiztonság az ültetvénylétesítéssel alapozható meg, hiszen ekkor dönthetnek arról, hogy a kiválasztott fajok, fajták részére milyen termőhelyet választanak.

A termésbiztonságot növelő védelmi rendszerek és technológiai megoldások akkor gazdaságosak általában, ha nagy értékű (nagy produktivitású, kiváló minőséget adó) ültetvényeknél alkalmazzuk, s a társadalmi figyelemnek, segítségnek is elsősorban ekkor van létjogosultsága.

Az extrém időjárás okozta károk megelőzésére szolgáló védelmi rendszereknél (jég-háló, jégágyú, eső elleni fóliatakarás, fagyvédelmi öntözés, szélgep stb.) az elhárított kár, a megmentett érték nagyságát szükséges összevetni a védelmi költségekkel. A védelmi beruházás megtérülésénél *Apáti (2010)* nyomán három gazdasági mutatót indokolt figyelembe venni: a jövedelem nettó jelenértéke; megtérülési idő; tőkearányos jövedelmezőség.

AZ EXTRÉM IDŐJÁRÁSI HATÁSOKAT ELLENSÚLYOZÓ LEHETŐSÉGEK AZ ÜLTETVÉNYLÉTESÍTÉS ELŐTT

A gyümölcsfajok igényeinek gondosabb összehangolása a termőhelyi adottságokkal

Magyarországon szinte mindegyik mérsékelt égövi gyümölcsfaj termesztendő, de jelentősen eltérő biztonsággal. A hazai versenyképes gyümölcsstermelés a biztonság szempontjából paradigmaváltásra szorul. A piaci igényeket és a termőhelyi lehetőségeket – a globális éghajlatváltozás várható ha-

tásaival is számolva – jobban összehangolva, csökkenteni indokolt a nagy felületen termelt gyümölcsfajok körét. Csak azoknak célszerű a nagyobb arányú telepítése, illetve fenntartása, amelyeknél gazdaságosan megoldható az extrém időjárás hatásokat elleni védekezés. Az áthághatatlan éghajlati korlátok miatt a következő gyümölcsöknél a jövőben sem várható a termelés bővülése, még a jelenlegi szint is nehezen tartható fenn: gesztenye; fekete ribiszke; áfonya és mandula.

Az éghajlatváltozással járó hőmérséklet-emelkedés ellenére nem bővül, inkább csökken a hazánkban biztonsággal telepíthető mérsékelt égövi gyümölcsfajok száma, mert a termesztetőséget nem az éves vagy vegetációs időszak alatti esetlegesen nagyobb átlaghőmérséklet határozza meg elsődlegesen, hanem az extrém időjárás események gyakoriságának és kiszámíthatatlanságának növekedése (*Soltész et al., 2004, 2008*). A termésbiztonságot veszélyeztető extrém időjárás hatásokat figyelembevétele nélkül megtévesztő lehet a hőmérséklet-emelkedéstől várható előnyök egyoldalú hangsúlyozása.

Varga-Haszonits et al. (2006) szerint az almanál – mivel nem a termesztetőség északi határán vagyunk – a hőmérséklet-emelkedés pozitívan hat a termésmennyiségre, különösen a szeptemberi magasabb hőmérséklet jár előnyökkel. A szerzők arra is utalnak, hogy azoknál a gyümölcsfajoknál, amelyeknél a termesztetőség északi határán vagyunk, a hőmérséklet-emelkedés nyomán kitolódik a vegetációs időszak, s így a későbbi szüretelésű fajták is biztonsággal beérnek.

Tőlünk északabbra lévő országokban (Szlovákia, Lengyelország) is arra számítanak, hogy hőigényes mérsékelt égövi gyümölcsfajnál (kajszi, őszibarack) a termesztetőség határa északabbra húzódik. Erre alapozva az elmúlt években jelentős telepítésekbe kezdtek, anélkül, hogy az extrém időjárás események miatti termelési kockázattal komolyabban számoltak volna. Csak hosszabb (több évtizedes) időszak után lehet majd megítélni, hogy a hőmérséklet-emelkedés nyomán valóban északabbra tolódik-e a

kajszi és őszibarack biztonságos termesztéségi határa, vagy pedig annak továbbra is jelentős határt szab a kiskokú termésbiztonság, amely a fenntarthatóság szempontjából fontosabb, mint a produktivitás és a gyümölcsök beérése.

Hasonlóan szükséges megítélni azt a véleményt is, miszerint a hőmérséklet-emelkedés két-három évtizeden belül olyan – szélesebb körű – termelési lehetőségeket eredményez több gyümölcsfaj (őszibarack, kajszi, japánszilva, mogyoró, mandula stb.) számára, mint amilyenek most a Földközi-tenger környékén található. Elképzelhető a gyümölcsfajok termesztésében bizonyos mértékű területi átrendeződés is, de sokkal inkább várható az, hogy Európa minden gyümölcstermő régiójában az extrém időjárási kár megelőzése kerül előtérbe a versenyképesség érdekében.

A nagyfokú területi átrendeződés ellen szól az is, hogy a globális éghajlatváltozás az adott régióban nem egy irányban módosítja a termőhelyi adottságokat. Ugyanazon a termőhelyen aszályos és csapadékos évszakok kiszámíthatatlanul válhatnak egymást, sőt, aszályos és erősen csapadékos időszakok éven belül is előfordulhatnak. A Föld történetében eddig előforduló nagy éghajlatváltozásoktól talán leginkább abban különbözik a mostani, hogy a szélsőséges időjárási hatások is kiszámíthatatlanul és gyorsan váltják egymást. Ebből a szempontból az éghajlati zónák találkozásánál lévő Kárpát-medence gyümölcsstermelése különösen veszélyeztetett helyzetben van. Míg a XX. században szinte kizárólag a téli és a tavaszi fagy jelentett nagy veszélyt a termésbiztonságra, jelenleg és a jövőben a többi extrém időjárási esemény (jég, eső, zivatar stb.) gyakoriságát és súlyát tekintve egyenrangúvá válik.

Az extrém időjárási események súlyának növekedését támasztja alá *Bartholy et al. (2010)* legújabb vizsgálata, amely szerint az évszázad második negyedében mind a csapadékintenzitás, mind az egymás utáni száraz napok száma általában nőni fog az ország területén. Mindkét tendencia a klíma szélsőségesebbé válását jelzi.

A kontinensek közötti piaci versenyt a jövőben várhatóan elsősorban azok a gyümölcsstermelő országok bírják, ahol a kiszámíthatatlan extrém hatások (fagy, jégeső) csak kismértékben veszélyeztetik a termésbiztonságot (pl. Törökország, Irán, Chile, Új-Zéland stb.), vagy pedig a produktivitás növelésével párhuzamosan felkészülnek ezek kivédésére is (pl. Olaszország, Németország, Spanyolország, Argentína, Franciaország, Lengyelország stb.).

A termésbiztonságot illetően nemcsak régiókban, nagytérségekben szükséges mérlegelni, hanem a kistérségekben is indokolt a kockázati tényezők, különösen az extrém időjárási események várható gyakoriságának vizsgálata. Az elmúlt évek tapasztalatai ugyanakkor azt mutatják, hogy több időjárási eseménynél (jégeső, zivatar, tartós esőzések, szélviharok) egyre kevésbé lehet területi kiszámíthatóságot figyelembe venni. A téli és tavaszi fagyok elkerülésénél viszont továbbra is kiemelt szerepe lesz a tengerszint feletti magasságnak, az ültetvény tájolásának, illetve környezetének (erdő, épület, hegy stb.). Az új alapokra helyezett gyümölcskatasztert ezért a fagykockázat szempontjából táblaszinten szükséges kidolgozni és figyelembe venni. Nagyon fontos követelmény, hogy a létesítendő ültetvény időjárási kockázatának kiszámításánál a helyi meteorológiai adatokra is támaszkodjanak.

Az éghajlatváltozást kísérő extrém időjárási hatások befolyásolják egyes termesztési módok elterjedését is. Az extrém száraz nyári területeken az almamoly elleni kilitástanlan védekezés a bioalma-termelés egyik legnagyobb gátja (*Kelderer, 2007*). A csonthéjas gyümölcsfajoknál viszont éppen az ilyen időjárás teszi lehetővé a biotermesztés kiterjedését. Jó példa erre az őszibarack és a kajszi biotermesztésének terjedése Dél-Olaszországban (Sziciliában) és Dél-Spanyolországban (Andalúzia, Murcia). Vegetációs időben kevés a csapadék, kicsi a levegő relatív páratartalma, ezért a biotermesztést leginkább veszélyeztető páraigényes kórokozók fertőzésére kicsi az esély. A vegetációs időszak

csapadékszegénysége jelentősen csökkenti a jégesők gyakoriságát is (Soltész et al., 2009).

Fajták megválasztásának szerepe a termésbiztonságban

A fajták kiválasztásánál célszerű arra törekedni, hogy tegyék lehetővé az extrém időjárási hatások kivédését. Ez a követelmény hatványozottan fontos azoknál a gyümölcsfajoknál, amelyeknél a természetesség éghajlati határán vagyunk (japánszilva, kajszli, őszibarack, málna, szeder, köszméte, piros ribiszke, dió, mogyoró). Ezeknél az alföldi termőhelyek kevésbé jönnek számításba, mint a hazánkban mindenütt elfogadható biztonsággal termesztető gyümölcsfajoknál (alma, körte, házi szilva, meggy, cseresznye, szamóca, fekete bodza, homoktövis, csipke-

bogyó stb.). Márpedig ezzel a korlátozó tényezővel komolyan szükséges számolni, mert a magyarországi gyümölcsstermő helyek több mint kétharmada az extrém hatásoknak jobban kitett alföldi területeken található. Ebben változás a jövőben sem várható. Hazánkban nincsen komolyabb lehetőség a domb- és hegyvidéki gyümölcsstermelés bővítésére, a versenyképesen biztonságos termelés feltételeit az alföldi területekre fókuszálva szükséges megoldani (Soltész et al., 2005a,b).

A fajták megválasztásánál egyre nagyobb figyelmet kapnak azok a tulajdonságok, amelyeknek közvetlenül vagy közvetve szerepük lehet a termésbiztonság fokozásában. Ezek az elvárások mindinkább a nemesítési munkában is érvényre jutnak. Az 1. táblázatban összefoglalt példák segítségével azt mutatjuk be, milyen sokoldalú tartalékokkal rendelke-

1. táblázat

Néhány példa az extrém időjárási károk előfordulását és nagyságát befolyásoló fajtatulajdonságokra, illetve nemesítési célokra

Extrém időjárási hatások	A kár megelőzését vagy mérséklését elősegítő fajtatulajdonságok
Téli fagykár	termőhelyi adottságokhoz igazodó mélynyugalom-kezdet és -időtartam, nagyobb fagyűrűs a mélynyugalomban, téli hőmérséklet-ingadozás túrése, kötött víz nagyobb aránya a szállítóedényekben, szárazságtűrűs, nagyobb rügysűrűség, szállító pályák regenerálódó képessége, törzs és vázágak világos kérge és kismértékű repedezettsége, rügpikkelyek megfelelő száma és szőrözöttsége
Tavaszi fagykár	virágok nagyobb hidegtűrése, veszélyes időszak utáni virágzási idő, korán virágzó gyümölcsfajoknál (csonthéjasok) különböző időben virágzó fajták, elhúzódó virágzás, nagyobb virágsűrűség, elhúzódó virágzást biztosító termővesszők (kajszli, alma), vegyes rügyek későbbi fakadása (dió), nagy terméskötődési hajlam, parthenokarpia (körte)
Nyári aszálykár	szállító pályákat is kimélő téli fagyűrűs, gyümölcsstermő növény kis vízigénye és jó vízhasznosítása, a levelek kedvező párologtatási együtthatója, a gyökerek jó vízfelvevő képessége, fejlett vízszállító edények, gyümölcsök mérettartása, kislökű kősejtképződés (körte és birs)
Túlzott napsugárzás káros hatása (alma)	hűvös, csapadékos termőhelyről származó fajta mellőzése ettől eltérő adottságú termőhelyeken (nemesítéskor szülőpartnerként is), vastagabb és kedvezőbb szerkezetű gyümölcshéj, kedvező héjviaszosság, ellenállóbb lenticellák, gyümölcsök nagyobb fajlagos sejtszáma
Eső okozta gyümölcsrepedés (cseresznye)	rugalmas és megfelelő vastagságú gyümölcshéj, kemény, de nem erősen ropogós gyümölcshús, esős időszakot elkerülő érési idő, korábbi szüret esetén is megfelelő gyümölcsminőség, erősen csapadékos termőhelyen kisebb cukortartalmú és kevésbé sötét héjú gyümölcsök, a fák nagyobb turgornyomást elviselő szállítóedényei
Szélkár	szabályos gyümölcsalak (körte), gyümölcsök elhelyezkedése szőlóban (alma, körte, őszibarack, kajszli, szilva), rövidebb gyümölcskocsány, kisebb terméshullási hajlam, termőrézshez erősebben kötődő kocsány, kocsányhoz erősebben tapadó gyümölcs

Forrás: Soltész et al., 2008b

zünk e téren is a biztonság növelésénél. Azt is célszerű megemlíteni, hogy bizonyos extrém időjárási eseményeknél (jégeső, zivatar, szélvihar stb.) alig számíthatunk kedvező fajtatulajdonságok kármérséklő szerepére, különösen olyan ismétlődő és súlyos esetekben, mint ami 2010-ben az ország több régiójában előfordult.

Célszerű hangsúlyozni, hogy a nagyobb piaci értéket képviselő fajtáknak (klubfajta, védett fajta, biotermesztésre alkalmasság, speciális érési idő, különleges igényeket kielégítő, illetve többféle hasznosításra alkalmas gyümölcs stb.) közvetve kedvező lehet a hatása a termelésbiztonság szempontjából, mert kisebb termései években is elfogadható bevételt biztosítanak, s jobban elősegíthetik a folyamatosságot. Másképpen fogalmazva: a terméshelybiztonság növelésének csak minőségi gyümölcsstermelésben van gazdasági értelme és haszna, különösen akkor, ha pótlólagos beruházási és technológiai költséggel jár.

A biztonság növelésének érvényesítése a művelési rendszerek kidolgozásánál

A művelési rendszertől nagymértékben függ, hogy végső soron milyen lehet az ültetvény produktivitása. A produktívitásnak azért van kiemelkedő szerepe, mert az extrém időjárási hatások elkerülését szolgáló védelmi berendezések és a kár enyhítését elősegítő készlethi technológiák gazdaságosságát alapvetően befolyásolja.

A művelési rendszeren belül egyaránt meghatározó az alany fajta, az ültetési anyag típusa, de a sorok iránya, tájolása, valamint a sor- és tőtávolság. A terméshelybiztonság szempontjából kiemelkedő jelentőségű a koronaforma és a termőfelület magassági elhelyezkedése. Ennél a különböző extrém időjárási hatások elleni védekezés tekintetében eltérő szempontok érvényesülnek.

A téli, de különösen a tavaszi kisugárzásos fagykár elkerülésénél a magas törzsű fák, a talaj felszínétől minél magasabban lévő koronaszint, illetve kialakított termőfelület jelent előnyt. Ezért a nagyobb termésbiz-

tonság áldozattal jár, mert az ilyen ültetvény produktivitása általában kisebb, de a hátrány főként a későbbi termőre fordulásban, a beruházás későbbi megtérülésében jelentkezik. Megjegyzendő azonban, hogy a nagyméretű fák szárazságtűrőse is kedvezőbb, ezért jobban elviselik az aszályos időjárást vagy az öntözés elmaradását. A nagyméretű fákkal kapcsolatban célszerű hangsúlyozni, hogy az extrém időjárási hatások megelőzését szolgáló védelmi rendszerek (fóliatakarás, jégáló stb.) technikailag nagyon nehezen megvalósíthatók és a gazdaságosság is erősen megkérdőjelezhető.

Ezzel szemben az alacsony törzsű és kis méretű koronájú fákon nemcsak a kisugárzásos fagykár veszélye nő meg, hanem az egyéb extrém időjárási hatásoknak (jégeső, túlzott napsugárzás stb.) való kitettség is. A nagy törzsű intenzív ültetvényeknél ezért a produktívitás megőrzése és a terméshelybiztonság növelése érdekében fokozottan szükségesek a kármegelőzést és -mérséklést biztosító védelmi berendezések és készlethi technológiák, valamint a gazdaságos megoldások.

A növényi kórokozók és állati kártevők összetételének hatása a termelési kockázatra

A globális éghajlatváltozással járó tartós hőmérséklet-emelkedés jelentősen megváltoztathatja a gyümölcsstermő növényeken károsító növényi kórokozók és állati kártevők összetételét (Holb, 2008). Már az elmúlt néhány év tapasztalatai azt mutatják, hogy olyan melegigényes növényi kórokozók is komoly kárt okozhatnak, amelyek eddig elő sem fordultak a hazai gyümölcsösökben (pl. új moníliafajok: *Monilinia fructicola*, *M. polytrima*, a málna szferulinás levélfoltosságának kórokozója: *Sphaerulina rubi*). A téli hőmérséklet-ingadozás nyomán kialakuló sebben a baktériumos ágpusztulás kórokozója (*Pseudomonas* spp.) az eddig tapasztaltaktól súlyosabb kárt okozhat.

A melegigényes amerikai keleti cseresznyeléggy vagy a málna karcsú díszbogár meg-

jelenése komoly kockázati tényező. A megváltozott környezeti feltételekhez alkalmazkodva az eddig is jelenlévő kórokozóknak és kártevőknek ellenálló típusai alakulhatnak ki. Bizonyos kártevőknél nő a nemzedékek száma. A korábbi vegetációkezdet miatt a kórokozók és állati kártevők is hamarabb jelenhetnek meg. Jó példa erre a *Monilinia laxa* fertőzése, amely évtizedekig a meggyvirágok súlyos károsításával jelentkezett időben elsőként, jelenleg pedig már a korábban virágzó csonthéjasoknál (kajszi, cseresznye) is komolyan veszélyezteti a termésbiztonságot.

A hosszabb vegetációs idő alatt a gyümölcsstermő növények tovább ki vannak téve a növényi kórokozók és állati kártevők támadásának, ezért akár több növényvédelmi beavatkozásra is szükség lehet, különben a termésbiztonság kerül veszélybe.

Az ökológiai szemlélet érvényesítése érdekében, költségtakarékossági és környezetvédelmi szempontból nagy figyelmet kell fordítani a hatékonyabb és olcsóbb növényvédelemre a termésbiztonság kockázata nélkül. Ennek néhány közvetett lehetőségét a következők szerint foglaljuk össze:

- A gyümölcsminőség és a termésbiztonság szempontjainak kiválóan megfelelő, de a legveszélyesebb kórokozókkal szemben ellenálló fajták telepítése.

- Az ellenállóságot fokozó növénymorfológiai jellemzők hasznosítása.

- Az ellenállóságot fokozó szöveti felépítés és kémiai sajátosság figyelembevétele.

- A kártétel elkerülését biztosító fenológiai jellemzők (pl. rügyfakadás, virágzás, gyümölcserés ideje) kihasználása.

- A kórokozók és kártevők elterjedését korlátozó növénytulajdonságok (pl. kompakt növekedés, másodvirágzás hiánya stb.) nyom követése.

Költségnövelő tényező az extrém időjárás (jégverés, gyümölcsrepedés, napégés stb.) nyomán fellépő másodlagos kórokozók elleni védekezés, amelynek viszont nemcsak az adott év kármérséklésénél van szerepe, hanem továbbgyűrűző hatása miatt az ültetvény későbbi termésbiztonságában is.

KÖZVETLEN VÉDEKEZÉSI MEGOLDÁSOK GYÜMÖLCSÖSÖKBEN A LEGTÖBB VESZÉLYT JELENTŐ EXTREM IDŐJÁRÁSI HATÁSOK ELLEN

Téli és tavaszi fagyok hatásai, illetve a megelőzés és a kármérséklés lehetőségei

A rügyek és virágok elfagyása, illetve a szállítópályák téli károsodása jelentős kockázati tényező a gyümölcsstermesztésben. A jelentősebb gyümölcsfajok fagykárosodási sajátosságairól korábbi munkáinkban beszámoltunk (*Lakatos et al., 2005a,b,c,d; Szabó et al., 2005, 2008*).

A leginkább fagyérzékeny gyümölcsfajok (kajszi, őszibarack, japánszilva) termelése Magyarországon 150 m tengerszint feletti magasságot meghaladó termőhelyen nyújt csak elfogadható biztonságot, ami így is csak megközelíti a melegebb éghajlatú országokban tapasztaltat. Példaként említjük a kajszi terméshozadékát. Az utóbbi 10 évben 8 ezer és 40 ezer tonna között változott az országos termés.

Az elmúlt évtizedekben Magyarországon a legnagyobb mértékű terméskiesést a fagykár okozták. Különösen az alacsonyan fekvő alföldi területeken károsodtak az ültetvények. 10 évből a kajszinál 4-5-ször, az őszibaracknál 3-4-szer, a japánszilvánál pedig 2-3 alkalommal számíthatunk fagykárra. Dombvidéki ültetvényekben ezen fajok fagykárosodásának veszélye 50%-kal kisebb volt. A többi csonthéjas fajnál dombvidéken igen ritka a kisugárzásos fagykár előfordulása, alföldi területeken is kevésbé fordul elő (*Szabó et al., 2010*).

A téli fagykár elleni technológiai védekezés inkább közvetett lehetőségeket kínál (kondíció megőrzése, téltre való felkészülés elősegítése stb.). A közvetlen technológiai lehetőségek közül néhányat megemlítünk

- fák tövének felkupaolása a legérzékenyebb gyökérnyaki rész védelmére;
- törzsmagasság növelése;

2. táblázat

A legelterjedtebb tavaszi fagyvédelmi módszerek előnyei és hátrányai

Módszer	Előny	Hátrány
Légkeverés szélgéppel	+3-4 °C hőmérséklet-különbség, szárításra is	beruházási költség 2-3 millió Ft/ha
Fagyvédelmi öntözés korona feletti szórófejekkel	+6-7 °C hőmérséklet-különbség, szeles időben is, öntözésre és permet-trágyázásra is	1-1,5 millió Ft/ha beruházási költség, nagy vízigény, növényvédelmi problémák
Paraffin-kannák kihelyezése és működtetése	+6-8 °C hőmérséklet-különbség	gyakori fagyoknál költséges (0,6 millió Ft/10 óra)

Forrás: Szabó et al., 2010

– fagytűrő törzzsel rendelkező ültetési anyag telepítése;

– törzsek és vastagabb ágak meszelése, fehérré festése;

– növények takarása (szamóca esetében);

– konténerben lévő gyümölcsfák teletetése védett körülmények között.

A tavaszi fagy elkerülésére több technológiai megoldás is számításba jöhet, ezek előnyeit és hátrányait a 2. táblázatban foglaljuk össze.

A jégesők által okozott kár és a védekezés lehetőségei

A kár szempontjából kétféle jégeső-kategóriát kell megkülönböztetni. A jégeső, jégdara márciusban, áprilisban és szeptemberben, míg zivatar jéggel májusban és júniusban várható leginkább (*Szenteleki et al., 2009*). Az extremitás fokozódását jelzi, hogy a megelőző időszak jégeső-gyakorisága önmagában nem ad kellően megbízható útbaigazítást, hogy az adott területen milyen kármegelőző beavatkozásra kell felkészülni. Ezt a 2010-es év tapasztalatai alátámasztják: olyan helyeken is váratlanul jött zivatarral kísért jégeső, ahol korábban évtizedekig csak nagyon ritkán kellett jégre számítani, s az is kisebb szemekben hullott (*Konrád-Németh, 2010*).

Az elmúlt évek káreseményei arra hívják fel a figyelmet, hogy a jégkárelhárítást közvetlenül a telepítés után célszerű megkezdeni, nem kell megvárni a terméshezó éveket, hiszen az erős jégesők a fiatal fák lombjának

és hajtásainak tönkretételével is igen nagy kárt okozhatnak. Esetenként a fiatal fákon okozott kár még nagyobb és végleges hatású lehet, hiszen korlátozza a nagy produktivitáshoz szükséges termőfelület kialakítását, csökkenti a fák élettartamát.

A jégvédelmi háló. Előnye, hogy – stabil építmény esetén – gyakorlatilag szinte bármilyen intenzitású jégesőt fel tud fogni 100%-os biztonsággal (hiszen mechanikusan véd), hátránya viszont, hogy rendkívül költséges: egy hektár jégáló kiépítésének költsége jelenlegi árakon számolva 3-4 millió Ft. A jégálónak jelentősebb éves költsége nincs, a megmentett termés értéke pedig attól függ, hogy milyen gyakran van az ültetvény élettartama alatt jégeső.

A beruházás gazdaságossága tekintetében külön kell választani a jégáló megtérülését és a jégalós ültetvény – mint egy rendszer – megtérülését. A jégalós ültetvény gazdaságossága és a jégáló gazdaságossága üzemp gazdaságilag két különböző tényező! Maga a jégáló haszna nem más, mint a jégkártól megmentett árbevétel, ami a jégáló plusz 2,5 millió Ft-os létesítési költségével áll szemben (*Apáti, 2010*). Előfordulhat olyan eset, amikor – pl. egy 40 t/ha átlaghozamú almaültetvényben – a jégáló maga megtérül (mert sokszor volt jégeső, így nagy a megmentett árbevétel még 40 t/ha termésnél is, ami felülmúlja a jégáló plusz 2,5 millió Ft-os költségét), a jégalós ültetvény mint rendszer azonban nem térül meg soha, mert a 40 t/ha-os termés nem képes elég jövedelmet produkálni a 7,0 millió Ft telepítési költ-

3. táblázat

Lehulló jégdarabok átlagos száma (db/dm²) egy működő Corballan jégágyútól
400-2000 m távolságban, Grosshöchstettenben, Emmentalban

Dátum (év, hónap, nap)	Jégsapadék típusa	Távolság a működő jégágyútól (m)			
		400	600	1000	2000
1981.08.09.	Jégeső	0	1	11	40
1983.07.04	Jégdara	0	1	30	62
1984.06.07.	Jégdara	115	113	199	205
1984.07.31.	Jégeső	31	32	51	72
1984.08.04.	Jégdara	46	47	53	48
1985.05.19.	Erős jégeső	27	26	30	37
1985.08.18.	Jégeső	28	42	61	55
1986.05.26.	Gyenge jégeső	24	22	33	48
1986.08.21.	Gyenge jégeső	72	100	65	205
Átlag (db/dm ²)	38	43	59	86	
Mutató (400 m = 100%)	100	113	155	226	

Megjegyzés: 1980-ban és 1982-ben nem volt jégeső, 1986. május 7-én pedig olyan erős, zivatarral érkező jégeső volt, hogy tönkreverte a vizsgálatához kirakott felfogó berendezést.

Forrás: Maurer, 2006

ség kitermeléséhez. Jóllehet ez a 40 tonnás termés is annak köszönhető, hogy a jégáló minden jégkártól megmentette az ültetvényt.

A 30-40 t/ha átlaghozamú jégáló almaültetvények – függetlenül attól, hogy hány jégeső van az ültetvény élettartama alatt – egyszerűen képtelenek annyi nyereséget termelni, hogy a 7,0 millió Ft telepítési költségű ültetvény valaha is megtérüljön, így jégáló ültetvényeknél mindenképpen az 50-60 t/ha termés elérésére kell törekedni.

Azzal is számolni szükséges, hogy a jégvédelmi hálóval fedett ültetvényben megváltoznak a hőmérsékleti és sugárzásviszonyok, az állományklíma, a növények fenológiai menete, a gyümölcsök érési ideje és a minőséget befolyásoló paraméterek (színeződés, napégéses sérülés, szárazanyag-tartalom stb.), a növényi kórokozók és állati kártevők összetétele, valamint a rovarmegporzás körülményei (Racskó et al., 2005).

A jégvédelmi (más néven vihar-) ágyú működési elve évszázadok óta ismert. A berendezés hátránya, hogy hatásfoka nem pontosan felmérhető, azaz nem ismeretes, hogy milyen hatékonysággal véd a jégeső ellen. A viharágyús jégelhárítás eredményessége nem mutatható ki olyan könnyen, mint a jég-

háló megoldásé, ahol a minden más szempontból azonos, de fedetlen kontrollültetvény erre egyértelmű lehetőséget nyújt.

Egy-egy új típusú jégvédelmi ágyú alkalmazását az elmúlt évtizedekben mindig nagy várakozás előzte meg, de az eredmények ellentmondásosak voltak. Az egyes megoldásoknál nem tisztázódott, hogy a jégeső elmaradása valóban az ágyú használatának köszönhető, vagy pedig ha a jégeső mégis bekövetkezett, akkor az ágyú működésében, a radarrendszerben volt hiányosság, vagy más oka volt. Az első objektív vizsgálatról Maurer (1987) számolt be, miután 1980 és 1986 között hét éven át tanulmányozta a Corballan típusú jégágyú hatását (3. táblázat). Öt évben volt jégeső a területen, vagyis erősen jégjárta térségnek bizonyult. Csak egyszer nem volt kevesebb a jégütések száma a környező területekhez viszonyítva, a többi esetben azonban az ágyútól számított 600 méteres sugarú körön belül mindig kevesebb jég szem hullott, mint 1-2 km-es távolságban. Az elmúlt évtizedben további fejlesztések történtek a jégvédelmi ágyúk alkalmazásánál, amelyeknek egyik legismertebb változata a Belgiumban kidolgozott Inopower-rendszer, amelyet 2003-tól több európai országban (Belgium,

Dánia, Hollandia, Németország, Lengyelország, Szlovákia stb.) tesztelnek, s általában kedvező tapasztalatokról számolnak be (Apáti, 2010). A berendezés beruházási költsége viszonylag alacsony, mivel jelenlegi ára mintegy 11-12 millió Ft, így függően attól, hogy mekkora ültetvényfelületet lehet vele védeni (pl. 30-80 ha között), hektáronkénti bekerülési költsége 150-400 ezer Ft, ami kb. tizede a jégpótlónak. Éves üzemeltetési költsége szintén csekély, a védekezések számától és a védett terület méretétől függően 5-20 ezer Ft/ha. Működtetése egyszerű, manuálisan, vagy bármilyen távolságról sms-üzenettel vagy telefonhívással indítható és leállítható.

Ugyanakkor a jégágyú sikertelen alkalmazásáról is beszámoltak. *Wieringa és Holleman (2006)* igen nagy számú szakirodalmi forrás (1953–2006 között 58) információi alapján arra a következtetésre jutottak, hogy az ágyúk használata nem jelent megnyugtató, kiszámítható és biztonságos védelmet a jégese megelőzésében, illetve a kár mérséklésében. Különösen a nagy és különálló viharok, illetve jégesek radaros előrejelzése nehézkes. A szervezettebb felhőrendszerek hosszabb ideig megfigyelhetők, ami jobban elősegíti a jól időzített beavatkozást. Ehhez viszont nagyobb területeket lefedő, hálózatban kiépített radarrendszerre lenne szükség. A fenti szerzőknek hasonló véleményük van a rakétás jégese-elhárításról is, ezért a biztosítást vagy az ültetvények hálójával való lefedését tartják jelenleg elfogadható megoldásnak. Hazánkban *Bereczki (2010)* sem tartja hatékony eljárásnak a jégágyú használatát, mert az ágyú által előidézett hangrobbanás (hasonlóan a repülőgéphez) szerinte nem akadályozza meg a 100 km/h-ás feláramlást, s így a jégsemekek képződését. A viharágyúval keltett hangrobbanás különösen nem tud mit kezdeni a 20-30 km-re kialakuló, gyorsan mozgó és a megvédendő ültetvény fölé hirtelen érkező zivatarfelhővel (<http://nefela.hu/index.php>).

Magyarországon 2010-ben eddig mintegy tíz Inopower jégágyút vásároltak a gyümölcsstermelők, ami gazdaságilag nem jelent túlzott áldozatot, hiszen amennyiben azt

nézzük, hogy a berendezés 150-400 ezer Ft hektáronkénti beruházási költsége nem több, mint 2-5 tonna alma vagy körte ára, akkor arra juthatunk, hogy ennyi termést buktak már el legalább egyszer valamilyen technológiai hiba miatt is (Apáti, 2010). Ugyanakkor az ország különböző pontjain kitelepített ágyúk azonos objektív vizsgálati és értékelési módszerek segítségével elősegíthetik a módszer hasznosságának megítélését, így hozzájárulhatnak a jégvédelmi ágyúk elvetéséhez, vagy kijelölhetik azokat az innovációs feladatokat, amelyekkel bármelyik hangrobbanásos rendszer megfelelő feltételek megteremtése esetén biztonságos eljárásá válhat.

A jégvédelmi ágyú tulajdonképpen átmenetet képez az egyedi és közösségi megoldások között, hiszen több berendezés összehangolt kihelyezésével egy nagyobb terület is megvédhető.

A közösségi jégkárelhárítás

Az extrém időjárási hatások közül leginkább a jégese ellen lehet közösségi módszerekkel védekezni. Ennek lehetőségeit azért indokolt jobban megvizsgálni a jövőben, mert nagymértékben elősegítheti a kisebb gyümölcsösökkel rendelkező családi gazdaságok, őstermelők, kisbirtokos gyümölcsstermelők bekapcsolását, amelynek sokoldalú társadalmi jelentőségét nem kell külön hangsúlyozni. A módszer elősegíti a civil és állami vagyon védelmét, a házi kertek, üdülők és települések növényeinek védelmével pedig az életkörülmények javításához, a környezetvédelemhez, illetve a biodiverzitás megőrzéséhez is hozzájárul. A kisebb értékű ültetvényeknél – birtokviszonytól függetlenül – gazdaságossági szempontból csakis a közösségi eljárások alkalmasak.

A közösségi jégese-elhárító rendszerek esetében (melyek nagyobb tájegységek vagy akár az egész ország lefedésére képesek) jelenleg alapvetően három módszer jöhet számításba. Mindegyiknél ezüst-jodid kristályt juttatnak a zivatarcellába, mely kondenzációs magként gátolja a nagy jégsemecek kiala-

kulását. A fő eltérés az egyes módszerek között az ezüst-jodid kijuttatási módjában van.

Rakétás módszer: Az ezüst-jodidot a földről kilőtt rakéta viszi fel a légkörbe a megfelelő helyre. Az igen költséges és nehézkes rendszert korábban Magyarországon is használták: 1976–1990 között Baranya megye egy részén, 150 ezer ha területen. A rendszer magas üzemeltetési költsége, a sok tiltott zóna és a működést addig finanszírozó *Állami Biztosító* kivonulása miatt 1989-ben megszűnt, s a jövőben sem jöhet szóba (*Gyöngyösi – Szakács, 2009*).

A talajgenerátoros módszer esetében egyszerű földi berendezésekben párologtatják el az ezüst-jodidot, melyet a felszálló légáramlatok szívnak fel és juttatnak abba a magasságba, ahol kifejti hatását. Európa számos országa (Franciaország, Spanyolország, Horvátország) mellett hazánkban is működik ez a rendszer: Baranya, Somogy és Tolna megye teljes területét lefedi a 10 km-es rácshálóban telepített 141 db talajgenerátor. A generátorhálózat irányítása a hármashegy-i radarállomásról történik, ahol május 1. és szeptember 30. között állandó megfigyelőszolgálat működik. A közel két évtizedes működési tapasztalatból – mely már statisztikailag is értékelhető időtáv – arra lehet következtetni, hogy ez a módszer nagyon hatékonyan képes csökkenteni a jégesők gyakoriságát és intenzitását (*Apáti, 2010*). A rendszert a NEFELA egyesülés üzemelteti, a finanszírozásban mezőgazdasági vállalkozások, hegyközségek, önkormányzatok, többcélú kistérségi társulások, biztosítótársaságok és az állam közösen vesz részt (www.nefela.hu).

A repülőgépes jégeső-elhárításnál repülőgép viszi fel az ezüst-jodidot és bocsátja ki a zivatarcella közvetlen közelében. Hazánkban jelenleg nem működik, de Ausztriában és Németországban pozitív tapasztalatokról számolnak be. Előnye, hogy relatíve kis ráfordítással nagy területet lehet vele levédeni. A rendszer kiépítésének beruházásigénye nagyon csekély, hiszen a radarrendszer és a repülőgéppark rendelkezésre áll (*Gyöngyösi – Szakács, 2009*), csak megfelelő társadalmi

elfogadottságra és állami támogatásra van szükség.

Védekezés a mennyiségben és/vagy időben extrém csapadékok káros hatásai ellen

Becslések szerint 2010-ben országos szinten a hazai gyümölcsstermés több mint egyharmada esett áldozatul a folyamatos esőzésnek. A belvizes területek nagysága, a földek átázása miatt az ágazatnak igen kritikus éve lesz az idén. Az anyagi kárt a megnőtt kárelhárítási és növényvédelmi költségek tovább fokozzák, s igen jelentős a következő évekre átgyűrűző hatás a fák életképességének és kondíciójának romlása miatt. A május elejétől tartó folyamatos esőzés által okozott kár súlyát jól jelzi, hogy a cseresznye eső okozta érés előtti gyümölcsrepedéséből relatíve sokkal kisebb kár származott (pedig ez sem volt jelentéktelen), mint a tartós esőzés nyomán. A folyamatos esőzést elszenvedett régiókban a gyümölcsök idejekorán megpuhultak és már jóval az érés előtt megrepedtek. A *Fruitveb* adatai szerint az esőzés igen nagy kárt okozott a szabadföldi szamócatermelésben is. Több helyen 100%-os kárt jeleztek.

Az időbeli extremitás szempontjából a virágzási időszak az első kritikus periódus. A virágzás alatti tartós esőzés több szempontból is hátrányos:

- A virágokat közvetlenül károsítja, lemossa a virágport és felhígítja a nektárt.
- Megakadályozza a pollentömlők fejlesztését és bibébe jutását.
- Jelentősen gátolhatja a rovarmegporzást.
- Csökkentheti a szélmegporzású növények virágporának lebegőképességét, akadályozva ezzel a kellő távolságba való eljutását.
- A megporzási és termékenyülési feltételek romlása miatt csökken a terméskötődés, akár teljes terméskiesés is lehet.
- Csökken a gyümölcsök magtartalma, ami kisebb méretű gyümölcsökben, a termések nagyobb hullásérzékenységében, továbbá rosszabb tárolhatóságban és polctartóságban nyilvánul meg.

– Megnö a virágokat károsító páraigényes növényi kórokozók fertőzése.

– Jelentősen megnehezíti a fenológiai stádiumhoz tartozó növényvédelmi technológiai beavatkozások elvégzését.

Az időbeli extremitásnak másik kiemelt esete az érésben lévő gyümölcsök repedését okozó váratlanul érkező csapadék, ami elsősorban a cseresznyénél okoz jelentős kárt az évek igen nagy részében. A repedt gyümölcsök friss fogyasztásra alkalmatlanok, de ipari célra is csak korlátozottan felelnek meg. A repedést követő gyümölcsrothadás miatt pedig még akkor is csökken ennek az esélye, ha lenne ipari igény az ilyen tételekre. A szüretig fel nem repedt, de arra hajlamos gyümölcsöket nem célszerű vizes közegben szállítani, illetve ipari feldolgozás előtt hosszú ideig vízben tartani. A repedt gyümölcsök kiválogatása szüret közben időt és pluszköltséget igényel, ennek megtérülése annál inkább kétséges, minél nagyobb a repedt gyümölcsök aránya.

A gyümölcsrepedés nagymértékben csökkenthető az ültetvény kritikus időszakban történő lefedésével. A kiépített fóliatakarás azonban nagyon költséges eljárás, különösen akkor, ha önállóan alkalmazzuk, más védelmi rendszerekkel való kombinálás nélkül. Ezért több más módszer gyakorlati használhatóságát is meg kell vizsgálni. Ezek közül a következők a legfontosabbak (*Soltész et al., 2006*):

– Folyamatos vízellátással megakadályozni, hogy a hirtelen jött eső kárt okozzon (vagyis öntözés az esőkár ellen).

– Az öntözővíz kijuttatása a koronaszint alatt elhelyezett szórófejek segítségével.

– Levegőkeverés a vizes gyümölcsök mielőbbi felszárítására (helikopter, fagyvédelemre kiépített szélgépek működtetése, légtörlesztésos permetezőgépek járatása a sorok között stb.).

– Gyümölcsök felületi feszültségének csökkentése valamilyen nedvesítőszer használatával.

– Felülről történő permetezés feszültségcsökkentést elősegítő kalcium-sókkal eső előtt vagy az esővel egy időben.

– Bioregulátorok (GA, NES) kijuttatása önállóan vagy valamilyen kalcium-sóval kombinálva.

A fenti készleteti technológiai megoldások figyelembe vehetők akkor is, ha más repedésre hajlamos gyümölcsfajoknál (pl. meggy, alma) lehet nagymértékű kárra számítani.

A vegetációs időszakban jelentkező káros hőmérséklet-emelkedés elleni védekezés lehetőségei

Aszályos időszak a vegetáció elején is bekövetkezhet. A gyümölcsfajok virágzása idején 2009-ben olyan tartós forróság volt, amelyre az elmúlt ötven évben nem volt példa. A virágok kinyílása és a virágzásmenet is robbanásszerűen zajlott le. A virágnylás rendellenesen felgyorsult, a nyarat is meghazudtoló forróságban sem a genetikai tényezőknek, sem az ültetvényjellemzőknek nem volt semmilyen szerepe. A különböző ökológiai adottságú termőhelyeken a gyümölcsfajoknál nem volt egy hétnél nagyobb eltérés a virágzás idejében, holott ez más években egy adott gyümölcsfaj fajtái között is nagyon gyakori. A virágok nektártermelése igen gyenge volt, ezért nem voltak vonzóak a nektárgyűjtő méhek számára, azok kis számban repültek a virágzó gyümölcsfákra. A berepülő méhek is csak rövid ideig tartózkodtak az ültetvényben, s többnyire gyűjtés nélkül távoztak. A gyenge rovarmegporzás miatt a terméskötődés mértéke jelentősen csökkent, különösen az idegenmegporzást igénylő fajtáknál. Virágzaskori forróságban nagyobb termésbiztonságot nyújtottak az öntermékeny fajok (öszibarack, naspolya), illetve az öntermékeny fajták (cseresznye, meggy, kajszis és szilva esetében). Ez egyúttal ki is jelöli az egyik legfontosabb biztonságnövelő tényezőt a virágzás alatti forróság elviselésében.

A túlzott felmelegedés a virágzást követő időszakban nagyobb gyakorisággal várható. Kisfokú nyári szárazság hatása nem mindig látványos, de a termésbiztonságra és különösen a gyümölcsminőségre így is befolyást

gyakorolhat. Néhány példát a következőkben sorolunk fel (Soltész *et al.*, 2006):

- Gyümölcsalak megváltozása, lapítottabb (alma), vagy erősebben megnyúlt (körte) gyümölcs.

- Csonthéjasoknál nagyobb kőmagarány, kőmagok repedése.

- Duránci jelleg erősödése (magvaváló és félig magvaváló csonthéjas gyümölcsöknél).

- Gyümölcshéj parásodása és repedése.

- Kővecsség fokozódása (körte, birs).

- Kőmag körüli mézgásodás és húsbarnulás (csonthéjasoknál).

A nagyfokú szárazság hatása szembetűnőbb, mert a gyümölcsfejlődés időszakában, vagy a szüret előtt és/vagy alatt fokozottabb gyümölcshullás (alma, körte, csonthéjasok, fekete ribiszke, málna stb.) következhet be. A termésmennyiség csökkenése mellett a gyümölcsminőség (méret, szín, tárolhatóság stb.) is jelentősen romolhat. Az erős és tartós szárazság veszélyeztetheti a gyümölcstermő növények kondícióját, tápanyagellátását, virágképzését és későbbi terméshozását is. Súlyos esetben a kipusztulás is bekövetkezhet. Külön ki kell emelni a megfelelő tápanyagellátás szerepét az aszálytűrés növelésében (Nagy *et al.*, 2008).

A fentiek miatt Magyarországon az öntözés teljes körű bevezetése szinte mindegyik gyümölcsfajnál elkerülhetetlen. Az öntözővízben korlátozott alföldi területek nagy aránya miatt arra kell törekedni, hogy az ültetvények biztonságos vízgazdálkodását többféle módszer kombinálásával érjük el: lehullott csapadék hasznosítása, talajnedvesítés megőrzése, talajtakarás, gyökerek vízfelvételét elősegítő stimuláló anyagok, mykorrhiza-kapcsolatok, víztakarékos öntözési módok és technikák (Nemeskéri, 2008).

Az extrém napsugárzás káros hatásai

A mérsékelt égövi gyümölcsök közül elsősorban az almánál lehet számítani az erős napsugárzás nyomán keletkezett kárra, amely a küllemi hátrányok mellett befolyásolhatja a gyümölcsök további színeződését, anti-

oxidáns-kapacitását, ízét és tárolhatóságát is (Racsó *et al.*, 2008). A magyar nyelvben napégésnek nevezett tünetet a szakirodalomban 2-3-féle sugárzásos kárként írják le. A napégésnél a napsütötte oldalon, a fedőszínen arany-bronz elszíneződés jelenik meg, de a legtöbb esetben elmarad a bőrszövet erős sérülése. A napseb akkor alakul ki, ha az árnyékban fejlődő gyümölcsök hirtelen erős napsugárzásnak lesznek kitéve. Ezt követően világos vagy sárgásbarna foltok alakulnak ki, s nagyon gyakran a gyümölcshéj alatti szövetek is sérülnek. Ez a sors vár a júliusban lehullott és fa alatt maradt termésekre is. A napseben néha már a szüret előtt, de gyakrabban a tárolás során barna, kemény, fényes felületű, besüppedő foltok jelennek meg. Az amerikai almatermesztők ezt késleltetett napsebnak nevezik. A napsebek kialakulására Magyarországon elsősorban olyan években kell számítani, amikor júliusban a levegő hőmérséklete magas (28-32 °C felett), páratartalma alacsony, s az erős napsugárzás hatására az ennek kitett oldalon a gyümölcsök felszínének hőmérséklete megközelíti az 50 °C-ot.

Eddigi vizsgálataink alapján (2004–2010) azt tapasztaltuk, hogy a napsebek keletkezése, illetve a kár mértéke évszámra függő. Az érzékenyebb almafajtáknál a kár mértéke és az előfordulás gyakorisága is nagyobb. A fajták együtődnél eddig egyik évben sem figyelünk meg napégést. Ebbe a körbe elsősorban a fedőszínnel bíró melegigényes fajták (pl. Red Delicious, Braeburn, Pink Lady) tartoznak, habár szabályt erősítő kivételek is vannak (pl. Gala, Fuji). A károsodást a gyümölcs héjának színe és szöveti szerkezete jobban befolyásolja, mint a viaszosság. Kevésbé viaszos héjú gyümölcsök (pl. Golden Delicious és mutánsai) és az erősen viaszos héjú fajták (pl. Jonagold, Granny Smith) között egyaránt találunk napégésre érzékenyt.

A védekezés technológiai lehetőségei korlátozottak. Miután a napégést a vízstressz is befolyásolhatja, ki kell emelni a fák egyenletes vízellátását, a párasító öntözés lehetőségét is. Meggondolandó a túl korai hajtásválogatás, amely növelheti a napsugárzásnak

kitett gyümölcsök arányát. A kézi termésritkítás azért előnyösebb, mert elősegítheti, hogy a lombtakaráshoz közelebbi gyümölcsöket hagyjuk fenn a fán. *Gonda (1998)* szerint almánál célszerűbb meghagyni a virágzatokon belül a legfejlettebb oldalvirágból fejlődő gyümölcsöt, mert ez közelebb kerül az asszimilátumokat szolgáltató levelekhez. Nagyon fontos a megfelelő gyümölcs:levél arány biztosítása, amelynek értéke termőhelyek és művelési rendszerek szerint nagymértékben változhat.

Az erős napsugárzás miatti kárt az ültetvényben kiépített jégvédelmi háló, különösen a fekete színű, jelentősen mérsékelheti. Ennek köszönhető, hogy a déli félteke néhány alma-termesztő országában akkor is gondolkodnak a használatán, ha egyébként erre a kisebb jégkárveszély miatt nem lenne szükség.

Kombinált védelmi és technológiai megoldások az extrém időjárási hatásokkal szemben

Egyre több példa adódik az elmúlt évekből, hogy a zivatarral érkező igen nagy jégdarabok zúdulnak a területre, ami ellen még a jégvédelmi háló sem jelent teljes körű védelmet, sőt, a hálót is átszakíthatja. Felvetődik a jégkár elleni kombinált védekezés kényszere, amely az egyedi és közösségi védekezés előnyeit egyesítheti (talajgenerátoros rendszer + jégvédelmi háló, repülőgépes rendszer + jégvédelmi háló). Vagyis a kiépített (vagy kiépítendő) közösségi jégkár-elhárításból azoknak sem célszerű kimaradni, akik az ültetvényükben jégvédelmi hálót használnak. A közösségi védelemhez való csatlakozás költsége eltörpül az egyedi védelem költségéhez képest, viszont jelentősen növelheti

az ültetvény terméshozzájárulását, s magának a jégvédelmi hálónak a biztonságát is. A terméshozzájárulás növelésének másik lehetősége lehet, ha két egyedi jégkár-elhárítási eljárást kombinálunk (jégágyú + jégvédelmi háló).

Ahol a jégeső és a gyümölcsrepedést okozó tartós esőzés is jelentős kárt tehet, megfontolandó a kettős védelmi rendszer kialakítása. Megfelelő táمبرendezés kiépítése lehetővé teszi, hogy az ültetvényben egymás fölött külön-külön működtethető jégvédelmi hálót és eső ellen védő fóliatakarást építsünk ki. Ez a megoldás különösen a nagy értékű, intenzív cseresznyeültetvényekben jöhet számításba. A jégvédelmi háló jelentős szerepet tölthet be a napégéses károk megelőzésében, ami nagyon fontos a minőségi almatermelésben. Az ültetvényt minden oldalról körbefogó hálórendszer a madárkár megelőzésében a legbiztonságosabb és egyben a legolcsóbb megoldást jelenti.

A koronák felett elhelyezett mikroszórófejes öntözőberendezés *Soltész et al. (2006)* szerint többféle célt szolgálhat a terméshozzájárulás növelésében és a gyümölcsminőség javításában (virágzás késleltetése evaporációs hűtéssel, virágzásmenet szabályozása, virágok és fiatal termések fagyvédelme, a gyümölcsstermő növények stressztűrését növelő biostimulátorok kijuttatása, időzített tápanyagellátás, éjszakai hőmérséklet csökkentése a gyümölcsök nagyobb mérete, jobb színeződése és kedvezőbb íze, zamata érdekében stb.).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A munkát az NKTH által támogatott OM-0042/2008, OM-00270/2008 és OM-00265/2008 projektek keretében végeztük.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) APÁTI F. (2010): A jégeső elleni védekezés lehetőségei és gazdasági összefüggései a gyümölcsstermesztésben. In: Soltész M. – Nyéki J. – Szabó Z. (szerk.): A magyarországi gyümölcsstermesztés biztonsága. DE GATC-KF KFK, Debrecen-Kecskemét, 53-63. pp. (2) BARTHOLY J. – PONGRÁCZ R. – TORMA Cs. (2010): A Kárpát-medencében 2021-2050-re várható

regionális éghajlatváltozás RegCM-szimulációk alapján. „KLÍMA-21” Füzetek 60: 3-13. pp. (3) GONDA I. (1998): Az aszály tünetei a gyümölcstermő növényeken. In: Nyíri L. (szerk.): Az aszálykárak mérséklése a kertészetben. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 28-29. pp. (4) GYÖNGYÖSI A. Z. – SZAKÁCS (2009): Jégeső-elhárítás – meteorológiai háttér. Munkaanyag megalapozó tanulmányhoz. FruitVeb, Budapest, 2009. november, 1-9. pp. (5) HOLB I. (2008): A légköri CO₂ és ozonkoncentráció, az UV sugárzás és a globális hőmérséklet-változás valószínűsíthető hatásai a növényi kórokozókra. „KLÍMA-21” Füzetek 53: 99-114. pp. (6) KELDERER, M. (2007): Biologischer Apfelanbau – Tendenzen für die Zukunft. Obstbau Weinbau 2: 65-67. pp. (7) KONRÁD-NÉMETH C. (2010): A 2009. évi jégkár és következményei a nagykanizsai körteültetvényekben. In: Soltész M. – Nyéki J. – Szabó Z. (szerk.): A magyarországi gyümölcs-termesztés biztonsága. DE GATC-KF KFK, Debrecen-Kecskemét, 45-52. pp. (8) LAKATOS L. – SÜMEGHY Z. – SZABÓ Z. – SOLTÉSZ M. – NYÉKI J. (2005a): Extrém időjárás események előfordulása és gyakoriságának változása a vegetációs időszakban. „AGRO-21” Füzetek 45: 36-52. pp. (9) LAKATOS L. – SZABÓ Z. – SZALAY L. – NYÉKI J. – RACSKÓ J. – SOLTÉSZ M. (2005b): A téli és tavaszi fagykárak gyakoriságának valószínűsége magyarországi őszbarack termőtájakon. „AGRO-21” Füzetek 39: 102-114. pp. (10) LAKATOS L. – SZABÓ Z. – SZALAY L. – SOLTÉSZ M. – RACSKÓ J. – NYÉKI J. (2005c): Az őszibarack téli fagytürelését jellemző számítási módszer. „AGRO-21” Füzetek 39: 114-125. pp. (11) LAKATOS L. – SZALAY L. – SZABÓ Z. – NYÉKI J. – RACSKÓ J. – SOLTÉSZ M. (2005d): A téli és tavaszi fagykárak előfordulási valószínűsége a főbb magyarországi kajszibarack termőtájakon. „AGRO-21” Füzetek 45: 172-185. SOLTÉSZ M (12) LAKATOS L. – SZABÓ Z. – SOLTÉSZ M. – NAGY J. – ERTSEY I. – RACSKÓ J. – NYÉKI J. (2005): A csapadék mennyiségének, típusának és eloszlásának változása a vegetációs és nyugalmi időszakban. „AGRO-21” Füzetek 45: 53-63. pp. (13) MAURER, J. (1987): Hagelschutzkanone Corballan Versuch 1980-1986. Rep. Kantonale Zentralstelle für Obstbau, Oeschberg, Switzerland, 8 p. (14) NAGY P.T. – SZABÓ Z. – NYÉKI J. – SOLTÉSZ M. (2008): Éghajlati anomáliák hatása gyümölcsültetvények tápanyag-utánpótlására. „KLÍMA-21” Füzetek 53: 68-75. pp. (15) NEMESKÉRI E. (2008): A gyümölcsösök aszálykárainak mérséklése és az öntözés. „KLÍMA-21” Füzetek 53: 76-88. pp. (16) RACSKÓ J. – LAKATOS L. – NYÉKI J. – SOLTÉSZ M. – SZABÓ Z. (2008): Almafajták gyümölcsseinek napégés-érzékenysége eltérő növekedési erélyű alanyon. „KLÍMA-21” Füzetek 53: 13-32. pp. (17) RACSKÓ J. – NYÉKI J. – SOLTÉSZ M. – LAKATOS L. – HARSÁNYI G. – SZABÓ Z. (2005): Jégvédő hálók alkalmazása az almatermelésben. „AGRO-21” Füzetek 45: 112-126. pp. (18) SOLTÉSZ M. – NYÉKI J. – SZABÓ Z. (2004): A klímaváltozás kihívásai a gyümölcstermesztésben. „AGRO-21” Füzetek 34: 3-20. pp. (19) SOLTÉSZ M. – NYÉKI J. – SZABÓ Z. (2005a): Lokális stratégiai feladatok a magyarországi gyümölcstermelésben a globális gazdasági és éghajlati változások nyomán. Agrártudományi Közlemények 17: 29-34. pp. (20) SOLTÉSZ M. – NYÉKI J. – SZABÓ Z. (2008a): A gyümölcstermelést veszélyeztető extrém időjárás hatásai. „KLÍMA-21” Füzetek 53: 3-12. pp. (21) SOLTÉSZ M. – NYÉKI J. – SZABÓ Z. (2008b): Gyümölcsfajta-nemesítés szerepe a globális éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodásban. XIV. Növénynevelési Tudományos Napok, MTA, Budapest, Összefoglalók, 45. (22) SOLTÉSZ M. – NYÉKI J. – SZABÓ Z. (2009): Az éghajlatváltozás és a biogyümölcs-termelés fejlesztése. „KLÍMA-21” Füzetek 58: 3-10. pp. (23) SOLTÉSZ M. – NYÉKI J. – SZABÓ Z. – LAKATOS L. – RACSKÓ J. – HOLB I. – THURZÓ S. (2006): Az éghajlat- és időjárás-változás alkalmazkodási stratégiája a gyümölcstermelésben. In: Csete L. – Nyéki J. (szerk.): Klímaváltozás és a magyarországi kertgazdaság. „AGRO-21” Kutatási Programiroda, Budapest, 11-101. pp. (24) SOLTÉSZ M. – NYÉKI J. – SZABÓ Z. – GONDA I. – LAKATOS L. – RACSKÓ J. – THURZÓ S. – DANI M. – DRÉN G. (2005b): Alkalmazkodási stratégia az alföldi gyümölcstermelésben a globális gazdasági és klímaváltozás nyomán. „AGRO-21” Füzetek 45: 16-28. pp. (25) SZABÓ Z. – NYÉKI J. – SOLTÉSZ M. (2010): A terméshozadék és minőség tényezői a bio- és integrált

gyümölcsstermesztésben. In: Soltész M. – Nyéki J. – Szabó Z. (szerk.): A magyarországi gyümölcsstermesztés biztonsága. DE GATC-KF KFK, Debrecen-Kecskemét, 15-23. pp. (26) SZABÓ Z. – NYÉKI J. – RACSKÓ J. – LAKATOS L. – HARSÁNYI G. – SOLTÉSZ M. (2005): Téli és tavaszi fagykarak előfordulása és csökkentésének lehetőségei a gyümölcsültetvényekben. „AGRO-21” Füzetek 45: 64-76. pp. (27) SZABÓ Z. – RACSKÓ J. – SZABÓ T. – SOLTÉSZ M. – LAKATOS L. – NYÉKI J. (2008): Tavaszi fagyok hatása az alma minőségére. „KLÍMA-21” Füzetek 53: 47-51. pp. (28) VARGA-HASZONITS Z. – VARGA Z. – LANTOS ZS. – ENZSÖLNÉ GERENCSÉR E. (2006): Az éghajlati változékonyság hatása az alma termesztésére. *Kertgazdaság* 38(4): 20-28. pp. (29) WIERINGA, J. – HOLLEMAN, I. (2006): If cannons cannot fight hail, what else? *Meteorologische Zeitschrift* 15(3): 1-17. pp

IDŐJÁRÁSI ANOMÁLIÁK ÉS A NYUGAT-DUNÁNTÚLI GYÜMÖLCSTERMELÉS

SZENTELEKI KÁROLY – GAÁL MÁRTA – MÉZES ZOLTÁN

Kulcsszavak: csapadékeloszlás, cseresznyerepedés, jégeső, tavaszi fagy.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Vizsgálatainkban olyan időjárási eseményekkel foglalkozunk, amelyek jelentősen befolyásolhatják a nyugat-magyarországi gyümölcsstermelést. Az eső okozta gyümölcsrepedés elsősorban a cseresznye- és meggytermelők számára kritikus. Ennek vizsgálatára számítógépes programot fejlesztettünk, amely elég jól becsüli a cseresznyerepedés kockázatát. A fő virágzási időszakban, áprilisban a gyümölcsfák kifejezetten érzékenyek az időjárási anomáliákra. Az abszolút minimum hőmérséklet esetén a szórás szignifikáns növekedése mutatható ki a vizsgált helyeken. A vizsgált területek közül Nagykánizsa mutatja a legnagyobb áprilisi fagykockázatot, de a többi helyen is érdemes megfontolni a fagyvédelmi rendszer kiépítését. Jégeső tekintetében az ország nyugati fele kedvezőbb helyzetben van, mint a keleti országrész, a jégesők havi megoszlása a vizsgált állomásokon eltérő.

BEVEZETÉS

A közelmúltban állandósultak a mezőgazdaságban az extrém időjárási események. Csaknem egy hónapon keresztül pusztítottak a viharok és jégesők 2009 nyarán, az *Országos Meteorológiai Szolgálat* (OMSZ) több hétig folyamatosan „narancs” riasztást adott. A jégeső körbejárta az egész országot és milliárdos kárt okozott a mezőgazdaságban: a gyümölcsösökben leverte a fákról a termés egy részét, megtépázta a repce-, a kukorica- és a napraforgótablákat, valamint a szőlőültetvényeket is. A becslések szerint például Somogyban 1,1 milliárd forint (*Sonline.hu, 2009*) kárt okozott az itéletidő mezőgazdasági területeken. Idén, 2010-ben a jégesős időszak korán, már március elején elkezdődött, majd ezt követték a további viharok, hetekig tartó esőzések, amelyek az ország nagy részén katasztrófhelyzetet

okoztak. A *Magyar Biztosítók Szövetségének* május 25-i adatai alapján (*MABISZ, 2010*) a viharos időjárás miatt másfél hét alatt keletkezett károk összege elérheti a 7 milliárd forintot, ami azóta csak tovább nőtt.

Vizsgálatainkban néhány extrém időjárási esemény – áprilisi fagy, jégesők – előfordulását vizsgáltuk Nyugat-Magyarországon, melyek a gyümölcsstermelést veszélyeztethetik. A növények fejlődése szempontjából az éves minimális vízigény mellett alapvető jelentőségű annak időbeli eloszlása is, amit a cseresznyetermelésben elemeztünk. A vizsgálatokhoz használt meteorológiai adatsorok alapvetően 1951-től 2009-ig található meg adatbázisunkban (*Szenteleki, 2007*), néhány kivétellel, mint pl. a minimum hőmérséklet több állomáson csak 1964-től áll rendelkezésünkre. A statisztikai elemzésekhez a Microsoft Excel Analysis ToolPak-ját használtuk. A szórások összehasonlítása F-próbával tör-

tént, majd ennek figyelembevételével végeztük a várható értékek összehasonlítását.

A CSAPADÉK ELOSZLÁSA ÉS A MINŐSÉGI CSERESZNYETERMELÉS

A cseresznye közepes vízigényű növény, a meggyhez hasonlóan 550-600 mm évi csapadék mellett jól fejlődik. Száraz körülmények között fejlődő gyümölcs kevésbé tűri a betakarításkor hulló csapadékot, akár 50-60%-ban is felrepedhet, ezzel lehetetlenné téve az eredményes szüretet. A kritikus időszak a virágzást követő 1–1,5 hónap, Magyarországon ez általában április 15. – június 15. közti időszak. Április–május hónapokban ritkán fordul elő a heti szinten egyenletes csapadékkellátottság, így ez kivétel nélkül minden évben problémát okoz. Betakarításkor már kisebb mennyiségű, 5-10 mm csapadék is repedést okoz. Ha szüreti idő alatt 2-3 alkalommal jelentkezik 5 mm-nél nagyobb csapadék, az szinte biztosan a gyümölcsök 30%-nál nagyobb arányú repedésével jár. A szüreti idő általában május harmadik dekáda és július első dekáda közötti. Öntözött körülmények között, ahol a vízellátás egyenletes, a gyümölcsrepedés kevésbé jelentkezik. A cseresznye repedését számos tényező befolyásolja, és jelentős eltérések vannak a fajták között is (*Simon, 2006; Simon et al., 2008*).

A gyümölcsök fejlődése szempontjából az éves minimális vízigény mellett alapvető jelentőségű azok időbeli és térbeli eloszlása:

– A virágzás és a szüret közötti időszak csapadékkellátása a lehető legegyszerűsebb legyen, nevezetesen heti rendszerességgel 10-15 mm csapadék biztosítja a gyümölcsök optimális tömegnövekedését, és egyben kondicionálja azokat, hogy a szüreti időszakban csapadékosra forduló körülmények között se szenvedjenek túlon túl nagy károsodást a repedés, illetve az azokhoz köthető rothadás következtében fellépő minőségi romlást, piacvesztést, illetve jelentős árbevétel kiesést.

– A szüretet megelőző időszak lehetőleg esőmentes napokból álljon, mert a cseresznyeszemeken megtapadó esőcseppek által megnövekvő belső ozmózisnyomás a cseresznyék repedési hajlamának megnövekedését, illetve a cseresznyék megrepedését eredményezheti, ami lehetetlenné teheti a gépi szüretet, s legfeljebb légyártási alpanyagként értékesíthető a jóval drágább étkezési cseresznye helyett.

A csapadékkockázati mutatószámok

Amennyiben rendelkezésre állnak megfelelő meteorológiai adatsorok, ötven-száz évre visszamenőleg elemezhető, hogy a minőségi elvárások és kockázati tényezők milyen szinten következtek be, és ezáltal mennyiben elégtették ki a cseresznye optimális fejlődési feltételeit, illetve emelték a cseresznyetermelés kockázati szintjét. Az egyenletes vízellátás mérése számítógéppel viszonylag könnyen megvalósítható, tetszőleges időhorizontra visszamenve könnyedén meghatározható, mely években hány héten keresztül esett megfelelő, 10-15 mm csapadék, vagy hány héten keresztül nem teljesültek ezen elvárások. A vizsgált időszak minden termőhely esetében április 15-től a különböző szüreti időpontokig tartó, ezért változó hosszúságú tenyészidőszakok elemzését és kiértékelését foglalta magában. A szüreti időpontokat május 25-től július 10-ig futtatuk, azaz a korai, középerésű és késői fajták egyaránt az elemzés tárgyát képezték, s így a váltakozó hosszúságú tenyészidőszakokra képzett vízellátottsági kockázati mutatókat külön-külön számoltuk, majd évenként átlagoltuk azokat. Ezáltal egy általános *KI* kockázati mutatószám keletkezett, ami az április–júniusi csapadékhozam mérése mellett annak egyenletes, a gyümölcs növekedése szempontjából optimális eloszlás meglétéről is tájékoztat bennünket.

A szüreti időszakot – mint említettük – az év 145. és 191. napja között határoztuk meg, számításainkat erre az időszakra összpontosítottuk. Minden betakarítási naphoz négy

kockázati értéket határoztunk meg az alábbi algoritmusok alapján:

– *K2 kockázati tényező*: a szüret előtt 10-6. napon legalább 15 mm csapadék esik, $1x=0,15$; $2x=0,4$; $3x=0,7$.

– *K3 kockázati tényező*: a szüret előtt 5-1. napon legalább 10 mm csapadék esik, $1x=0,2$; $2x=0,5$; $3x=0,8$.

– *K4 kockázati tényező*: a szüret alatt legalább 5 mm csapadék esik, $1x=0,8$; $2x=1$.

Ugyancsak képeztük a szüreti csapadék együttes kockázatának a mutatószámát az alábbiak szerint:

– $K5 = K2 + K3 + K4$, de ha $K5 > 1$ lenne, akkor $K5 = 1$.

Az itt ismertetett algoritmusok elvégzése a felhasználó tetszése szerint paraméterezhető és ciklikusan hívható számítógépes programmodulokat fejlesztettünk ki. A paraméterezés segítségével tetszőleges termőhelyre, tetszőleges időhorizonton (egy évre, egy évtizedre, több évtizedre, vagy akár évszázadra) gyorsan és hibamentesen végezhetjük el a szükséges számításokat. A paraméterezésben rejülő további lehetőség a tenyészidők szerinti szegmentálás lehetősége (korai, középérésű, késői fajták), így lehetőség nyílik a teljes szüreti időszak akár hetenként változó kockázati szintjeinek több évtizedre visszanyúló beclésére.

A cseresznye minőségét előnyösen befolyásoló csapadékeloszlások

Vizsgálatainkat négy nyugat-dunántúli megyére (Győr-Moson-Sopron, Vas, Zala és Somogy), és ezen belül hat meteorológiai állomásra végeztük el. Első lépésben április 15-től – egy átlagos cseresznyevirágzási időponttól – számítottuk ki minden egyes szüreti időpontig a heti csapadékösszegeket, és hetenként elemeztük, hogy leesett-e a szakemberek által elvárt 10-15 mm csapadék. A teljesülési grafikonokat az 1. ábra mutatja.

Az 1. ábrából látható, hogy a cseresznye virágzás utáni vízellátottsága mindenhol eléggé bizonytalan, elég nagy a szóródás, de egyértelműen Zala megyében a legkedvezőbb

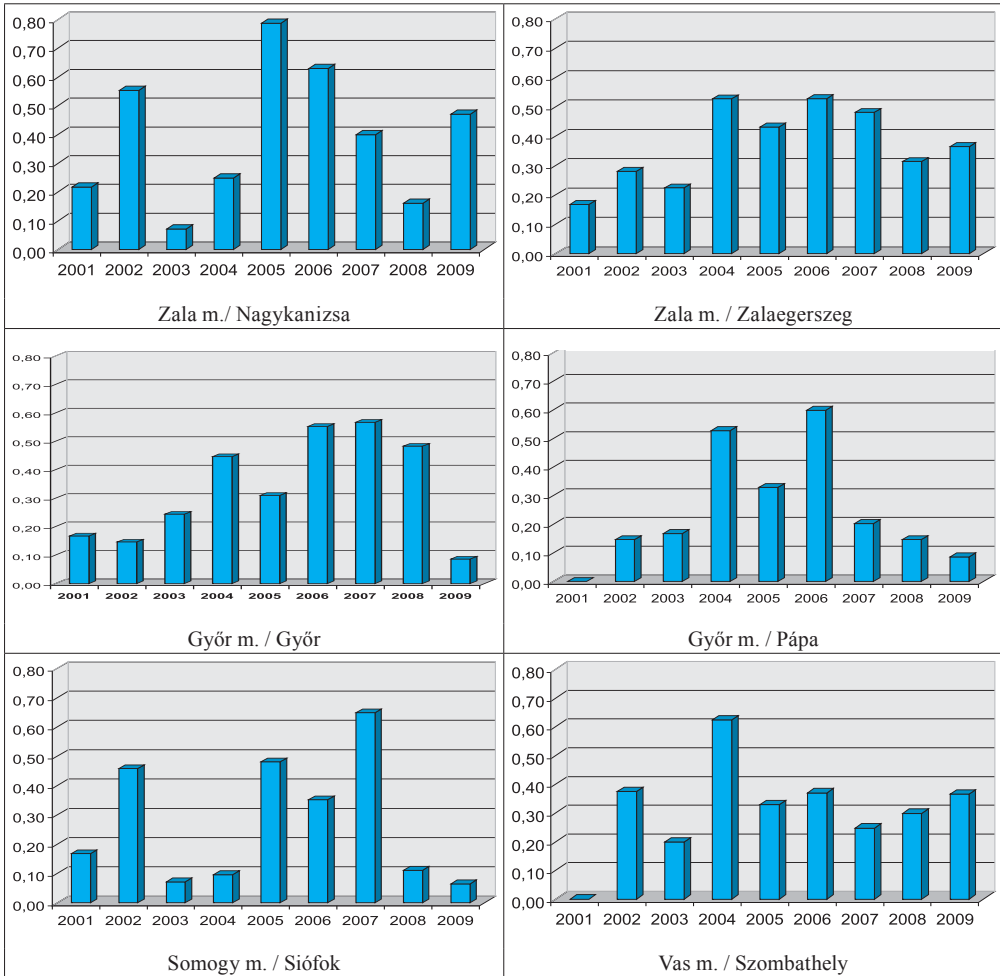
a szükséges csapadékmennyiség érkezése. Vizsgálatainkat ötven év átlagára, sőt az ország központi területére és az alföldi területekre száz évre visszamenőleg is elvégeztük. Zalához viszonyítva némiképpen kedvezőtlenebb képet mutat Győr-Moson-Sopron, illetve Vas megye, de a legkedvezőtlenebb helyzetben kimagaslóan Somogy (Siófok) található. Nem véletlen, hogy azokon a területeken a korszerű ültetvényeket mindenütt öntözési lehetőségek biztosításával telepítik.

Érdekes összehasonlításhoz teremt alapot a cseresznye egyenletes csapadékelátottsági index térbeli kiszámítása és ábrázolása. Nagykanizsához viszonyítva két irányba vizsgáltuk az eltéréseket (2. ábra). Első vizsgálatunkban öt nyugat-magyarországi mérőállomás adatait hasonlítottuk össze Nagykanizsától kiindulva egészen Győrig. A közel hatvanéves időszakok együttes feldolgozása egyértelműen Nagykanizsát jelölte meg a csapadékelátottság szempontjából legkedvezőbb körzetnek, s északra haladva az ellátottsági szint gyakorlatilag a térbeli távolsággal arányosan csökkent.

A másik kitüntetett irányt a nyugat-kelet irányú változások számbavétele céljából vizsgáltuk, szintén Nagykanizsát választva kiindulópontnak, egészen Debrecen (illetve Újfehértó) térségéig. Az elemzések most is az egyenletes csapadékelátottság fokozatos csökkenését tükrözik, egészen Kecskemétiig, majd a keleti határszél közelében fekvő települések esetében az ellátottsági index ismét emelkedni kezd. Meglepő eredményként könyvelhetjük el, hogy Győr térségének egyenletes vízellátottsági indexe alig tér el Magyarország legszárazabb vidékének ismert közép-alföldi városok (Kecskemét) térségének egyenletes vízellátottsági értékeitől a 60 éves időszakok alapján.

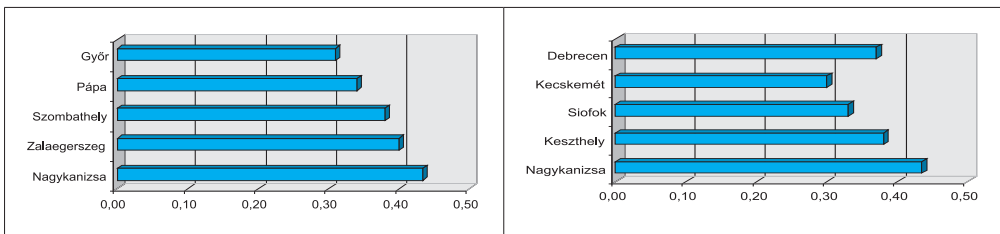
Eredményeinkre némi magyarázatot ad a 3. ábrán bemutatott április–júniusi időszakra készült csapadéktérkép, de hangsúlyozzuk, hogy adott időszakban lehullott csapadék összmenyisége kevésbé megbízható mutatószám, mint az egyenletes eloszlás mérésére kidolgozott ellátottsági indexek.

1. ábra



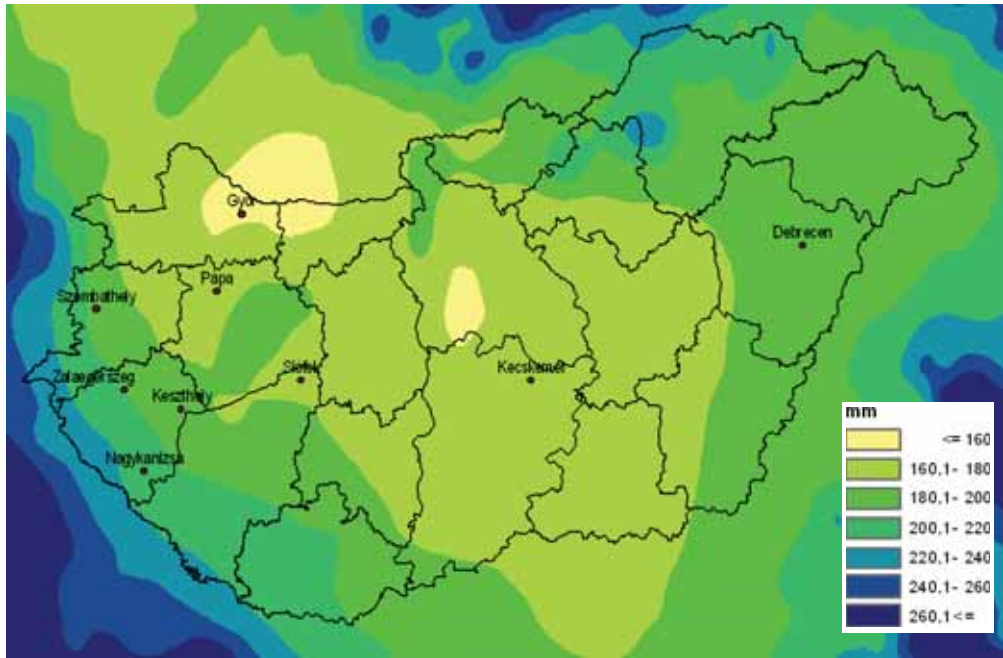
Cseresznye tenyészidei vízellátottsága (K1) megyénként

2. ábra



A cseresznye egyenletes csapadékeloszlási indexének térbeli alakulása, 1951–2009

3. ábra



Április–júniusi csapadék (1961–90) CRU adatbázis alapján

A cseresznye minőségét károsan befolyásoló csapadékeloszlások

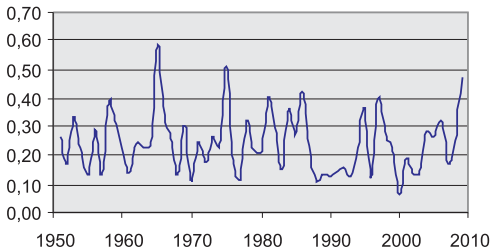
A cseresznyerepedés a túlzott csapadék következtében a piaci értékesítésre szánt cseresznye akár 100%-át is megfoszthatja attól a lehetőségtől, hogy magas árszinten, közvetlen fogyasztás céljából kerüljön értékesítésre. Bár esős időszak esetén permetezéssel, vagy a szüret egy-két napos eltolásával ezek a károk mérsékelhetők, de minden esetben komoly veszteségekkel kell számolni, hiszen mind a permetezés, mind a munkaerő és gépi technika előre nem tervezett átcsoportosítása csak jelentős költségráfordítással, az ütemezett szüret szervezésének továbbgyűrűző nehézségeivel oldható meg, s a minőségromlás egyik esetben sem akadályozható meg teljesen (Christiansen, 1996; Csiszár, 2004; Simon, 2003; Soltész et al., 2006).

Ahogy írtuk, a szüret több évre visszatekintő csapadékkockázatának számítását a

teljes szüreti időszakra naponként meghatároztuk, de a könnyebb áttekinthetőség érdekében az eredményeket heti bontásban adjuk közre május utolsó hetétől július 10-ig terjedő időszakra vonatkozóan. Míg az egyenletes vízellátottsági indexből nem állapítható meg egyértelműen és számszerűsítve a gyümölcs optimális fejlődésére, s ezen keresztül annak az árbevételre gyakorolt hatása, a gyümölcsrepedésre vonatkozó mutatószámok már jóval konkrétabb százalékos arányokat tartalmaznak a bekövetkezett minőségi romlás objektívabb megközelítésére.

Nagykanizsa esetén a kidolgozott kockázati mutató a repedt gyümölcsök arányát – a 4. ábra szerint – néhány kiugróan magas évet nem számítva zömében 10 és 40% közé teszi. Kiugróan magas veszteséget könyvelhettek el a nagykanizsaiak 2009-ben is, amikor a csapadékkadatokra épített kockázati becslés 48%-os terméskiesést jelzett. A nagykutasi cseresznyeültetvényben részletes statisztika

4. ábra



Gyümölcsrepedési kockázat Nagykanizsán, 1951–2009

1. táblázat

Cseresznyerepedések aránya Nagykutatson

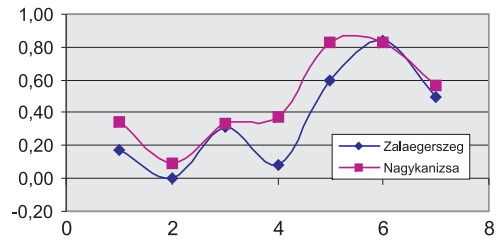
Fajta	Repedt gyümölcsök aránya, %	Fajta	Repedt gyümölcsök aránya, %
Techlovom	76	Giant Red	40
Sanda Ross	61	Regina	39
Canada Giant	54	Cristalina	37
Katalin	45	Skeena	34
Alex	44	Symphony	29
Sweetheart	44	Germersdorfi	19
		Ripley	
		Chelon	18

Forrás: konzorciumi jelentés, 2009

ka készült a csapadékos szüreti időszak által okozott jelentős kártételről, amelyet az 1. táblázatban adunk közre.

A 13 fajta átlagos gyümölcsrepedése 42%-ot tett ki. A nagykutatasi gyümölcsöshöz ugyanabban a megyében a legközelebbi meteorológiai állomás Zalaegerszeg, ezért a repedéskockázati számításainkat elvégeztük erre az állomásra is megfelelő paraméterválasztás mellett. Ennek illusztrálására közreadjuk a nagykanizsai és zalaegerszegi részletes számításokat, ahol minden betakarítási hétre, május 25-től július 10-ig külön-külön elvégeztük az adott héten várható terméskiesés becslését (5. ábra). A nagykanizsai vizsgálatokkal párhuzamosan elvégzett elemzések Zalaegerszegen 2009-ben 36%-os repedéskockázatot mutattak. Mivel Nagyku-tas Zalaegerszeg közelében, Zalaegerszeg és Nagykanizsa térségében található, a konkrét

5. ábra



A cseresznyerepedés kockázatának alakulása betakarítási hetek szerint (május 25. – július 10.)

termésveszteség értékei beleillenek a két megyei településen kiszámított kockázati értékek keretei közé.

Az 5. ábráról leolvasható, hogy a Zalaegerszegen mért kockázat minden betakarítási héten alatta marad, vagy legfeljebb megközelíti a nagykanizsai becslést veszteségeket. A 60 éves idősorokra alapozott számítások szerint a két település átlagos kockázati szintje mintegy öt százalékban különbözik egymástól. Természetesen bármely évben előfordulhat, hogy fordított helyzet áll elő, ez a mindenkori csapadékviszonyok függvénye. A hosszú idősorokra alapozott kiértékelések célja, hogy minél pontosabb képet adjon egy adott területen a gyümölcsstermelés általános kockázati feltételeiről. Ha ugyanezeket a számításokat több évre visszamenőleg elvégezzük, akkor ültetvénytelepítési döntéseink megalapozásához további segítséget adhatnak a kockázati index heti változásainak adatai, elősegítve a korai, középerésű és kései fajták közötti választást is.

Az általunk számított kockázati mutatók egyforma súllyal és átlagos repedési hajlammal veszik figyelembe a különböző érési idővel rendelkező cseresznyefajtákat. Egy adott gazdaságnál ezt célszerű pontosítani, súlyozva a korai, középerésű és kései fajták területével, vagy természetlagával. Az így pontosított termelési szerkezettel természetesen a kockázatszámításra kidolgozott számítógépes algoritmusunk is paraméterezhető, és minden egyes üzem esetében a szükséges számítások elvégezhetőek.

AZ ABSZOLÚT MINIMUM HŐMÉRSÉKLETEK ÁPRILISBAN

A tavaszi fagyokkal kapcsolatban két fontos paraméter vizsgálható: az abszolút minimum hőmérsékletek alakulása, valamint a fagyos napok száma. Az egyes termőterületek termésszükségletének értékelésekor mindkét jellemzőt érdemes figyelembe venni. A legtöbb gyümölcsfaj fő virágzási időszaka áprilisra esik, ezért erre a hónapra vonatkozóan végeztük az elemzéseket. Az 1964–2009-es időszak adataira nem illeszhető egy folyamatos változást szemléltető trend. Azonban

a 6. ábra alapján az időszak második fele nagyobb ingadozást mutat.

A két időszak (1964–1985 és 1986–2009) átlag- és szórásértékeit statisztikai próbákkal is összehasonlítottuk (2. táblázat). Az abszolút minimum értékeinek átlaga csak Zalaegerszegen mutatott szignifikáns különbséget, felmelegedést jelezve. Nem tekinthető szignifikáns eltérésnek, de Nagykanizsán és Győrött érdekes módon az áprilisi minimumok csökkenése figyelhető meg. A szórások azonban minden esetben szignifikáns növekedést mutatnak – ez a termelők számára nagyobb bizonytalanságot, kockázatot jelent.

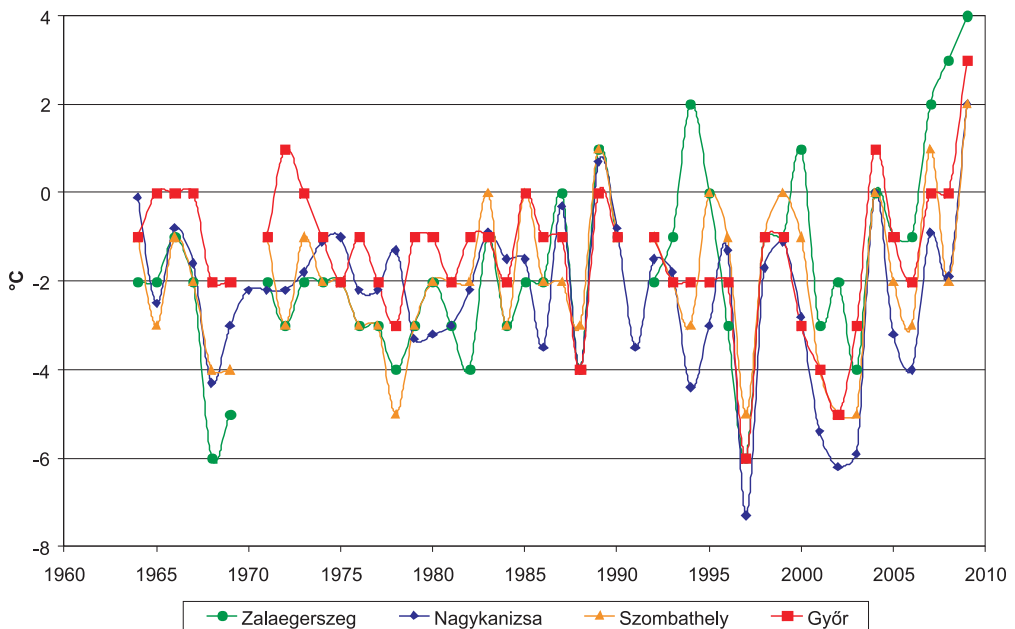
2. táblázat

Az áprilisi abszolút minimum hőmérsékletek változása

	Átlag, °C		sign.	Szórás, °C		sign.
	1964–1985	1986–2009		1964–1985	1986–2009	
Zalaegerszeg	-2,71	-0,83	**	1,23	2,37	**
Nagykanizsa	-2,00	-2,57		0,98	2,28	**
Szombathely	-2,24	-1,69		1,30	1,94	*
Győr	-1,05	-1,65		0,97	1,97	**

Szignifikáns különbségek: * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$

6. ábra



Abszolút minimum hőmérsékletek áprilisban

A FAGYOS NAPOK SZÁMA ÁPRILISBAN

Fagyos napok alatt azokat a napokat értjük, amikor a minimum hőmérséklet 0 °C alatti. Természetesen nem mindegy, hogy mennyire süllyed a hőmérséklet ez alá, ezért a 7. ábrán 2 °C-onként ábrázoltuk a gyakoriságokat. A vizsgált időszakban nem figyelhető meg egyértelmű trend, de még az előbbi két részre bontás sem mutat szignifikáns különbségeket.

A vizsgált helyek közül egyértelműen Nagykanizsa van a legkedvezőtlenebb helyzetben: itt a legnagyobb a fagyos napok száma, valamint a leghidegebb napok (-6 °C alatti hőmérséklet) is itt figyelhetők meg.

A leghidegebb tavasz 1997-ben volt, valamint súlyos fagykárok voltak 2002-ben, amikor a fagyok egy szokásosnál melegebb február–március után érték a virágzó gyümölcsösöket. A fagyos napok száma szintén magas volt 2003-ban, amikor januártól áprilisig a sokéves átlag alatti volt a hőmérséklet, majd a nyár extrém meleget hozott. A gyümölcsösökben 2007-ben országsszerte voltak tavaszi fagykárok, de ez legsúlyosabban Kelet-Magyarországot érintette (Nagy et

al., 2008; Szabó et al., 2008). A 7. ábrán is látható, hogy a vizsgált területek közül csak Nagykanizsán volt fagy ebben az évben.

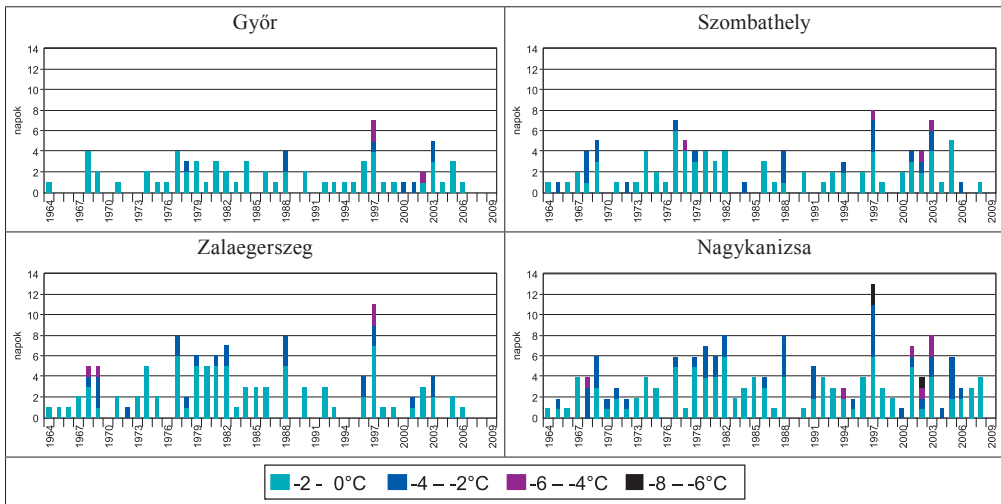
A különböző gyümölcsfajok és azon belül a fajták fagyérzékenysége is eltérő. Az egyik legellenállóbb a meggy, ami a virágzási időszakban a -2 °C-ot is elviseli. A cseresznye érzékenyebb, a virágzási időszakban a -1,5 °C a kritikus. A kajsziarack általában ennél is érzékenyebb, bár vannak ellenállóbb fajták, pl. a ‘Rózsa kajszi C 1406’, ami a meggyhez hasonlóan bírja a téli és tavaszi fagyokat.

Az adatok alapján Győr a legkevésbé fagyveszélyes terület, de az összes vizsgált körzetben ajánlott a fagyvédelmi rendszer kiépítése. A legnagyobb tavaszi fagyveszélyt mutató Nagykanizsa környékén a meggy és a cseresznye termesztése sem javasolt.

A JÉGESŐK

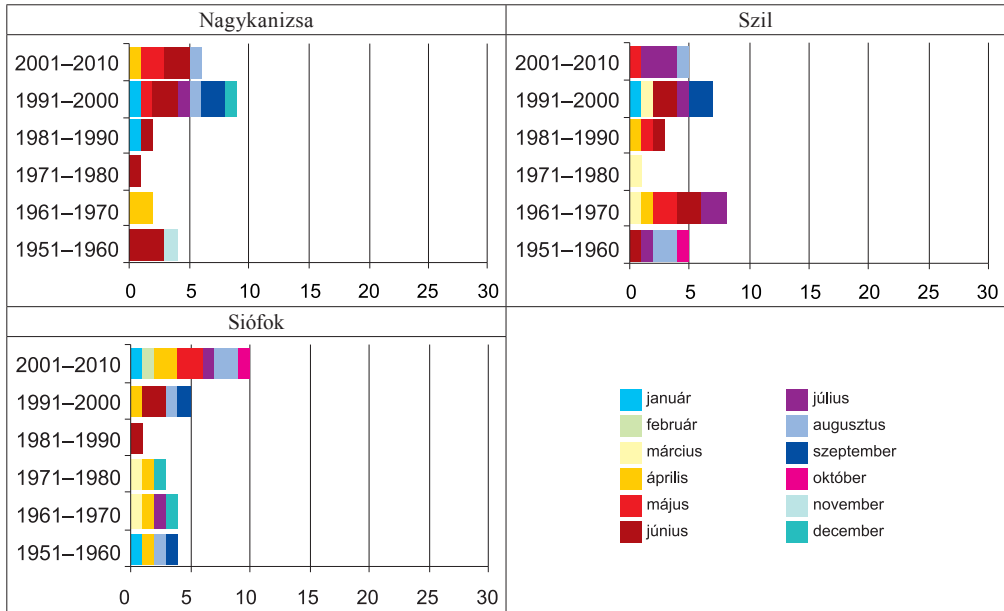
Nem ritka időjárási esemény hazánkban a jégeső. Az évenkénti és területi eltérések ellenére országosan mintegy 70-140 azoknak a napoknak a száma, amikor az ország valamely részén jégeső előfordul. Szuróczi és Tőkei (1985) szerint egy-egy földrajzi helyen

7. ábra



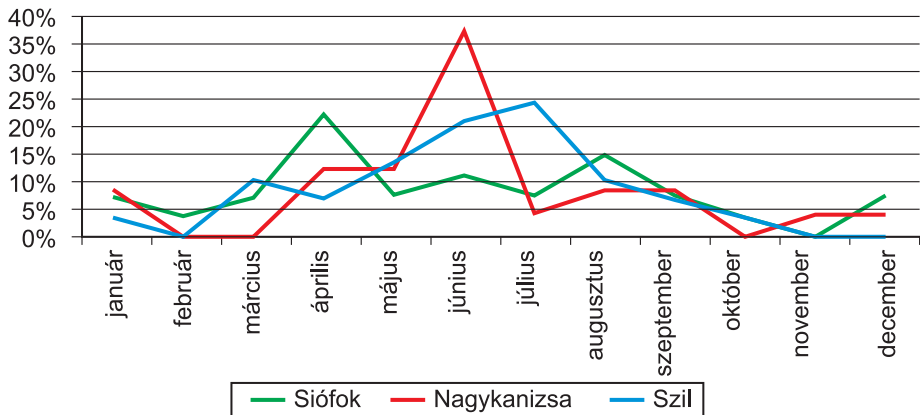
Fagyos napok száma áprilisban

8. ábra



A jégesők előfordulási gyakoriságai, 1951–2009

9. ábra



A jégesők havi megoszlása (1951–2009 alapján)

a jégesős napok évi száma 1-3 között mozog. A 8. ábrán 1951-től évtizedenként ábrázoltuk a jégesők előfordulását, természetesen az utolsó évtized nem teljes, csak 2009-ig tartalmazza az adatokat. A három vizsgált meteorológiai állomáson a tízéves jégesős-gyakoriság 10 alatti érték – tehát évente átlagosan

1 alatti –, jóval alacsonyabb, mint az ország középse, illetve keleti felében megfigyelhető (Szenteleki et al., 2009). Azonban Nagykanizsán és Siófokon az utóbbi évtizedekben jelentősen megnőtt a jégesős napok száma, ami a védekezőrendszerek kiépítésére, illetve használatára hívja fel a figyelmet.

Az irodalmi adatok alapján (Aujesky, 1947; Bálint, 1967; Wirth et al., 1985) a leginkább jégesőveszélyes hónapok a május, június és július, azok közül is júniusban várható a legnagyobb jégeső-gyakoriság. Ez jellemző Nagykanizsán, Szilen július felé tolódik el, míg Siófokon az áprilisi jégeső a nagyobb arányú és az augusztusi 15% is számottevő (9. ábra).

A jégeső kártétele kettős:

– Közvetlenül mérhető a megsemmisült vagy minőségileg leromlott termés mennyiségével és értékével.

– Közvetetten pedig a növények általános kondíciójának romlása okoz hosszú távú terméskiesést, illetve a sebeken keresztül fertőző kórokozók az ültetvény idő előtti leromlását, pusztulását eredményezik.

A különböző fenológiai fázisban levő gyümölcsfákban a jégeső kártétele is eltérő. A virágzási időszak előtt ritkán fordul elő jégeső, amennyiben mégis bekövetkezik, kártétele jelentős, mivel a fák nedvkeringése már elindul, és a rügyek megduzzadnak. Ekkor kisebb mechanikai hatásra is a vesszőtől elválhatnak, és lombozat híján a jég közvetlenül a fás részeket és a rügyeket éri. A fás részeket (vesszők, vázágak, törzs) a jég becsapódása felrepsztheti, utat nyitva az ekkor még aktívan fertőző gombás és baktériumos betegségeknek a növény szövetei felé. A sebek záródása a vegetációs időszak ilyen korai időszakában még lassú, a fertőzés mértéke így igen jelentős lehet egy februári jégeső következtében.

Március hónaptól a jégeső előfordulási valószínűsége nagymértékben növekszik. A fákon levő virágok és hajtáskezdemények nagyon sérülékenyek, csekély mechanikai hatásra is a földre hullanak.

Virágzás után a gyümölcskezdeményeknek némi védelmet nyújt a folyamatosan fejlődő lombozat. A károkozás mértéke nagyban függ a jégdarabok méretétől, de erre vonatkozóan a meteorológiai jelentések nem tartalmaznak adatot. Amennyiben nagy tömegű jég esik nagy intenzitással, akkor a gyümölcskezdemények leverése okoz ter-

méskiesést. Ha a jég kisebb tömegű, a gyümölcs a fán marad, de héján apró sérülések keletkeznek, melyek miatt később a friss piacon nehezen lesz értékesíthető. A lombozatban okozott kár általában kisebb problémának számít. A fák termőképességét a lombozat részleges elvesztése természetesen negatívan befolyásolja, a sérült levelek aszimilációs képessége kisebb, kórokozókra érzékenyebbek. Növekedésük során a gyümölcskezdemények érzékenysége a jégkára fokozatosan nő. Kajsziaracknak, őszibaracknak és szilvának az úgynevezett zöld dió nagyság eléréséig a gyümölcskezdemények felületi rugalmassága viszonylag nagy, ezért eddig az időszakig a jégeső döntően héjhibákat okoz, de a gyümölcsök így export és hazai I. osztályú értékesítésre a későbbiekben már nem alkalmasak.

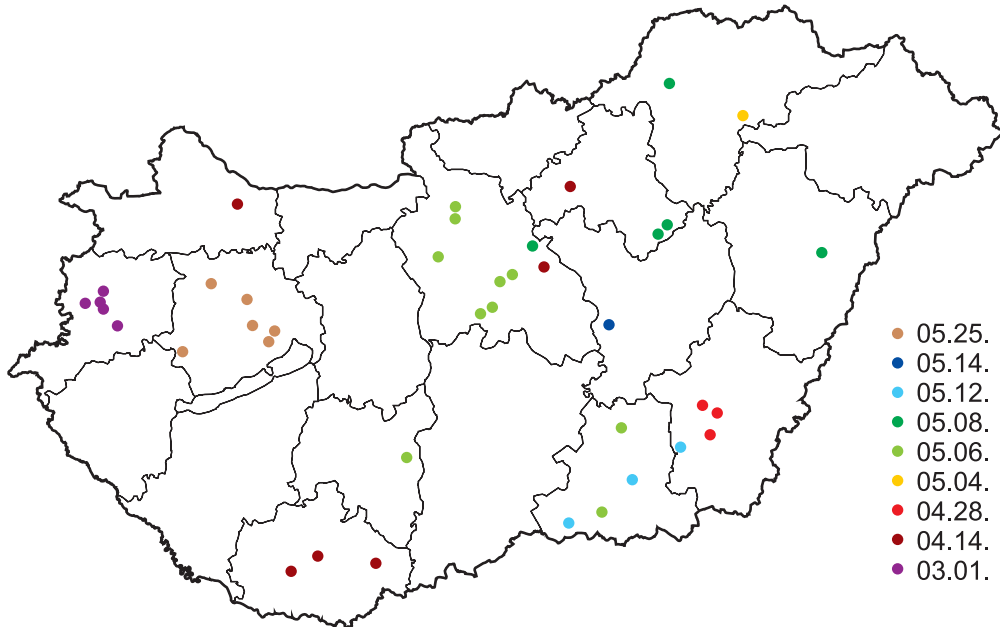
A jég okozta sérülések a gyümölcsön a kórokozók fertőzési veszélyét növelik. Csonthejasoknál leginkább a monília jelent ilyenkor problémát, tehát a károk felmérése után növényvédelmi kezelés általában indokolt.

A szüret utáni időszak rendkívül fontos a gyümölcsstermő növények fenológiai fázisában. Ekkor történik ugyanis a következő évi rügyek kialakulása. Ha ezen időszak alatt túlzott stressz éri a fákat (szárazság, jégeső stb.), akkor a rügydifferenciálódásban zavar keletkezik, és a következő évi termés mennyisége csökken. A jégeső termést ekkor már nem károsíthat, de a lombozat és esetleg a fás részek sérülése jelentős növényvédelmi kockázatot is jelent. Augusztus közepe után keletkezett sérülések a vesszőkön, vázágakon már lassan kalluszosodnak, így a teljes sebgyógyulás a tél beálltaig nem garantált. Szeptember hónaptól a gombák és baktériumok fertőzési nyomása erősödik, amennyiben lehetséges, a jégeső okozta sérüléseket kezelni kell.

Jégesők 2010 tavaszán

2010-ben szokatlanul korán – március 1-jén – érkezett az első jégeső Vas megyében (Vasnépe.hu, 2010). A korai időpont miatt

10. ábra



Jégesők 2010 tavaszán

azonban a borsó és cseresznye nagyságú jég még elsősorban nem a növényekben tett kárt. Április közepén több helyen, köztük Baranyában volt jégeső, annak ellenére, hogy itt működik az ország egyetlen jégeső-elhárító rendszere. Azonban ennek üzemeltetése csak május 1-jén indul, így Pécs környékén jelentős károkat okozott. A későbbiekben inkább az ország középső és keleti felében fordult elő jégeső (10. ábra), és többször is másod- vagy harmadfokú riasztás volt a viharos szél és a

zivatarok miatt, majd ismét az ország nyugati felét, Veszprém megyét érintették a viharok.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A meteorológiai adatok egy részének beszerzésére az OM-00042/2008, OM-00270/2008 és az OM-00265/2008 projektek keretében került sor, további támogatást nyújtott a TÁMOP-4-2.1.B-09/1/KMR-2010-0005 pályázat.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) AUJESZKY L. (1947): A jégeső gyakoriság és valószínűség Budapesten 1871-1945. Orsz. Met. és Földmágnassági Int. Kiadványai, Bp. In: BÁLINT Gy. (1967): A jégesők és növénytermelésünk jégkárjai. Kandidátusi értekezés, Bp. (3) CHRISTIENSEN, J.V. (1996): Rain-induced cracking of sweet cherries: it causes and prevention. In: Webster, A.D., Looney, N.E. (eds.): Cherries: Crop physiology. Production and uses. CAB International, 297-327. pp. (4) NAGY P.T. – KÁTAI J. – NYÉKI J. – SZABÓ Z. (2008): Effect of frost damage on leaf macronutrient status of eight apple cultivars in integrated apple orchard in Eastern-Hungary. International Journal of Horticultural Science 14 (1–2): 37–40 (5) SIMON

- G. (2003): Az ültetvények védelme az eső és a madarak által okozott károk ellen. In: Hrotkó K. (szerk.) 2003: Cseresznye és meggy. Mezőgazda Kiadó Budapest, 338-345. (6) SIMON G. (2006): Review on rain induced fruit cracking of sweet cherries (*Prunus avium* L.), its causes and the possibilities of prevention. *International Journal of Horticultural Science* 12 (3): 27–35., Agroinform Kiadó, Budapest. (7) SIMON G. – TÓTH M. – PAPP J. (2008): A fajták gyümölcsrepedési hajlamának vizsgálata szabadföldön és laboratóriumban, gyümölcsrepedést gátló készítmények alkalmazási technológiájának kidolgozása c. zárójelentés a meggy006 sz. GAK kísérletekhez. (8) SOLTÉSZ M. – NYÉKI J. – SZABÓ Z. – LAKATOS L. – RACSKÓ J. – HOLB I. – THURZÓ S. (2006) A cseresznye és meggy repedése és az ellene való védekezés. In: Csete L.-Nyéki J. (szerk.) Klímaváltozás és a magyarországi kertgazdaság Agro-21 Kiadó, Budapest. 84-92. pp. (9) SZABÓ Z. – RACSKÓ J. – SZABÓ T. – SOLTÉSZ M. – LAKATOS L. – NYÉKI M. (2008): Tavaszi fagyok hatása az alma minőségére. „KLÍMA-21” Füzetek 53: 47-51. (10) SZENTELEKI K (2007): A Környezet – Kockázat – Társadalom (KLIMAKKT) klímakutatás adatbázis-kezelő rendszerei. „KLÍMA-21” Füzetek 51: 89-115. (11) SZENTELEKI K. – GAÁL M. – LADÁNYI M. (2009): Hail data analyses. *International Journal of Horticultural Science*, 15(4): 99-103. (12) SZURÓCZKI Z. – TÖKEI L. (1985): Meteorológiai alapismeretek. Kertészeti Egyetem, Bp. (13) WIRTH E. – ZAKÓCS J. – FÖLDVÁRI J. (1985): Jégesők, jégkárok, védekezés, biztosítás. Mezőgazdasági Kiadó, Bp. (14) MABISZ (2010): Sajtóközlemény, 2010. május 25. (15) Sonline.hu (2009): Milliárdos kárt okozott a jégeső a mezőgazdaságban, 2009.július 14. (16) Vasnépe.hu (2010): Brutális jégesővel és zivatarral indult a március, 2010. március 2.

ERDŐK A SZÁRAZSÁGI HATÁRON

MÁTYÁS CSABA – FÜHRER ERNŐ – BERKI IMRE – CSÓKA GYÖRGY
– DRÜSZLER ÁRON – LAKATOS FERENC – MÓRICZ NORBERT –
RASZTOVITS ERVIN – SOMOGYI ZOLTÁN – VEPERDI GÁBOR
– VIG PÉTER – GÁLOS BORBÁLA

Kulcsszavak: aszálygyakoriság, szárazsági erdőhatár, fajok klímaérzékenysége.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A szárazsági erdőhatáron a szélsőséges időjárási körülmények a fajok elterjedésének (és termesztésének) limitáló faktorai. Az erdei ökoszisztémák elterjedési területét, növekedését, produkcióját és egészségi állapotát elsősorban a nyári aszályosság erősödése érinti. Tanulmányunk az erdő mint életközösség és mint megújuló erőforrás klímaérzékenységének főbb jellemzőit foglalja össze, amelyek elhárítására, csökkentésére szükséges felkészülni.

A nyári aszályosság az elmúlt 50 évben növekvő tendenciát mutatott, és a trend a XXI. században, különösen annak második felében a modellek szerint erősödhet. A szárazsági határ Magyarországon döntő jelentőségű, mert minden fontosabb faj esetében kimutatható. A nyári aszályosság erősödése nemcsak a növekedés várható visszaesésében, hanem a rovarkárok jelentős bővülésében is érezhető hatását: a tömegszaporodási események (gradációk) erősödnek és új károsítók jelennek meg. A vitalitás gyengülése végső esetben tömeges pusztuláshoz vezethet.

A fanövedék, azaz a szervesanyag-képzés és a klíma szoros kapcsolata a klímazónák összehasonlításában jól kimutatható. A dendromassza föld feletti része a klíma szárazodásával erőteljesen csökken (fafajtól függetlenül), míg a föld alatti dendromassza nem változik. A humusz és a talaj széntartalma a szárazodással emelkedő tendenciát mutat.

A klímamodellek a XXI. századra a klímaérzékeny fajok klímaterének erőteljes beszűkülését jelzik, érzékeny hozamvesztést és jövedelmezőségromlást vetítve előre. Az erdőterület tervezett mértékű növekedése – jelenlegi ismereteink szerint – jelentős mérséklő hatást nem tud kifejteni a lokális klímára.

Az erdő sokrétű ökológiai hatásainak és különösen a klímavédelemben betöltött valódi szerepének feltárásához a monitoring típusú adatgyűjtés erősítése, a modellezési technikák fejlesztése szükséges. A megfelelő információk birtokában lehet hosszú távú stratégiákat kidolgozni a klímatudatos erdőművelés és természetvédelem számára. A kapott eredmények az erdőgazdálkodás társadalmi szerepének megítélését is befolyásolhatják.

A KLÍMAVÁLTOZÁSRA FELKÉSZÜLÉS SPECIÁLISAN ERDÉSZETI SZEMPONTJAI ÉS KORLÁTAI

A klímaváltozás által előidézett időjárási hatások közül a mérsékelt övi ökoszisztémákat a nyári aszályosság erősödése érinti elsősorban. Ez éppúgy érvényes a növényzetre, mint a gerinces, illetve gerinctelen faunára is. Tanulmányunkban az erdő mint életközösség és mint megújuló erőforrás klímaérzékenységének főbb jellemzőit foglaljuk össze, amelyek elhárítására, csökkentésére fel kell készülniük a gazdálkodóknak és a természetvédelemnek egyaránt.

Az agrárrendszerektől eltérően az erdők egyik legfontosabb jellemzője a *hosszú életciklusból* adódó érzékenység. A természetközeli erdőállományokban, de még a hagyományos vágásfordulóú származék-, illetve kultúrerdőkben sem lehetséges a természet (fa)faj rövid távú váltása, lecserélése. Ezért a gyakran 100 évnél is hosszabb termesztési ciklusokra alkalmazkodási stratégiát tervezni csak nagy körültekintéssel lehet. Ezt indokolja az erdőgazdálkodás további korlátja is, ami a potenciális változtatásokat egyrészt a *fenntarthatóság megőrzése*, másrészt pedig a *természetvédelmi szempontok* figyelembevétele miatt csak igen szűk, törvényben meghatározott keretek között engedí megvalósítani. A gazdálkodó szempontjából ezek a korlátok azt jelentik, hogy a klímaváltozáshoz való alkalmazkodás adott esetben hatósági hozzájárulást igényel, és a faj- vagy fajtaváltás természetvédelmi akadályokba ütközhet.

Még egy fontos szempontot szükséges kiemelni, amely a klímaváltozásra való felkészülést meghatározza: ez a termelési feltételek befolyásolhatóságának korlátja. Az erdőgazdálkodás a termőhelyi feltételek megváltoztatásához egyáltalán nem, de az erdőt érő különböző abiotikus és biotikus károk elleni védekezéshez is csak igen korlátozottan rendelkezik eszközökkel. Ennek

egyrészt gazdasági és műszaki, másrészt törvényi akadályai vannak (pl. nem javíthatja a tápanyagellátást, fogyasztó rovar- és gombafajokkal szemben csak korlátozottan védekezhet).

A felsorolt okok miatt *az erdőgazdálkodásban a klímaváltozásra való felkészülés az erdei ökoszisztéma minden elemének egyidejű figyelembevételét, monitorozását és hosszú távú modellezését igényli – a feladat komplexitásából adódó minden kockázattal, bizonytalansággal együtt.*

A felkészüléshez nemcsak a növekedés, hanem a fogyasztó szervezetek (hagyományos kifejezéssel: kártevők) klímaváltozással kapcsolatos viszonyának, illetőleg az alkalmazkodóképességet meghatározó genetikai és élettani tényezőknek az ismerete is lényeges. A feladat összetettségéből adódóan válaszadásra csak nagyobb projektekből szorosan együttműködő szakértői csoportok képesek. Az intézmények és szakterületek közötti együttműködés meghatározó tényezője volt az 1994 óta, eddig hat alkalommal megszervezett „Erdő – Klíma” konferenciasorozat. Az elmúlt évtizedben az erdészeti kutatás eredményesen szerveződött nagyobb kutatási projektek megvalósítására (NKFP, Jedlik projektek és jelenleg: TÁMOP 4.2.2), és sikeres volt európai együttműködések partnereként is (EVOLTREE, COST E52 Beech, COST 639, COST-ECHOES stb.). Elmondhatjuk, hogy az elért eredmények széles körű nemzetközi érdeklődést váltottak ki, rámutatva számos, eddig figyelembe nem vett szempont globális jelentőségére is (Mátyás, 2010).

Ebben a tanulmányban csak a legfontosabb eredmények áttekintésére vállalkozhatunk, utalva az elérhető (elsősorban magyar nyelvű) publikációkra, ahol további információk találhatóak. A hazai fafajok közül elsősorban a bükköt (*Fagus sylvatica*) emeljük ki, mert számos ökológiai és genetikai jellemzője miatt a hazai klímaváltozás hatásaira érzékeny, azaz jó indikátor-, illetve tesztfa.

A SZÁRAZSÁGI ERDŐHATÁR ÉS KLIMATIKUS ÉRZÉKENYSÉGE

Az erdő vízfelhasználása a késő tavaszi, kora nyári hónapokban (V-VII. hónapok) a legintenzívebb. Ekkor a korona- és az avar-intercepcióval csökkentett csapadék csak a talaj felső rétegeibe tud beszivárogni, és a talajban tartalékolt téli csapadékvízrel együtt elsősorban a szervesanyag-képzésre, kisebb mennyiségben pedig egyéb fiziológiai folyamatokra fordítódik. Gyakran ebben a ciklusban realizálódik a faállomány növedékének 80%-a, ezért a szélsőséges időjárási viszonyok, elsősorban a csapadékhiány hatása is ekkor érzékelhető leginkább, növedékkiesés, vagyis *részleges aszálykár* révén. Július–augusztusban a magas hőmérséklet miatt tovább növekszik a légköri evapotranspirációs kényszer, és a víztartalékok igen hamar elfogyhatnak. Ezért a szárazságstressz veszélye ebben az időszakban a legnagyobb (Führer – Járó, 2000; Vig, 2004, 2009).

Ezért az erdőgazdálkodás szempontjából is kritikus kérdés, hogy bár a regionális modellszámítások szerint Magyarországon a XXI. században az éves csapadék ugyan csak kis mértékben csökken, azonban megváltozik a csapadékmennyiség éven belüli eloszlása: a legcsapadékosabb évszak, a nyár válik a legszárazabbá (Szalai – Mika, 2007).

Az aszályos nyarak valószínűségének várható alakulását a REMO regionális klíma-modell segítségével részletesen vizsgáltuk (Gálos et al., 2009a). Elemzéseink megerősítik, hogy a XXI. század második felében szignifikánsan megnőhet az aszályos nyarak száma. A 2051 és 2100 közötti időszakban minden második nyár száraz lehet, és az öz-

szefüggő száraz periódusok hosszabbá válhatnak (1. ábra).

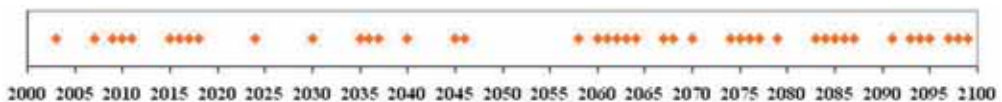
Az időjárási szélsőségek növekvő száma és a meteorológiai paraméterek hirtelen, nagy amplitúdójú változása sokkal inkább próbára teszi az élővilág alkalmazkodóképességét, mint az átlaghőmérsékletben, átlagos csapadékösszegben jelentkező lassú változások. A szélsőségeket a populáció stresszként éli meg, mely hatására az egyedek toleranciájuk mértékében jelentősen károsodnak, vagy el is pusztulnak. Ezért az extrém időjárási körülmények a fajok elterjedésének (és termesztésének) igazi limitáló faktora.

Az egyes erdőzónák, illetve fajok déli/síkvidéki határát elsődlegesen a nyári szárazsági stressz határozza meg, amely egyben a zárt erdők alsó határát is kijelöli az erdőssztyep felé (Mátyás et al., 2009a; Mátyás, 2010). Ez a határ Dél/Kelet-Európában Ukrajnát, a Havasalföldet és a Kárpát-medencét szeli át, hazánkban az Alföldek peremén húzódik (Mátyás – Czimer, 2004).

A „szárazsági határ” tehát egy faj vagy egy erdőzóna áréájának déli, alsó (alacsony tengerszint feletti) határa, amelyet természetes körülmények között elsődlegesen a nyári csapadék mennyisége és eloszlása határoz meg.

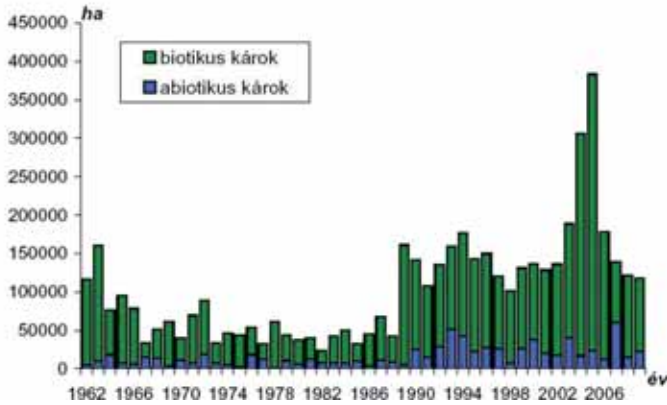
A szárazsági erdőhatár Magyarországon valamennyi klímafüggő, vagyis zonális fajaj szempontjából döntő jelentőségű, és még inkább azzá válik a klímaváltozás következtében (Führer – Mátyás, 2005). Az elterjedés alsó határán már kis mértékű szárazodás is növedék-visszaesést és pusztulást eredményezhet, mert ezek a populációk alkalmazkodottságuk ellenére változatlan klíma mellett is stresszhelyzetben vannak (Mátyás, 2009a).

1. ábra



Összefüggő aszályos periódusok a REMO regionális klíma-modell eredményei alapján Magyarországon, a XXI. században. A pontok az aszályos nyarakat jelölik

Forrás: Gálos et al., 2009a



Az erdei biotikus és abiotikus károk területe 1962–2009 között

Forrás: ERTI

Az aszályok gyakorisága és szélsőségesége az utóbbi 50 évben növekedett Magyarországon, és ugyanakkor az erdőkárok is (mind a biotikus, mind az abiotikus károk) növekvő trendet mutatnak (2. ábra). A növekedés mértéke különösen az 1980-as évek végétől szembetűnő.

Tekintettel arra, hogy az erdei fák gyökérrendszerük révén mélyebb talajrétegek nedvességtartalmát is képesek hasznosítani, az aszályos évek hatása másképpen jelentkezik, mint az egyényári mezőgazdasági kultúráknál. Egy-egy aszályos év csak növekedéscsökkenést idéz elő, de tömeges pusztulást legtöbbször nem okoz. Több egymást követő aszályos nyár azonban előidézhet már nagyobb területre kiterjedő pusztulást, különösen gyengébb adottságú termőhelyeken.

Valamennyi klímaérzékeny fajjal esetében a klíma szárazodása a vitalitás (növekedés) romlását, csökkenését eredményezi. Minél közelebb van egy helyszín a szárazsági határhoz, a csökkenés annál erőteljesebben jelentkezik. A reakció lefutása követi az elméletileg megfogalmazott exponenciális modellt, mely szerint a környezeti feltételek romlásával először a határhelyzetbe került populáció vitalitása (növekedése, egészségi állapota) romlik, majd pedig – a populáción belüli ge-

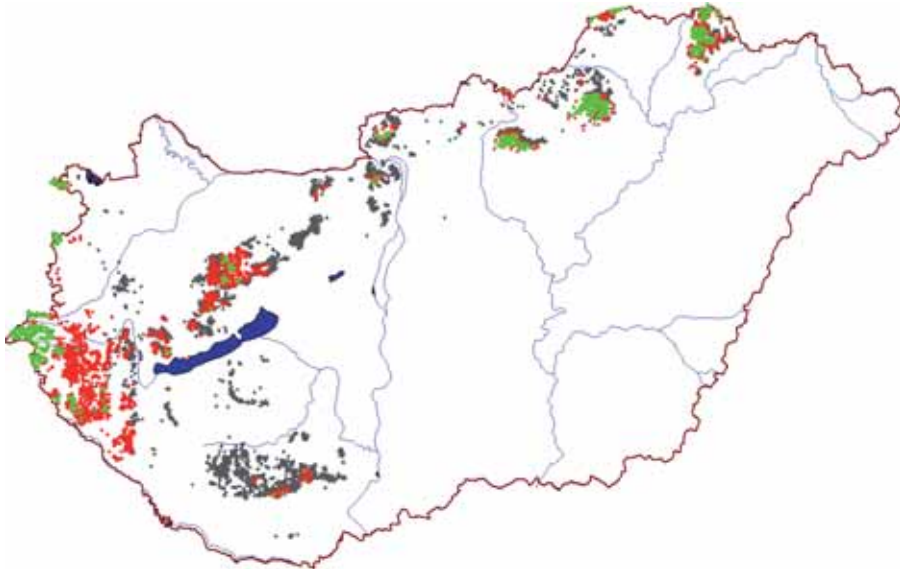
2. ábra netikai változatosság mértékétől függően – kezdetben egyedenkénti, majd tömeges mortalitás lép fel. A klímaváltozás hatására fellépő vitalitás-vesztés, egészségi problémák és mortalitás együttesen az alkalmazkodóképesség korlátait jelzik. Az alkalmazkodás egy adott populáció esetében vagy szelekció (öngyérülés) vagy fenotípusos alkalmazkodás (plaszticitás) formájában történhet: mindkét folyamat szabályozottsága genetikai eredetű (Mátyás et al., 2009a,b).

A klíma változása a fajok fenológijára is kihat. A közös tenyészkerti kísérletekben a fenyőfajok és a bükk reakciója között eltérés mutatkozott. A fenyők esetében a hőmérséklet emelkedésére elsősorban a boreális populációk reagáltak pozitívan. A bükk esetében az atlanti populációk kései fakadóknak bizonyultak, míg a kontinentálisak korán fakadnak. Mind a lucfenyő, mind a bükk esetében a montán (alpesi) populációk hőmérsékletküszöbe alacsony (koránfakadók). A klímaváltozás mértékére +2 °C-ot feltételezve, a fakadás mintegy 10 nappal korábbra tolódhat, de a felmelegedés ütemétől függően az eltérés elérheti a 40 napot is. A klímaváltozással járó lombfakadás-eltolódás kései fagyveszélyre, valamint a fogyasztókra, illetve a madárfaunára gyakorolt hatása egyelőre tisztázásra vár.

A SZÁRZASÁGI HATÁR ELMOZDULÁSÁNAK HATÁSA A BÜKK JELENLEGI ÉS VÁRHATÓ ELTERJEDÉSÉRE

Klimajelző fajjal szárazsági elterjedési határát klímaindexekkel aránylag pontosan jellemezni lehet. Közép-Európában alkalmazott, egyszerű jellemző az *Ellenberg-index*,

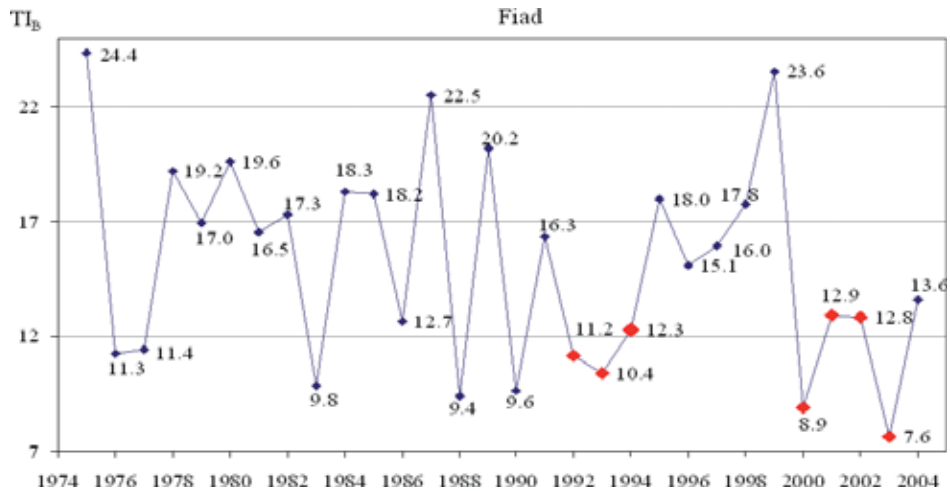
3. ábra



A bükk elterjedési területére vonatkoztatott előrejelzések a XXI. század közepére. A bükkösök egy része a FAI alapján már jelenleg is a bükk klímaterén kívül rekedt (sötétszürke), egy részük a további klímaváltozás által fenyegetett (vörös). Hosszabb távon a zölddel jelzett területek kínálnak biztosabb termesztési feltételeket

Forrás: Führer, 2008

4. ábra



A bükk tolerancia index időbeli változása 1975–2004 között a Fiad-fennsíkron. Az index 1992/94-ben három évig, 2000/2003-ban négy évig a kritikus 13 alatti értéken maradt (kiemelten jelölve) és tömeges pusztulást váltott ki

Forrás: Berki et al., 2007

a júliusi középhőmérséklet és az éves csapadék hányadosa. Az Ellenberg-féle klímaindex térségünkben jól jellemzi a bükk zonális előfordulásait és szárazsági határát. A különböző klímodelllek által előre jelzett hőmérséklet- és csapadékértékek ismeretében lehetőség van a fafajra vonatkozó klímaterék változásának előrejelzésére, amely egy adott helyszínen jól jellemzi a természetesi kockázat mértékét, a jövőbeni természetesség határait. A 3. ábra a bükk számára klimatikusan kedvező területek csökkenését mutatja. A változások a délnyugati országrész dombvidéki termőhelyein a legszembetűnőbbek, ahol eddig a bükk optimális feltételeket talált (Führer, 2008, 2010).

A fafaj komoly fenyegetettsége miatt a bükk ökológiai tűréshatárának meghatározásához aszályindexeket fejlesztettünk, amelyek a fafaj nedvesség- és hőellátottsági igényét pontosabban követik (FAI: Führer, 2008; bükk tolerancia index: Berki et al., 2007). Figyelembe vettük, hogy a talajnedvesség utánpótlása, másrészt a döntő fontosságú relatív páratartalom fenntartása miatt a bükk számára nagyon fontos a késő tavaszi és nyári hónapok csapadékmennyisége. A május–augusztus hónapok csapadékösszegeiből és középhőmérsékleteiből képzett indexek alkalmasak a fafaj szárazságtoleranciájának jellemzésére.

Ezt igazolja, hogy az 1992–1994-ig, valamint a 2000–2003-ig tartó összefüggő aszályos periódusokban a Somogy megyei, klimatikusan határhelyezett bükkösökben detektált károk és az erre az időszakra vonatkozó bükk tolerancia index értékei között összefüggés mutatható ki (Berki et al., 2007). A faj toleranciahatárának tekintett érték alatt országos szinten tömeges mortalitás következett be azo-

kon a helyszíneken, ahol az aszályos nyarak 3–4 éven keresztül ismétlődtek, amire a korábbiakban nem volt példa (4. ábra).

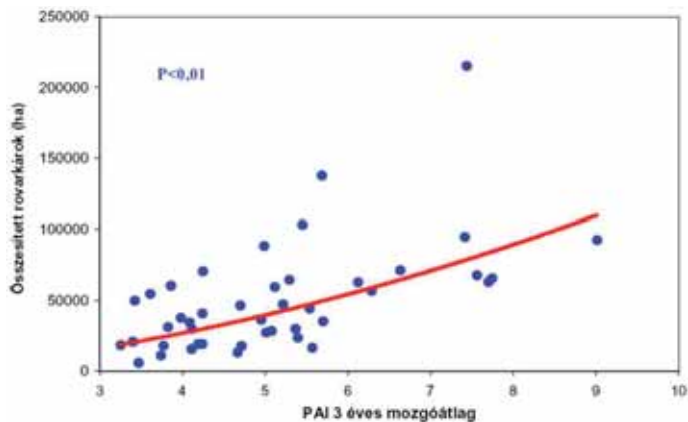
BIOTIKUS KÁRTEVŐK ÉS KÓROKOZÓK

A biotikus károkon belül az éves összesített erdei rovarkárok nagysága összefüggést mutat az aszályossági mutatókkal (5. ábra). Ha három aszályos év követi egymást, az egyértelműen megnövekedett rovarkárok kialakulását vetíti előre.

Az utóbbi évtizedekben több olyan, meleg és szárazságkedvelőnek ismert rovar mutat növekvő kárterületi trendet, amelynek erdővédelmi szerepén túlmenően humán-egészségügyi jelentősége is van. Ilyenek például az aranyfarú lepke (*Euproctis chrysosorrhoea*) és a búcsújáró lepke (*Thaumetopoea processionea*).

Az Európa-szerte az egyik legjelentősebbnek tartott erdészeti kártevő rovarfaj, a gyapjaslepke (*Lymantria dispar*) legutóbbi tömegszaporodása 2005-ben 212 000 ha kárterülettel, a korábbi rekordot (34 000 ha) több mint hatszorosan meghaladva tetőzött. A megnövekedett kárterület mellett a

5. ábra



Az összesített erdei rovarkárok nagysága és a Pálfi-féle aszályindex (PAI) hároméves mozgóátlagának összefüggése

Forrás: Csóka et al., 2009



6. ábra

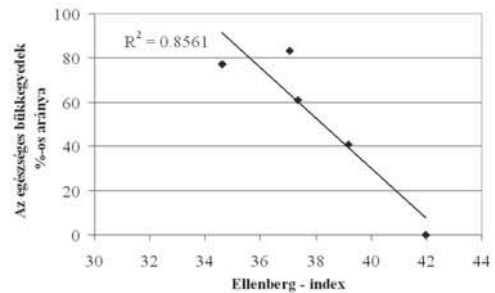
A bükkpusztulás szimptomái 2004-ben, Zala megyében: friss nedvfolyás bőbitás bükkkszú (*Taphrorychus bicolor*) kártétele nyomán (bal oldali ábra), illetve előző éves rovarrágások okozta nedvfolyások fehér foltokban visszamaradó nyomai (jobb oldali ábra) egy bükktrözsön

Forrás: Molnár – Lakatos, 2009

kártétel vertikálisan is kiterjedt, azaz olyan tengersizint feletti magasságokban is tömegesen jelent meg a faj, ahol korábban nem, vagy csak kisebb mértékben regisztrálták kártételét. A lucfenyvesekben bekövetkező szűkárók vonatkozásában is egyértelműen kimutatható az aszályossággal való pozitív korreláció.

Az utóbbi két évtizedben, de az elmúlt években is számos új, invazív kártevő és kórokozó jelent meg és terjedt el Magyarországon. Ezek némelyike már most is jelentős károkat okoz, és várható, hogy a jövőben jelentőségük tovább növekszik. Az új évezred súlyosan aszályos első éveit követően a magyarországi bükkösökben (különösen Zala megyében) jelentős mértékű pusztulás lépett fel, ami 2004-ben tetőzött a zöld karcsúdíszbogár (*Agrilus viridis*) és a bőbitás bükkkszú (*Taphrorychus bicolor*) tömegszaporodásának köszönhetően. E két xilofág faj robbanásszerű tömegszaporodása egyértelműen az előző évek, különösen pedig a 2003-as év száraz, meleg időjárására vezethető vissza (Csóka et al., 2009; Molnár – Lakatos, 2009).

7. ábra



A szárazsági határ közelségének szerepe klímakárok fellépésénél: bükk mintaterületek Ellenberg-aszályindexe és a faállományok egészségi állapota

Forrás: Móricz N. in: Berki et al., 2009

A tömeges pusztulás egy kárláncolat eredménye. Az egyes fák elhalását kiváltó, és a begyűjtött törzsmintákból szokatlanul nagy számban kikelt *Agrilus* és *Taphrorychus* fajok elszaporodását az aszály miatt bekövetkezett vitalitásvesztés tette lehetővé. A pusztulás során a törzsek faanyagja erősen

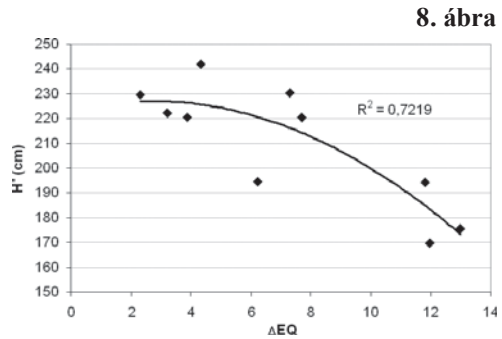
gombafertőzötté vált. A megvizsgált törzsek alapján felételezzük, hogy a rovar- és gombakártétel között kapcsolat van. Összességében kijelenthető, hogy a bükkösök pusztulását a négy évig tartó szélsőségesen száraz időjárás okozta (Molnár – Lakatos, 2009; 6. ábra).

Megállapítható az is, hogy a több mint 70 ezer m³ veszteséget okozó törzspusztulás a bükk szárazsági határán következett be. A határhelyzet mint predispozíció jelenségét igazolja, hogy a tolerancia-vizsgálati mintaterületeknél az Ellenberg-indexszel jellemzett helyi klíma (vagyis a szárazsági határ közelsége) szignifikánsan meghatározza a bükkállomány egészségi állapotát (7. ábra).

A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA A FANÖVEKEDÉSRE

A klímaváltozás fanövekedésre gyakorolt hatását nehéz elemezni, mert a hatás mesterséges szimulációja alig megoldható. Egy lehetőséget kínál a tengerszint feletti magassággal változó feltételek hatásának vizsgálata. Az átlaghőmérséklet a tengerszint feletti magasság csökkenésével növekszik, a csapadék éves mennyisége csökken. A két hatás egymással ellentétes irányú, és nem lehet pontosan levezetni az eredő hatásukat. Az viszont megállapítható, hogy az elmúlt évtizedekben a bükk, a kocsánytalan tölgy és a cser faállományok átlagmagasság-növekedése a korábbiaknál intenzívebb volt. A jövőben a növekedést gyorsító tényezők, pl. a hőmérséklet-emelkedés hatását azonban várhatóan korlátozza a rendelkezésre álló víz abszolút vagy relatív csökkenése (Somogyi, 2009a).

Megjegyezzük, hogy a fanövekedés komplex folyamat, és mértékét számos, a klímaváltozással összefüggő, illetve más tényező is befolyásolja. Ezek közül elsősorban a levegő szén-dioxid-koncentrációjának és a nitrogén ülepedésének az emelkedését érdemes megemlíteni; ezek hatását különböző projektekben elemezték, ám ezek eredményei még nem elegendők e tényezők szerepének megítéléséhez.



Tíz éves bükkpopulációk magassági növekedési reakciója (H') az Ellenberg-indexszel (EQ) jellemzett szárazodásra, a szárazsági határ közelében (Bucsuta, Zala megye). Jól látható a visszaesés exponenciális jellege

Forrás: Mátyás et al., 2009b

A klímaváltozás és a növekedés kapcsolatára vonatkozó eredmények Európa-szerte ellentmondóak. Ennek egyik oka, hogy nem veszik figyelembe, hogy a méréseket klimatikusan kedvező, vagy a szárazsági határhoz közeli területeken végezték-e. Előbbi helyszíneken a melegedés valóban jelentős, akár 50%-ot is elérő növekedéstöbblettel járhat. Az összefüggések tisztázására az Európa-szerte alkalmazott, négyzetrács pontokban¹ mért adatok nem alkalmasak. Metodikai problémák mellett a mintavételi pontok túlságosan ritka eloszlása okoz gondot. Hasonló okok miatt kétségesek a hazai erdők területén, az európai hálózati pontokkal párhuzamosan létrehozott ún. FNM² mintaterületek adatai is. A vizsgált húsz éves időszak során megnőtt a bükk, kocsánytalan tölgy és cser faállományok átlagmagassága. Emellett a mellmagassági vastagsági éves folyónövedék alakulását is egybevetettük az éves átlaghőmérsékleti, illetve csapadéköszegeg- adatokkal. Az így kapott eredmények

¹ Nemzetközi Erdővédelmi Mérő és Megfigyelő Hálózat

² Faállományok Növekedésének Megfigyelése

vizsont inkább a növekedés-visszaesést erősítik meg (*Veperdi G. szem. közl.*).

A klímaváltozás növekedésre gyakorolt konkrét hatása szabatos tenyészkereti (ún. származási) kísérletekben is vizsgálható. A bükk esetében a délkelet-európai kísérletek együttes kiértékelése az alábbi következtetésekre vezetett (*Mátyás et al., 2009b*):

- A klíma gyors változásához való alkalmazkodás képessége (plaszticitás) a feltételezettnél sokkal nagyobb.

- A szárazságstressz csökkenése általában a növekedés gyorsulását, a stressz fokozódása a növekedés lassulását eredményezi (8. ábra).

- A növekedés erőteljes visszaesése a szárazsági határ közelében jelentkezik – ugyanazon a populációk kedvezőbb helyzetben, hasonló mértékű szárazodásra alig reagálnak.

Más fafajokkal (erdei- és lucfenyővel) végzett kísérletek hasonló eredményekre vezettek (*Mátyás et al., 2009a*).

A KLÍMA ÉS A KLÍMAJELZŐ FAFAJOK SZERVESANYAG-KÉPZÉSE

Az ökológiai (termőhelyi) tényezők összehatásaként megjelenő termőképesség egyik meghatározó eleme a klíma. A klímában bekövetkező tartós változás módosítja az átlagos termőképességet. A vegetációkutatásban, illetve az ökológiában alkalmazott klímazónák ezért a növényzeti összetétel mellett a termőképesség, a termőhelyi potenciál jellemzésére is alkalmasak.

Az erdőgazdálkodásban a zárt erdőtakaró területét – klímajellemző fafajok alapján – három klímazónába sorolják. Ezek a csapadék- és a hőmérsékletviszonyok függvényében, a termőképesség csökkenő sorrendjében: a bükkös, gyertyános-kocsánytalan tölgyes és cseres (kocsánytalan tölgyes) klímazóna.

A termőképesség a faállományok dendromasszájában, azaz a fa kompartmentjei-

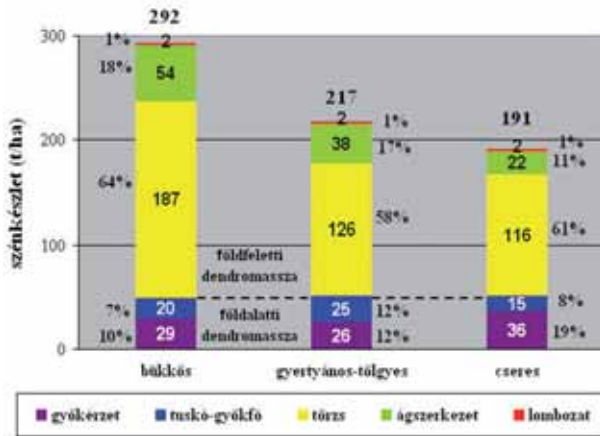
ben (lomb, ágak, törzs, gyökérzet) megkötött szénkészlettel jellemezhető. Jó növekedésű bükkösben ennek nagysága eléri a 292 tonnát hektáronként, gyertyános tölgyesben már csak 217 tonna, míg a jó növekedésű cseresben 191 tonna a hektáronkénti szénkészlet nagysága (9. ábra). A 9. ábrán az is látható, hogy míg a föld feletti szénkészlet mennyisége a klímával összefügg, föld alatti mennyisége ugyanakkor nem változik.

Az ökológiai potenciál, azaz a faállományok szénmegkötése szempontjából fontos mutató a föld feletti és a föld alatti dendromasszában megkötött és tárolt szénkészlet aránya (*Führer – Jagodics, 2009*). A legjobb ökológiai adottságú, azaz nagy szervesanyag-termelésű bükkös klímában értéke magasabb, 4,96, a gyengébb klímaadottságú területeken már kisebb, így a gyertyános-tölgyesben mintegy egyharmadával (3,25), cseresben pedig mintegy fele a bükkösének (2,75). A föld feletti és föld alatti teljes szénkészlet aránya (a holt szerves anyaggal együtt) szintén a bükkösben a legnagyobb, 1,39, ennél mintegy 17%-kal kisebb a gyertyános-tölgyesben (1,14), és 1 alatt marad a cseresben (0,67).

Az adatokból az is megállapítható, hogy a dendromassza mellett az erdő avar- és humuszszintjében, de főleg talajában jelentős mennyiségű szerves szén tárolódik (1. táblázat), melynek nagysága kisebb mértékben függ a fafajtól, azt elsősorban a klíma és a talaj tulajdonságai határozzák meg. Az élő dendromassza és az egyéb kompartmentek (avar és humusz, talaj) szénkészletének aránya a bükkösben 2,34, hasonló arányú a gyertyános-tölgyesben (2,28), a cseresben viszont jelentősen kisebb értékű (1,20) (*Führer – Jagodics, 2009*).

Általában tehát megállapítható, hogy optimális ökológiai adottságok között tenyésző klímajelző bükkös, gyertyános-kocsánytalan tölgyes és cseres faállomány szénmennyiségében kifejezett szervesanyag mennyisége oksági kapcsolatban áll a növekedést meghatározó klímáparaméterekkel.

9. ábra



A három klímazónát jellemző faállományok dendromasszájának szénkészlete kompartmentek szerint

Forrás: Führer – Jagodics, 2009

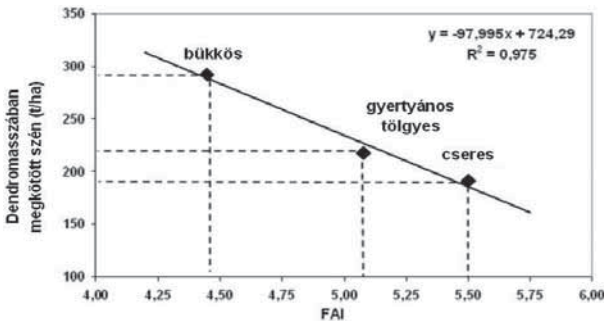
1. táblázat

1 ha faállomány föld alatti szénkészlete és átlagos széntartalma, a dendromassza nélkül

Szénkészlet abszolút és relatív mennyisége	Bükkös		Gyertyános-tölgyes		Cseres	
	t/ha	%	t/ha	%	t/ha	%
Avar- és humuszszint	11,2	11,60	11,3	9,35	17,3	12,30
Talaj	114,5	0,50	84,4	0,35	142,1	0,63
Összesen	125,7		95,7		159,4	

Forrás: Führer – Jagodics, 2009

10. ábra



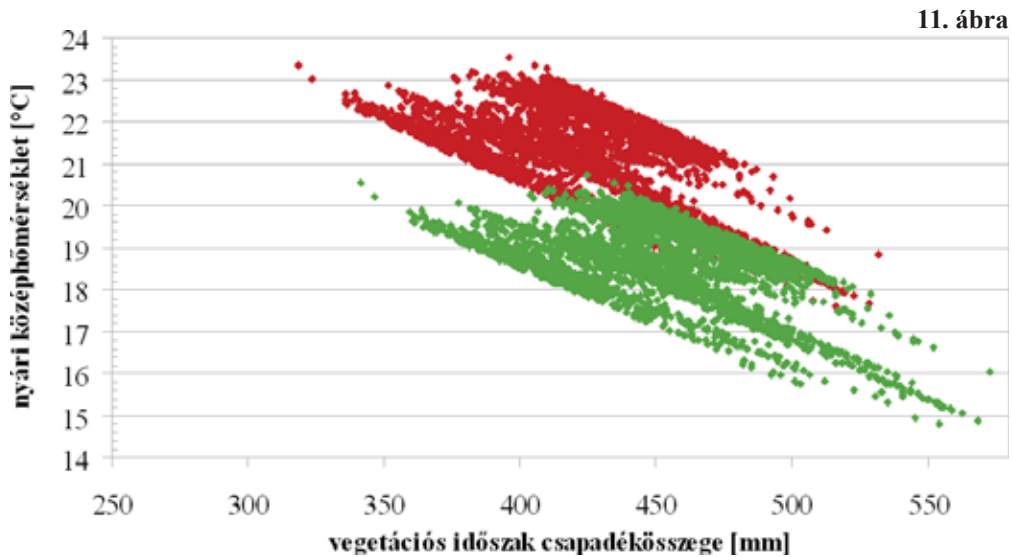
A klímazónákra jellemző jó növekedésű faállományok teljes dendromasszájában megkötött szén és az erdészeti szárazsági index (FAI) összefüggése

Forrás: Führer – Jagodics, 2009

Ezt támasztja alá a fő növekedési periódus (V–VII. hónapok) és a kritikus hónapok (VII–VIII.) időjárási körülményeit jellemző erdészeti szárazsági index (FAI) (Führer, 2008) és a vizsgált ökoszisztémák szervesanyag-tömege közötti szoros összefüggés. A 10. ábrán látható, hogy a FAI segítségével lehatárolt különböző klímájú területek eltérő szervesanyag-termelő képességgel rendelkeznek, valamint hogy az ariditás növekedésével a megkötött szén mennyisége csökken. Az időjárási viszonyok kedvezőtlenebbé válása kihathat a fafajösszetétel, a képződő szerves anyag mennyiségének, valamint minőségének megváltozására, mindezen keresztül pedig az erdőfelújítás sikerére, az erdőnevelés mikéntjére, és így az erdőgazdálkodás jövedelmezőségére is (Führer – Jagodics, 2009; Somogyi, 2009b).

VÁRHATÓ HATÁSOK AZ ERDŐTAKARÓ ÖSSZETÉTELÉRE

Ha az aszályok gyakorisága és az egymást követő aszályos évek száma az előrejelzések szerint növekszik, a humid klímát kedvelő fafajok (bükk, kocsánytalan tölgy) elterjedési területe fokozatosan szűkülni fog. A melegebb-szárazodó klíma miatt számos, jelenleg optimum közeli faállomány kerülhet a jövőben klimatikus határhelyzetbe. A hatások legelőször a zonális fafajok elterjedésének alsó (szárazsági) határan jelentkeznek, a kevésbé tűrőképes egyedek egészségkárosodását, tömeges pusztulását, elterjedési területének drasztikus



A bükk klímaterének változása az előfordulását meghatározó klimatikus paraméterek jelenlegi (zöld) és 2050-re várható (barna) értéke szerint.

A pontok egy-egy hazai faállomány klimatikus helyzetét jelzik

Forrás: Rasztovits in: Führer et al., 2010

csökkenését okozva (Berki et al., 2007; Führer, 2008; Mátyás et al., 2008, 2009a).

Az erdőt érő klímahatások közül az előfordulási (termeszethetőségi) terület változása kapja a legnagyobb figyelmet (Mátyás – Czimber, 2004; Somogyi, 2009b). A továbbiakban a bükk fafaj példáján mutatjuk be a lehetséges fejleményeket.

A bükk előfordulását meghatározó klimatikus paraméterek jövőbeni változása (a hőmérséklet növekedése és a jelentős tavaszi–nyári csapadékcsökkenés) a fafaj klímaterének drasztikus csökkenését eredményezheti (11. ábra).

Így amennyiben nem számolunk a klímaváltozás hatását korlátozó tényezőkkel, a XXI. század végére a bükk zonális klímaterének végleges eltűnése várható. Az évszázad második felére készített becslések, bármelyik klímaforgatókönyvet alkalmaztuk, a bükk klímaterének szinte teljes mértékű, akár 99%-os visszaszorulását jelzik előre a klímafüggő (zonális) termőhelyeken (2. táblázat).

2. táblázat

A nyári hőmérséklet (ΔT) és csapadékmennyiség (ΔP) 2050-re várható változása három globális klímamodell (HADCM3, CSMK3, GFCM21) eredményei alapján, valamint a bükkösök (ΔB) és kocsánytalan tölgyesek (ΔKTT) klímaterének modellből számított csökkenése

	HADCM3	CSMK3	GFCM21
ΔT [°C]	2,9	1,8	2,1
ΔP [%]	-13,4	0,4	-11,4
ΔB [%]	97–99	56–96	92–99
ΔKTT [%]	96–100	82–96	85–100

Forrás: Czúcz et al., 2010

A klímater csökkenése előreláthatólag nem jár a fafaj azonnali eltűnésével, mert a fafajok eredeti elterjedési területükön kívül is figyelemreméltó perzisztenciával rendelkeznek. Érzékenységük azonban megnövekszik, speciális erdőművelési kezelést igényelnek

és gyakoribb erdővédelmi beavatkozásokat. Fatermőképességük minden bizonnyal csökkenni fog, részben a szükségszerű szerkezet-átalakítás és elegyítés miatt is.

A fatermő képesség csökkenése és a fafajösszetétel változása maga után vonja az erdőgazdálkodás jövedelmezőségének csökkenését. Így például a *Bakonyerdő Zrt.* működési körzetén belül bükkös klímában a faállományok 32%-a található. Mindössze 1 °C-os nyári hőmérséklet-emelkedés hatására az állományoknak már csak 14%-a maradna a bükkös klímában, azaz a mai területnek több mint fele (5846 ha) átesne a gyertyános-tölgyes klímába (*Führer, 1995; Führer – Jagodics, 2009*). Ez utóbbi nagysága előzetes költség-hozam számítások alapján a Bakonyerdő Zrt.-nél 44 millió Ft évente (*Marosi Gy. – Juhász I., szóbeli közl.*).

A hozamok csökkenése mellett a jövőben megnövekedett területű rovarkárokkal indokolt számolni. Várható, hogy olyan rovarfajok tömegszaporodása is kialakul, amelyeknek korábban nem tulajdonítottak számottevő jelentőséget, illetve olyan fajok is károkozóként jelentkeznek, amelyek kártételéről nagyon hosszú ideje nem hallottunk. Ezek a károk, illetve az őket követően kialakuló kárláncolatok még az egészségügyi szempontból stabilnak tartott erdőkben (pl. montán bükkösök) is jelentős negatív változásokat idézhetnek elő (*Csóka et al., 2009*).

AZ ERDŐTERÜLET VÁLTOZÁSÁNAK KLIMATIKUS HATÁSAI

Az erdő nem csupán klímaindikátor, hanem az energia- és vízháztartási folyamatokban betöltött szerepén keresztül fontos hatótényező az éghajlati rendszerben. Az erdővel borított felszínnek a más vegetációval borított felszínhez képest nagyobb az érdessége és párologtató felülete, és általában alacsonyabb az albedója, ezáltal hat a légkör energia- és vízháztartására (*Bonan, 2004*). Kimutattuk, hogy Magyarországon a XX. században a földhasználat-változás be-

folyásolta az éghajlatot és az időjárást. Az MM5 mezoskálájú időjárás-előrejelző modell eredményei alapján a Magyarországon regisztrált XX. századi melegedésből (ami 0,7-0,8 °C) a földhasználat változása (elsősorban a beépített terület, valamint az erdő részarányának növekedése) +0,14±0,5 °C-os hőmérséklet-emelkedésre adhat magyarázatot a vegetációs időszak alatt. A hőmérsékletre gyakorolt hatás különösen a száraz, napos időjárási helyzetekben jelentős. A felszínborítás-változás következtében a relatív nedvesség csökkenése, valamint egyes időjárási helyzetekben a csapadék területi eloszlásának változása is kimutatható (*Drüsler et al., 2009*).

A gyakorlatban az erdők kedvező mikroklimatikus és tájképi hatásai, ökológiai szolgáltatásai, lokális védelmi, valamint jóléti funkciói széles körben ismertek. Regionális léptékben, hosszabb jövőbeni periódusra a magyarországi erdők „értékét” éghajlati szempontból a REMO regionális klímamodell segítségével elemeztük (*Gálos et al., 2009b*). Az eredmények alapján a gazdaságtalan szántók helyén potenciálisan megvalósítható, országos átlagban 7%-os erdőterület-növekedésnek (*Führer, 2005*) nincs jelentős hatása a lokális éghajlati viszonyokra. Ennél jóval nagyobb erdőborítottságot feltételezve a XXI. század végére előre vetített erőteljes aszályosodási tendencia viszont az ország egész területén jelentősen enyhíthető lenne. Meg kell jegyezni azonban, hogy a számításokhoz alkalmazott modellek erdőtakaróra vonatkozó paraméterei feltehetőleg nem teljes részletességgel tükrözik a hazai viszonyokat, ami aláhúzza az erdészeti, ökológiai, klimatológiai kutatások fontosságát.

AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI JELENTŐSÉGE

Az egyes fafajok elterjedésének szárazsági határán kimutatott múlt- és jövőbeli tendenciák, valamint az erdei ökoszisztémák aszályérzékenysége és sérülékenysége alá-

támasztják, hogy hazánk a klímaváltozás által fokozottan érintett, veszélyeztetett régiók egyike. Ezért a szélsőségesen száraz időjárási jelenségek jövőbeni gyakoriságának és hosszának pontosabb előrejelzése, a fajok ökológiai igényének, tűrőképességének, alkalmazkodóképességének ismerete nélkülözhetetlen a lehetséges változásokra való felkészüléshez, a jövőbeni klímadadottságoknak megfelelő stratégiák kidolgozásához.

A gyakoribb és súlyosabb aszályok, valamint más szélsőséges időjárási események várhatóan egyre súlyosabb kihatású kárláncolatokat, gyakoribb és súlyosabb erdőkárokat eredményeznek, amelyek ökonómiai kihatásai is igen jelentősek lehetnek. A károk megfelelő időben történő felismerésére, valamint a megelőzésüket, mérséklésüket szolgáló javaslatok kidolgozásához az erdővédelmi monitoring-tevékenység fenntartása és erősítése szükséges (Molnár – Lakatos, 2009; Solymos, 2010).

Gyakorlati szempontból ugyancsak kiemelkedően fontos az erdők éghajlatváltozás hatáskorlátozásában betöltött szerepének alapos elemzése. Ez hozzájárulhat az erdőtakaró és a szénmegkötést segítő, korszerű erdőgazdálkodás módszereinek kialakításához. Az erdészeti gyakorlat szempontjából kiemelendő a fafajválasztási gyakorlat megváltoztatásának szükségessége, vagyis az, hogy a jövőben nem a múltbéli, illetve jelenlegi, hanem a várható klimatikus feltételek mellett életképes fajokból álló erdőket hozzanak létre (Somogyi, 2009b). Az ismertetett eredmények felvetik annak szükségességét is, hogy a természetvédelem passzív, megőrzésre összpontosító stratégiáját is egy dinamikusabb megközelítés váltsa fel, amely figyelembe veszi az ökoszisztémák alkalmazkodásának korlátait, és ezáltal teret nyit a természeti folyamatokat segítő, vagy azokat szimuláló aktív emberi beavatkozásoknak.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) BERKI I. – MÓRICZ N. – RASZTOVITS E. – VIG P. (2007): A bükk szárazság tolerancia határának meghatározása. In: Mátyás Cs. – Vig P. (szerk.): Erdő és klíma V. Sopron, 213-228. pp.
- (2) BERKI I. – RASZTOVITS E. – MÓRICZ N. – MÁTYÁS Cs. (2009): Determination of the drought tolerance limit of beech forests and forecasting their future distribution in Hungary. Cereal Research Communications, 37: 613-616. pp.
- (3) BONAN, G.B. (2004): Biogeophysical feedbacks between land cover and climate. Ecosystems and Land Use Change. Geophysical Monograph Series 153, 61-72. pp.
- (4) CZÚCZ B. – GÁLHIDY L. – MÁTYÁS Cs. (2010): Limiting climatic factors and potential future distribution of beech (*Fagus sylvatica* L.) and sessile oak (*Quercus petraea* (Mattuschka) Liebl.) forests near their low altitude – xeric limit in Central Europe. Ann. For. Sci., Nancy (ny. alatt)
- (5) CSÓKA Gy. – KOLTAY A. – HIRKA A. – JANIK G. (2009): Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyeseink egészségi állapotára. „Klíma-21” Füzetek 57: 64-73. pp.
- (6) DRÜSZLER Á. – CSIRMAZ K. – VIG P. – MIKA J. (2009): A földhasználat változásainak hatása az éghajlatra és az időjárásra. Természet Világa 140: 521-523. pp.
- (7) FÜHRER E. (1995): Az időjárás változásának hatása az erdők fatermő képességére és egészségi állapotára. Erdészeti Lapok 130: 176-178. pp.
- (8) FÜHRER E. (2005): Az erdővagon bővítése a mezőgazdaságilag gazdaságtalan nem hasznosított földterületek beerdősítésével. In: Molnár S. (szerk.): Erdő – fa hasznosítás Magyarországon. Sopron, 132-136. pp.
- (9) FÜHRER E. (2008): Erdőgazdaság. In: Harnos Zs. – Gaál M. – Hufnagel L. (szerk.): Klímaváltozásról mindenkinek. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Matematikai és Informatikai Tanszék, Budapest, 90-102. pp.
- (10) FÜHRER E. (2010): A fák növekedése és a klíma. „KLÍMA-21” Füzetek, 61. sz. megjelenés alatt.
- (11) FÜHRER E. – JAGODICS A. (2009): A klímajelző fafajú állományok szénkészlete. „KLÍMA-21” Füzetek 57: 43-55. pp.
- (12) FÜHRER E. – JÁRÓ Z.

(2000): Az aszály és a belvíz érvényesülése a Nagyalföld erdőművelésében Erdészeti Tudományos Intézet kiadványai, 12. (13) FÜHRER E. – MÁTYÁS Cs. (2005): A klímaváltozás hatása a hazai erdők szénmegkötő képességére és stabilitására. Magyar Tudomány 7: 837-841. pp. (14) FÜHRER E. – MÁTYÁS Cs. – CSÓKA Gy. – LAKATOS F. – BORDÁCS S. – NAGY L. – RASZTOVITS E. (2010): Current status of European beech (*Fagus sylvatica* L.) genetic resources in Hungary. Communicationes Instituti Forestalis Bohemicae, Praha (ny. alatt) (15) GÁLOS B. – LORENZ, PH. – JACOB, D. (2009a): Szélsőségesebbé válnak száraz nyaraink a 21. században? „KLÍMA-21” Füzetek 57: 56-63. pp. (16) GÁLOS B. – MÁTYÁS Cs. – JACOB, D. (2009b): Az erdő szerepe a klímarendszerben a 21. században – hatásviselő, vagy hatótényező? In: Lakatos F. – Kui B. (szerk.): NyME Erdőmérnöki Kar, Kari Tud. Konf., NymE Kiadó Sopron, 127-130. pp. (17) MÁTYÁS Cs. (2010): A szárazsági erdőhatár. TermészetBúvár 4: 10-12. pp. (18) MÁTYÁS Cs. – CZIMBER K. (2004): A zonális alsó erdőhatár klímaérzékenysége Magyarországon – előzetes eredmények. In: Mátyás Cs. – Vig P. (szerk.): Erdő és Klíma IV. Sopron, 35-44. pp. (19) MÁTYÁS Cs. – NAGY L. – UJVÁRINÉ J.É. (2009a): Klimatikus stressz és a fajok genetikai válaszreakciója az elterjedés szárazsági határan: elemzés és előrejelzés. „KLÍMA-21” Füzetek 56: 57-65. pp. (20) MÁTYÁS Cs. – BOZIC, G. – GYÖMÖRI, D. – IVANKOVIC, M. (2009b): Transfer analysis of provenance trials reveals macroclimatic adaptedness of european beech (*Fagus sylvatica* L.). Acta Silv. Lign. Hung. 5: 47-62. pp. (21) MOLNÁR M. – LAKATOS F. (2009): Bükkpusztulás Zala megyében. „KLÍMA-21” Füzetek 57: 74-82. pp. (22) SOLYMOS R. (2010): Az erdők kedvezőtlen klímaváltozási hatásokkal szembeni védelme. „KLÍMA-21” Füzetek 60: 14-21. pp. (23) SOMOGYI Z. (2009a): A klíma, a klímaváltozás és a fanövekedés néhány összefüggése. „KLÍMA-21” Füzetek 56: 48-56. pp. (24) SOMOGYI Z. (2009b): Alkalmazkodás a klímaváltozáshoz: hogyan kezdjük el? Erdészeti Lapok CXLIV.6:164-167. pp. (25) SZALAI S. – MIKA J. (2007): A klímaváltozás és időjárási anomáliák előrejelzése az erdőtakaró szempontjából fontos tényezőkre. In: Mátyás Cs. – Vig P. (szerk.): Erdő és Klíma V. Sopron, 133-143. pp. (26) VIG P. (2004): Egy bükkös vízháztartása. In: Mátyás Cs. – Vig P. (szerk.): Erdő és Klíma IV. Sopron, 197-208. pp. (27) VIG P. (2009): Az inszoláció változásainak hatása erdeink vízháztartására. In: Mátyás Cs. – Vig P. (szerk.): Erdő és Klíma V. Sopron, 351-360.

A FÁK NÖVEKEDÉSE ÉS A KLÍMA

FÜHRER ERNŐ

Kulcsszavak: klíma és időjárás, növekedési ciklus, kritikus hónapok, vízellátottság.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Az erdőgazdálkodás fejlesztése elsősorban az erdészeti tájak ökológiai-termőhelyi tényezőinek új, ökoszisztéma-szemléletű értékelésétől függ. Ebben a rendszerben a klíma mára egy dinamikusan változó termőhelyi tényező. Az eddigi ökofiziológiai megfigyelések és az erdő életfolyamatainak időjárás függvényében történő vizsgálata egyértelműen bebizonyította, hogy a fő növekedési ciklus-fő felhasználási időszakasz (V–VII. hó) és a kritikus hónapok (VII–VIII. hó) vízellátottsága döntően befolyásolja az erdő növekedését és vitalitását. Az időjárás körülmények és a fák átmérő-növekedése közötti ok-okozati kapcsolat jellemezhető az egyszerűsített „erdészeti aszályossági index” (FAI) mutatószámmal. Az index alapértéke a következő: $FAI: 100 \times H_{VII-VIII} / (CS_{V-VII} + CS_{VII-VIII})$.

Az „erdészeti aszályossági index” (FAI) segítségével tehát erdészeti szempontból jellemezhetők az erdészeti gyakorlatban alkalmazott klímaosztályok, vagy bármely hely, vagy akár egy térség átlagos időjárása. Bükkös klíma az, ahol a terület 4,75 és az alatti értékkel jellemezhető. Gyertyános-tölgyes klíma a 4,75 és 6,00 közötti FAI-érték esetében fordul elő, kocsánytalan tölgyes, illetve cseres klíma a 6,00 és 7,25 közötti FAI-értékű területekre jellemző, erdőssztyepp klíma pedig az e fölötti FAI-értékek mellett található.

BEVEZETÉS

A klímaváltozás a XXI. század legnagyobb kihívásainak egyike, melynek hatására Magyarország időjárás viszonyaira az eddigieknél melegebb és szárazabb körülmények lesznek jellemzőek (Láng *et al.*, 2007). A növekvő légköri és talajszárazság előidézőjeként elsősorban a csapadék mennyiségének, de főleg éven belüli eloszlásának módosulását, valamint a nyári hőmérséklet drasztikus emelkedését jelölhetjük meg. Mindez kihat az erdei termőhely termőképességére, ez utóbbi pedig meghatározza nemcsak az erdők fafajösszetételét és szerkezetét, hanem közvetve befolyásolja azok szervesanyag-képzését is. Magyarországon

az erdészeti termőhely-értékelés során alkalmazott klímakategóriák (bükkös, gyertyános-tölgyes, kocsánytalan tölgyes, illetve cseres, erdőssztyepp) más-más termőképességűek. Amíg bükkös klímában a klímát jelző bükkös faállományok átlagos élőfa-készlete első fatermési osztály esetében átlagosan 375 m³/ha, véghasználati korban 548 m³/ha, átlagos növedéke pedig több mint 9 m³/ha/év, addig a gyengébb termőképességű cseres klímában az első fatermési osztályú cseresek ugyanezen adatai csaknem 40%-kal kisebbek (ÁESZ, 1996).

Az időjárás viszonyok kedvezőtlenebbé válása tehát az erdőgazdálkodás területén kihat a fafajmegválasztásra, ezen keresztül az erdőfelújítás és erdőnevelés mikéntjére,

a képződő szerves anyag mennyiségére, valamint minőségére, összességében tehát az erdőgazdálkodás jövedelmezőségére (Führer – Járó, 1992). Ezért a klímaváltozás erdészeti kihatásait nemcsak az egyes fafajok elterjedésének és vitalitásának változása (Berki et al., 2007, 2009; Mátyás et al., 2007), továbbá az abiotikus és biotikus károsítások növekedése szempontjából kell vizsgálni (Csóka et al., 2007; Molnár – Lakatos, 2007), hanem egyre inkább elengedhetetlen lesz az összefüggések produkcióbiológiai, gyakorlati megközelítésében a fák és a faállományok növekedési aspektusainak minél alaposabb feltárása is.

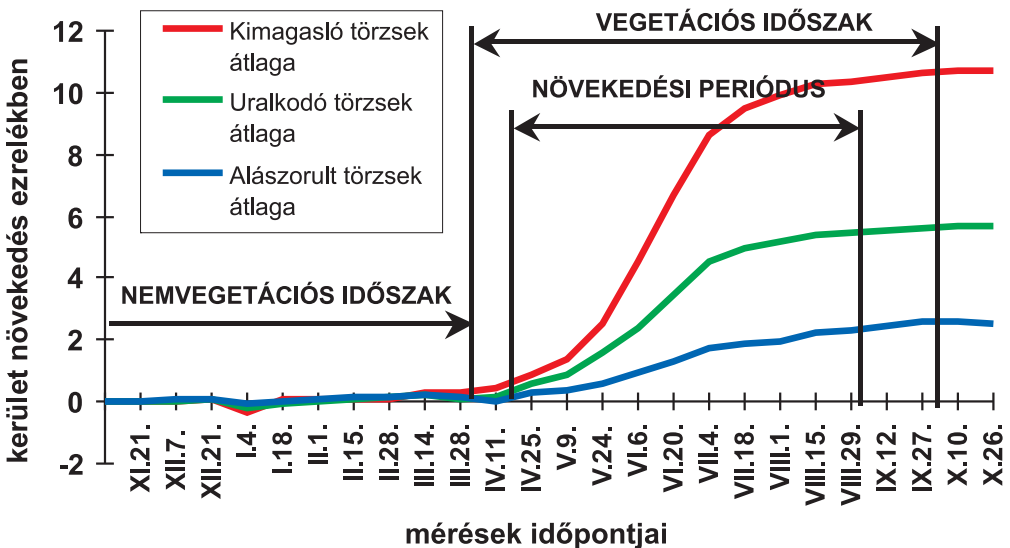
A FÁK NÖVEKEDÉSÉNEK ÉVES MENETE

A fák éves növekedésében fontos az ún. növekedési periódust és a vegetációs időszakot egymástól elválasztani. Vegetációs időszak alatt azt a periódust értjük, amelyben a potenciális növekedés megvalósulhat.

A mérsékelt övi klímában általában a kései és a korai fagyok közötti időszakot értjük alatta (Linderholm, 2006). A növekedési periódus ezzel szemben az az időszak, amiben a tényleges növekedés (hajtás- vagy vastagsági) bekövetkezik, vagy egyéb fiziológiai folyamatok, mint pl. a rügyszerkezet képződése megvalósul (1. ábra).

Magyarországon, több fafajon végzett törzsvastagsági növekedésment-megfigyelések igazolták, hogy a vastagsági szervesanyag-képzés több mint 80%-a május, június és július hónapokban történik (Szőnyi, 1962; Halupáné, 1967; Járó – Tátraaljai, 1984/85; Führer, 1994, 1995; Manninger, 2004). Ekkor a legintenzívebb a fák fotoszintézise, ekkor a legnagyobb a fák víz- és tápanyag-hasznosítása. Természetesen e periódus hossza, azaz kezdete és befejeződése közötti időszakasz, az időjárási viszonyoktól függően, évről évre változhat. A vastagsági növekedés menete egy tipikus integrálgörbe, melyben a növekedés maximális mértéke Magyarország természetföldrajzi viszonyai mellett szinte valamennyi fafajnál júniusra

1. ábra



A fák éves kerületnövekedése egy brennbergbányai bükkös (1988–1992. évek átlaga) példáján

tehető. A nettó fotoszintézis mértéke ebben a hónapban a legnagyobb. Alapvetően befolyásolják még a növekedést az időjárási szélsőségek, mint pl. az aszály, vagy fontos tényező, pl. az asszimiláló felület – rovar- vagy gombakárosítás miatti – csökkenése is. Míg a magassági növekedést az előző év klímadottságai határozzák meg elsősorban, addig a vastagsági növekedés mértéke a fotoszintézist közvetlenül befolyásoló időjárástól függ (Lyr – Hoffmann, 1992).

Szabados (2007) évgyűrűelemzése is azt mutatják, hogy a klasszikusan értelmezett vegetációs periódus (április–szeptember) csapadékösszege kevésbé lényeges az évgyűrűszerűség vonatkozásában, mint a május–július hónapok csapadékösszege.

Tehát a fák átmérő-növekedési periódusának klimatikus viszonyai, Magyarországon főleg a kevés csapadék és a magas nyári hőmérséklet, alapvetően befolyásolják a szervesanyag-képzés intenzitását és nagyságát, továbbá a korai és kései pászták arányát. A vegetációs periódus csak akkor játszik fontos szerepet, ha annak időjárási körülményei a szervesanyag-képzéssel összefüggő fiziológiai folyamatokat korlátozzák. Ilyen körülmény figyelhető meg pl. a kései, májusi fagyok, vagy a tavaszi, áprilisi aszály bekövetkezésekor.

A HŐMÉRSÉKLET ÉS A NÖVEKEDÉS

A hőmérséklet különbözőképpen hat a növekedési folyamatokra. Magyarországi megfigyelések szerint is 5 °C felett indul meg a legtöbb lombos fa átmérő-növekedése, azaz vastagodása, de intenzívebb szervesanyag-képzés csak a 10 °C-os átlaghőmérsékletet meghaladó napok bekövetkezését követően figyelhető meg (Szónyi, 1962; Halupáné, 1967).

Az egyes fajok szervesanyag-képzésének optimális hőmérsékleti tartománya más és más, bükk esetében pl. 13 és 23 °C közé esik (Pisek et al., 1969). Magyarországon májusban és júniusban a napi hőmérséklet

ritkán lépi túl ezen értékhatárt. Júliusban és augusztusban viszont már a havi átlaghőmérséklet is megközelíti a fotoszintézis optimális hőmérséklet-tartományának felső határértékét. A nappali maximális értékek pedig gyakran elérik azt a kritikus értéket (40-45 °C), amikor a fotoszintézis mértéke a nap folyamán drasztikusan lecsökken. Magas hőmérséklet esetében továbbá igen nagy a légzés energiaszükséglete (Larcher, 2001).

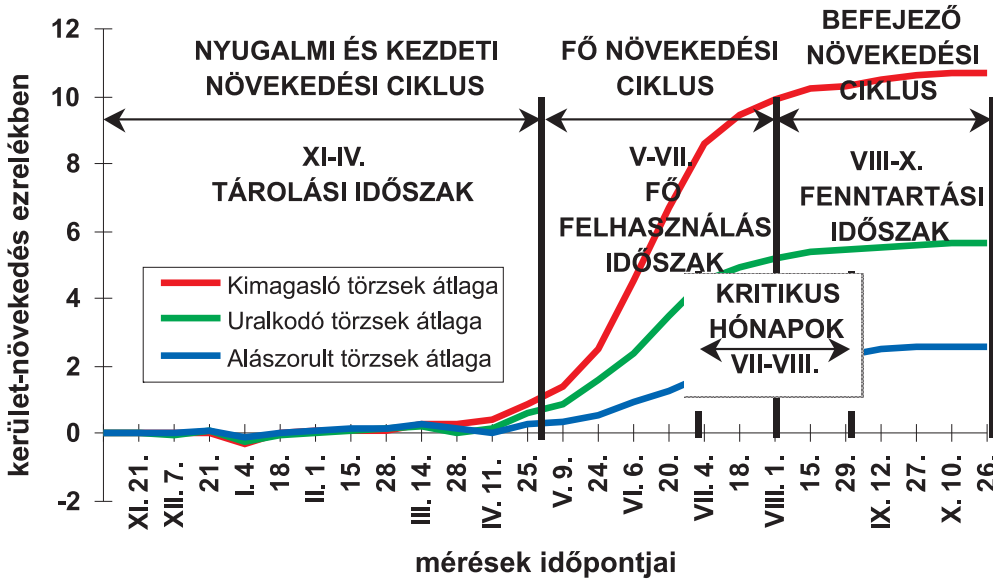
A kambium osztódását nagymértékben befolyásolja a fitohormonok közül az auxin, amely felelős az évgyűrűn belüli korai, illetve kései pászták kialakulásáért (Hoffmann – Lyr, 1992). A kezdeti magasabb auxinszint a korai pászták képződésének, a későbbi alacsonyabb szint pedig a kései pászták kialakulásának kedvez. Az auxinszintet pedig nagymértékben csökkenti a magas május–június–júliusi (a leghűvösebb bükkös klímában Magyarországon a három hónap átlagában 16,6 °C) hőmérséklet, illetve a vele gyakran együtt járó szárazság.

A növekedést a levegő hőmérséklete mellett befolyásolja még a talaj hőmérséklete is (Körner, 1999; Baldocchi et al., 2005). Több kutatás is bizonyította, hogy 4 °C alatti talajhőmérsékletnél nincsen gyökérképződés (Tranquillin, 1979; Körner, 1999). Baldocchi és munkatársai (2005) úgy találták, hogy a lomblevelű erdőben a növekedés (szervesanyag-képzés) csak akkor kezdődik, ha a talajhőmérséklet az átlagos éves léghőmérséklet fölé emelkedik. Ez utóbbi értéke Magyarországon a bükkös klímára vonatkoztatva 8,8 °C (+/- 0,9 °C).

VÍZELLÁTOTTSÁG ÉS A FÁK TÖRZSÉNEK KERÜLET-NÖVEKEDÉSE

A változó hőmérsékleti viszonyok mellett a fák szervesanyag-képzését elsősorban a vízellátottság befolyásolja. A melegebb hőmérsékletűnek számító Magyarországon a fák növekedését a gyakori vízhiány korlátozza. Az erdő éves vízforgalma és a vele szoro-

2. ábra



Brennbergbányai bükkös éves kerületnövekedése öt év (1988–1992) átlagában

san összefüggő szervesanyag-képzése a víz-bevitel és vízfelhasználás három szakaszára, illetve a növekedés három életciklusára épül (Járó, 1989; Führer, 1994, 1995, 2008; Führer – Járó, 2000). Az egyes életciklusok csapadékviszonyainak értékelésénél mindig figyelembe kell azonban venni, hogy az erdőben, időben és térben egyaránt sok tényező kölcsönhatása érvényesül, amelyek erősíthetik, de ki is egyenlíthetik a szélsőséges csapadékviszonyokat.

A téli, XI–IV. hóig terjedő időszakot vízforgalmi szempontból *tárolási időszak*-nak, a növekedés szempontjából *nyugalmi és kezdeti növekedési ciklus*nak nevezzük (2. ábra). Ekkor a korona- és az avar-intercepcióval csökkentett csapadék nagy része a talajba szivárog, és azt fokozatosan feltölti. Fiziológiai vízfelhasználás, vagy egyéb veszteség az elfolyáson, illetve a mélybeszivárgáson kívül csekély. Ezen időszak tetemes (min. 40%-os) csapadékhiányakor téli aszály lép fel. Ez a talajban tárolható víz érzékelhető csökkenését vonja maga után, és ez majd a fő növekedési

ciklusban hiányozhat. Hatása a növekedésre nehezen határozható meg, hiszen a transzspirációs folyamatok csak később indulnak el. Ha az áprilisi csapadékhiány magas hőmérséklettel is együtt jár, akkor tavaszi aszályról beszélünk, ennek hatása már jobban érzékelhető a fák növekedésében, különösen csemete- vagy fiatalos korban.

Az V–VII. hónapok alatti szakaszt a *fő felhasználási időszak*nak, illetve *fő növekedési ciklus*nak nevezzük. Ekkor a korona- és az avar-intercepcióval csökkentett csapadék csak a talaj felső rétegeibe tud beszivárogni, és a tárolási időszakban feltöltődött vízzel együtt elsősorban a szervesanyag-képzésre, kisebb mennyiségben pedig egyéb fiziológiai folyamatokra fordítódik. Ebben a ciklusban realizálódik az erdő növedékének 80%-a, ezért a szélsőséges időjárási viszonyok, elsősorban a csapadékhiány hatása is ekkor érzékelhető leginkább, növedékkiesés, vagyis *részleges aszálykár* révén.

A VIII–X. hóig terjedő szakasz a *befejező növekedési ciklus*. Ekkor a korona- és az

avar-intercepcióval csökkentett csapadék a talaj felső rétegeit tölti csak fel, pótolja az intenzív vízfelhasználás hiányát, és elsősorban a vastagsági növekedésen kívüli életfolyamatok (termésképzés stb.) vízigényét elégíti ki. Alacsony csapadék csak kis mértékű növedékkiesést eredményezhet.

Ha a fő- és befejező növekedési ciklus igen nagy csapadékhánya kiugróan magas július–augusztusi (kritikus hónapok) hőmérséklettel párosul, akkor nemcsak növedékvesztés következhet be, hanem a fák szervesanyag-képzése le is állhat, mert a transzspirációval saját hőháztartásukat kell egyensúlyban tartani. Végső esetben pedig a fák fiziológia legyengülése az állományok nagymértékű törzsszámcsökkenését is eredményezheti. Magyarországon általában a határtermőhelyekre ültetett nemes nyárasokra és lucosokra jellemző ez az ún. teljes aszálykár.

AZ ERDÉSZETI ASZÁLYOSSÁGI INDEX

Az erdőgazdálkodás továbbfejlesztésének alapját az erdőgazdasági tájak ökológiai-termőhelyi tényezőinek új, ökoszisztéma-szemléletű értékelése képezi. Ebben a rendszerben a klíma mára egy dinamikusan változó termőhelyi tényezővé vált. Az eddigi ökofiziológiai megfigyelések és az erdő életfolyamatainak időjárás függvényében történő vizsgálata egyértelműen bebizonyította, hogy a fő növekedési ciklus-fő felhasználási időszakasz (V–VII. hó) és a kritikus hónapok (VII–VIII. hó) vízellátottsága döntően befolyásolja az erdő növekedését és vitalitását. Ebben az időszakaszban legintenzívebb az evapotranszspiráció, ezért az erdő ekkor reagál legérzékenyebben a szélsőséges időjárási viszonyokra.

Az időjárási körülmények és a faállományok vastagsági növekedése közötti ok-okozati kapcsolat leírására kidolgoztam a magyarországi körülményekre használható egyszerűsített „erdészeti aszályossági index” (FAI) mutatószámot. A mutatószám olyan

meteorológiai paraméterekre (csapadék és hőmérséklet) épít, melyek meghatározása nagy pontossággal és sok helyen történik, így adaptálása, illetve kiterjesztése nagy biztonsággal megtehető. A havi hőmérsékletre és csapadéokra épülő képletben az ún. Pál-fai-féle (2002), a mezőgazdasági kultúrákra alkalmazott aszályossági index (PAI) és a Führer–Járó-féle (2000), szarazabb erdészeti tájakra érvényesített kritikus vízellátottsági mutató (VK) elvi megfontolásai együtt jelennek meg. Az index alapértékét ennek megfelelően a kritikus hónapok (VII–VIII.) átlaghőmérsékletének és a fő növekedési ciklus (V–VII.), valamint a kritikus hónapok (VII–VIII.) csapadékösszegeinek az aránya képezi. Az erdészeti aszályossági index alapértéke tehát a következő:

$$\text{FAI: } 100 \times H_{\text{VII-VIII}} / (\text{CS}_{\text{V-VII}} + \text{CS}_{\text{VII-VIII}})$$

Látható, hogy az alapképletben a július hónap csapadéknagysága kétszer szerepel. Természetesen a későbbi finomításhoz, illetve a pontosabb összefüggések megtételéhez szükséges lesz olyan korrekciós tényezők kimunkálása, amelyek figyelembe veszik a téli félév (XI–IV.) és a vegetáció megindulását közvetlenül befolyásoló áprilisi hónap időjárási körülményeit, a képletben szereplő hónapok szervesanyag-képzésben játszott szerepének megfelelő súlyozását (Magyarországon a szervesanyag-képzés arányai a fák-nál nagy átlagban: április 5%, május 25%, június 40%, július 25%, augusztus 5%), továbbá még a domborzati (kitettség, lejtés) viszonyokat is.

Az „erdészeti aszályossági index” (FAI) segítségével tehát erdészeti szempontból megadható és osztályozható egy hely, vagy akár egy térség átlagos időjárása, jellemezhető a különböző fafajok elterjedési területe, következtethető a szélsőséges időjárási viszonyok hatásának mértéke stb. A mutató időjárási elemekre épül, ezért a növekedéssel összefüggésben csak a többletvíz-hatástól független és a változó vízellátású termőhelyeken álló erdőkre alkalmazható.

**A FAI ALAPÉRTÉKEINEK
MEGHATÁROZÁSA
AZ ERDÉSZETI ÉRTÉKELÉSEKNÉL
MÁR KORÁBBAN SZÁMÍTÁSBA
VETT METEOROLÓGIAI
ÁLLOMÁSOK ADATAIBÓL**

Az éghajlat jellemzésére az időjárási elemek átlagait szokták alkalmazni, de fontos lehet a szélsőségek ismerete is. Az időjárási elemek egymással összefüggnek és átlagaik, nagy változékonyságuk ellenére, adott termőhelyre állandóak. Minden növény, de különösen a természetes társulások alkotói, így a fák is, elterjedésükben meghatározott éghajlathoz ragaszkodnak. Az értékelésnél azonban figyelembe kell venni, hogy a termőhelyi tényezők egymás hatását kiegészíthetik, és azt is, hogy az erdei fáknek e tekintetben nagy az alkalmazkodóképességük.

Jelenleg az erdészeti klímaosztályozás Magyarországon a légnedvesség alapján történik, mivel a fák vízleadását, azaz transzspirációját a relatív légnedvesség szabályozza elsősorban. Az agrometeorológiai vizsgálatok alapján erre a júliusi 14 órás relatív páratartalom tűnt a legalkalmasabb mutatószám-
nak, hiszen értéke a nyári legmelegebb hónap hőmérsékletének és bizonyos mértékben a párolgáshoz szükséges vizet szolgáltató csapadéknak a függvénye. 62 meteorológiai mérőállomás adataiból levonható az a következtetés (Führer – Járó, 2000), hogy ha a júliusi 14 órás átlagos légnedvesség magasabb, mint 58%, akkor a természetes növénytársulás bükkös. Ha 53-58% közé esik, akkor gyertyános-tölgyes, ha 48-53%-os, akkor kocsánytalan tölgyes, illetve cseres, ha pedig 48%-nál kisebb, akkor a terület eredetileg fátlan, azaz ott csak erdőssztyepp klímáról beszélhetünk. Július mellett még az augusztusi hónap 14 órás átlagos légnedvessége is igen gyakran alacsony, néha alacsonyabb, mint júliusban, ezért a mai ismeretek szerint az ún. kritikus hónapok légnedvességát jobban jellemezné a klímaosztályok időjárási viszonyait.

A ma rendelkezésre álló, nagyobb számú megbízható meteorológia adat lehetővé teszi,

hogy az egyes klímátípusokat más paraméterekkel is jellemezzük. A zonális erdőtakaró mezoklíma szintű modellezését végezte el *Mátyás és Czimmer (2000)*, amikor is a zonális erdőátársulások tényleges előfordulását, az erdőállomány-adattárban nyilvántartott zonális előfordulású faállománytípusokat és erdészeti klímaosztályokat a meteorológiai mérések interpolációja segítségével a csapadék éves átlagával, a júliusi középhőmérséklettel és a nyári vízhiány nagyságával jellemezték. Mindhárom csoportban különböző átlagadatokat kaptak. Ennek egyik oka éppen az lehet, hogy az értékelt halmazok klíma szempontjából nem, vagy csak részben tekinthetők azonosnak.

A FAI mutatószám olyan időszakos hőmérséklet- és csapadékviszonyait veszi figyelembe, melyek a fák szervesanyag-képzését közvetlenül befolyásolják. Ennek megfelelően értékeltük azon meteorológiai állomások adatait a növekedés szempontjából fontos periódusonként, amelyeket az erdőgazdasági tájak jellemzésénél már eddig is számításba vettünk.

A 94 országot lefedő meteorológiai állomásból a *Járó-féle* értékelés alapján 11 esik a bükkös klímába, 16 a gyertyános-tölgyesbe, 43 a kocsánytalan tölgyes, illetve cseres, 24 pedig az erdőssztyepp klímába. A mérőhelyek adataiból képzett 50 (1901–1950) éves átlagok (1. táblázat) alapján megállapítható:

– *A bükkös klímában*, ahol a klímajelző fafaj a bükk, az éves átlagos csapadékösszeg eléri a 750 mm-t. A téli, tárolási időszakokban az átlagos csapadékösszeg csaknem 300 mm, a fő növekedési ciklusban 260 mm, míg a kritikus hónapokban 170 mm. Az évi átlaghőmérséklet 8,5 és 9,0 °C között mozog, az ún. kritikus hónapok átlaghőmérséklete pedig 18,5 °C.

– *A gyertyános-tölgyes klímában*, ahol a klímajelző fafaj a gyertyán, az évi átlagos csapadékösszeg több mint 660 mm, a tárolási időszakokban csaknem 270 mm, a fő növekedési és a kritikus hónapokban pedig eléri a 225, illetve 140 mm-t. Ezek az értékek mintegy 10-15%-kal kisebbek, mint a bükkös

1. táblázat

Az erdészeti klímakategóriák meteorológiai jellemzői

A meteorológiai állomásokon mért csapadék- és hőmérsékletadatok sokévi átlagai			Klímaosztályok				
			bükkös klíma (FAI: -4,750)	gyertyános-tölgyes klíma (FAI: 4,751–6,000)	kocsánytalan tölgyes, illetve cseres klíma (FAI: 6,001–7,250)	erdősztyepp klíma (FAI: 7,251–)	
csapadék (mm)	évi átlag	átlag	752	663	598	546	
		szórás	31,0	55,4	43,4	29,0	
	XI–IV.	átlag	297	267	248	233	
		szórás	25,9	36,5	26,1	18,7	
	V–VII.	átlag	259	218	192	174	
		szórás	12,5	15,0	11,3	6,6	
	V–X.	átlag	455	395	350	313	
		szórás	22,0	25,5	22,7	13,0	
	VII–VIII.	átlag	167	139	118	101	
		szórás	8,6	12,8	8,9	5,4	
	hőmérséklet (°C)	évi átlag	átlag	8,8	9,4	9,9	10,4
			szórás	0,87	0,73	0,61	0,29
XI–IV.		átlag	2,3	2,7	3,0	3,4	
		szórás	0,95	0,85	0,66	0,35	
V–VII.		átlag	16,6	17,5	18,2	19,0	
		szórás	0,84	0,80	0,66	0,33	
V–X.		átlag	15,2	16,2	16,8	17,5	
		szórás	0,82	0,71	0,62	0,34	
VII–VIII.		átlag	18,5	19,6	20,3	21,1	
		szórás	0,79	0,74	0,67	0,39	
FAI		átlag	4,36	5,51	6,56	7,65	
		szórás	0,30	0,41	0,38	0,31	

klímában. Az éves átlaghőmérséklet 9,4 °C, a kritikus hónapokban pedig magasabb, mint 19,5 °C.

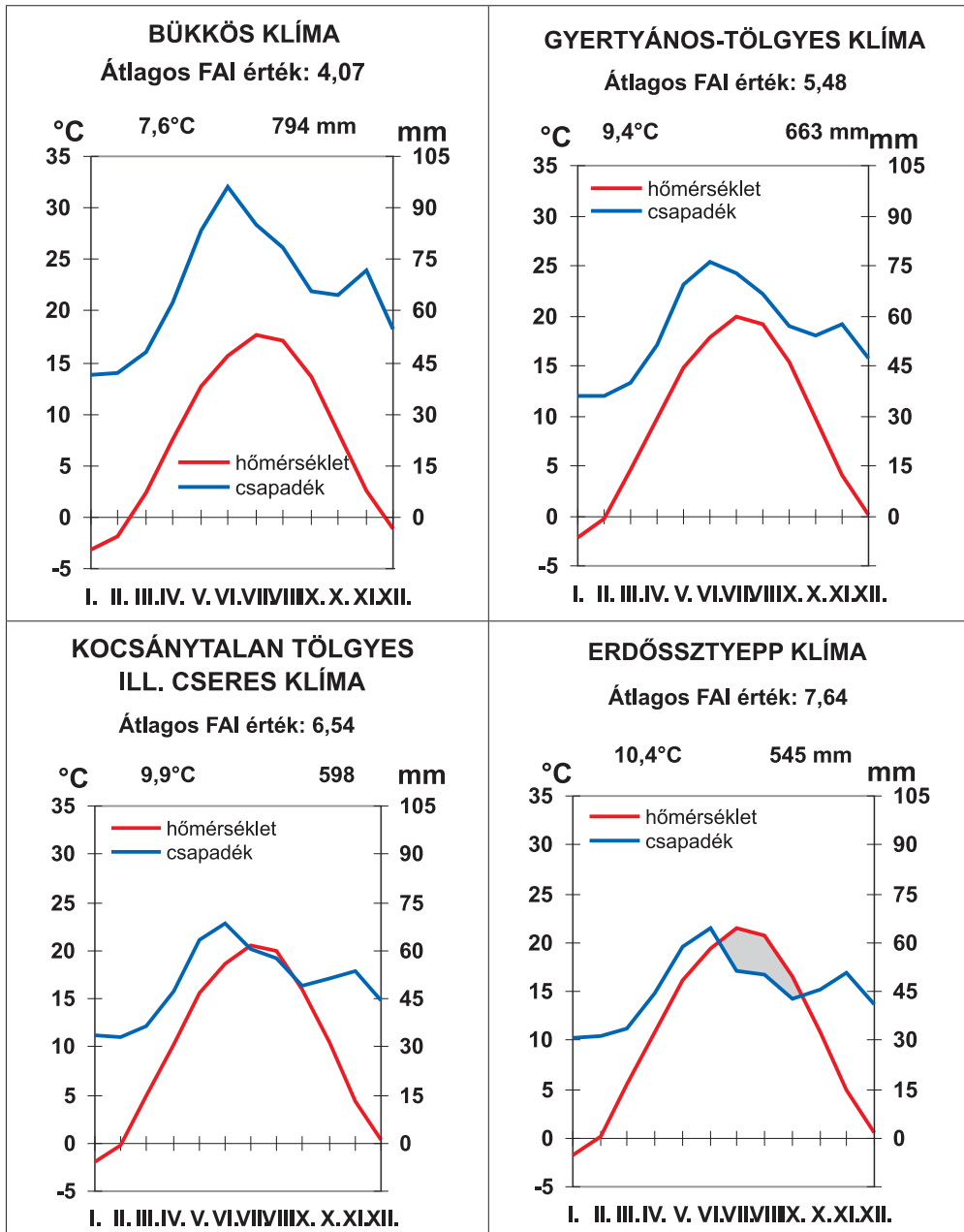
– A *kocsánytalan tölgyes, illetve cseres klímában*, ahol a talaj kémhatásától függően vagy a kocsánytalan tölgy (savanyú termőhely), vagy pedig a cser (bázikus termőhely) a klímajelző fafaj, az évi átlagos csapadék már csak 600 mm körüli, a tárolási időszakokban alig éri el a 250 mm-t, a fő növekedési és a kritikus hónapokban pedig 190, illetve 120 mm átlagadatokat kapunk. Ezek az értékek mintegy 10%-kal alacsonyabbak, mint a gyertyános-tölgyes klímában. Az évi átlagos hőmérséklet már eléri a 10 °C-ot, a kritikus hónapokban pedig több mint 20 °C.

– Az *erdősztyepp klímát* fafajjal jellemezni nem lehet, hiszen eredendően fátlan terület. Itt a legalacsonyabb az évi átlagos csapadékösszeg, nagysága 550 mm alatti. A tárolási időszakokban értéke 230 mm, a fő növekedési ciklusban is csak 175 mm, a kritikus hónapokban pedig már csak 100 mm. E klíma a legmelegebb, az évi átlaghőmérséklet csaknem 10,5 °C, a kritikus hónapok átlaghőmérséklete pedig több mint 21,0 °C.

– Az egyes klímaosztályok átlagadatai 90%-os megbízhatósági szint mellett szignifikánsan eltérnek egymástól.

A mért és számított adatokból képezhető az erdészeti aszályosság index, a FAI. Ennek átlagos értéke a *bükkös klímában* megközelítőleg 4,4, a legalacsonyabb érték-

3. ábra



A klímaosztályok Walter-diagramjai a mérőállomások sokévi (1901–1950) átlagadatai alapján

ket Kékestetőn (FAI: 3,30), Magyarország legmagasabb pontján (1000 m tszfm.) lévő meteorológiai állomáson kapjuk. A *gyertyános-tölgyes* klímába tartozó állomások átlagában a FAI-érték 5,5. A *kocsánytalan tölgyes*, illetve *cseres* klímában az átlagos FAI-érték már csaknem eléri 6,6-es értéket. Az *erdőssztyepp* klíma állomásainál az átlagos FAI-érték több mint 7,6. A legmagasabb érték (FAI: 8,3) Csongrádon, a Nagyalföld legmelegebb és legmélyebb fekvésű térségében adódott.

Az egyes klímaosztályok átlagos adataiból képzett módosított *Walter-diagrammok* (3. ábra) is mutatják, hogy amíg a *bükkös* és *gyertyános-tölgyes* klíma csapadékvízrel való ellátottsága kedvező, illetve megfelelő, addig a *kocsánytalan tölgyes*, illetve *cseres*, valamint az *erdőssztyepp* klímájú területeken a vízellátottság kedvezőtlen, illetve rossz (a hőmérsékleti görbe a csapadékgörbe fölött is fut).

Bár a számításba vett meteorológiai állomások területi eloszlása csak részben felel meg az egyes klímákat jellemző faállományok területi megoszlásával, mégis a kapott átlagos FAI-mutatók és azok szórása alapján nagy biztonsággal meghúzhatók az egyes klímahatárok és pontosítható az egyes meteorológiai állomások besorolása. *Bükkös klíma* tehát ott fordul elő, ahol a terület 4,75 és az alatti értékkel jellemezhető. *Gyertyános-tölgyes klíma* a 4,75 és 6,00 közötti FAI-érték esetében fordul elő, *kocsánytalan tölgyes*, illetve *cseres klíma* a 6,00 és 7,25 közötti FAI-értékű területekre jellemző, *erdőssztyepp klíma* pedig az e fölötti FAI-értékek mellett található.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az NKFP6-00047/2005 projekt támogatásával valósult meg.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) ÁLLAMI ERDÉSZETI SZOLGÁLAT (1996): Magyarország erdőállományai, 1996. (2) BALDOCCHI, D.D. – BLACK, T.A. – CURTIS, P.S. – FALGE, E. – FUENTES, J. D. – GRANIER, A. – GU, L. – KNOHL, A. – PILEGAARD, K. – SCHMID, H.P. – VALENTINI, R. – WILSON, K. – WOFSY, S. – XU, L. – YAMAMOTO, S. (2005): Predicting the onset of net carbon uptake by deciduous forests with soil temperature and climate data: a synthesis of FLUXNET data. *J. Biometeorol.* 49. 5: 377-387. pp. (3) BERKI I. – MÓRICZ N. – RASZTOVITS E. – VIG P. (2007): A bükk szárazság tolerancia határának meghatározása. In: Mátyás Cs. – Vig P. (szerk.): Erdő és klíma V. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron. 213-228. pp. (4) BERKI I. – RASZTOVITS E. – MÓRICZ N. – MÁTYÁS CS. (2009): Determination of the drought tolerance limit of beech forests and forecasting their future distribution in Hungary. *Cereal Research Communications* 37: 613-616. pp. (5) CSÓKA GY. – KOLTAY A. – HIRKA A. – JANIK G. (2007): Az aszályosság hatása kocsánytalan tölgyeseink és bükköseink egészségi állapotára. In: Mátyás Cs. – Vig P. (szerk.): Erdő és klíma V. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron. 229-239. pp. (6) FÜHRER E. (1994): Csapadékmérések bükkös-, kocsánytalan-tölgyes és lucfenyves ökoszisztémában. *Erdészeti Kutatások* Vol. 84. 11-35. pp. (7) FÜHRER E. (1995): Az időjárás változásának hatása az erdők fatermő képességére és egészségi állapotára. *Erdészeti Lapok* 130. 176-178. pp. (8) FÜHRER E. (2005): Az erdőgazdálkodás talajtani vonatkozásai. In: Stefanovits P. – Michéli E. (szerk.): A talajok jelentősége a 21. században. MTA Társadalomkutató Központ, Budapest, 97-117. pp. (9) FÜHRER E. (2008): Erdőgazdaság. In: Harnos Zs. – Gaál M. – Hufnagel L. (szerk.): Klímaváltozásról mindenkinek. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Matematikai és Informatikai Tanszék, Budapest, 90-102. pp. (10) FÜHRER E. – JÁRÓ Z. (1992): Auswirkungen der Klimaänderung auf die Waldbestände Ungarns. *Österreichische*

Forstzeitung 9. 25-27. pp. (11) FÜHRER E. – JÁRÓ Z. (2000): Az aszály és a belvíz érvényesülése a Nagyalföld erdőművelésében I. *Erdészeti Tudományos Intézet Kiadványai* 12. 11-144. pp. (12) HALUPA L-NÉ (1967): Adatok a sziki tölgyesek növekedési menetének vizsgálatából. *Erdészeti Kutatások* VOL. 63. 95-108. pp. (13) HOFFMANN, G. – LYR H. (1992): Phitohormone und synthetische Wachstumsregulatoren. In: Lyr H. – Fiedler H.J. – Tranquillini W. (eds): *Physiologie und Ökologie der Gehölze*. Gustáv Fischer Verlag Jena/Stuttgart. 345-369. pp. (14) JÁRÓ Z. (1989): Az erdő vízforgalma. *Az Erdő* 38. 352-355. pp. (15) JÁRÓ Z. – TÁTRAALJAI E-NÉ (1984-85): A fák éves növekedése. *Erdészeti Kutatások* Vol. 76-77. 221-234. pp. (16) KÖRNER, C. (1999): Alpine plant life. Functionel plant ecologie of high mountain ecosystems. Berlin, Tokyo, Springer (17) LÁNG I. – CSETE L. – JOLÁNKAI M. (szerk.) (2007): A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest (18) LARCHER, W. (2001): *Ökophysiologie der Pflanzen*. 6. Aufl. Suttgart, Ulmer. (19) LINDERHOLM, H.W. (2006): Growing season changes in the last century. *Agr. For. Meteorol.* 137. 1-14. pp. (20) LYR, H. – HOFFMANN, G. (1992): Wachstum – Einflussfaktoren. In: Lyr, H. – Fiedler, H.J. – Tranquillini, W. (eds): *Physiologie und Ökologie der Gehölze*. Gustav Fischer Verlag Jena/Stuttgart. 397-437. pp. (21) MANNINGER M. (2004): Erdei fák éves és korszaki növekedésmenete és kapcsolódása egyes ökológiai tényezőkhöz. In: Mátyás Cs. – Vig P. (szerk.): *Erdő és klíma IV*. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron. 151-162. pp. (22) MÁTYÁS Cs. – CZIMBER K. (2000): Zonális erdőtakaró mezoklíma szintű modellezése: lehetőségek a klímaváltozás hatásainak előrejelzésére. In: Tar K. (szerk.): *Erdő és Klíma III*. DE TTK, Debrecen. 83-97. pp. (23) MÁTYÁS Cs. – NAGY L. – UJVÁRINÉ JÁRMAY É. (2007): Klimatikus stressz és a fafajok genetikai válaszreakciója az elterjedés szárazsági határán: elemzés és előrejelzés. In: Mátyás Cs. – Vig P. (szerk.): *Erdő és klíma V*. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron. 241-255. pp. (24) MOLNÁR M. – LAKATOS F. (2007): A bükkpusztulás Zala megyében – klímaváltozás? In: Mátyás Cs. – Vig P. (szerk.): *Erdő és klíma V*. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron. 257-267. pp. (25) PÁLFAI I. (2002): Magyarország aszályossági zónái. *Vízügyi Közlemények* 84. 323-357. pp. (26) PISEK, A. – LARCHER, W. – MOSER, W. – PACK, I. (1969): Kardinale Temperaturbereiche der Photosynthese und Grenztemperaturen des Lebens der Blätter verschiedener Sprmatophyten. III. Temperaturabhängigkeit und optimaler Temperaturbereich der Netto-Photosynthese. *Flora B* 158. 608-630. pp. (27) SZABADOS I. (2007): Dendrokronológiai kutatások: időjárás-fluktuáció hatása a produkcióra dendrokronológiai kutatások alapján. In: Mátyás Cs. – Vig P. (szerk.): *Erdő és klíma V*. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Sopron. 295-306. pp. (28) SZÖNYI L. (1962): Adatok néhány fafaj vastagsági növekedéséhez. *Az Erdő* 11. 289-300. pp. (29) TRANQUILLINI, W. (1979): Physiological ecology of the alpine timberline. *Ecol. Stud.* 31.

IDŐJÁRÁSI FLUKTUÁCIÓK HATÁSA A KISKUNSAGI NYÍLT HOMOKPUSZTAGYEPEK ÖKOLÓGIAI RESTAURÁCIÓJÁRA

TÖRÖK KATALIN – LOHÁSZ CECÍLIA – SZITÁR KATALIN

Kulcsszavak: aszályindex, életmenet-stratégia, klímaváltozás, kaszálás, szárazodás.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Az akácot (*Robinia pseudo-acacia*) a 18. század közepén telepítették be Magyarország száraz alföldi régiójába, a mozgó homokbuckák stabilizálására. A faj mára elterjedt, és uralja az erdőtelepítéseket a homokrégióban. Az akácerdők fajszegény aljnövényzetűek, a faj inváziójával veszélyezteti a környezetében előforduló természetszerű gyepek biodiverzitását. Az akácok letermelésével 1995-ben restaurációs kísérletek indultak a természetes homokpusztagyep visszaállítására. Az akác sarjadzását vegyszer segítségével gátoltuk, a gyomok előretörése ellen kaszálást és a széna elhordását alkalmaztuk. A kezelt és kontroll parcellák növényzete nyolc év alatt eltérő kompozíciójúvá fejlődött, ugyanakkor a fajok összetétele és gyakorisága 2003-ra sem közelítette meg a természetes, bennszülött homokpusztagyepét (*Festucetum vaginatae*). A klíma hatását a fajok életmenet-stratégiája szerint elemeztük. A Pálfai-féle aszályindex erősebben korrelált a növényzet fejlődésével, mint a csapadékösszegek. Nagyobb aszály alacsonyabb összborítást eredményezett a kezelt és a kontroll parcellákban egyaránt. Az eltérő életmenet-stratégiájú fajcsoportok eltérően reagáltak az aszályra. A kora nyári egyévesek és az évelő egyszikűek az aszályal negatív, míg az évelő kétszikűek és a nyári egyévesek pozitív korrelációt mutattak. Csak a nyári egyévesek aszályérzékenysége különbözött a kontroll és kezelt parcellák között (nem szignifikáns módon), mivel az aszály a kaszált parcellákban nagyobb borítást eredményezett. Ez nem feltétlen a csökkent csapadéknak köszönhető, mivel az alacsonyabb kompetíció és a megnövekedett üres talajfelület is hozzájárulhatott a borítás növekedéséhez. Összességében megállapítható, hogy a restauráció célfajai, a homokpusztagyep állományalkotó, évelő egyszikű fűfajai érzékenyen reagálnak a csapadékhányra, így az aszályos évek hátrányosan befolyásolják a restauráció eredményességét.

BEVEZETÉS

Az évek közötti időjárási fluktuációk, különösképpen az aszályok jelentősen befolyásolják a különböző növényfajok előfordulását és tömegességét. A vegetációs időszak csapadéknak mennyisége és eloszlása az arid és szemi-arid klímában, különösen a rossz vízgazdálkodású homoktalajokon nagy jelentő-

ségű, mivel ezek a rendszerek vízlimitáltak (Molnár, 2003; Kovács et al., 2008). Dodd és Lauenroth (1979) kimutatta, hogy a felszíni felületi primer növényi produkció a rövid fűvű prériken érzékenyebben reagál az elérhető víz mennyiségére, mint a talaj nitrogéntartalmára. Ha elegendő víz áll a rendelkezésre, akkor veszi át a talaj nitrogéntartalma a limitáló szerepet. A fiziognómiai jellemzőket a szuk-

cesszió és a regeneráció során is a klimatikus, főleg csapadékviszonyok és tápanyag-ellátottság együttesen, de nem mindig könnyen átlátható módon szabályozzák (*van der Maaler, 1981; Matus, 1996; Paschke et al., 2000*).

A fajok életforma-jellegzetességei meghatározzák azokat az éves növekedési szakaszokat, amikor a faj különösen érzékeny a rendelkezésre álló víz mennyiségére. A *Raunkiaer-féle* életformarendszer a növények túlélését szolgáló szervek szélsőséges klimatikus viszonyok melletti túlélési módjaira alapoz. A Gönyű–Csévharaszt–Fülöpháza szemiáriditási transzekt mentén végzett vizsgálat kimutatta az egyéves, a száraz időszakot mag állapotban átvészelő életformájú fajok arányának növekedését a szárazodás irányában élő nyílt homokpusztagyepéken (*Kovács-Láng et al., 1998*).

Az időjárási viszonyok a természetvédelmi kezelések hatékonyságát is befolyásolják, így a restauráció eredményességének értékeléséhez szervesen hozzátartozik az időjárás hatásának vizsgálata (*Vilagrosa, 2003*), habár ennek figyelembevételére egyelőre kevés példát találunk az irodalomban (*Battin et al., 2007*). Ennek fontosságát hangsúlyozza, hogy hazánkban 1983 és 2009 között a rendkívül súlyos aszályos évek aránya növekvő tendenciát mutat (*Pálfai, 2010*).

A tanulmány célja letermelt akácos helyén a nyílt homokpusztagyep regenerációját elősegítő restaurációs célú beavatkozás (kaszálás) hatásainak nyomon követése az időjárás függvényében (*Lohász, 2004*). A homoktalajon kialakult vegetáció dinamikájában meghatározó a felvehető víz mennyisége, így a kaszálás eredményeként a kezelt területeken a kontroll területekhez képest eltérő mikroklimatikus környezet jön létre, illetve megváltoznak a kompetíciós feltételek. Ezek alapján feltevéseink:

1. A Raunkiaer-életforma alapján képzett fajcsoportok egymástól eltérően viselkednek az időjárás függvényében.

2. A kontroll és a kaszált területeken a fajcsoportok eltérően reagálnak az időjárás változására.

AZ ANYAG ÉS MÓDSZER

Mintaterületünk a *Fülöpházi Homokbuckás TT* szomszédságában, egy buckatetőn és annak keleti oldalában fekszik. A terület közvetlen közelében kiterjedt nyílt homokpusztagyep-állomány terül el, ezért feltételezhető volt, hogy a restaurálandó terület nem propagulum limitált, a céltársulás fajkészlete rendelkezésre állt. A vizsgált területen 1994–95 telén történt az akácos letermelése egy hektárnyi területen. Ezt követően a tuskók vágásfelületén az újrasarjadzás megakadályozására herbicidkezelést alkalmaztak GARLON 4E vegyszerrel.

A területen belül egy 30x40 m-es blokkot jelöltünk ki 12 db 10x10 m-es kezelési parcellára osztva. Hat véletlenszerűen kiválasztott parcellát kezeltünk kaszállással (0–3 cm-es vágásmagasság motoros kézi bozót-vágóval) és a széna eltávolításával. A kezelést évente kétszer, május végén és augusztus végén, a cönológiai felvételezéseket követően hajtottuk végre 1995-től 2001-ig minden évben. A másik hat kontroll parcellában az erdő letermelésén és a tuskók herbicidkezelésén kívül nem történt beavatkozás.

A kísérleti terület és a kecskeméti meteorológiai állomás, ahonnan az időjárási adatok származnak, kb. 25 km-re fekszik egymástól, ezért a kecskeméti adatok alkalmazhatóságának ellenőrzésére összevetettük egymással a 2000 óta rendelkezésre álló fülöpházi MTA ÖBKI meteorológiai állomás (1 km-es távolságban fekszik) és a kecskeméti állomás adatait (1. ábra). Vizsgálataink során a Pálfai-féle aszályindexet (PAI) használtuk az időjárási viszonyok jellemzésére (*Koppány – Makra, 1995*). Az index hagyományosan az áprilistól augusztusig terjedő időszak középhőmérséklet (t) és az előző év októbertől augusztusig számított súlyozott csapadékösszegek (P) hányadosa. Mivel az őszi és a tavaszi növényzeti borítási értékeket külön kezeltük, a PAI-indexből is kétféle számoltunk. Az őszi borítási adatokhoz az indexet az októbertől augusztusig terjedő időszak csapadék- és az áprilistól augusztusig terjedő időszak hőmér-

sékletadatai alapján számoltuk ki minden évre. A tavaszi adatokhoz az október–májusi csapadék- és április–májusi hőmérsékleti adatok alapján számoltunk.

A vegetációs változások megmintázására évente kétszer végeztünk vegetáció-felvételezést (május végén és augusztus végén – szeptember elején) parcellánként 3 db 2x2 méteres állandó mintanégyszetben. 2000 és 2001-ben nem került sor felvételezésre. Az edényes növények felvételezése során *Braun-Blanquet skálán* becsültük a fajok borítását, amelyet *van der Maaler (1979)* alapján transzformáltunk százalékos értékekre. A számítások során az egyes parcellák kvadrátjainak fajonkénti összborítási értékeit átlagoltuk. A vizsgált területen előforduló fajokat életmenet-stratégiájuk alapján négy csoportra osztottuk *Újvárosi (1971)* és *Hunyadi (1988)* szerint:

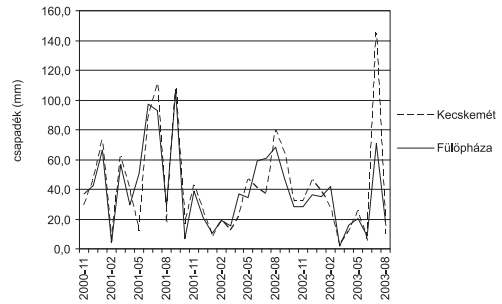
1. Kora nyári egyévesek (T12): áttelelő kora tavaszi (T1) és áttelelő nyár eleji (T2) egyévesek.
2. Nyár végi egyévesek (T34): tavasszal kelő nyár eleji (T3) és nyárutói (T4) egyévesek.
3. Évelő egyszikűek.
4. Évelő kétszikűek.

A T12 fajcsoportnál csak a tavaszi, a T34 fajcsoportnál pedig csak az őszi borításokat – mivel csak ekkor volt mérhető borításuk –, míg az évelő egyszikűek és kétszikűek esetében a tavaszi és őszi borításokat is vizsgáltuk. A borítási adatok areszin négyzetgyök transzformációját követően többszörös regressziót használtunk a növénycsoportok időjárás mutatóval való korrelációjának kimutatására (*Chang – Gauch, 1986*).

A VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

A kecskeméti és a fülöpházi meteorológiai adatok összevetéséből látszik, hogy a kisebb, főként a nyári hónapok lokális esőzései miatt tapasztalható eltérések ellenére a fülöpházi időjárás viszonyok a kecskeméti állomás adataival jól jellemezhetők (1. ábra).

1. ábra



Az OMSZ kecskeméti és az MTA ÖBKI fülöpházi meteorológiai állomásán mért havi csapadékösszegek 2000 novemberétől 2003 augusztusáig

1. táblázat

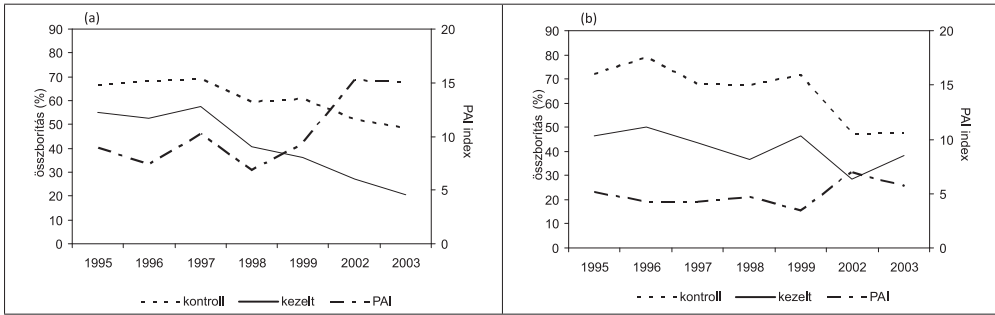
A PAI-index (°C/mm) és a vegetáció összborítása közötti korreláció, a nyári és az őszi felvételekben a regressziós egyenes meredeksége

Kezelés	Nyári felvétel		Őszi felvétel	
	mere dekség	standard hiba	mere dekség	standard hiba
Kezelt	-0,034	0,007	-0,056	0,018
Kontroll	-0,019	0,007	-0,099	0,024

A növényzet teljes borítása a kontroll és a kezelt parcellákban mind a tavaszi, mind az őszi felvételekben negatív korrelációt mutatott az aszály mértékével (1. táblázat). Hasonló összefüggést találtak más kutatások is (*Török et al., 2008*). A kezelt parcellák növényzetének összborítása kisebb korrelációt mutatott a kontrollokénál az őszi, mint a nyári felvételekben, de a különbség nem volt szignifikáns. Az összborítás alakulása a vizsgált időszak legaszályosabb éveire (PAI > 7 °C/mm) érzékenyen reagált, 2002-ben és 2003-ban a kezeléstől függetlenül jelentősen lecsökkent (2. ábra).

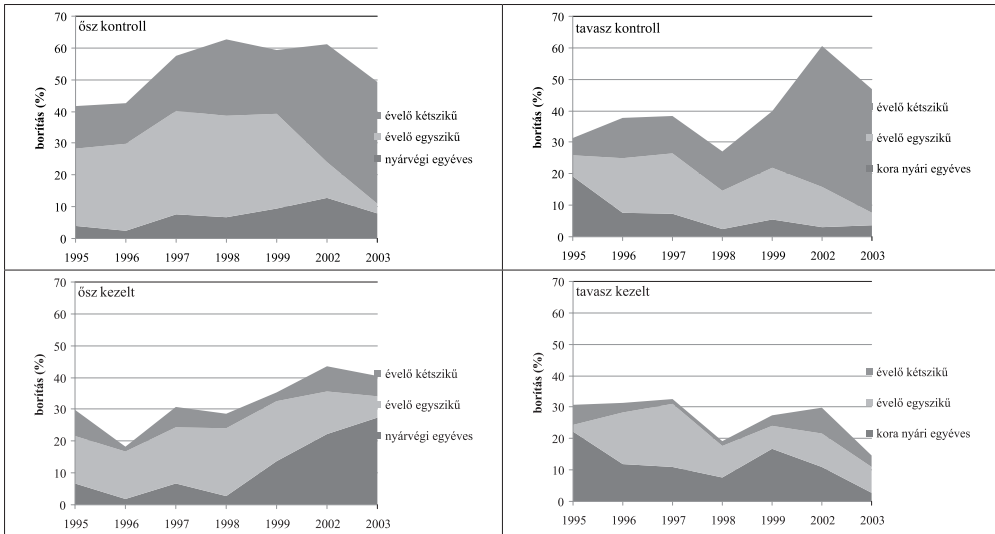
Az életmenet-stratégiák kategóriáinak borítása különbözőképpen változott a vizsgált időszakban (3. ábra). A kontroll parcellákban az évelő kétszikűek borítása folyamatosan nőtt, és a legnagyobb értéket 2003-ban érte el az őszi (39,1%) és a tavaszi felvételekben (38,4%) egyaránt. Az egyévesek borítása

2. ábra



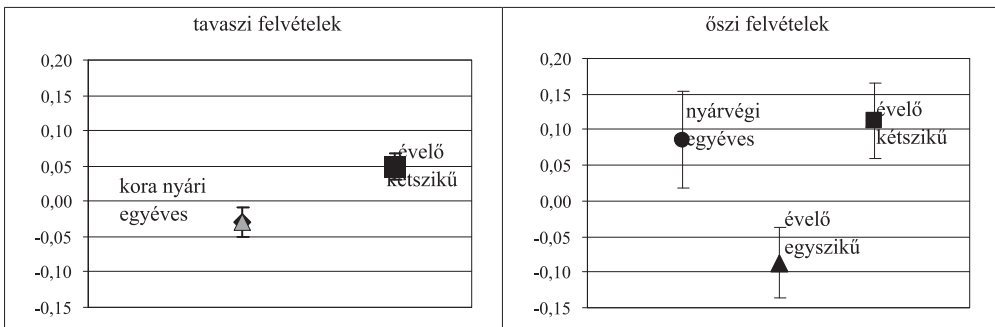
A nyári (a) és az őszi felvételek (b) összborítása a kontroll és a kezelt négyzetekben, valamint a PAI (°C/mm) alakulása az idő függvényében

3. ábra



Az életforma-kategóriák alapján képzett fajcsoportok százalékos arányának megoszlása a kezelt és a kontroll felvételekben tavasszal és ősszel

4. ábra



A kora nyári egyévesek és az évelő kétszikű fajcsoportok tavaszi borításával (bal), valamint a nyár végi egyévesek, évelő egyszikű és az évelő kétszikű fajcsoportok őszi borításával (jobb) számolt regressziós egyenesek meredekségei (+/-standard hiba) a Pálfi-féle aszályindex (PAI) függvényében, a kontroll és kezelt területek összevonva (ct), 1995-1999, 2002 és 2003. évi adatok alapján

1. fotó



2. fotó



A fülöpházi kísérleti terület kezelt és kontroll parcellái (bal) 1996-ban és 2004-ben (jobb).
A nem kaszált parcellákban erőteljes cserjesedés indult meg

nagymértékben nem változott, az élőlő egyszikűek borítása azonban nagymértékben csökkent, főként az őszi felvételeket tekintve. Tavasszal a kezelt területeken a kísérlet első éveiben az egyévesek és az élőlő egyszikűek domináltak, mely csoportrészesedés 2003-ra közel egyenlő mértékűre változik a négy csoport között. Az őszi felvételeken az élőlő egyszikűek csökkenése és az egyévesek nagymértékű növekedése figyelhető meg. A kontroll és kezelt parcellák közötti különbség megmutatja az élőlő kétszikűek kaszálással szembeni érzékenységét (1-2. fotó).

A PAI összefüggését az életmenetstratégia-csoportok tömegességével vizsgálva nem kaptunk szignifikáns különbséget a kezelt és a kontroll parcellákban, ezért ebben az elemzésben összevontuk őket (4. ábra). A tavaszi borítási adatoknál a kora nyári egyévesek és az élőlő kétszikűek mutattak szignifikáns korrelációt a PAI-val. A kora nyári egyévesek negatív, az élőlő kétszikűek pedig pozitív korrelációt mutatnak az aszályindexszel. A két csoport szignifikánsan eltérően viselkedik a PAI függvényében. A késő nyári egyévesek és az élőlő kétszikűek őszi borításai pozitív korrelációt mutatnak az aszályindexszel, az élőlő egyszikűek pedig negatívát. A nyár végi egyévesek és az élőlő kétszikűek magasabb borítást mutatnak aszályosabb években, a nyár elejeiek és az élőlő egyszikűek pedig alacsonyabbat. A késő nyári egyévesek és élőlő kétszikűek viselkedésében

nincs szignifikáns különbség, viszont ez a két csoport szignifikánsan eltérő viselkedést mutat az élőlő egyszikűekhez képest. Az élőlő kétszikűek borítása növekvő tendenciát mutatott a vizsgálat során a kontroll négyzetekben, amely a letermelést követő szukcesszió eredménye. A legnagyobb arányú borításnövekedést épp a legaszályosabb években érték el, ezért feltételezhető, hogy ennek a csoportnak a legkisebb az aszályérzékenysége. A kezelt négyzetekben az élőlő kétszikűek aránya végig alacsony maradt, ami a cserjesedés kaszálással való sikeres blokkolását mutatja. A nyár végi egyévesek PAI-val való pozitív korrelációja csak a kezelt négyzetekben volt szignifikáns, ami alapján valószínűsíthető, hogy nem közvetlenül a kevesebb csapadék befolyásolja ennek a csoportnak a tömegességét, hanem a csökkenő kompetícióból adódó felnyíló foltok arányának növekedése.

Eredményeink alapján megállapítható, hogy az aszály hatására módosulhat a szukcesszió folyamata. Az egyes életformacsoportok különböző érzékenységgel reagálnak a vízhiányra, befolyásolva ezzel tömegességüket és kompetíciós kapcsolataikat. Az élőlő nyílt homokpusztagyep esetében az élőlő egyszikűek aszályérzékenysége különösen meghatározó, mivel ezek a fajok dominálják az állományait. Így a restaurációs beavatkozások hatékonyságát az aszályos évek jelentősen csökkenthetik.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmányt az NKFP 3B/8 projekt támogatotta.

A kecskeméti meteorológiai adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat bocsátotta rendelkezésünkre.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) BATTIN, J. – WILEY, W.M. – RUCKELSHAUS, M.H. – PALMER, R.N. – KORB, E. – BARTZ, K.K. – IMAKI, H. (2007): Projected impacts of climate change on salmon habitat restoration. *PNAS*, 104. 6720-6725. pp. (2) CHANG, D.H.S. – GAUCH, H.G. (1986): Multivariate analysis of plants communities and environmental factors in Ngari, Tibet. *Ecology*, 67, 6. 1568-1575. pp. (3) DODD, J. L. – LAUENROTH, W. K. (1979): Analysis of the Response of a Grassland Ecosystem to Stress. In: French N. (ed.): *Perspectives in Grassland Ecology*. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 43-58. pp. (4) HUNYADI L. (szerk.) (1988): Szántóföldi gyomnövények és biológiájuk. Mezőgazdasági kiadó, Budapest (5) KOPPÁNY G. – MAKRA L. (1995): Persistence probability of the drought index made by Pálfaí for five regions of the Hungarian Great Plain. *Acta Clim. Univ. Szegediensis*, Tom. 28-29. 53-61. pp. (6) KOVÁCS-LÁNG E. – MOLNÁR E. – KRÖEL-DULAY GY. – BARABÁS S. (eds.) (1999): Long term ecological research in the Kiskunság, Hungary. *KISKUN LTER*. MTA ÖBKI, Vácrátót, 64 p. (7) KOVÁCSNÉ LÁNG E. – KRÖEL-DULAY GY. – RÉDEI T. (2008): A klímaváltozás hatása a természetközeli erdőssztyepp ökoszisztémákra. *Magyar Tudomány*, 7, 812. (8) LOHÁSZ C. (2004): Az időjárás hatása a homokpusztagyepék kísérletes restaurációjának eredményességére. Szakdolgozat. ELTE, Budapest, 69 p. (9) MATUS G. (1996): Pionír szekunder szukcesszió elemzése. Kandidátusi értekezés, Debrecen (10) MOLNÁR Zs. (2003): A Kiskunság száraz homoki növényzete. Természetbúvár Alapítvány Kiadó, Budapest (11) PASCHKE, M. W. – MCLENDON, T. – REDENTE, E.F. (2000): Nitrogen availability and old-field succession in a shortgrass steppe. *Ecosystems*, 3.144-158. pp. (12) PÁLFAI I. (2010): Az aszályok gyakorisága a Kárpát-medencében az utóbbi háromszáz évben. „KLÍMA-21” Füzetek, 59. 42-45. pp. (13) TÖRÖK P. – MATUS G. – PAPP P. – TÓTHMÉRÉSZ B. (2008): Secondary succession in overgrazed Pannonian sandy grasslands. *Preslia*, 80. 73–85. pp. (14) ÚJVÁROSI M. (1971): A gyomnövényzet ökológiai viszonyai és összetételei a szántóföldi termőhelyeken. Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium, Budapest (15) VAN DER MAALER, E. (1979): Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity. *Vegetatio*, 39. 97-114. pp. (16) VAN DER MAALER, E. (1981): Fluctuations in a coastal dune grassland due to fluctuations in rainfall: Experimental evidence. *Vegetatio*, 47. 259-265. pp. (17) VILAGROSA, A. – CORTINA, J. – GIL-PELEGRÍN, E. – BELLOT, J. (2003): Suitability of drought-preconditioning techniques in Mediterranean climate. *Restoration Ecology*, 11. 208-216. pp.

A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA A KÉTÉLTŰEKRE

PUKY MIKLÓS

Kulcsszavak: klímaváltozás, kétéltűek, hazai megfigyelések.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A klímaváltozás fokozottan veszélyeztet bizonyos, elsősorban vízhez kötődő élőlény-csoportokat. Ezek közé tartoznak a kis mozgáskörzetű és változatos élőhelyeket, általában magas páratartalmat igénylő kétéltűek. Hosszú távú adatsorok alapján a jelenleg zajló változások befolyásolják egyes fajok elterjedését, túlélését, morfológiai és szaporodásbiológiai változásokat is okoznak. Magyarországon is megfigyelhető volt az időjárással összefüggő változás egyes fajok egyedsűrűségében, kolonizációjában. Például a gyakori zöld varangynak (*Epidalea viridis*) egy évben több eredményes, átalakuló ebihalakat eredményező nászidőszaka tapasztalható, ami korábban nem volt jellemző. Az előrejelzések ismeretében hosszú távú, lehetőség szerint valamennyi fajra, több élőhely-típusban végzett vizsgálatok szükségesek a jelenségek pontos leírásához és az esetleges intézkedések meghozatalához.

BEVEZETÉS

A klímaváltozás eltérő mértékben hat az egyes élőlénycsoportokra. Lassú kolonizációs sebességük miatt a kétéltűek a legveszélyeztetettebbek közé tartoznak (*Araújo – Pearson, 2005*), amit jól mutat, hogy jelenlegi európai elterjedésüket – a hüllőkhöz hasonlóan – az egykori jégkorszaki reliktumoktól való távolság döntően meghatározza. A kétéltűek klímaváltozás által történő veszélyeztetettségét a szakirodalom és a népszerűsítő irodalom (lásd például *Margolis et al., 2006* írását a *Newsweek* 2006. október 16-i számában) is tárgyalja. Ennek megfelelően az erre vonatkozó ismeretek egy aktuális természetvédelmi probléma megértésén és kezelésén túl az oktatást, nevelést is jól szolgálják.

A klíma változása természetes folyamat, de a jelenlegi zajló felmelegedés elsősorban az üvegházhatást kiváltó gázok fokozott kibocsátásának következménye (*Crowley,*

2000). A XX. században a felszín közeli hőmérséklet átlagosan 0,6 °C-kal emelkedett, ami az elmúlt ezer év legmelegebb évszázadát eredményezte (*Jones, 2001*). Ennek következtében a csapadékviszonyok a korábbiaktól jelentős eltérést mutatnak, és a rendkívüli időjárási körülmények kialakulásának sűrűsége és időtartama is megemelkedett. Ezeket az eltéréseket azonban gyakran nehéz ok-okozati összefüggésbe hozni a bekövetkező herpetológiai változásokkal, ami annak is betudható, hogy a fajok nagy részének egyedszáma normális körülmények között is ciklikusan változik (lásd például *Grossenbacher, 1995*, valamint *Meyer et al., 1998* eredményeit), ráadásul a klímaváltozás során egymástól távoli földrészekben zajló folyamatok kapcsolódnak össze. A Karib-tenger térségében például a levegőben lévő szennyezőanyagok elsődleges forrása az afrikai erdőirtást kísérő égetés, ami a Föld klímájának változásával párhuzamosan

bekövetkező időjárási változásokon keresztül hat a kétéltűek túlélésére (Stallard, 2001).

A KLÍMAVÁLTOZÁS KÉTÉLTŰEKRE GYAKOROLT HATÁSÁNAK ÁTTEKINTÉSE

A kipusztulás és megfogyatkozás

Több olyan vizsgálat ismert, ami a kétéltűek megfogyatkozása és a klímaváltozás közötti összefüggést bizonyította. Az 1980-as években a szárazabb időjárással párhuzamosan Észak-Amerikában *Rana pipiens* (Corn – Fogelman, 1984), Ausztráliában pedig *Pseudophryne corroboree* (Osborne, 1989) populációk eltűnését észlelték. A sokáig tartó szárazság Puerto Ricóban az *Eleutherodactylus coqui* tömeges pusztulását okozta (Stewart, 1995). A megváltozott időjárási körülmények, erős fagy (Heyer et al., 1988), száraz tél (Weygoldt, 1989), a ködviszonyok változása (Crump et al., 1992; Pounds – Crump, 1994; Pounds et al., 1999) braziliai és Costa Rica-i kétéltűpusztulásokkal is kapcsolatba hozhatók. Egyes esetekben ez a kétéltűekkel párhuzamosan más állatcsoportoknál is dokumentálható változásokat, szignifikáns egyedsűrűség-csökkenést vagy éppen növekedést okozott (Pounds et al., 1999).

A fenti példák ellenére azonban 120 mintavételi terület adatsorait és klimatikus viszonyait elemezve Carey és munkatársai (2001) megállapították, hogy az időjárási körülmények változása közvetlenül, önmagában nem tehető felelőssé a kétéltűek eltűnéseért, egyetlen olyan eset sem ismert, amikor egy kétéltű-populáció kipusztulását egyedül a hőmérsékleti vagy csapadékvizonyok megváltozása okozta volna. Megerősíti ezt az állítást Laurance és munkatársai (1996) analízise is. Vizsgálatuk alapján ausztráliai békák 1990-es években tapasztalt szignifikáns egyedsűrűség-csökkenése vagy eltűnése előtt öt éven keresztül ugyan kevesebb eső esett, de ez önmagában nem okozhatta a populációk drasztikus megfogyatkozását.

Hasonló eredményre jutottak kaliforniai összehasonlító vizsgálatok is, miszerint a kétéltűek megfogyatkozása nemcsak szárazabb, alacsonyabban fekvő élőhelyeken következett be (Davidson et al., 2002). Ennek megfelelően a klíma változása elsősorban közvetve, más tényezőket befolyásolva okozhat kétéltűpusztulást (Alexander – Eisheid, 2001). Fontos, globálisan ható tényező lehet például a kétéltűeket megtizedelő betegségek terjedésében, járványok kialakulásában (Carey – Alexander, 2003). Ugyancsak lényeges a talaj nedvességtartalmának befolyásolásában, ami a zsákmányszervezetek gyakoriságán keresztül hat a kétéltűek fennmaradására, a populációk méretére, egyedsűrűségére (Corn, 2005). A klíma változása hatással lehet a kétéltűekre nehezedő predációs nyomásra, és egyes fajok immunrendszerét is jelentősen befolyásolhatja (Pounds – Crump, 1994). Ezeknek a másodlagos hatásoknak az eredményeként a klímaváltozás a kétéltűek kipusztulásának esélyét is jelentősen növelheti. Thomas és mtsai (2004) elemzése alapján a klímaváltozás hatására az általuk vizsgált fajok (többek között 23 ausztráliai béka) mintegy 20-30%-át is kipusztulás fenyegetheti 2050-re. Donnelly és Crump (1998) előrejelzése szerint a (trópusi) kétéltűeket a klíma változása csökkenő táplálékészlettel, romló szaporodási sikerrel és a megszokott életciklus felborulásával fenyegeti, Teixeira és Artzen (2002) szerint mindez az Ibériai-félszigeten a *Chioglossa lusitanica* elterjedési területének összehúzódását okozza 2050 és 2080 között.

Morfológiai változások

A klíma fokozatos változása a kétéltűek morfológiai adaptációját is kiválthatja. A hőmérséklet emelkedése egy gyakori észak-amerikai götefaj, a *Plethodon cinereus* azon morfortípusának relatív gyakoriságát növeli, ami a melegebb éghajlatot jobban elviseli (Gibbs – Karraker, 2001). Lengyel vizsgálatok szerint 40 év adatsorai alapján a hőmérséklet nemcsak az állatok külső meg-

jelenését, hanem egyes fajok testméretét is befolyásolja. A téli hőmérséklettel a tavibéka (*Pelophylax ridibundus*) hímek és a kis tavibéka (*Pelophylax lessonae*) nőstények testmérete pozitív, a kecskebéka (*Pelophylax esculentus*) nőstényeké negatív korrelációt mutatott (Tryjanowski et al., 2006).

Szaporodásbiológiai változások

A nászidőszak kezdete és időtartama. A klíma változásának fontos hatása, hogy a fajok biológiai jellegzetességeit, például a szaporodási idő kezdetét és időtartamát is befolyásolhatja. A XX. század végén Angliában a fajok többségénél azonos irányú változást tapasztaltak. 19 év alatt a barna varangy (*Bufo bufo*) szaporodásának kezdete az enyhe telek után hét héttel korábban kezdődött az ország déli részén, mint átlagos vagy hideg években, ez a változás azonban nem szignifikáns (Reading, 1998). Az átlagos március–áprilisi napi maximum hőmérséklet 17 éven keresztül tartó folyamatos (0,11-0,24 °C) emelkedésével párhuzamosan viszont egy másik felmérésben öt angliai kétéltűfaj, a nádi varangy (*Bufo calamita*), kis tavibéka (*Pelophylax lessonae*), pettyes göte (*Triturus vulgaris*), tarajos göte (*Triturus cristatus*) és a talpas göte (*Triturus helveticus*) szaporodási ideje is szignifikánsan korábbra tolódott (Beebee, 1995). A vizsgálatosorozat első és utolsó öt évét összehasonlítva az *Anura* fajok két, a *Triturus*ok öt héttel korábban kezdték a nászidőszakukat. Az egyetlen kétéltűfaj a gyepi béka (*Rana temporaria*), amelynek a szaporodási ideje az előbb felsorolt fajokkal azonos mintavételi területeken változatlan maradt, bár a *B. bufo*hoz hasonlóan az is némileg korábbra tolódott. A fajok közötti különbség oka a szaporodási stratégia különbözősége lehet, a rövid szaporodási idejű fajoké kevésbé változott (bár idővel ez a változás is szignifikánssá válhat), míg az elnyújtott nászidőszakú taxonoké előretolódott. Ez a különbség a kétéltűközösségek szerkezetére is hatással lehet, hiszen a gótek egyik fő táplálékforrását az ebihalak jelentik. (Ez Magyar-

országon az angliai példán túl a gyepi békával közeli rokonságban lévő erdei és mocsári békára is ugyanúgy vonatkozhat.) A ragadozók korai megérkezése tehát nagyobb predációs nyomást eredményez (Beebee, 2002).

Hosszabb távon, illetve más területeken rövid szaporodási időszakú fajok nászidőszaka is korábbra tolódott. Lengyelországban a vizsgált 25 év alatt tapasztalt erősödő tavaszi felmelegedéssel összefüggésben két előbb említett faj (*B. bufo*, *R. temporaria*) 8-9 nappal előbb rakott petét az 1978–2002-es időszak végén, mint az elején (Tryjanowski et al., 2003), Finnországban pedig a *R. temporaria* szaporodási időszaka kezdődött 2-13 nappal korábban 1846 és 1986 között az egyes mintavételi területeken (Terhivuo, 1988).

Hasonló változásokat Észak-Amerikában is észleltek. A hőmérséklet emelkedésének hatására hat fajból négy 10-13 nappal korábban, kettő viszont 1990 és 1999 között is akkor kezdte a nászidőszakát, mint 1900 és 1912 között (Gibbs – Breisch, 2001). Rövidebb vizsgálati idő alatt a szaporodási időszak előretolódása több esetben megfigyelt jelenség, ez azonban az eddigi vizsgálatok alapján általában nem szignifikáns változás (lásd például a *Bufo boreasra* vonatkozó adatokat Blaustein és mtsai, 2001 cikkében).

A szaporodás korábbra tolódásának előnyei és hátrányai is vannak. Korai szaporodás esetén a *B. bufo* ebihal állapota 30 nappal tovább tart, de még így is több mint egy hónappal korábban alakulnak át, ami nagyobb energiatartalékok felhalmozását teszi lehetővé, mint a késői szaporodás esetén (Reading – Clarke, 1999). Az ebihalak halálzásának üteme azonban az alacsony kezdeti vízhőmérséklet miatt a fejlődés elején magasabb, és a kifejlett állatok testkondíciója is jobban leromlik azokban az években, amikor korán szaporodnak (Reading – Clarke, 1995). Mi több, az emelkedő hőmérséklet hatására a *B. bufo* nőstények túlélési esélye is kisebb lesz (Reading, 2006). Emellett enyhe telek után az állatok testmérete is szignifikánsan kisebb, ami kevesebb pete lerakásával, tehát csökkenő utódszámmal jár.

1. fotó



**Kerti tó mellett szőlő zöld varangy (*Epidalea viridis*).
A hangadás nem egy pontról, hanem intenzív helyváltoztatás közben,
akár a szárazföldről is zajlik**

Nemek közötti különbségek. A fajok közötti különbségek mellett a hőmérséklet emelkedése egy fajon belül a nemek között is eltérő mértékű változásokat okozhat. Egy walesi vizsgálatban a *T. vulgaris* és a *T. helveticus* hímek is nagyobb mértékben reagáltak a hőmérséklet emelkedésére, mint a nőstények, és a két nem szaporodóhelyre történő érkezése között a korábinál nagyobb különbség alakul ki (*Chadwick et al., 2006*).

A HAZAI MEGFIGYELÉSEK

Egyes fajok egyedsűrűségének változását magyarországi vizsgálatok és megfigyelések is bizonyítják. Ezen belül a kétéltűek egyed-

sűrűségének időjárási viszonyokkal összefüggő, jelentős fluktuációját már korábban észlelték a Tisza, illetve a Duna mentén mocsári béka (*Rana arvalis*) és kecskebéka (*P. esculentus*) állományokban (*Gyovai, 1989; Puky, 2000*). A populációdinamikai jellemzők és a klímaváltozás közötti egyértelmű kapcsolat megállapítását azonban egyik esetben sem teszi lehetővé, hogy mindkét vizsgálat öt évnél rövidebb idősorokat elemzett. A kétéltűek egyedsűrűségének és elterjedési területének nyilvánvaló változására a 2010. év is jó példát mutat. A Balaton-felvidéktől Balassagyarmatig és Ásotthalomig számos helyen figyelték meg fiatal kétéltűek (elsősorban békák) nagy egyedsűrűségű megjelenését vagy korábban nem regisztrált fajok

felbukkanását, ami egyértelműen kapcsolatba hozható a csapadékos időjárással. A mérsékelt égövben élő kétélűek egy része számára ugyanis kiemelkedően lényegesek az időlegesen kialakuló vizek, ahol az állandó vizekben kialakuló predációs és kompetíciós viszonyok sokkal kedvezőbbek számukra (Snodgrass et al., 2000; Wellborn et al., 1996). Nem tisztázott azonban, hogy ez a kedvező hatás mely fajokat érinti, az ismertté vált esetekben elsősorban gyakori fajok (például barna ásóbéka (*Pelobates fuscus*), barna varangy (*B. bufo*) sikeres szaporodását, terjedését figyelték meg. Feltételezhető azonban, hogy az ilyen kedvező évek a ritka és korlátozott elterjedésű fajok esetében – amilyen Magyarországon például az alpesi götte (*Ichthyosaura alpestris*) – nem kompenzálják a klímaváltozás általános trendjével járó változások negatív hatását (Rödger – Schulte, 2010).

A szaporodásbiológiai változásokra – történeti adatsorok hiányában – egyelőre egyedi megfigyelések ismeretesek. Az ország egyik leggyakoribb, pionír faja a zöld varangy (*Epidalea viridis*), ami a legtöbb településen is előfordul (lásd például Ilosvay, 1977; Kéri, 2004; Puky et al., 2005). A faj szaporodás-

biológiájának vizsgálata 2004 óta zajlik a főváros keleti részén, Rákosligeten. A mintavételi helyeket kerti tavak jelentik, ahol az *E. viridis* rendszeresen előfordul (1. fotó). 2008-ban és 2009-ben jelentős változást tapasztaltunk. A hímek hangadási ritmusára korábban kétsúcú görbe volt jellemző, az április közepén kezdődő szaporodási időszak befejezése után egy második, május végi, június eleji aktivitási maximumot is megfigyeltünk. 2008-ban azonban ehhez sikeres párzás és a lerakott peték sikeres kifejlődése, az ebihalak átalakulása is társult.

A fentieknek megfelelően az ok-okozati kapcsolatok és a lehetséges hatások további részletes vizsgálata szükséges Magyarországon is annak eldöntésére, hogy a klímaváltozás milyen mértékben járul hozzá a kétélűek világszerte, több kontinensen megfigyelt megfigyeltetéséhez (Alford – Richards, 1999; Houlihan et al., 2000).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm Szakács Évának és Andrési Pálnak, hogy megfigyeléseik eredményeit rendelkezésemre bocsátották.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) ALEXANDER, M. A. – EISCHEID, J. K. (2001): Climate variability in regions of amphibian declines. *Conservation Biology*. 15(4): 930-942. pp.
- (2) ALFORD, R. A. – RICHARDS, S. J. (1999): Global amphibian declines: a problem in applied ecology. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 30: 133-165. pp.
- (3) ARAÚJO, M. B. – PEARSON, R. G. (2005): Equilibrium of species' distributions with climate. *Ecography*. 28(5): 693-695. pp.
- (4) BEEBEE, T. J. C. (1995): Amphibian breeding and climate. *Nature*. 374: 219-220. pp.
- (5) BEEBEE, T. J. C. (2002): Amphibian phenology and climate change. *Conservation Biology*. 16(6): 1454-1455. pp.
- (6) BLAUSTEIN, A. R. – BELDEN, L. K. – OLSON, D. H. – GREEN, D. M. – ROOT, T. L. – KIESECKER, J. M. (2001): Amphibian breeding and climate change. *Conservation Biology*. 15: 1804-1809. pp.
- (7) CAREY, C. – ALEXANDER, M. A. (2003): Climate change and amphibians: is there a link? *Diversity and Distributions*. 9: 111-121. pp.
- (8) CAREY, C. – HEYER, R. W. – WILKINSON, J. – ALFORD, R. A. – ARNTZEN, J. W. – HALLIDAY, T. – HUNGERFORD, L. – LIPS, K. R. – MIDDLETON, E. M. – ORCHARD, S. A. – RAND, S. A. (2001): Amphibian declines and environmental change: use of remote-sensing data to identify environmental correlates. *Conservation Biology*. 15(4): 903-913. pp.
- (9) CHADWICK, E. A. – SLATER, F. M. – ORMEROD, S. J. (2006): Inter- and intraspecific differences in climatically mediated phenological change in coexisting *Triturus* species.

Global Change Biology. 12 (6): 1069–1078. pp. (10) CORN, P. S. (2005): Climate change and amphibians. *Animal Biodiversity and Conservation*. 28(1): 59–67. pp. (11) CORN, P. S. – FOGELMAN, J. C. (1984): Extinction of montane populations of northern leopard frog (*Rana pipiens*) in Colorado. *Journal of Herpetology*. 18: 147–153. pp. (12) CROWLEY, T. J. (2000): Causes of climate change over the past 1000 years. *Science*. 289: 270–277. pp. (13) CRUMP, M. L. – HENSLEY, F. R. – CLARK, K. L. (1992): Apparent decline of the golden toad: underground or extinct. *Copeia*. 1992: 413–420. pp. (14) DAVIDSON, C. – SHAFFER, H. B. – JENNINGS, M. R. (2002): Spatial tests of the pesticide drift, habitat destruction, UV-B and climate change hypotheses for California amphibian declines. *Conservation Biology*. 16: 1588–1601. pp. (15) DONNELLY, M. A. – CRUMP, M. L. (1998): Potential effects of climate change on two neotropical amphibian assemblages. *Climatic Change*. 39: 541–561. pp. (16) GIBBS, J. P. – BREISCH, A. R. (2001): Climate warming and calling phenology of frogs near Ithaca, New York, 1990–99. *Conservation Biology*. 15: 1175–1178. pp. (17) GIBBS, J. P. – KARRAKER, N. R. (2006): Effects of warming conditions in Eastern North American forests on redback salamander morphology. *Conservation Biology*. 20(3): 913–917. pp. (18) GROSSENBACHER, K. (1995): Observations from long-term population studies in Switzerland. *Froglog*. 15: 3–4. pp. (19) GYÓVAI F. (1989): Demographic analysis of the moor frog (*Rana arvalis* Wolterstorffi Fejérváry 1919) population in Fraxino pannonicae – Alnetum of the Tisza basin. *Tiscia*. XXIV: 107–119. pp. (20) HEYER, W. R. – RAND, A. S. – GONCALVES DA CRUZ, C. A. – PEIXOTO, O. L. (1988): Decimations, extinctions, and colonizations of frog populations in southeast Brazil and their evolutionary implications. *Biotropica*. 20: 230–235. pp. (21) HOULAHAN, J. E. – FINDLAY, C. S. – SCHMIDT, B. R. – MEYER, A. H. (2000): Quantitative evidence for global amphibian population declines. *Nature*. 404: 752–755. pp. (22) ILOSVAY GY. (1977): Effect of urbanization on the herpetofauna of a settlement at the Tisza (Szeged). *Tiscia*. XII: 123–130. pp. (23) JONES, P. D. – OSBORN, T. J. – BRIFFA, K. R. (2001): The evolution of climate over the last millennium. *Science*. 292: 662–667. pp. (24) KÉRI A. (2002): A természetvédelmi mentőakciók és szerepük a környezeti nevelésben. In: Schróth Á. (szerk.): Válogatás a középiskolai „Környezeti nevelés” területeiből – Tanulmányok Magyarország és az Európai Unió természetvédelméről. TEMPUS Institutional Building Joint European Project. Trefort Kiadó, Budapest. 151–174. pp. (25) LAURANCE, W. F. – McDONALD, K. R. – SPEARE, R. (1996): Epidemic disease and the catastrophic decline of Australian rain forest frogs. *Conservation Biology*. 10: 406–413. pp. (26) MARGOLIS, M. – WHIPP, L. – BRUNING, K. – DE FREITAS, F. (2006): Frogs: Global Warming’s First Victims. Climate change is no longer merely a matter of numbers from a computer model. With startling swiftness, it is reordering the natural world. *Newsweek International Edition*. 2006. október 16. (27) MEYER, A. H. – SCHMIDT, B. R. – GROSSENBACHER, K. (1998): Analysis of three amphibian populations with quarter-century long time-series. *Proceedings of the Royal Society, London B*. 265: 523–528. pp. (28) OSBORNE, W. S. (1989): Distribution, relative abundance and conservation status of Corroboree frogs, *Pseudophryne corroboree* Moore (Anura: Myobatrachidae). *Australian Wildlife Research*. 16: 537–547. pp. (29) POUNDS, J. A. – CRUMP, M. L. (1994): Amphibian declines and climate disturbance: the case of the golden toad and the harlequin frog. *Conservation Biology*. 8: 72–85. pp. (30) POUNDS, J. A. – FOGDEN, M. P. L. – CAMPBELL, J. H. (1999): Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature*. 398: 611–615. pp. (31) PUKY M. (2000): A comprehensive three-year herpetological survey in the Gemenc Region of the Danube – Dráva National Park, Hungary. *Opuscula Zoologica*. XXXII: 113–128. pp. (32) PUKY M. – SCHÁD P. – SZÓVÉNYI G. (2005): Magyarország herpetológiai atlasza/Herpetological atlas of Hungary. Varangy Akciócsoport Egyesület, Budapest. 207. p. (33) READING, C. J. (1998): The effect of winter temperature on the timing of breeding activity in the common toad *Bufo bufo*. *Oecologia*. 117: 469–475. pp. (34) READING, C. J.

(2006): Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship. *Oecologia*. 151(1): 125-131. pp. (35) READING, C. J. – CLARKE, R. T. (1995): The effects of density, rainfall and environmental temperature on body condition and fecundity in the common toad, *Bufo bufo*. *Oecologia*. 102: 453-459. pp. (36) READING, C. J. – CLARKE, R. T. (1999): Impacts of climate and density on the duration of the tadpole stage of the common toad, *Bufo bufo*. *Oecologia*. 121: 310-315. pp. (37) RÖDDER, D. – SCHULTE, U. (2010): Amphibien und Reptilien im anthropogenen Klimawandel: Was wissen wir und was erwarten wir? *Zeitschrift für Feldherpetologie*. 17: 1-22. pp. (38) SNODGRASS, J. W. – BRYANT, A. L. JR. – BURGER, J. (2000): Development of expectations of larval amphibian assemblage structure in southeastern depression wetlands. *Ecological Applications*. 10: 1219-1229. pp. (39) STALLARD, R. F. (2001): Possible environmental factors underlying amphibian decline in Eastern Puerto Rico: analysis of U.S. government data archives. *Conservation Biology*. 15(4): 943-953. pp. (40) STEWART, M. (1995): Climate Driven Population Fluctuations in Rain Forest Frogs. *Journal of Herpetology*. 29(3): 437-446. pp. (41) TEIXEIRA, J. – ARTNZEN, J. W. (2002): Potential impact of climate warming on the distribution of the Golden-striped salamander, *Chioglossa lusitanica*, on the Iberian Peninsula. *Biodiversity and Conservation*. 11: 2167-2176. pp. (42) TERHIVUO, J. (1988): Phenology of spawning for the common frog (*Rana temporaria* L.) in Finland from 1846 to 1986. *Annales Zoologici Fennici*. 25: 165–175. pp. (43) THOMAS, C. D. – CAMERON, A. – GREEN, R. E. – BAKKENES, M. – BEAUMONT, L. J. – COLLINGHAM, Y. C. – ERASMUS, B. F. N. – DE SIQUEIRA, M. F. – GRAINGER, A. – HANNAH, L. – HUGHES, L. – HUNTLEY, B. – VAN JAARSVELD, A. S. – MIGLEY, G. F. – MILES, L. – ORTEGA-HUERTA, M. A. – PETERSON, A. T. – PHILLIPS, O. L. – WILLIAMS, S. E. (2004): Extinction risk from climate change. *Nature*. 427: 145-148. pp. (44) TRYJANOWSKI, P. – MARIUSZ, R. – SPARKS, T. (2003): Changes in spawning dates of common frogs and common toads in western Poland in 1978–2002. *Annales Zoologica Fennici*. 40: 459–464. pp. (45) TRYJANOWSKI, P. – SPARKS, T. – RYBACKI, M. – BERGER, L. (2006): Is body size of the water frog *Rana esculenta* complex responding to climate change? *Naturwissenschaften*. 93(3): 110-113. pp. (46) WEYGOLDT, P. (1989): Changes in the composition of mountain stream frog communities in the Atlantic Mountains of Brasil: frogs as indicators of environmental deterioration? *Studies of Neotropical Fauna and Environment*. 24: 249-255. pp. (47) WELLBORN, G. A. – SKELLY, D. K. – WERNER, E. E. (1996): Mechanisms creating community structure across a freshwater habitat gradient. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 27: 337-363. pp.

Mottó: „Nem azt kell kérdezni, hogy mekkora lesz a gazdaságosan hasznosítható olaj 2050-ben, hanem azt, hogy milyen garanciák vannak arra, hogy súlyos politikai vagy gazdasági konfliktusok nélkül is biztosítható 9 milliárd ember ellátása.”

(Láng István: KLÍMA – ENERGIÁ – TÁRSADALOM. MA ÉS HOLNAP – egy zöld jövőért konferencia. MTA, 2010. március 19.)

AGRÁRMŰSZAKI FELADATOK AZ EXTRÉM CSAPADÉKOS IDŐSZAKOK KAPCSÁN

**NEMÉNYI MIKLÓS – MILICS GÁBOR –
KOVÁCS ATTILA JÓZSEF – SITKEI GYÖRGY**

Kulcsszavak: intenzív esőzések, belvizek, talajmechanika, hidrológia, agrotechnikai beavatkozások.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Véleményünk szerint az extrém csapadékos időszakok problémája nagyságrenddel kisebb költséggel orvosolható a keletkezett károkhoz képest. Ebben az esetben is a „Gondolkozz globálisan, cselekedj lokálisan” elvet indokolt alkalmazni. A lokalitás itt a táblaszintű, illetve azon belül jelentkező káros jelenségek mérséklését jelenti. Az eddigi tapasztalatok arra engednek következtetni, hogy a belvizes területeket a faj, fajták, illetve hibridek kiválasztása, a technológia, az agrotechnika stb. szempontjából külön egységként szükséges kezelni. Természetesen figyelembe véve azt a tényt, hogy a környezeti hatások mindkét irányban meghatározók. A korszerű térinformatikai rendszerek alkalmazása mind a növényvel, mind a talajjal kapcsolatos adatok felvételekor, a szükséges monitoring-feladatok elvégzésekor ma már elengedhetetlen. Másrésztől ma még szükséges a talajfizikai és -kémiai jelelemzők online felvételi módszerének alkalmazása, illetve ezen eljárások továbbfejlesztése. Az így kapott adatbázisok hozzájárulhatnak a későbbiekben ezeknek a közvetlen detektálási módszereknek a műholdas (hiperspekt-rális) eljárásokkal történő kiváltásához.

Meggyőződésünk továbbá, hogy a fenti tanulmányban ismertetett eljárások és modellezési módszerek jelentősen hozzájárulhatnak egy olyan átfogó, országos kutatási projekt megtervezéséhez, amely a ma még tisztázatlan gyakorlati kérdésekre lokálisan, táblaszinten adhat válaszokat.

BEVEZETÉS

A Magyar Tudományos Akadémia Talaj-tani és Agrokémiai Kutatóintézetében „korszerű felvételezési, vizsgálati, térképezési monitoringrendszerrel dolgoztak ki a talaj vízgazdálkodási tulajdonságainak és anyagforgalmának jellemzésére, azok hatékony szabályozása érdekében”. Arra a következtetésre jutottak, hogy „Magyarország talajainak 43%-a kedvezőtlen, 26%-a közepes és (csak) 31%-a jó vízgazdálkodású”. Ennek következtében a szélsőségesen csapadékos időszakok, illetve a belvizek megjelenése jelentősen káros gazdasági, agroökológiai és egyéb hatásokat okoz; egyszóval a mezőgazdálkodás hatékonyságát és minőségét kedvezőtlenül befolyásolja. A tanulmány azokat a lehetőségeket érinti, amelyek – a szerzők véleménye szerint és szakterületükhöz igazodva – hozzájárulhatnak a káros folyamatok és hatások mérsékléséhez.

Köztudott, hogy a Magyarországra érkező csapadékmennyiséget a talaj tárolni tudná. A talaj hazánk legnagyobb természetes víztározója. Az egész évben lehullott csapadék kétharmada egyszerre „beférne a talajba”, ha egyéb, elsősorban talajfizikai körülmények a beszívargást nem gátolnák. A belvizes területeknél alapvetően két okból nem tud a víz a talajba jutni: 1. A felületen kéreg keletkezett, amely elzárja a víz útját; 2. A talajban ún. vízzáró rétegek vannak, illetve a nem korszerű talajművelési technológiáknál ilyenek kialakulhatnak. Ez utóbbi ponthoz tartozik pl. a művelőtalp-réteg, de az altalajban is lehetnek vízzáró rétegek. Ezekről a jelenségekről *Várallyay és munkatársai* részletes leírást adnak: a „lyukas, tele és befagyott üveg” effektust elemezve (*Várallyay – Farkas, 2008; Várallyay, 2010*). A cél, hogy a talajban történő vízmozgást mindkét irányban (felülről lefelé és alulról felfelé) biztosítsuk. Ellenkező esetben a talaj a növények számára nem tudja kellő mértékben biztosítani a vizet.

A tanulmányban a talajfizikai és -kémiai jellemzők figyelembevételével egyrészt a talajban zajló vízmozgás leírására adunk ösz-

szefüggéseket, figyelembe véve a növények párologtató képességét is. Ugyanakkor belvizek kialakulásának körülményeit jellemezzük, javaslatokat adva a talajfelszínen kialakuló pocsolyák létrejöttének elkerülésére. Mindezekhez kapcsolódóan a legkorszerűbb műholdas helymeghatározási és térinformatikai lehetőségeket is bemutatjuk: egyrészt a belvíz sújtotta területekről az eddigieknél pontosabb adatfelvétel, másrészt a prevenció megvalósítása céljából.

Ismertetjük azokat az eljárásokat, amelyek a talajfizikai és -kémiai jellemzők nem pontszerű, ún. online felvételét biztosítják, ezzel jelentősen megnövelve azokat az adatbázisokat, amelyek a különböző modellek alkotásakor az egyes paraméterek közötti összefüggések feltárását segítik.

1. A VESZÉLYEZTETETT TERÜLETEK FELMÉRÉSE

A veszélyeztetett területek (táblán belüli foltok stb.) nagyfelbontású felvétele még nem történt meg, holott a hazai szakmai feltételek erre adottak. Ilyen adatbázisok nélkül hatékony vízgazdálkodás és földhasználat nem valósulhat meg.

Hazánk Hollandia után a második olyan ország az EU-ban, amelyet területi arányában az árvizek és belvizek a leginkább fenyegetnek.

A korszerű termelési technológia nagyban mérsékelheti a szárazodás következményeit, illetve segíthet a kihívásokra a válaszokat megadni, de ehhez a legkorszerűbb műszaki-térinformatikai rendszerek alkalmazása, folyamatos fejlesztése szükséges.

A biomassza-termelés (termelődé) nyomon követésének egyik eszköze a távérzékelés, amelynek segítségével az ún. vegetációs indexek elkészítésére és vizsgálatára nyílik lehetőség. Ez a jellemző a növények által a fotoszintézis során előállított biomasszával, vagyis a termelt klorofillal van összefüggésben. A növényzet a látható fényt a zöld tartomány kivételével csak kismértékben veri vissza, míg a

közeli infravörös tartományban (760–900 nm) a növényzet klorofill-tartalmával, a termelt biomasszával arányos mértékben változik a visszaverődés. A termelt növényi tömeg tehát úgy mutatható ki, hogy a látható fény (ezen belül a vörös tartomány: 630–690 nm) és a közeli infravörös tartományban visszavert hullámok intenzitásának különbségét fejezik ki. A gyakorlati tapasztalatok azt mutatták, hogy az egyszerű különbség helyett az ún. *Normalizált Differenciál Vegetációs Index* (NDVI) használata pontosabb, valósabb értékeket ad. Az NDVI használata számos területen segítheti elő a környezeti elemek közvetlen vagy közvetett vizsgálatát. Többek között jelzi a rossz vízháztartású területeket, amelyeknél a belvízképződés valószínűsége nagy (Neményi et al., 2010).

A multi-, illetve hiperspektrális digitalizált felvételek (legyenek azok légi, föld közeli, vagy műholdas detektálások) előnye, hogy szükség esetén akár egy hullámhossz (1 nm) visszaverődéséből kapott információkat is elemezni tudják, és ezzel lehetővé válik a növények biomassza-tömegének érzékelése mellett a minőségi paraméterek, növényi betegségek, a kórokozók, kártevők, gyomfoltok stb. kimutatása. A hiperspektrális felvételeknél jól kivehetők a szikes foltok és a belvizes területek is. Jelenleg a kutatások abban az irányban folynak, hogy a talajfizikai és -kémiai paraméterek változását is tudják a hiperspektrális szenzorálással követni.

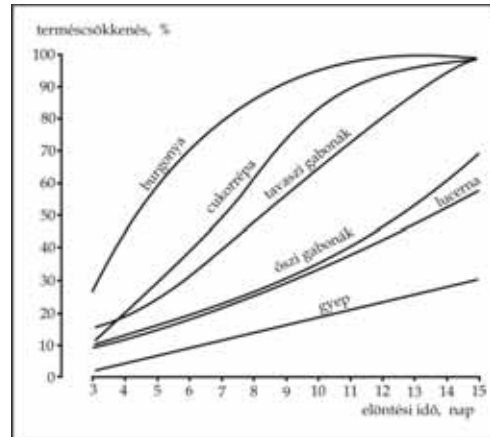
A Normalizált Differenciál Vegetációs Index és a talaj elektromos vezetőképessége között negatív korrelációt találtak a debreceni kutatók (Burai – Tamás, 2005).

Ugyanakkor a *Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetének* (NYME) kutatói kapcsolatot találtak a hiperspektrális felvétel (1458 nm sáv) és a talajnedvesség-tartalom között (Milics et al., 2010).

2. HOGYAN LEHET AZ ÁTOKBÓL ÁLDÁS?

A szélsőségesen nagy mennyiségű csapadékok elvezetése csak nyílt csatornákkal,

1. ábra



A termésvesztés és az előntési idő kapcsolata

Forrás: Thyll – Fehér – Madarassy, 1983

illetve talajcsövezéssel lehetséges. Az idő ilyen esetekben sürget, mert ha a víz a tábla egy részén hosszabb ideig megmarad: csökkenti, vagy teljesen elpusztítja a termést (1. ábra).

Az 1. ábrából jól látható például, hogy az őszi gabonafélék esetében 10 napos előntési időnél a termésvesztés elérheti a 65-70%-ot. Tavaszi gabonafélék, burgonya és cukorrépa esetén még súlyosabb a helyzet. Nem elhanyagolható azonban az a káros hatás sem, amelyet a belvizek a talaj szerkezetében okoznak.

A talajfelszínen kialakult kéreg

Mint említettük, a talajra jutó csapadéknak gyorsan és nagy mennyiségben kellene a talajba jutnia. Az első akadály számára a felszín közelében kialakult kéreg. Ez különböző okok miatt jön létre. Kialakulását nagymértékben csökkentheti a talajfelszínen hagyott mulcs. Ezek a növényi részek ugyanis megakadályozzák, hogy a talajra érkező vízcseppek a talajfelszínt miniatűr kalapácsütésekre hasonlító módon tömörítsék, továbbá segítik a víznek a talajba jutását. A növényi részek,

szerves trágya növelik a talaj humusztartalmát is, ami a kéregképződés kialakulását mérsékli.

A felső tömörödött réteg kialakulásához az erőgépek talajon történő mozgása is hozzájárul. A széles, vagy iker gumiabroncsok használata ezt a hatást jelentősen csökkentheti. Műszaki oldalról megoldott továbbá az is, hogy az azonos nyomvonalon történő többszöri haladást elkerüljük. A később ismertetett RTK (*Real Time Kinematic*, Valós-idejű kinematikus) rendszerrel ugyanis 2-3 cm pontossággal tudjuk követni, illetve adatbázisban rögzíteni az erő- és magajáró gépek mozgását.

Vízzáró rétegek a talajban

A talajban kétféle vízzáró réteget különböztethető meg. Az egyik az ún. művelőtalp „betegség”, amely az azonos mélységben többször elvégzett alpművelés hatására jön létre. Ennek a megszüntetése viszonylag egyszerű feladat, hiszen a középmély-lazítók 50 cm mélységig dolgoznak.

A talajban a művelés hatására kialakuló tömörödésekről részletes tájékoztatás található a következő irodalmakban: *Marshall (1996)*, *McKyes (1989)*, *Mole (2007)*, *Sitkei (1967)* és *Soane (1994)*.

Nagyobb gondot jelent a talaj szerkezetéből adódó tömörödött vízzáró réteg, amely az altalajban található. Ha e réteg elhelyezkedése, illetve vastagsága olyan, hogy a 80 cm mélységig dolgozó merevképes vagy vibrációs altalajlazítók fel tudják lazítani, akkor az altalajlazítás lehet az egyik megoldás. Ez a művelet nagyon költséges, ezért a gyakorlatban 4-5 éven belül általában nem ismétlik meg. Ha ennél mélyebben helyezkedik el a vízzáró réteg, akkor speciális, ma még a gyakorlatban nem használt, függőleges tengelyű csigás talajlazítók jöhetnek szóba.

A talajcsövezés

A talajcsövezés, különösen a vízszintes drénezés költséges eljárás. Másrészről a víz-

záró réteg gátolhatja a víznek a dréncsövekhez való jutását. Ezért a függőleges perforált csövek alkalmazása javasolható, természetesen megfelelő szakértelemmel kijelölve a dréncsövek helyét. (A víznyelő csövek helyét 2-3 cm pontossággal az RTK-rendszerben ugyancsak tudják adatbázisban tárolni.)

A következőkben a telepítéshez szeretnénk néhány elméleti és gyakorlati tanácsot hozzájárulni. A vertikális talajcsövezésnek elsősorban ott van indokoltsága, ahol a vízzáró réteg megszüntetése nem egyszerű feladat, és éppen a víznyelő csövek révén kerülhet a felső (vízzáró réteg feletti) és az alsó, jó vízvezető réteg összeköttetésbe. Ugyanakkor ez a megoldás sem eléggé hatékony, ha a talaj felszínén vízzáró réteg alakul ki.

A talajcsövek víznyelő képessége a következő összefüggéssel számítható (*Marshall et al., 1996; McKyes, 1989; Molen et al., 2007; Sitkei, 1997, 2004; Thyll et al., 1983*) Darcy törvényének megfelelően:

$$Q = 2\pi K b \cdot r \frac{dH}{dr} \quad (1)$$

ahol:

- Q: a nyelési vízhozam: m³/s
- K: szivárgási tényező, hidraulikus vezetőképesség: m/s
- b: vízvezetési (szivárgási) magasság a vízzáró réteg felett: m
- H: talajvízszint magassága a vízzáró rétegtől: m

A hidraulikus vezetőképességet a porusszám, illetve a porozitás határozza meg (2. ábra).

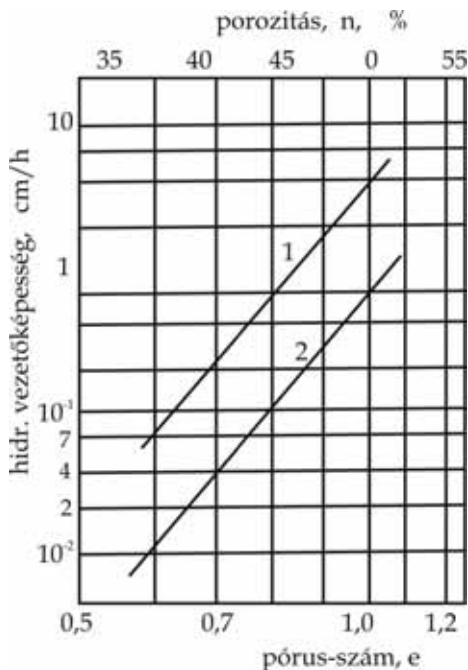
A (1) összefüggés integrálja:

$$\int_{H_w}^H dH = \frac{Q}{2\pi K b} \int_{r_w}^r \frac{dr}{r} \quad (2)$$

ahol:

- r_w: víznyelő talajcső sugara: m
- r: az adott cső „hatósugara”: m (ennek a kétszerese a csövek egymástól való távolsága)
- H_w: víznyelő csőben a zárórég feletti vízszint: m

2. ábra



A hidraulikus vezetőképesség függése a póruszámtól

(1: homokos vályog; 2: vályogos iszap)

Végül:

$$Q = \frac{2\pi K b (H - H_0)}{\ln \frac{r}{r_w}} \quad (3)$$

Amiből az r egyszerűen kifejezhető.

A fenti egyenlet állandósult esetben használható.

A kérdés az, hogy nem állandósult állapotban hogyan változik a $H-H_w$ potenciálkülönbség.

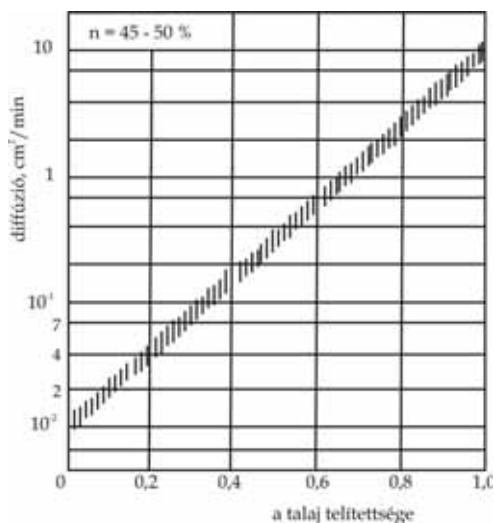
Itt Richards nevével jelzett másodrendű differenciálegyenletből indulhatunk ki:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial H}{\partial z} \right) = \frac{\partial Q}{\partial t} \quad (4)$$

ahol:

K_x, K_y, K_z : különböző irányokban a hidraulikus vezetőképesség.

3. ábra



A diffúziós tényező változása a talaj telítettségének függvényében

Az egyenletrendszer megoldása nagyon egyszerű, ha a különböző irányokban a hidraulikus vezetőképesség állandónak tekinthető. A gyakorlatban a szóban forgó esetben ezt nem tehetjük meg, mert a K függvénye a nedvességtartalomnak, ezért a megoldás csak numerikusan, az ún. *Véges Elem Módszerrel* történhet. Telített állapotban a vezetési tényező:

$$K(W) = D \frac{\partial W}{\partial \Psi_m} \quad (5)$$

ahol:

D : diffúziós tényező: m²/s

Ψ_m : talaj vízpotenciálja, mátrixpotenciál: m

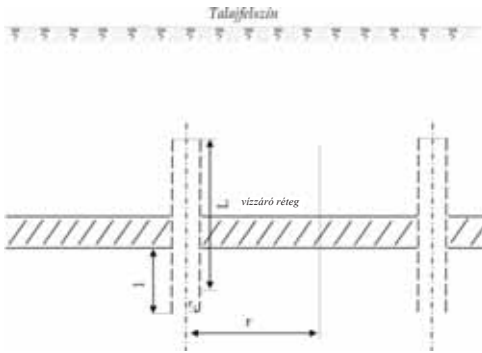
W : talaj nedvességtartalma

A hidraulikus vezetőképesség, illetve a diffúziós tényező eltérő értéket mutat a telített és a telítetlen állapotban (3. ábra).

Logikus, de megemlítjük, hogy a talajok tömörítése csökkenti a diffúziós tényezőt, tömörebb talajoknál a vonalkázott sáv lefelé tolódik.

Leegyszerűsödik a helyzet, ha az intenzív csapadéknál akarjuk a csövek számát meghatározni. Ekkor ugyanis joggal feltételez-

4. ábra



**Hidrostatikai viszonyok
intenzív csapadékterhelésnél**

hetjük, hogy a vertikális víznyelő telítődik vízzel, és a hajtóerő ennek a vízoszlopnak a hidrostatikus nyomása lesz (4. ábra).

Ekkor az intenzív állapotjelzők hengeres testben történő áramlásakor használt egyenletet írhatjuk fel:

$$Q = \frac{2\pi}{\ln \frac{r}{r_w}} K l \cdot \Delta p = \frac{2\pi}{\ln \frac{r}{r_w}} \cdot K l \cdot \rho g L \frac{m^3}{h} \quad (6)$$

ahol:

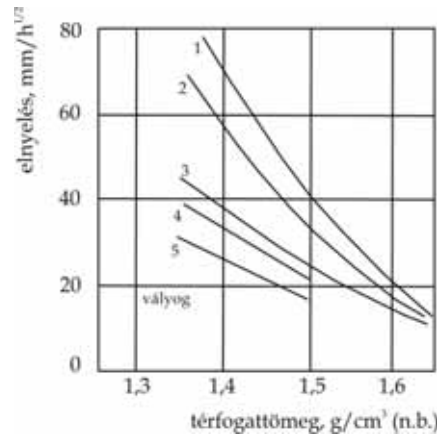
- ρ : 1000 kg/m³
- 2r: csövek távolsága egymástól: m
- l: szivárgó felület hossza: m
- L: folyadékoszlop magassága a csőben intenzív csapadék esetén: m

A csapadék szivárgása a talajban

A víz mozgása az aggregátumok közötti hézagokban, üregekben történik. Még az ülepedett talajban is vannak kisebb-nagyobb méretű járatok: állatok járatai, elkorhadt növények után keletkezett üregek stb. Általánosságban a *Poiseuille-törvényt* használjuk, amely eredetileg a csőben áramló newtoni folyadék mozgását modellezi lamináris áramlaskor.

$$q = \frac{n\pi r^4}{8\eta} \text{grad } p \quad \left(\frac{m^3}{s} \right) \quad (7)$$

5. ábra



A talajfelület elnyelési tényezőjének változása a térfogattömeg függvényében

- 1: kéreg nélkül; 2: száraz kéreg, vékony;
- 3: nedves kéreg, vékony; 4: száraz kéreg, vastag;
- 5: nedves kéreg, vastag; $W_0 = 10-12\%$

ahol:

- n: járatok száma
- r: járatok sugara: m
- η : folyadék dinamikai viszkozitása: Pas
- p: nyomáskülönbség: Pa

Mint látható, az átfolyás intenzitását alapvetően a járat sugara határozza meg, így természetesen a hidraulikus vezetőképesség is nagymértékben a sugártól függ. Ugyanakkor a nem tartós szerkezetű talajoknál az intenzív vízmozgáskor akár drasztikusan is csökkenhet a vezetőképesség. A víz a talajrészecskéket magával viszi, és a pórusok eltömődnek.

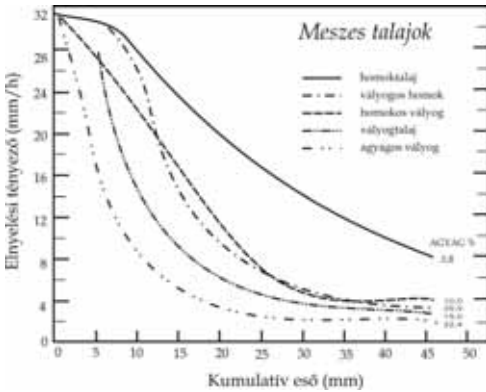
A talajba szivárgott víz mennyisége, illetve intenzitása a következő empirikus összefüggéssel számítható az idő függvényében (*Fattah et al., 1996*):

$$Q = S\sqrt{t} + At \quad \left(\frac{m^3}{s} \right) \quad (8)$$

ahol:

- S: adott talajra jellemző elnyelési tényező: mm/h
- T: időintervallum: h
- A: állandó

6. ábra



Az elnyelési tényező a kumulatív esőmennyiség függvényében

A (8) egyenletben az első tag dominál, a második általában elhagyható.

A talajfelület elnyelési tényezőjét az 5. ábra érzékelteti különböző felületi mechanikai jellemzőknél.

Az 5. ábrából jól kivehető a talajművelés, adott esetben a vegetációs időn belüli talajművelés fontossága. Ezért állítjuk, hogy a belvív-veszélyeztetett területekre elsősorban kapás növényeket kellene telepíteni, mert ezeknél a vegetációs időszakban is lehetőség van bizonyos beavatkozásra, amely révén pl. a korábbi intenzív csapadék miatt keletkezett kéreg megszüntethető.

A talaj felső rétegének átteresztő képessége – ahogy már említettük – változik. A szivárgási, elnyelési tényezőre a következő, ugyancsak empirikus, de az időn kívül egyéb tényezőket is figyelembe vevő összefüggést közöl *Agassi (1996)*:

$$I_t = I_c + (I_i - I_c) e^{-\gamma p t} \quad (9)$$

ahol:

I_t : elnyelési tényező a t időpontban: mm/h

I_c : elnyelési tényező függvény aszimptotája: mm/h

I_i : kezdet elnyelési tényező: mm/h

γ : állandó, a felületi aggregátumok stabilitásától függ: mm^{-1}

p : esőintenzitás: mm/h

t : időintervallum az intenzív eső kezdete óta: h

A 6. ábra a kumulatív esőmennyiség függvényében mutatja az elnyelési tényező változását a különböző talajoknál. A kicserélhető kationok (nátrium, magnézium, kálium) növelése, valamint minimális mennyiségű gipsz talajba keverése ugyancsak fokozza a felső rész átjárhatóságát.

Induljunk ki abból, hogy a talajfelszínre folyamatosan R (mm/h) csapadék érkezik. Ekkor egy idő után új egyensúlyi állapot keletkezik, amely biztosítja a csapadék folyamatos elvezetését:

$$-R = K \frac{d(\psi_m + z)}{dz} \quad (10)$$

amelyből:

$$Z = \int_0^z \frac{d\psi_m}{1 + R/K} \quad (11)$$

A (11) egyenletből meghatározható az a „ z ” mélységhez tartozó mátrixpotenciál, amely biztosítja az R csapadék folyamatos elvezetését. A jelenség természetesen fordítva is lejátszódik, ekkor R -et E -vel, a párolgás intenzitásával helyettesítjük.

$$Z = - \int_0^{\psi_m} \frac{d\psi_m}{1 - E/K} \quad (12)$$

Homokos vályogtalajon a párolgás intenzitása (*Sipos – Birkás, 1978*):

$$E = 7,8 \left(\frac{W}{n} \right)^{0,85} \quad \text{mm/nap} \quad (13)$$

ahol:

n : pórustérfogat: 40-45%

A témakörben jelentős kutatási tevékenységet fejtett ki *Varga-Haszonits Zoltán (1969)* is.

Ha a talajon növényzet van, akkor az is hozzájárul a víz „elvezetéséhez”: felveszi a vizet a talajból, és azt a levélzettel elpárologtatja.

Egy méretű függőleges áramlásból kiindulva, a nedvességtartalom időbeni változása a talajban:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} \quad (14)$$

A (4) egyenlet alapján írhatjuk, hogy

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(K \frac{\partial H}{\partial z} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left[K \left(\frac{\partial \Psi_m}{\partial z} - 1 \right) \right] \quad (15)$$

A fenti egyenletet kiegészítve az elnyelést szimuláló taggal kapjuk:

$$\frac{\partial W}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K \left(\frac{\partial \Psi_m}{\partial z} - 1 \right) \right] - S(z, t) \quad (16)$$

ahol:

$S(z, t)$: gyökérzet térfogati vízfelvételi függvénye: $\text{cm}^3/\text{cm}^3 \text{ h}$

A gyökérzet térfogati vízfelvételi függvénye a gyökérelvezéstől és a lombzat potenciális párologtató képességétől is függ (*Sitkei, 1997, 2004; Varga-Haszonits, 1992*).

A fentiekben vázolt modellelemek természetesen kiegészíthetők azokkal az összefüggésekkel, amelyek a növényeken belüli vízmozgást írják le. A gyökér egy közel hengeres test, amelyben az áramlás sugárirányban történik. Az időegység alatt a gyökérbe jutó víz mennyiségét a következő, már jól ismert egyenlettel számíthatjuk ki:

$$Q = \frac{2\pi}{\ln \frac{r_k}{r_b}} K L \Delta p \quad (17)$$

ahol:

r_k, r_b : külső és belső sugár: cm

l : gyökér hossza: cm

A fenti egyenlet vonatkoztatható egységnyi felületre és hosszra egyaránt:

$$\frac{Q}{2r_k \pi L} = \frac{K}{r_k \ln \frac{r_k}{r_b}} = K_F \Delta p \quad ; \quad \frac{Q}{L} = \frac{2\pi K}{\ln \frac{r_k}{r_b}} \cdot \Delta p = K_L \Delta p$$

A különböző növényekre a K_F és K_L értékeket az 1. táblázat mutatja (*Newman, 1976*).

1. táblázat
Különböző növények K_F és K_L értékei

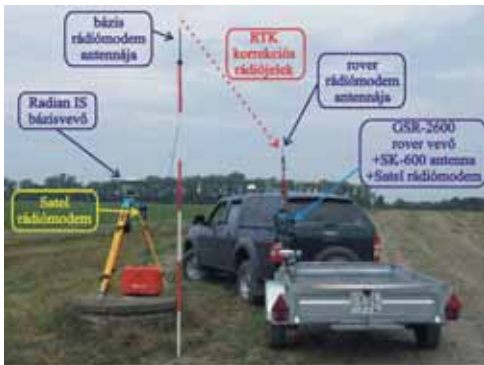
Növény	$K_F, \text{cm/h}\cdot\text{bar}$	$K_L, \text{cm}^2/\text{h}\cdot\text{bar}$
Bab	$2 \cdot 10^{-4}$	–
Napraforgó	$2,6 \cdot 10^{-4}$	–
Kukorica	$(3-5) \cdot 10^{-4}$	$(0,9-1,5) \cdot 10^{-4}$
Paradicsom	$(10-15) \cdot 10^{-4}$	–
Membrán	$(2-50) \cdot 10^{-4}$	–
(edényes növények)		
Sejtfal	–	$(1,8-18) \cdot 10^{-4}$

3. MIKRODOMBORZATI TÉRKÉP FELVÉTELE

A mikrodomborzat szerepe a szélsőséges vízháztartási helyzetek bekövetkezésénél jelentős (*Deákvári et al., 2010*). Vonatkozik ez az Alföldre is, ahol a makrodomborzat sík volta ellenére heterogén mikrodomborzattal találkozunk (*Várallyay, 2010*). A mikrodomborzati térkép felvételezéséhez RTK (valós idejű kinematikus) helymeghatározót használtunk. A rover egységet egy utánfutóra szereltük. Az SK-600 GPS-antenna közvetlenül az utánfutókerék fölött került felszerelésre ($h_{\text{függőleges}}=1,017 \text{ m}$). Az utánfutót pótsúlyoztuk a terep pontosabb lekövetése érdekében. Egy árbocra került a vevőt és a rádiómodemet tartalmazó hátizsák, az árboc-rúdra pedig az Allegro CX kézi számítógépet rögzítettük, amelyen a GART 2000 program futott. Sorvezetőként a Trimble AgGPS 114 GPS-vevőt használtuk, 5 m-es sortávolságot programoztunk a méréshez.

A mérési adatokat a GPS-vevőpár WGS-84 rendszerben számolja, a GART-2000 program a mérés során a WGS-84 – EOVSztranszformációt elvégzi és az EOVSz- adatokat rögzíti. A program a 7 paraméteres transzformációt használja. Mivel a transzformációhoz szükséges paraméterek az ország különböző részein eltérőek, ezért azokat a munkaterület közepére előzetesen meghatároztuk. A programnak megadtuk a bázispont EOVSz-koordinátáját, ebből kiszámította az adott koordinátához szükséges paramétereket és a transzformáció hibáját is.

7. ábra



Az RTK-mérés eszközei

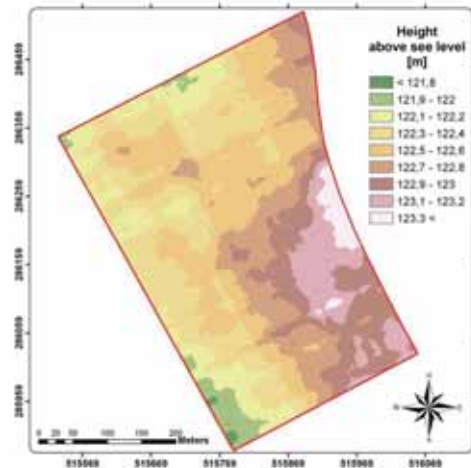
A továbbiakban a Spectrum Planning szoftverrel ellenőriztük, hogy a mérés időpontjában megfelelő számú műhold legyen észlelhető. A Sokkia RTK-méréshez, két-frekvenciás vevők esetén, legalább 6 műhold egyidejű észlelését ajánlja. Ekkor 10 km-nél rövidebb vektorok esetében az elérhető pontosság vertikálisan $<1\text{ cm}+2\text{ ppm}$, horizontálisan $<2\text{ cm}+2\text{ ppm}$ (7. ábra).

Az RTK-mérés végrehajtása. A sortávolságot 5 m-re állítottuk, a jármű sebessége 15-18 km/h volt, így 5 m-enként kaptunk pontos EOv-koordinátákat a területről. A mérés végén a gyűjtött adatokat textfájlba exportáltuk. A mért koordináták száma $N=12\ 580$ volt, a további feldolgozást ArcMap programmal végeztük. A mintavételi pont magassági adataiból az inverz távolságokkal való súlyozást (IDW) alkalmazva készítettük el a tábla mikrodomborzati térképét (8. ábra).

4. A TALAJNEDVESSÉG-MÉRÉS

A talaj fajlagos elektromos vezetőképessége és a talajnedvesség meghatározó talajtulajdonságok a mezőgazdasági termelés szempontjából (Várallyay, 2007). Különösen fontos a két talajtulajdonság összehasonlítása, hiszen amennyiben a fajlagos vezetőképesség és a talajnedvesség között szoros korreláció mutatható ki, közvetett módon megoldottá válik a folyamatos talajnedves-

8. ábra



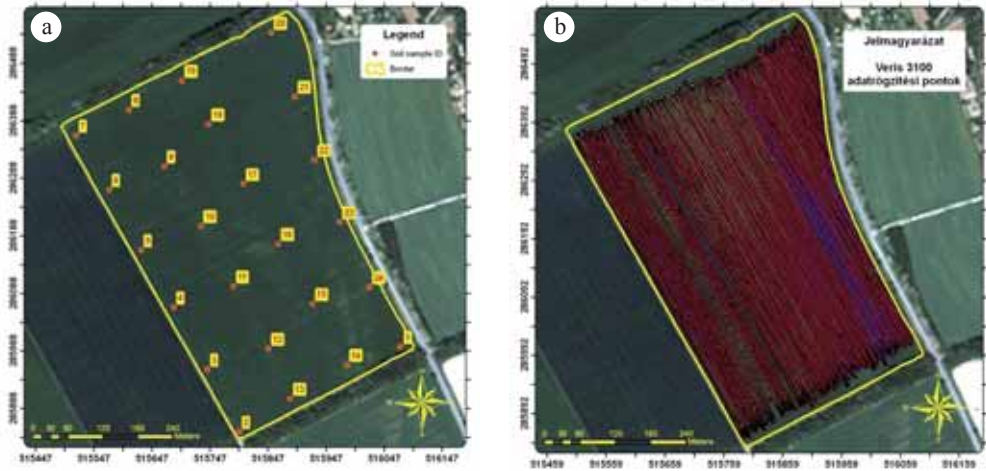
A vizsgált terület mikrodomborzati térképe

ség-mérés. A termőhely-specifikus gazdálkodás szempontjából még hangsúlyosabb, hogy egyéb talajtulajdonságok mellett a talajnedvesség és a talaj fajlagos elektromos vezetőképessége közötti összefüggést feltárjuk, hiszen ezzel egy újabb adalékkal szolgálhatunk a precíziós technológiát alkalmazók döntéshozatalához, valamint a talaj vízgazdálkodási jellemzőit az eddigieknél jobban tudjuk nyomon követni (Milics *et al.*, 2004; Mouazen *et al.*, 2007; Štekauerová – Nagy, 2006; Neményi *et al.*, 2006).

A kísérleti tábla, amelyen az összehasonlító méréseket végeztük, a Nyugat-magyarországi Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Biológiai Rendszerek Műszaki Intézetének kutatási területe, Mosonmagyaróvártól mintegy 3 kilométerre északra egy 23 hektár méretű tábla.

A talajnedvességet gravimetrikus módszerrel határoztuk meg, amelyhez 24 pontban, egy száz méteres rácsháló pontjaiban (9.a ábra), 15 cm mélységig 5 cm-enként vettünk bolygatatlan talajmintát, majd a mintákat szárítószekrényben $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on szárítottuk. A három mélységben mért nedvességértékeket átlagoltuk, majd az értékeket

9. ábra



A mintavételi pontok elhelyezkedése a kísérleti táblán

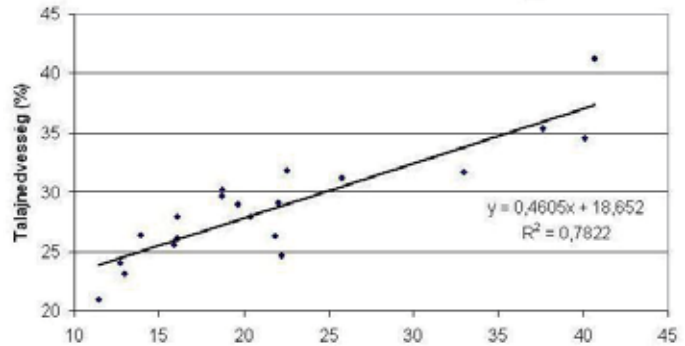
(a: kézi, b: online mintavétel)

ArcMap szoftver segítségével interpoláltuk.

A talaj fajlagos elektromos vezetőképességének meghatározásához egy VERIS 3100 típusú mérőrendszert használtunk. A VERIS 3100 egy járművontatású, a talaj fajlagos elektromos vezetőképességét mérő és térképező rendszer, amely GPS segítségével meghatározza a műszer helyzetét, és a talajok elektromos vezetőképességének a mérésével azonosítja a különböző területek talajjellemzőit. A megfelelő mintasűrűség miatt a műszert 5 méteres távolságokra sorvezetővel felszerelt autó után húztuk, így minden ötödik méteren háromméterenként lehetett adatokat regisztrálni. Az így gyűjtött adatok alapján szintén interpolálással hoztuk létre a területet lefedő térképet (9.b ábra).

A talaj-mintavételezés pontjainak koordinátáit Garmin eTrex VistaC típusú kézi GPS segítségével rögzítettük. A kiértékeléshez

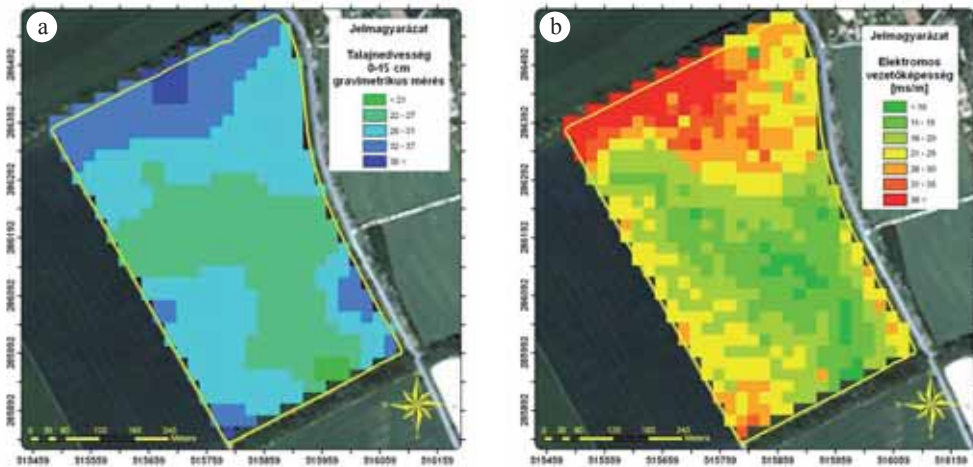
10. ábra



A talajnedvesség és a fajlagos elektromos vezetőképesség (mS/m) közötti összefüggés

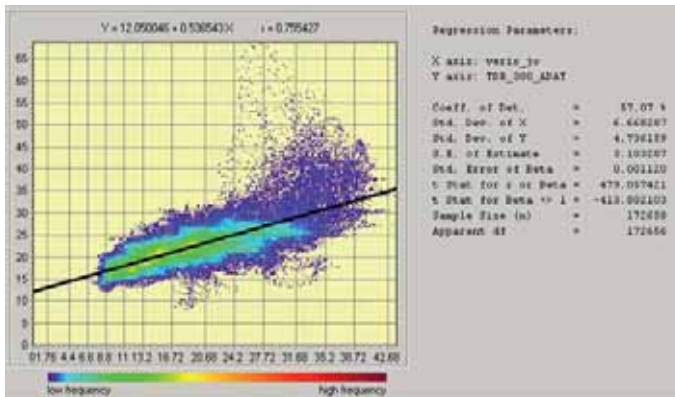
a kézi mintavételi pontokhoz legközelebbi négy VERIS 3100 mérési adat átlagolásával kapott értékeket használtuk, a térinformatikai elemzéshez a két fedvényt (gravimetrikus mérésekből adódó talajnedvesség-térképe) és fajlagos elektromos vezetőképesség térképe) 20 méteres képességgel hoztuk létre, így összehasonlíthatóvá vált a teljes területre a két mért talajtulajdonság értéke (Nagy *et al.*, 2009).

11. ábra



Interpolált gravimetrikus talajnedvesség (a)
és fajlagos elektromos vezetőképesség (b) térkép

12. ábra



A talaj fajlagos elektromos vezetőképessége
és a TDR-módszerrel mért talajnedvesség-tartalom közötti
korreláció

A kézi mintavételezés 0–15 cm mélységig vett adatai, illetve a VERIS 3100 négy legközelebbi átlagolt adatai alapján szoros korrelációt állapítottunk meg a két érték között (10. ábra).

Az interpolálással létrehozott térképfedvények vizuális elemzése során megállá-

pítható, hogy a két mért érték között térbeli összefüggés van (11. ábra).

Az interpolált térképek egyes képkockáinak összehasonlítása során megállapítható, hogy a térbeli adatok között szoros korreláció mutatható ki. Hasonló eredményt kaptunk, amikor a fajlagos elektromos vezetőképességet és a TDR-rel (TDR: Time Domain Reflectometry) végzett mérések eredményeit hasonlítottuk össze (12. ábra; *Milics et al., 2010*).

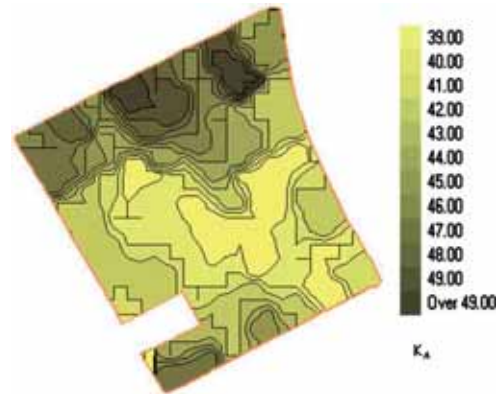
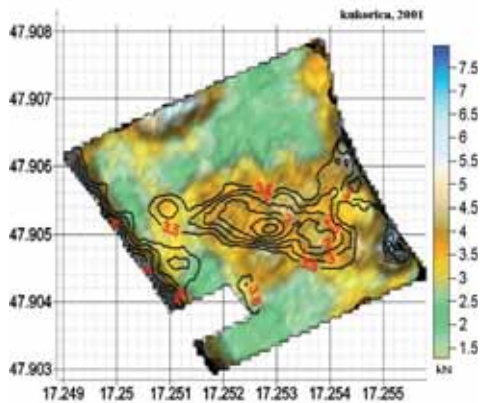
A talaj fajlagos elektromos vezetőképessége és a talajnedvesség-értékek között megfelelő korrelációt tudunk kimutatni. Mivel a VERIS 3100 műszer a talaj felső 20 cm-es rétegében végez méréseket, a talajmintákat pedig 15 cm mélységből gyűjtötték, a pontos mintavételi mélység esetén várhatóan az eredmények még jobb összefüggést mutatnak.

5. A TALAJJELLENÁLLÁS ONLINE MÉRÉSE

A talajjellenállás online mérési eljárásának a kidolgozása azért volt szükséges, mert a gyakorlatban a pontszerű mintavétel abban az esetben, ha kielégítő adatszámot szeretnénk kapni, kivitelezhetetlen a rendkívül nagy időigénye miatt. Az általunk kidolgozott módszernél a művelőeszköz egy lazító, amely a talaj (EHR *Electric-Hydraulic Regulation*) rendszerén keresztül adja a vonóerővel arányos jelet (Neményi, 2005; Neményi et al., 2006; Németh et al., 2007). Vizsgálataink során több éven át végzett kísérletek igazolták, hogy a talajjellenállás és a hozam, valamint a talajjellenállás és az *Arany-féle* kötöttségi szám között szoros kapcsolat mutatható ki. Erre utal a 13. ábra.

A rendszert folyamatosan fejlesztjük, kidolgoztunk egy olyan eljárást, amellyel az adatgyűjtés PDA segítségével történik. Ez jelentősen megkönnyíti a gyakorlati használatot, hiszen eddig külső mérésekre (extrém időjárási viszonyok, rezgések stb.) készített számítógépeket használtunk, idővel ezek nem látták el a szükséges feladatokat, gyakran meghibásodtak (Csiba, 2010; Csiba – Neményi, 2008).

A talaj különböző kémiai jellemzőinek (humusztartalom, pH, foszfor- és nedvességtartalom) online meghatározására VIS-NIR eljárást dolgozott ki Mouazen et al. (2007). Ennek a módszernek az alkalmazásával egyrészt a pontszerű mérések, amelyek az interpoláció miatt nagyon pontatlanok, valamint a drága laborvizsgálatok kiválthatók. Így a talajban lévő állapotváltozások folyamatosan nyomon követhetők.



13. ábra

A folyamatosan mért talajjellenállás
és a K_A -féle kötöttség összehasonlítása

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) AGASSI, M. (szerk., 1996): Soil erosion, conservation, and rehabilitation. Marcel Dekker, Inc. ISBN 0-8247-8984-9. 402 p. (2) BURAI P. – TAMÁS J. (2005): Talajdegradációs folyamatok vizsgálata nagy felbontású távérzékelt adatforrások alapján. ATC, Agrártudományi közlemények, 16. különszám, 145-148. pp. (3) CSIBA M. (2010): Mérési módszerek fejlesztése precíziós növénytermesztési technológiáknál. PhD értekezés. Precíziós növénytermesztési módszerek- alkalmazott növénytudományi Doktori Iskola, NYME MÉK, Mosonmagyaróvár, 127 p. (4) CSIBA M. – NEMÉNYI M. (2008): Continuous tillage force measurements – New Developments. Hungarian Agricultural Engineering, No. 21/2008. HU ISSN 0864-7410. 19-20. pp. (5) DEÁKVÁRI J. (fejezet szerk., 2010): GPS mérések a mezőgazdasági kutatásban. In: Németh T. – Neményi M. – Milics G.: Precíziós mezőgazdaság. NYME Kiadó (in print) (6) FATTAH, H. – UPADHYAYA, S. (1996): Effect of Soil Crust and Soil Compaction on Infiltration in a Yolo Loam Soil. Trans of the ASAE.79-84. pp. (7) MARSHALL, T.J. – HOLMES, J.W. – ROSE, C.W. (1996). Soil Physics. Cambridge University Press. ISBN 0-521- 45151-5. 453 p. (8) MCKYES, E. (1989): Agricultural Engineering Soil Mechanics. Elsevier. ISBN 0-444-88080-1. 292 p. (9) MILICS G. – NAGY V. – ŠTEKAUEROVÁ, V. (2004): GIS applications for groundwater and soil moisture data presentations. – 12. Posterový deň s medzinárodnou účasťou a Deň otvorených dverí na UH SAV. Ústav hydrologie SAV, Račianska 75, Bratislava, Slovenska Republika, Konferenčné CD, ISBN 80-89139-05-1 (10) MILICS G. ET AL. (2010): Hyperspectral remote sensing for precision crop production and soil management. AgEng 2010 International Conference on Agricultural Engineering, Clermont-Ferrand, France, Proceedings (in print) (11) MOLEN, VAN DER W.H. – BELTRÁN, M. J. – OCHS, W. J. (2007): Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems. FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER 62. 229 p. (12) MOUAZEN, A.M. – MALEKI, M.R. – DE BAERDEMAEKER, J. – RAMON, H. (2007): On-line measurement of some selected soil properties using a VIS–NIR sensor. Soil and Tillage Research, Volume 93, Issue 1, 13-27. pp. (13) NAGY V. – MILICS G. – DEÁKVÁRI J. – RODN?, M. – ŠURDA, P. – ŠTEKAUEROVÁ, V. – ŠÚTOR, J. – FENYVESI L. – NEMÉNYI M. (2009): A talaj fajlagos elektromos vezetőképessége és a talaj nedvességtartalom közötti összefüggés vizsgálata. V. Növénytermesztési Tudományos Nap (5th Crop Production Science Day) Akadémiai Kiadó (szerk.: Harcsa Marietta), Keszthely, 2009. november 19., 169-172. pp. (14) NEMÉNYI M. (2005): A klímaváltozás agrárműszaki vonatkozásai. „AGRO-21” Füzetek, 43. sz. 45-70. pp. (15) NEMÉNYI M. – MESTERHÁZI P. Á. – MILICS G. (2006): An Application of Tillage Force Mapping as a Cropping Management Tool. Biosystems Engineering. 94. (3). 351-357. pp. (16) NEMÉNYI M. – MILICS G. – MESTERHÁZI P. Á. (2006): Precision – site specific crop production – possibilities on water regime control. VI. International conference: Influence of anthropogenic activities of lowland territory, Conference proceedings CD, Institute of Hydrology of the Slovak Academy of Sciences, Michalovce, Vinianske jazero, ISBN 80-89139-09-4. (17) NEMÉNYI M. – TAMÁS J. – FENYVESI L. – MILICS G. (2010): A távérzékeltés alkalmazása a biomassza és a vízkészletek mennyiségének, valamint minőségének megállapításánál. „KLÍMA-21” Füzetek, 59. sz. 51-60. pp. (18) NÉMETH T. – NEMÉNYI M. – HARNOS Zs. (2007): A precíziós mezőgazdaság módszertana. JATE Press – MTA-TAKI. ISBN 978-963-482-834-1. 239 p. (19) NEWMAN, E. (1976): Water Movement through Root Systems. Phil. Trans. Royal Society London, B.273. 463-478. pp. (20) SIPOS S. – BIRKÁS M. (1978): A talajfizikai állapot és az evaporáció összefüggései. Agrokémia és Talajtan, 418-428. pp. (21) SITKEI GY. (1967): A mezőgazdasági gépek talajmechanikai problémái. Akadémiai Kiadó 188 p. (22) SITKEI GY. (szerk., 1997): Gyakorlati áramlástan. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó.

ISBN 963 356 213 9. 504 p. (23) SITKEI GY. (szerk., 2004): Mezőgazdasági műszaki ismeretek. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. ISBN 963 9553 13 1. 360 p. (24) SOANE, B.D. – OUTWEKERK, VAN C. (1994): Soil Compaction in Crop Production. ELSEVIER. ISBN 0-444-88286-3. 662 p. (25) ŠTEKAUEROVÁ, V. – NAGY V. (2006): Course of soil layer water content in agricultural cultivated soil during years 1999 and 2000. In: Cereal Research Communications. Research Non-profit Company, ISSN-0133/3720. 287-290. pp. (26) THYLL SZ. – FEHÉR F. – MADARASSY L. (1983): Mezőgazdaégi talajcsővezés. Mezőgazdasági Kiadó. ISBN 963 231 608 8. 322 p. (27) VARGA-HASZONITS Z. (1969): Determination of the water content and of the Evaporation of bare Soil. Időjárás. 73. évf. 6. sz. 328-334. pp. (28) VARGA-HASZONITS Z. (1992): Az őszi búza vízellátottsága és vízfogyasztása. OMSZ. Beszámoló az 1987-ben végzett tudományos kutatásokról, Budapest, 103-116. pp. (29) VÁRALLYAY GY. (2007): Soil resilience (Is soil a renewable natural resource?). Cereal Research Communications, 35 (2): 1277-1280. pp. (30) VÁRALLYAY GY. (2010): A talaj mint víztározó; talajszáradás. „KLÍMA-21” Füzetek, 59. sz. 3-25. pp. (31) VÁRALLYAY GY. – FARKAS Cs. (2008): A klímaváltozás várható hatásai Magyarország talajaira. Klímaváltozás. In: Környezet-Kockázat-Társadalom (Szerk.: Harnos Zs. – Csete L.) Szaktudás Kiadó Ház. ISBN 976-963-9736-87-0. Budapest. 91-129. pp.

KÖRNYEZETORIENTÁLT TALAJMŰVELÉSI TECHNOLÓGIA (3E) ÉS GÉPRENDSZER – VÁLASZ A KLÍMAVÁLTOZÁSRA

JÓRI J. ISTVÁN

Kulcsszavak: fenntarthatóság, klímaváltozás, talajművelés, géprendszer.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A fenntartható fejlődés egyik alapeleme a legfontosabb természeti erőforrásunkat képező talajkészletek ésszerű hasznosítása, védelme, sokoldalú funkcióképességének megóvása. Ez a környezetvédelem és mezőgazdaság egyik legfontosabb közös feladata. A talaj–környezet kölcsönhatás kétoldalú. A talaj egyrészt „elszenvedí” a környezet gyakran káros stresszhatásait, másrészt – elsősorban ésszerűtlen használata esetén – okoz(hat) is ilyeneket, fenyegetést jelentve a környezet többi elemére: a felszíni és felszín alatti vízkészletekre, a felszín közeli légkörre, az élővilágra, a tájra is. Megoldás a környezetorientált talajművelési rendszer.

AZ ÉGHAJLAT MEZŐGAZDASÁGI HATÁSAI

Az éghajlat a mezőgazdasági termelés alapvető természeti feltételrendszere. Környezetbefolyásoló emberi tevékenység az ipari termelés, de ide sorolható a mezőgazdasági termelés is. A hazánkra vonatkozó klímaváltozási scénáriók szerint várható a csapadék időszakonkénti extrém megnövekedése, ami áradásokat, belvizeket okoz, vagy jelentős csökkenése, ami aszályt eredményez.

A növénytermelésben elsősorban a rendelkezésre álló vízkészlet (csapadék, illetve a folyókból kivehető öntözővíz mennyisége és minősége) várható alakulása, illetve az időjárástól is függő növényi vízigény változásának trendje és nagyságrendje jelentős. A globális éghajlatváltozás a mezőgazdasági vízháztartási folyamatok befolyásolói is új egyensúlyi állapot keresésére kényszeríti, s ennek számos, a vízgazdálkodást érintő kedvező és kedvezőtlen következménye lehet,

amelynek ellensúlyozására új alkalmazkodási és védekezési stratégiákat, illetve új szabályozási rendszereket kell kidolgozni és alkalmazni.

A klímaváltozás kedvezőtlen hatásai két irányban jelentkeznek

- aszályos periódusok;
- hirtelen fellépő intenzív csapadékperiódusok gyakoriságának növekedése.

Ezért a kedvezőtlen hatások kivédésére is kétféle válasz szükséges, a következő célokkal:

1. Csapadék befogadását segítő talajszerkezet kialakítása.
2. Nedvességmegőrző talajfelszín kialakítása.

A TALAJMŰVELÉSI RENDSZEREK FEJLŐDÉSE

A talajművelési rendszer meghatározott területen egy vagy több növény eredményes és gazdaságos termeléséhez szükséges

talajművelési eljárások összessége. A talajművelés rendszerezése általában a növények vetésideje, a talajtípusok és a különleges feladatok, valamint a szerzők által kidolgozott módszerek szerint történik.

A szántóföldi növények talajművelési rendszerei az idők során folyamatosan változtak és fejlődtek. A talajművelő gépek üzemeltetését végző traktorok teljesítményének növekedése lehetővé tette a nagy energiaigényű szántás széles körű elterjedését, vagyis a szántásos (forgatásos) talajművelő rendszer (*Conventional Tillage*) kialakulását.

A szántás egyes agrotechnikai és energetikai hiányosságai a XX. század közepén új, energiatakarékos rendszerek kifejlesztését igényelték. A művelet összevonásos-elhagyásos törekvések vezettek a szántást időszakosan vagy teljesen elhagyó minimális művelési rendszerek (*Minimum Tillage*) létrejöttéhez.

A termőtalaj pusztulásának megakadályozása, a környezeti terhelések csökkentése céljából a múlt század második felében megjelent a fenntartható mezőgazdasági, élelmiszer-ipari rendszerek fogalma, amelyek gazdaságosak, kielégítik a társadalom korszerű táplálkozással kapcsolatos igényeit és megőrzik a környezet minőségét, a világ természeti erőforrásait a jövő generációk számára. A fenntartható fejlődés követelményeit kielégítő talajművelési rendszereket nevezük talajvédő és környezetkímélőnek (*Conservation Tillage*).

A jól megválasztott talajművelési eljárás előnyösen befolyásolja a környezetet, mivel segít az erózió szabályozásában, növeli a talaj szervesanyag-tartalmát, javítja a talaj szerkezetét és növeli a talaj termékenységet. Ezzel szemben a hagyományos (szántásos) talajművelés az éghajlati változások egyik jelentős előidézője, mivel a talaj ekével történő rendszeres forgatása a szántóföldek szén-dioxid-emisszióját nagymértékben megnöveli. Számos kutatási eredmény igazolja, hogy az intenzív talajhasználat a légköri szén-dioxid növekedésében szerepet játszik, amely különösen az elmúlt évtizedekben vált nyilvánvalóvá. A talajvédő technológiák elterjedt hasz-

nálata viszont mérhető módon csökkenti a talajból a légkörbe kerülő szén-dioxid mennyiségét és növeli a talaj humusztartalmát.

Az energiaköltségek, az eróziós és talajvíz-szennyezési veszély, valamint az üzemeltetési költségek növekedése mind hozzájárult ahhoz, hogy a *forgatás nélküli, kombinált eszközökre* alapozott eljárások kerültek előtérbe. Ezen rendszerek a következő hatásokon keresztül érvényesülnek: a tarlómaradványokból mulcsréteget hoznak létre, növelik a szél- és vízerózióval szembeni ellenálló képességet és növelik a felszín vízvisszatartó képességét.

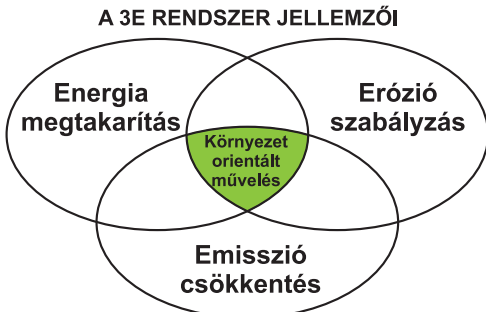
A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok – VAHAVA projekt – összefoglalója szerint: *a szántóföldi növénytermelésben a jövő kulcskérdése a csapadék befogadása és megőrzése, a szárazságot, esetenként a nagy csapadékot egyaránt figyelembe vevő talajművelés, valamint az öntözés bővítése.* A szántóföldi növénytermelésben meghatározó a termőhelyi adottságokhoz és a növény igényeihez igazodó technológia. A szántóföldi növénytermelésben a csapadék termőtalajba történő befogadására, tárolására és takarékos hasznosítására való berendezkedés az elsődleges feladat, amelynek tudás, eszköz, technológiai vonatkozásait mielőbb ismertté szükséges tenni.

A KÖRNYEZETORIENTÁLT TALAJMŰVELÉSI RENDSZER

A szántás (forgatás) nélküli rendszerek a múlt század végén kifejlesztett első generációs gépei azonban csak részben elégitették ki a fenntarthatósági követelményeket. Ezért az elmúlt években, hazánkban is, megkezdődött a fenntartható művelés tényleges megvalósítására alkalmas *környezetorientált talajművelési rendszer (3E)* egyes elemeinek kidolgozása és elterjesztése, amelyek előnyei, amint az 1. ábrán is látható, a következők:

- Energiatakarékos
- Eróziócsökkentő
- Emisszió-csökkentő

1. ábra



Környezetorientált talajművelési rendszer (3E)

Az új talajművelési rendszer agrotechnikai és műszaki összefüggéseinek meghatározásánál a következő környezeti tényezők szerepét és hatását szükséges figyelembe venni:

– *Humán környezet* (az ember életminőségét károsan befolyásoló hatások, úgymint vegyszerterhelés, porterhelés-csökkentés stb.).

– *Természeti környezet* (a talaj- és vízminőséget károsan befolyásoló hatások, úgymint talajtömörítés, eróziós-emissziós problémák, talaj- és felszíni vizek szennyezése stb.).

– *Gazdasági környezet* (művelétköltség-gazdálkodás, úgymint művellet-összevonás, művelletelhagyás, művelletkombinálás stb.).

Az *energiafelhasználás csökkentése* két módon valósítható meg

- a nem feltétlenül szükséges munkame-
netek elhagyásával;
- a munkamenetek számának csökkenté-
sével, kombinálásával.

Ezek a módszerek azért lehetnek eredmé-
nyesek, mert általuk

• kedvezőbbé válik a gép hasznosulása
és a gép hatásfoka;

• a munkacsúcsok kitolhatók, illetve lé-
nyegesen mérsékelhetők;

• mód nyílik a csapadékvíz jobb tárolá-
sára és hasznosulására;

• hatékonyan csökkenthető a víz- és szél-
erózió;

• a magágy-előkészítés szempontjából
fontos műveletek összekapcsolhatók, több
munkafolyamatot egy művelletben egyesítő
talajművelést a talaj jó, sok esetben pedig op-
timális állapotában lehet végrehajtani;

• a gépek és eszközök járatszámának lé-
nyeges csökkentése következtében mérséklő-
dik a talajnyomás és a talajt érő káros behatá-
sok mértéke;

• a helyesen értelmezett gépkapcsolásos
talajművelés lehetővé teszi a talaj jó szerke-
zeti tulajdonságainak kialakítását, illetve a
kedvezővé tett fizikai-kémiai, biológiai tulaj-
donságok fenntartását;

• egységnyi növényi termék előállításá-
hoz kevesebb munkaidő és fajlagos ráfordítás
szükséges;

• az önköltség alakulása kedvezőbb, ki-
sebb a területegységre vonatkoztatott em-
ber-, gép- és energiafelhasználás.

A korábbi K+F munkálatok eredménye-
ként megszülettek a

- nehéz tárcsás boronákra;
- nehéz kultivátorokra;
- középmedélylazítókra alapozott művelési
rendszerek; valamint a
- kombinált művelés és vetés.

A kutatók számításai és a gyakorlati ta-
pasztalatok szerint – a mindenkor körülmé-
nyektől függően – a *forгатás nélküli talajmű-
velési technológia a hagyományos, szántásos
technológiához képest az élő és gépi munka,
illetve hajtóanyag-fogyasztásban 10-22%
megtakarítást, valamint a beruházási igény
és üzemeltetési költség 15-28%-os csökkené-
sét eredményezheti*. Legfontosabb előnye a je-
lentős energia- és időmegtakarítás a termés-
átlag növelése, vagy szinten tartása mellett.

A talajvédő és környezetkímélő talajmű-
velési rendszerek működésének alapfeltétele
a megfelelő tarlómaradvány-gazdálkodás.
Az amerikai kutatási eredmények alapján
meghatározott és nemzetközileg is elfogadott
előírások szerinti 30%-nál nagyobb növényi
maradványborítás többféle technológiával
létrehozható (1. táblázat).

Hazai körülmények között ezek közül
a mulcsművelésnek vannak hagyományai

1. táblázat
Talajművelési technológiák

Megnevezés	Növényi maradvány mennyisége (%)
Hagyományos szántásos (Conventional tillage)	< 15
Csökkentett művelés (Reduced tillage)	15–30
Talajvédő művelés	
– Direktvetés (No-till)	>30
– Bakhátas művelés (Ridge-till)	>30
– Mulcsművelés (Mulch-till)	>30

Forrás: www.ctjc.purdue.edu/core4/ct/definition

és elterjesztésének komoly lehetőségei. A *mulcsborítás eróziócsökkentő hatásáról* a 2. ábra adatai adnak tájékoztatást.

A 3-4. ábrák a gabona- és kukoricatarló fedettségét mutatják különböző művelések után.

A különböző műveletek eróziós hatásait eszsimulátorral (5. ábra) lehet gyorsan és gazdaságosan meghatározni. A gödöllői FVM MGI-ben végzett vizsgálatok eredményeit a 6. ábra szemlélteti.

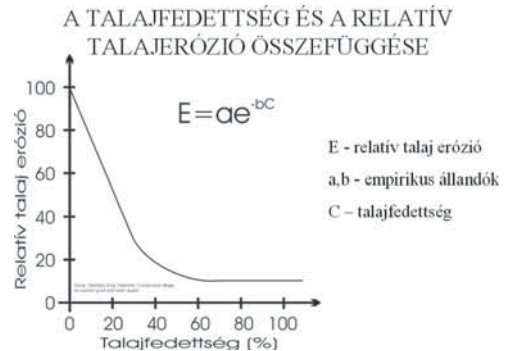
Az elmúlt évek széles körű K+F munkáinak eredményeként kialakított *mulcs-technológia* előnyei a következők szerint foglalhatók össze:

- Eszköztakarékos.
- Energiatakarékos.
- Művelettakarékos.
- Talajvédő.
- Nedvességmegőrző.
- Környezetkímélő.

A technológia megvalósításához szükséges műszaki bázis alapelemei a következők: *mulcskultivátor, mulcslazító, mulcsvetőgép*. A jól megválasztott eszközökkel kialakított mulcsréteg alkalmas a felszíni erózió csökkentésére, a beszivárgás növelésére, de ugyanakkor alkalmas – száraz periódusban – a párolgás csökkentésére, illetve a talaj általi CO₂-kibocsátás csökkentésére.

A talajművelési eljárások *CO₂-emisszió csökkentő hatásának* hazai vizsgálati ered-

2. ábra



A tarlómaradvány-borítottság hatása a talajvesztésre

ményei és tapasztalatai alapján a következő megállapítások tehetők:

- A talajművelés intenzitása és a szén-dioxid-kibocsátás között közvetlen összefüggés figyelhető meg: minél nagyobb a pórustérfogaton belül a levegőfázis aránya és mélyebben lazított a talaj, annál élénkebb a mikrobiológiai tevékenység, amely a szén-dioxid-emisszió fokozódásában nyilvánul meg.

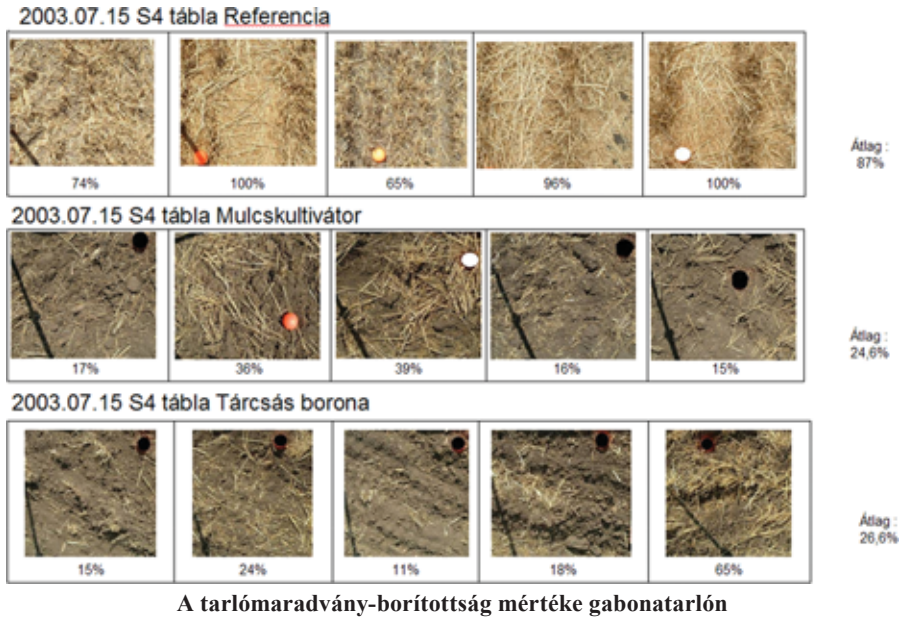
- A CO₂-emisszió nagyságának szempontjából a talajművelési eljárások sorrendje a következő: szántás, középmeélylazítás, kultivátorozás, tárcsázás (7-9. ábra).

- Az előzőekből következik, hogy olyan eljárásokat és eszközöket célszerű használni, amelyek csak a szükséges mélységben dolgoznak, és a talaj felszínén mulcsréteget alakítanak ki.

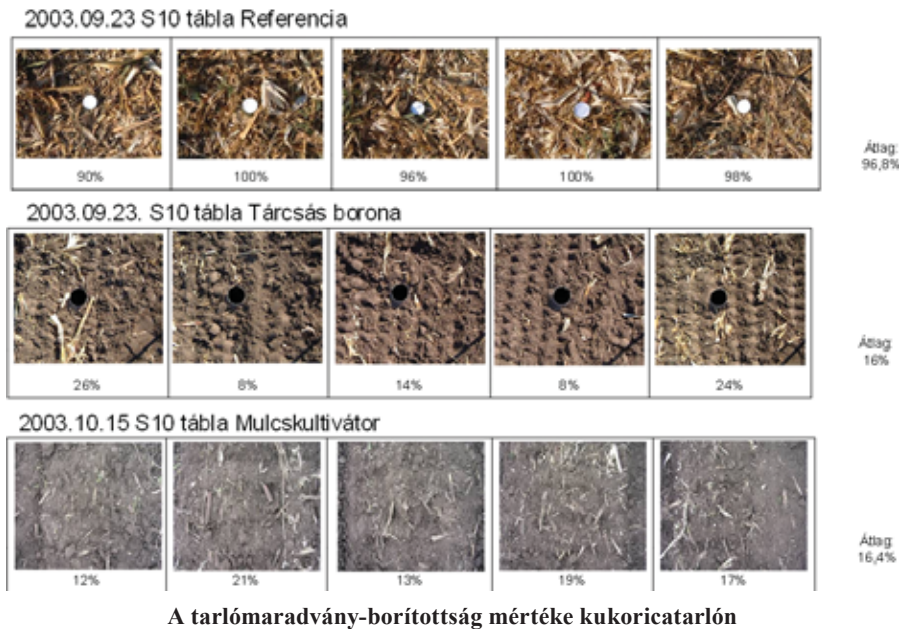
- A talaj nedvességvesztésének és CO₂-kibocsátásának csökkentése érdekében is szükséges a lazító műveletek lezárása, mert a nélkül – hosszabb idő alatt – a kibocsátott gáz mennyisége és a kibocsátás intenzitása is meghaladja a műveletlen területekét.

- Az egységnyi felületről a légkörbe kerülő CO₂ mennyisége abszolút értékben ugyan nem sok, de mivel hazánk szántóterülete 4,7 millió hektár kiterjedésű, ezért a talajvédő és -kímélő művelés az üvegházgázok (elsősorban szén-dioxid) csökkentése révén

3. ábra



4. ábra

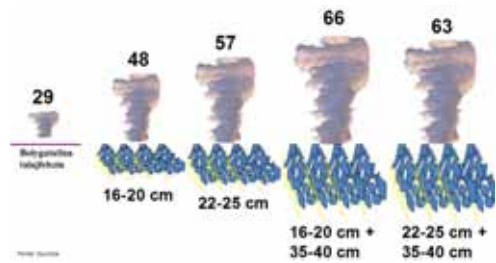


5. ábra



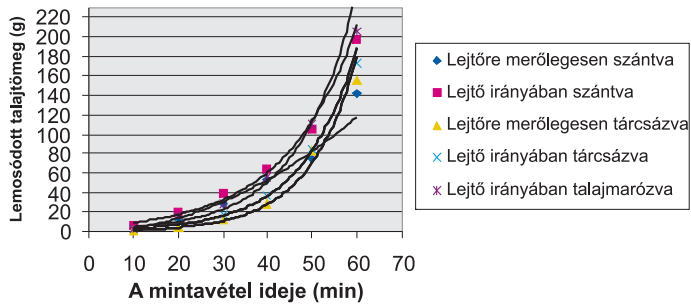
Esőszimulátor

7. ábra



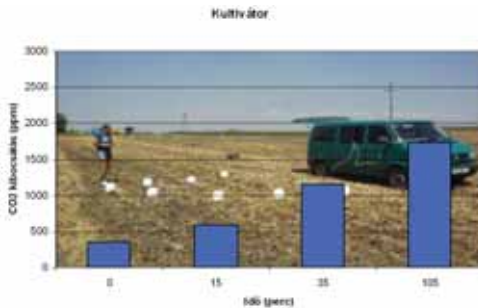
A talajművelés mélysége és a szén-dioxid-emisszió mennyisége (kumulált értékek, g/m³)

6. ábra



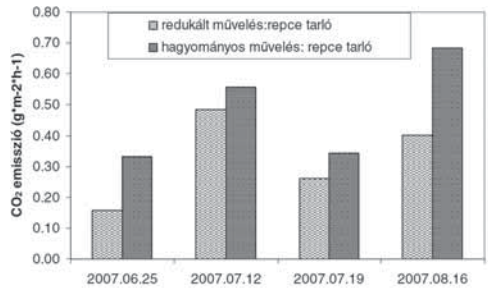
A műveletek hatása a talajleomosódásra (intenzitás: 60 mm/h)

8. ábra



CO₂-emisszió Komondor mulckultivátor munkája után

9. ábra



A különböző művelési rendszerek emissziós hatása

Forrás: Zsembeli, 2008

globális méretekben nemcsak a termőföld, hanem a környezet védelmét is szolgálhatja.

A 3E talajművelési rendszer gyakorlati megvalósítása érdekében olyan új rendszerű gépek szükségesek, amelyek

- a megfelelő *műveletet*;
- a megfelelő *helyen*;
- a megfelelő *időben*;
- a megfelelő *módon végzik*.

A 3E talajművelési rendszer alapgépei:

- Mulcskultivátor.
- Mulcslazító.
- Mulcsvetőgép.

A MULCS-TECHNOLÓGIA MEGVALÓSÍTÁSÁRA ALKALMAS GÉPEK KÖVETELMÉNYRENDSZERE

Hazai és külföldi laboratóriumi és szántó-földi vizsgálatok eredményeit és tapasztalatait összefoglalva és értékelve a következő követelményrendszert alkottuk.

Mulcskultivátor/lazító

A mulcskultivátor/lazító üzemeltetési követelményei

- féligfüggesztett kivitel;
- szállítási mérethatárok (szélesség 3 m, magasság 4 m, hosszúság a lehető leg-rövidebb);
- megfelelő ár-érték arány.

Mulcskultivátor/lazító konstrukciós variánsok:

1. X tárcsa + kultivátor/lazító + sík (hullámos) tárcsás csoroszlya + henger.
Ez a megoldás rövid, de keverési hiányosságok lehetnek.
2. X tárcsa + kultivátor/lazító + X tárcsa + henger.
Jó keverő hatás, de eltömődési problémák lehetnek.
3. X tárcsa + kultivátor/lazító + V tárcsa + henger.
Jó keverő hatás, de egyensúlyi problémák lehetnek.

4. V tárcsa + kultivátor/lazító + V tárcsa + henger.

Ez a megoldás hosszú és egyensúlyi problémák is lehetnek.

A kultivátor/lazító egység lehetséges változatai:

→ Kultivátor:

- Két-négy soros elrendezés, sortávolság: 500–800 mm.
- Szárnyas szerszámok, munkamélység-tartomány: 15–20 cm, munkaszélesség-tartomány: 200–300 mm.
- Lazító ékes szerszámok, munkamélység-tartomány: 20–30 cm, munkaszélesség-tartomány: 80–100 mm.

→ Lazító:

- V keret, állítható gerinclemezosztástávolság (500–750 mm).
- Szabályozható szerszámszög: 20–30°.
- Szabályozható szerszámszélesség: 80–300 mm.
- Munkamélység-tartomány: 25–50 cm.

Mulcsvetőgép

A mulcsvetőgép üzemeltetési követelményei

- vontatott/féligfüggesztett kivitel;
- szállítási mérethatárok (szélesség 3 m, magasság 4 m, hosszúság a lehető leg-rövidebb);
- megfelelő ár-érték arány.

A mulcsvetőgép rendszere: amerikai, vagyis vetőkultivátor.

A gépcsoport összeállítása: traktor + kultivátor + vetőkocsi.

A vetőkocsi rendszere: pneumatikus, osztott tartályos.

A vetőkultivátor szélessége: 6–9–12 m, keretszerkezete: osztott síkrács.

Művelő szerszám összeállítás:

- Talajművelő: vésőalakú kapa, lúdtalp kapa.
- Vetőcsoroszlya: sávós, ikersoros.
- Műtrágya-csoroszlya.

10. ábra



KOMONDOR mulcskultivátor

11. ábra



SX mulcslazító

12. ábra



SX mulcsvetőgép

Elmunkáló/lezáró egység: hengerborona/henger/rugósborona.

A mai modern gépeket úgy szükséges konstruálni, hogy beilleszthetők legyenek a legújabb traktor-munkagép kommunikációs rendszerbe (ISOBUS). Ez azt jelenti, hogy minden egyes állítási-szabályozási lehetőséget jeladó-vevő rendszerrel (szenzor technika) kiegészítve indokolt tervezni. A távolság, magasság, szögelfordulás, terhelés és nyomásváltozás mértékét az alapváltozatoknál vizuálisan kell jelezni, az opciós változatoknál viszont digitális adatgenerálást, továbbítást („munkagép-BUS”) és feldolgozást (traktor fedélzeti számítógép) kell megvalósítani.

Az előzőekben ismertetett követelményrendszer kielégítésére alkalmas gépet több cég gyárt és forgalmaz, de a technológia teljes egészében történő megvalósítása hazai gépsorral csak a K+F+I munkálataink során kifejlesztett gyártmányokkal (10-12. ábra) lehetséges.

A klímaváltozás által felvetett problémák megoldására bemutattunk egy lehetséges

technológiát és egy gépsort. A gyakorlatban ettől természetesen el lehet térni, de eredmény csak akkor remélhető, ha betartják a hazai kutatók által megfogalmazott üzemeltetési tízparancsolatot:

1. *Talajállapot-ismeret.*
2. *Talpmentes állapot fenntartása a talajban.*
3. *A tömör talaj gyógyítása lazítással.*
4. *Felszintakarás a kritikus (nyári) hónapokban.*
5. *Kis vízvesztő felszín alakítása nyári (és őszi!) műveléskor.*
6. *Szervesanyag-kimélés; a tarlómaradvány szervesanyag-utánpótlási forrás, értékes anyag!*
7. *A talpképző művelő eszközök mellőzése nedves talajon.*
8. *A rögzítés mellőzése száraz talajon.*
9. *Az elmunkálás, magágykészítés ésszerűsítése.*
10. *Víz- és szervesanyag-kímélő művelés az öntözött talajokon is.*

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

(1) ANTAL E. (2003): Az éghajlat változás és a növényállományok vízellátottságának kérdőjelei a XXI. Század elején. „AGRO-21” Füzetek, 32. sz. 25-49. pp. (2) BIRKÁS M. – JOLÁNKAI M. – STINGLI A. – BOTTLIK L. (2007): Az alkalmazkodó művelés jelentősége a talaj- és klímavédelemben. „AGRO-21” Füzetek, 51. sz. 34-47. pp. (3) JÓRI J. I. (2010): Talajművelési technológiák – válasz a klímaváltozásra. Mezőgazdasági Technika. LI.évf. No.4. 16-21. pp. (4) LAL, R. (1997): Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. *Soil & Tillage Research* 43:81-107. pp. Elsevier Science B.V. (5) LÁNG I. (2003): Bevezető gondolatok „A globális klímaváltozással összefüggő hazai hatások és az arra adandó válaszok” című MTA–KvVM közös kutatási projekthez. „AGRO-21” Füzetek, 31. sz. 3-7. pp. (6) LÁNG I. – CSETE L. – JOLÁNKAI M. (2007): A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA jelentés. (7) VARGA-HASZONITS Z. (2003): Az éghajlatváltozás mezőgazdasági hatásának elemzése, éghajlati scenáriók. „AGRO-21” Füzetek, 31. sz. 9-27. pp. (8) VÁRALLYAY GY. (2008): A talaj szerepe a csapadékszélsőségek kedvezőtlen hatásainak mérséklésében. „AGRO-21” Füzetek, 52. sz. 57-73. pp. (9) VÁRALLYAY GY. (2010): A talaj, mint víztározó; talajszárazodás. „AGRO-21” Füzetek, 59. sz. 3-26. pp. (10) ZSEMBELI J. – KOVÁCS GY. – SZÖLLŐSI N. – GYURICZA CS. (2008): Correlations of soil management and carbon stock change in soils. 5th International Scientific Conference on Sustainable Farming Systems, ECOMIT, 5-7 November 2008. Piestany, Slovakia, Conf. Proc. 75-81. pp.

A KLÍMAVÁLTOZÁS TALAJMŰVELÉSI, TALAJÁLLAPOT TANULSÁGAI

BIRKÁS MÁRTA – SZEMŐK ANDRÁS – MILAN MESIĆ

Kulcsszavak: talajművelés, talajállapot, klíma eredetű kár, klímakár-enyhítés.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A globális klímaváltozás első, aggodalomra okot adó éveitől a művelés feladata – a talajminőség javításán keresztül – a klíma eredetű különféle veszteségek csökkentése. A növénytermelési gyakorlat hatásos megoldást vár a tudománytól. Az új feladatnak megfelelés gyökeres változtatást sürget a talajművelési gyakorlatban is, ugyanis a talajminőséget javító művelés a klímakár-enyhítés eszköze, míg hiánya klímakár fokozó tényező. A művelés feladata napjainkban jóval több, mint vetésre alkalmas talajállapot létrehozása; a táj- és környezetvédelemmel összhangban a kedvező talajminőség fenntartása, a nemkívánatos változások, mint a szerkezet pusztulása, a vízvesztés megelőzése, a klímaérzékenység csökkentése.

A talajminőség-kutatásokhoz, a művelés, a talajállapot és a klímaváltozás kölcsönhatásainak értékeléséhez tartamkísérleti és monitor adatok adnak hátteret.

A közép-európai térségre sajátos klímakár-csökkentési tanácsokat fogalmaztunk meg. Az első lépés a nyári művelések klímakockázatának csökkentése. Hibajavítás a kár pontos ismeretében lehetséges, ezért javasoljuk a talajállapot rendszeres ellenőrzését legalább a nagy gazdasági értéket képviselő növények tábláin. A művelési eredetű talajállapot-hiba aszály- és belvízkár fokozó tényező, és nem tűrhető kockázat. A nyári hő- és csapadékstressz, a vízvesztés, a kiszáradás ellenszere a kritikus nyári hónapokban a talajfelszín biztonságot nyújtó takarása. Nyári műveléskor a nedvesség visszatartását kis vízvesztő felszín kialakításával lehet elősegíteni. Kerülni kell a rögzítő műveléseket, mivel növelik a vízvesztő felületet és csökkentik a talajba jutó csapadék mennyiségét. Az enyhébb őszi és téli vízkímélés kiterjesztését okszerűsíti az őszi alpműveléseknél. Alkalmazkodó műveléssel folyamatosá tehető a nedvesség tárolása és a veszteség csökkentése. A talaj szerves anyagának védelme a klímakár-csökkentés alapvető feltétele. A talaj nem lehet vesztese a biomasszából energiát programnak. Az öntözés az aszálykárenyhítés egyik fontos módszere, ezért a nedvesség-, a szén- és szerkezetkímélő művelést az öntözött talajokra is célszerű kiterjeszteni.

BEVEZETÉS

Talajműveléssel valamely növénytermesztési feladat érdekében kísérlik meg a talaj állapotának, és azon keresztül nedvességforgalmának javítását. A javítás hasznosságával a talaj művelői általánosan egyetértenek,

az eredménytelenséget a rossz időjárásnak tudják be. A művelés hatása a növényi produktumra a befolyásoló tényezők (talaj, tápanyag-ellátottság, csapadék, biológiai alapok, növényvédelem stb.) miatt csak egzakt kísérletekben mérhető le (Pepó, 2009). A művelés talajállapotra gyakorolt hatásának kimuta-

tása egyszerűbb, és számos mérési módszer áll ehhez rendelkezésre (Birkás – Kisić et al., 2009). A kutatások rávilágítanak arra, hogy a korábban művelési célként megjelölt „növénynek kedvező talajállapot” eléggé viszonylagos. Ugyanis az adott időpontban a növényt segítő állapot (pl. poros magágy) hosszú időszakot tekintve ártalmas lehet a talajra. Ellenben a talaj szempontjából kedvező művelés betakarításig segíti a növény fejlődését. A növények igényének félreértelmezése, túlbecsülése számos és jelentős, a gazdálkodást is veszélyeztető károkat okozott a talajokon (tömörödés, elporosodás, eróziós, deflációs veszteségek, Birkás – Stingli et al., 2009). Az áldatlan helyzet megoldását, s az újabb károk megelőzését vállalta fel a mára világméretűvé szélesedett talajvédelmi irányzat (Várallyay, 2008). A talajvédelem Magyarországon – a bizonyító adatok, a segítő törvények, intézkedések ellenére – nehezen indult, s három szakaszra tagolódott, így: felismerés, első próbák (1980-as évek), visszaesés (1990-es évek), elfogadás, terjedés (kb. 2000-től). A szélsőségesé váló klíma sajátságosan segített, ugyanis újólag ráirányította a figyelmet a szokásos (a talajra nézve inkább káros) művelés tarthatatlanságára (Birkás, 2009). A kedvezőtlen közgazdasági körülményekre a művelési gyakorlat rövid időn belül reagál, a klímaváltozáshoz alkalmazkodást sajnálatosan elodázza. Mivel a természetesen kedvezőbb években elhanyagolható veszteségek keletkeznek, a talaj, a talaj állapota vagy minősége csak a veszteséges években, akkor is utólag lesz sürgető kérdés (Birkás et al., 2007; Jug et al., 2007). Vizsgálataink arra utalnak, hogy a hiányos művelés, trágyázás esetén a veszteségeknek bizonyos részét befolyásolhatják klímaelemek (pl. nagy hőség, csapadékhiány), ám a nagyobb része komplex hatások nyomán keletkezik, és a talaj minőségével is összefüggésben van. A VAHAVA jelentésben (Láng et al., 2007), valamint a KLIMA KKT záró dokumentumában (Harnos – Csete, 2008) fontos előrelépés történt, a talaj minőségét, klímaérzékenységét a növénytermesztés jövőbeni esélyeit alapvetően

befolyásoló tényezők közé sorolják. A művelés feladata napjainkban jóval több, mint vetésre alkalmas talajállapot létrehozása; a táj- és környezetvédelemmel összhangban a kedvező talajminőség és termékenység fenntartása, a nemkívánatos változások (szerkezetpusztulás, vízvesztés, klímaérzékenység) megelőzése (Birkás, 2010).

A növénytermesztési gyakorlat a klímakárok ismétlődése miatt gyors és hatásos megoldást vár az érdekelt felektől, köztük a tudósoktól. A kutatók feladata a vizsgálat, a bizonyítás, a tudományos válasz, a jobbító, adaptálható javaslat. Az alkalmazók kötelessége a próba, a szakszerű végrehajtás, a tapasztalatok egzakt levonása és a visszajelzés.

A KUTATÁS HÁTTERE

A talajművelés, a talajállapot és a klímaváltozás kölcsönhatásait 2002 óta folyó *talajminőség–klíma tartamkísérletben*, évente ismételt *tarló–klíma kísérletben*, továbbá 43 termőhelyen, talajállapot-monitoring során tanulmányozzuk.

Talajminőség–klíma tartamkísérlet. A munkát a művelési beavatkozásokra jól reagáló, tömörödésre közepesen érzékeny, agyagos vályog talajon (Hatvan város térségében a Szent István Egyetem GAK Kft. József-majori Kísérleti és Tangazdasága területén (47°41'22" É.sz., 19°36'18" K.h.), ENy-i szeleknek kitett területen folytatjuk. A talaj humusztartalma 0–40 cm rétegben 2,84 (2003), 3,00 (2009), tápanyagban ellátottsága jó. A kísérlet négyismétléses, sávos véletlen elrendezésű. A kezeléseik között van direktvetés, sekély tárcsás (15 cm), sekély és középmély kultivátoros (15, illetve 22 cm), szántásos (32 cm, felszínelmunkálással) és lazításos (40 cm) művelés (Birkás – Kisić et al., 2010). A növényi sorrend a talaj szerves anyagának növelését és a felszín védelmét célozza. A fő növények talajtakarása változó; az őszi búza (2003, 2005, 2006, 2009) és a rozs (2004) sűrűvetésű, a kukorica (2007, 2010) és a napraforgó (2008) széles sorközű. A felszín védelmét szolgálják a másodvetések

is, pl. mustár (2002, 2005, 2009), borsó (2004) és facélia (2006). A fővetésű növények alá a talaj tápanyagtartalmához mérten optimális NPK műtrágyaadagot az integrált termesztés szabályai szerint alkalmazunk. Az évi átlagos csapadék 580 mm. A kísérleti évek minősítése a tenyészidei csapadék szerint: átlagos (2002), száraz (2003, 2004, 2007, 2009) és csapadékos (2005, 2006, 2008). A talajállapot-jellemzőket, a növényreakciókat, a talaj C-mérlegét a vonatkozó szabványok és előírások szerint határozzuk meg (Dexter, 2004; Tóth – Koós, 2006; Farkas et al., 2009; Sajko et al., 2009; Smutný, 2010). A talajállapot és a növények fejlődése összefüggéseikhez a kockázatelemzés (ISO 9000:2000) módszereit is alkalmazzuk.

Tarló–klíma kísérlet. A nyári művelések minősége és a klímahatás közti összefüggéseket 2004. évtől, őszi búzatarlón, 51–100 napig tanulmányozzuk a *Szent István Egyetem GAK Kft. József-majori Kísérleti és Tanulmányozási Területén*. A kezelések leírását korábban publikáltuk (Birkás et al., 2007). A kontroll hántatlan tarló, a kezelések között különböző eszközökkel végzett sekély és mélyebb művelés szerepel, elmunkált, illetve elmunkálatlan felszínt hagyva. Ezzel a gyakorlatban elterjedt okszerűtlen, jó (ajánlott) és megfelelő módokat modellezzük.

Talajállapot-monitor. A vizsgálatokat a hazai talajok állapotának (lazult réteg mélység, szerkezet, felszínvédelem, földigilisztatevékenység) felmérése, a klímaváltozáshoz alkalmazkodás elbírálása céljából végezzük (Birkás et al., 2010), 22 körzetben rendszeresen, 21 körzetben alkalmanként.

TALAJMŰVELÉSI – TALAJÁLLAPOT TANULSÁGOK

A műveléssel változtatható talajminőség-tényezők

A talaj a szilárd földkéreg legfelső laza, termékeny takarója; állapotában, minőségében változtatható (megújítható, lerontható) környezeti elem (Várallyay, 2008). A talaj

különleges megújuló képességét minőségének folyamatos megkímélésével lehet fenntartani (Birkás et al., 2008). A talaj minősége befolyásolja a táj képét és a környezetet. A művelés nem befolyásolja a talaj természetes tulajdonságait (pl. agyagtartalom), a talaj állapotát azonban közvetlenül és közvetve is változtatja. Alapvető követelmény, hogy a művelés ne okozzon kárt, és a rövidebb vagy hosszabb idő során kialakult talajállapot kedvező életteret nyújtson a hasznos talajlakó élőlényeknek is. A művelés hatása sajátos, talajállapot-hibák alakulhatnak ki, ugyanakkor a korábban előidézett károk enyhülhetnek.

Műveléskor *közvetlenül* változik a talaj lazultsága, a lazult réteg mélysége; a lazulás mellett tömörödhet a talaj a művelt rétegen belül, illetve az alatt. Módosul a felszín alakja és a felszín tarlómaradványokkal való borítottsága. A talaj a bolygatáskor apróbb vagy nagyobb frakciókra törik fel (por, rög), kedvező esetben azonban porhanyul (morzsa). A művelés *közvetett*, a talaj lazulásával összefüggő változásai között fontos a nedvességforgalomra és szén-dioxid-légzésre, a tarlómaradványok feltáródására, a szervesanyag-mérlegre és a földigilisztatevékenységre gyakorolt hatás. A felsorolt tényezők hatásuk szerint csoportosíthatók, pl. káros vagy kerüendő, elfogadható vagy könnyen javítható, szükséges vagy jó. A műveléssel változtatható talajminőség-tényezők értékelése a klímaváltozás okán érdemel kiemelt figyelmet (Birkás – Kisić et al., 2010).

A talaj lazultsága a talajban ismert paraméterekkel, pl. térfogattömeggel, pórustérfogattal, penetrációs ellenállással jellemezhető. A művelés hatását az ülepedett tarlóállapothoz célszerű viszonyítani (1. táblázat).

A növények magágyigényének optimuma az ülepedett talajnál 20–22%-kal lazább. A klímakárok csökkentése idényenként eltérő állapot kialakítását okszerűsíti. Száraz idényben, őszi vetés előtt nem ajánlatos a talaj túlzott fellazítása, mivel a képződött rögök között erőteljes a nedvesség kiáramlása (2009. szeptemberi–októberi tapasztalat). A vízvesztéség ugyanis a kelés eredményes-

1. táblázat

A műveléssel kialakítható lazultság értékelése

Talajminőség-tényező	Száraz időnyben kedvező	Csapadékos időnyben megfelelő	Kedvezőtlen
Lazultság alapozó műveléskor	Nyári művelés (őszi vetés): 20-25%-kal lazább az ülepedettnél. Őszi művelés (tavaszi vetés): 30-35%-kal lazább az ülepedettnél.	Nyári művelés (őszi vetés): 25-30%-kal lazább az ülepedettnél. Őszi művelés (tavaszi vetés): 30-40%-kal lazább az ülepedettnél.	Száraz időnyben: 45-50%-kal lazább az ülepedettnél. Csapadékos időnyben: az ülepedett állapot megmarad vagy romlik.

ségét veszélyezteti. Az őszi műveléskor – a talaj ülepedésére számítva – 30-35%-kal lazább állapot kívánatosabb, de a száraz állapotú talajt el kell munkálni (a 2006/2007. téli nagy vízvesztés a barázdában hagyott talajokon következett be). Nedves talajon lazultabb állapot alakítható ki, amelyet a talaj járhatósági nedvességének elérésekor csökkenteni célszerű.

A *lazult réteg mélysége* a talaj adott ideig nélkülözhetetlen vízbefogadó képességének elérése és a növények gyökereinek zavartalan fejlődése érdekében fontos minőségi tényező. A művelés mélysége nem feltétlenül azonos a lazultság mélységével, pl. 20–25 cm-ig művelt talaj is lehet mélyen lazult, ha nincs tömör talpréteg a talajban. A tartamkísérleti adatok és a monitorozás eredményeként az alábbi fokozatokat állítottuk fel:

– 40–45 cm: *biztonságos* klímakár-enyhítés, *ajánlatos* repce, kukorica, cukorrépa esetében.

– 35–40 cm: *biztonságos* klímakár-enyhítés, *szükséges* repce, kukorica, cukorrépa termelésében.

– 28–32/34 cm: *jó* klímakár-enyhítés várható, esetenként kisebb veszteséggel; kedvező időnyben biztonságos a mélyen gyökerező növények számára is.

– 22–25/28 cm: *közepes* a klímakár-enyhítés, a várható veszteség szintje kicsi vagy közepes.

– 18–20/22 cm: csak kedvező csapadékú időnyben ad biztonságot (pl. 2008), száraz időnyben *kockázatos*.

– 10–12 cm: kedvező csapadékú időnyben az őszi kalászosoknak még megfelel, száraz

időnyben (aszály) és csapadékos időnyben (belvíz) *alkalmatlan*, a várható klímakár és a veszteség súlyos.

A növények érzékenysége a talaj lazultságával szemben jó nedvesség- és tápanyag-el látottság esetén kisebb, amelyet nem szabad túlbecsülni. A lazult réteg mélysége azonos a növény vízfelvitelére adott időpontban (pl. 10–20 mm csapadék 4 óra alatt) alkalmas mélységgel. Elvárás az alapozó műveléssel kialakított lazult réteg mélységének megkímélése a vetésig. A betakarításkor még meglévő lazult réteget sem szabad le rontani a talaj nedvességéhez alkalmatlan műveléssel. A művelési hibaként kialakult tömörödés klímakár fokozó tényező, mivel akadályozza a talaj vízbefogadását és a gyökerek normális növekedését. A lazult állapot kímélésére a művelésre kedvező nedvesség-nél nyílik lehetőség, olyan eszközzel, amely nem tömörít vízzáró réteget a talajba. Terepi mérésekkel és kísérletileg igazoltuk, minél közelebb van a káros talpréteg a felszínhez, annál sekélyebb a növények gyökerezése, és annál nagyobb az aszályal szembeni érzékenysége. Ha a gyökerek nem hatolnak át az összetömött rétegen, ott a mélyebb talajszelvény lazultsága a vízfelvitel szempontjából kihasználatlan marad. A gyökérdeformáció hiányos művelést, talptömörödést jelez, ezért is érdemes az ellenőrzése állományban, illetve utólag a tarlókon is.

A nedvességforgalmat gátló *tömör réteg kiterjedése* a kár várható súlyosságára utal. Amennyiben nincs tömör réteg a 35–40 cm-ig lazult gyökérszónában, nincs, illetve csekély a kockázat (1. ábra). Vizsgálataink

1. ábra

Termesztési/klimakockázat					
	nincs	kicsi	közepes	nagy	igen nagy
Gyökérszóna (0–450 mm)	lazult réteg				
	lazult réteg				
	0	1–10	10–30	30–50	>50
kiterjedés (mm)					

A tömör réteg kiterjedése

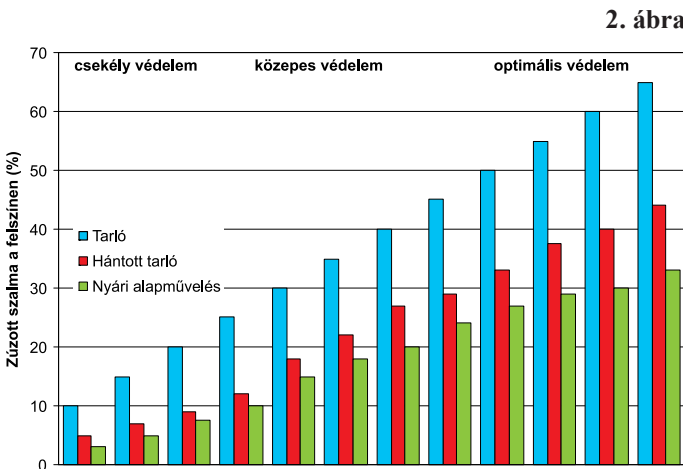
szerint ha a tömör réteg kiterjedése 1–10 mm, a kockázat alacsony, 10–30 mm esetén közepes, 30–50 mm-nél nagy, 50–100 mm kiterjedés esetén igen nagy kockázattal kell számolni. Sajnálatos, de térségünkben a hagyományosan művelt talajokon a 30 mm-t meghaladó tömörreteg-vastagság is gyakori. A tömör talajállapot alkalmatlan élőhely, s kifejezetten káros, ha víz- és tápanyaghiánnyal, vagy nagy nedvességgel jár együtt. Száraz években a vízhiány és a tömődött talajállapot a káros klímahatást felerősítő kockázati tényezővé válik.

A *művelt felszín alakja* az egyenletestől, illetve bizonyos elvárt alaktól való eltéréssel jellemezhető, és profilmérettel határozható meg. A betakarításkor maradt, keréknyomokkal nem szabdalt talaj felszíne a legkisebb, ezért 100%-nak vesszük. A sekély, hengerrel elmunkált tarlóhántás felszíne optimális esetben csak 2-5%-kal növekszik, ezért alkalmas a nedvesség visszatartására. Forgatás nélküli alapművelés elmunkált felszíne 6-12%-kal nagyobb az egyenletesnél, az elmunkált szántott talaj felszíne 12-20%-kal. Mindkét eset nedvességkímélőnek minősül. Elmunkálatlan szántás felszíne nedves talajon, mivel gyúrt-rögös, 16-26%-kal, száraz talajon, mivel többnyire rögös és hantós, 18-38%-kal tér el az egyenletestől. A rögökben hagyott szántás nyáron erőteljesen, enyhe, szeles télen közepesen vízvesztő, és csak csapadékos télen lehet kedvező.

A *talajfelszín takarása* és védelme a tenyészidőben a növényállománytól függ, pl. sűrűvetésű és jól borító, vagy széles sorközű, s emiatt közepesen vagy hiányosan borító. Betakarítás után a felszín takarás javulhat és csökkenhet is. Javulásról akkor beszélhetünk, ha a be nem takarított növényi száruk zúzva a talaj felszínére kerülnek, s így védő hatásuk kihasználható. Amikor a szárat, szalmát eltávolítják, csökken a borítás, ezáltal a védő hatás is. A talaj kiemelt védelemre a kritikus időszakokban szorul, vagyis a nyári aratás, illetve a tavaszi vetéseket követően. Nyáron a jól zúzott és jól terített tarlómaradványokkal a talaj felszínén új védőréteget lehet képezni. A különbözően csapadékos időszakokban három fokozatot vizsgáltunk, s a minősítés a talajszerkezet, a nedvesség és a földgiliszta szám alapján történt. Úgy találtuk, hogy a hő- és csapadékközeltségnek legjobban ellenáll a bolygatatlan, s legalább 55-65%-ban takart felszín (2. ábra). A bolygatatlan, jól takart talaj nyár végéig művelhető marad (bizonyíték 2009-ben adódott). E megoldásnak az erős gyomkelés, vagy az árvelés későbbre tolódása szab gátat.

A tarlóhántást követően a 35-45%, nyári mélyebb (lazításos) alapművelés után a 25-35% borítottság az előnyös; a 0-10% takarás csekély védelmet nyújt, mivel a talaj több vizet veszít, és gilisztaéletternek is alkalmatlan.

Az *agronómiai szerkezet*, vagyis a rög (>10 mm), a morzsa (0,25–10 mm) és a por (<0,25 mm) aránya adott időintervallumban a rendszeresen művelt talajra jellemző folyamatokról (morzósodás, rögösödés vagy porosodás) tájékoztat. Kísérletünkben a minél kisebb por- és rögarány jótékonyasága valamennyi növény kelésekor, kezdeti fejlődésekor és virágzásakor is igazolódott. A monitorok nyomán, amikor a por aránya 25-30%-nál több volt, degradált, érzékeny talajt, ellenben a 75-80%-ot meghaladó morzsaarány klímastressz-tűrő állapotot mutatott. A növekvő por- és rögarány (pl. 10-ről 30-40-50%-ra), valamint a csökkenő morzsaarány (pl. 70-ről 50-40%-ra) kockázatos és igen kockázatos minősítést kapott. A szántóföldi monitorok



A felszintakarás és a talajvédelem szintje a nyári hónapokban

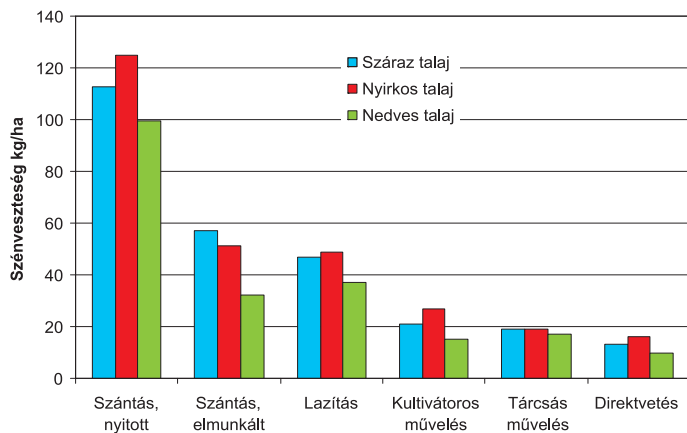
nyomán változtatást sürgetünk a tarlóművelés, az alapművelés és elmunkálás technológiáiban. Ennek lényege a rögzítés (ezáltal a vízvesztés és szerkezetrombolás) elkerülése, és az elporosodott talajok kímélő használata (Birkás et al., 2008). A morzsásodás feltételül a kísérletek nyomán négy tényezőt jelöltünk meg, ezek: száraz nyári időben sekély bolygatás, a bolygatott felszín lezárása, a hő- és záporstressz csökkentése a felszín takarásával; mélyebb műveléskor a mérsékelt rögzítés előfeltétele a legfelső réteg biológiai aktivitása. Csapadékos nyári és őszi időben a morzsákat a nedves talajon minél kisebb kárt okozó műveléssel lehet kímélni. A járhatóság nedvességének felső határánál többnyire két használnak, amely alkalmatlan a morzsakímélésre. Fontos a morzsaképződés optimális nedvességének ismerete, műveléskor ennek figye-

lembe vétele. A Hatvan térségi talajon a művelhetőségi és morzsaképzési optimum 20–24 tömeg % nedvességtartományban van. Adott talaj száraz, ha nem éri el a 16 tömeg % határértéket, nyirkos, ha nedvessége 18–22% között van, és nedves, ha meghaladja a 26–28%-ot. Legkevesebb kár a művelhetőség nedvességoptimumában végzett műveléskor keletkezik, és legtöbb az optimálisnál nedvesebb talajon.

A talaj *nedvességforgalma*, a befogadás, tárolás és

vesztés mérlege a talaj és a növénytermelés jövőbeni lehetőségeit meghatározó tényező. A *vízbevétel* a csapadék talajba jutó hányada, amely kedvező esetben 80, kisebb talajállapot-hiba esetén 65-70%, súlyos hibánál a lehullott mennyiségnek csak a fele. A befogadást és tárolást a lazult réteg mélysége, illet-

3. ábra



Példa frissen művelt vályogtalaj szénvesztésére az első 36 órában, eltérő nedvesség esetén (Hatvan, 2003–2009)

SzD5%: Szántás nyitott: 2,09; Szántás, elmunkált: 4,12; Lazítás: 5,33; Kultivátoros művelés: 2,51; Tártsás művelés: 4,21; Direktvetés: 2,97; Művelések: 8,41

ve a bolygatott réteg alatt a talaj vízáteresztő képessége határolja be. A súlyos tömörödési hiba a nagy agyagtartalomhoz hasonlóan korlátozza a talaj vízáteresztését. A művelés hatása sajátos, javíthatja és ronthatja a talaj vízbefogadását, ugyanígy mérsékelheti és fokozhatja a talaj vízvesztését. A *vízkiadás* nagyságát a tenyészidőben a növények felhasználása, tenyészidőn kívül a felszín alakja, borítottsága, a bolygatás mélysége alakítja. A nyári mélyszántás elmunkálatlan felszínre tipikusan vízvesztő állapot, emiatt átlagos és száraz hónapokban a bevételt meghaladó veszteség következik be. A 2007. és 2009. évek két nyári hónapja alatt 39 és 46 mm bevétel mellett 57 és 69 mm veszteséget mérünk (számítás mért adatokból, *Szász és Tőkei, 1997* vonatkozó képletével). A bevételt meghaladó veszteség kockázat, a nyár végi és őszi növények kelése kerül veszélybe. A bevételnél érdemileg kisebb veszteség kis párologtató felülettel és 30–35% felszínaktíválással érhető el. A szántott, elmunkált felszínű talaj közepesen nedvességekímélő, vagyis a szántásról nem szükséges lemondani, ám gyakorlatát a szélsőséges klímához kell igazítani. Az utóbbi években újabb kihívás az őszi szántott, elmunkálatlan talajok téli vízvesztése és a veszteség megelőzése. Az egyenetlen talaj befogadja a csapadékvizet, ugyanakkor kevesebb nedvességet veszít az enyhe és szeles téli napokon. Rögösen hagyott agyagos vályogtalajon, átlagos csapadékú, enyhe és szeles téli félévben 40–56 mm lehet a vízvesztés, míg az őszi egyenletesre munkált szántáson legfeljebb 20–26 mm. Száraz téli időben (2006/2007) a mérések nyomán ezen értékek közel háromszorosát becsültük. A szántott talajok figyelemmel kísérésének fontos konklúziója az aszálykárvészteséggel kapcsolatos; kivédhetetlen ott, ahol tartósan vízvesztés-növelő a művelés, ugyanakkor érdemi kárcsökkentés érhető el, ha a szántás gyakorlatát a szélsőséges klímához adaptálják.

A *szén-dioxid-légzést* a talajművelés a kialakult állapot révén befolyásolja. Az eddigi adatok szerint a mély és nagy felületet hagyó művelés fokozza a talajlégzést, ezáltal a

talaj szénvesztését. A nyirkos talaj kedvez az aerob mikroba tevékenységhez, a CO₂-kibocsátás is többnyire nagyobb, mint más nedvességnél. Figyelmet érdemel az elmunkált szántott talaj kisebb szénvesztése, mintegy 50%-a az elmunkálatlanak; vagyis a szénvesztő jelző csak a rögös szántásra vonatkozik. A sekélyebb talajbolygatás és felszínelmunkálás esetén mért szénvesztéses harmada az elmunkálatlan, és hatoda az elmunkálatlanak (3. ábra). Mindez újjalag a nyári művelések okszerűsítését teszi szükségessé.

A tömör állapotot enyhítő lazítás elmunkálása, mivel mélyebb (40–45 cm) bolygatásról van szó, ugyancsak ajánlott; esetünkben az elmunkált felszínű, lazított talaj szénvesztése a szántott és elmunkálatlan – matematikailag nem igazolhatóan – némileg alacsonyabb. Az elmunkált felszín meleg napokon is szénkímélő, amely előnyt a nedvesség visszatartása tovább növeli. A bolygatott talajok szén-dioxid-légzésének vizsgálata új információt ad a talajállapot minősítéséhez, s remélhetően a szénkímélő művelés elfogadtatásához. Aggodalomra ad okot a szénvesztés ciklikussága ott, ahol szokásos gyakorlat a nyári, elmunkálatlan szántás.

A talajok *humusz- vagy szénmérlege* a beépülés és az elbomlás aránya. Kedvező körülmények között az évente képződő és elbomló humusz mennyisége közel azonos, illetve az új több lehet annál, mint ami elbomlik. A humusz- és szénkímélő művelés a klímaváltozás kapcsán kerül a figyelem középpontjába. A humuszkolloid vízfelvétele ugyanis hatszorosra az agyagásványokénak, általa jobb a talaj vízgazdálkodása és víztartó képessége. A *talajminőség-klíma kísérletünkben* 8 év alatt a művelési változatoktól függően 18,6-28,5 tonna nyers szerves anyag jutott a talajba hektáronként. A művelési veszteség 2,4-6,2 t/ha között, a terméssel elvitt 11,5-16,6 t/ha között változott. Az ún. elméleti mérleg 2,3-5,9 t/ha, kevesebb a szántott, és több a kevésbé bolygatott talajban. A szervesanyag-kímélés eredményét a humusztartalom-növekedés, a kedvező nedvességforgalom és a művelhetőség javulása igazolja.

KLÍMAKÁR-FOKOZÁS VERSUS KLÍMAKÁR-ENYHÍTÉS

Talajminőség rontó művelési szokások

A talajminőség-kutatásaink hasznosítható eredménye a talajra ártalmas művelési szokások kimutatása. Ezek közül térségünkben leggyakoribbak: 1. A tarlók mély hántása nyáron, elmunkálatlan és takaratlan felszint hagyva. 2. A talaj nyári felszántása, elmunkálatlan felszint hagyva. 3. Tárcsás sekélyművelés akkor, ha a talaj a tárcsázott réteg alatt tömörödött. 4. Az őszi szántások elvégzése nedves talajon, az eketalpréteg kialakítása és vastagítása miatt. 5. Az őszi szántások elmunkálatlan hagyása akkor, ha nincs rá termőhelyi vagy más ok. 6. A műveléssel tömörre vált gyökérszóna lazításának elhanyagolása. 7. Az őszi alpművelés lazult rétegének „megfelezése” a talaj nedvességéhez alkalmatlan eszközzel. 8. Az alpműveléssel kialakított lazultság lerontása magágykészítéskor (vastag magágyalappal). 9. A talajállapot-ismeret fontosságának elhanyagolása. 10. Az öntözés talajra gyakorolt hatásának figyelmen kívül hagyása. Ezeket a szokásokat a talajminőség-kímélés és klímakár-csökkentés érdekében lépésről lépésre kell abbahagyni.

Talajminőség-kímélés és klímakár-csökkentés

A közép-európai térségre, a tipikus klímajelenségek miatt, sajátos ajánlások adhatók (Birkás, 2010). 1. A nyári művelések mélységén és módjain a klímakockázat miatt mielőbb változtatni kell. A nedvesség és talajminőség megkímélése érdekében sekély és mulchhagyó tarlóművelés okszerű. 2. A talajállapot-ismeret hiánya tévútra vezet, ezért rendszeres talajállapot-ellenőrzés szükséges a nagy gazdasági értéket képviselő növények tábláin, és a belvíz és aszály sújtotta területeken. 3. A talajállapot-hiba felismerése segítség a javító eljárás kiválasztásához. A talaj vízbefogadását akadályozó tömörség vagy a rögzőség nem természetes

állapot, hanem javításra szoruló hiba. Nedves talajon nem lenne szabad használni az ún. talpképző, száraz talajon a rögzítő eszközöket. A kármegelőzés lehetősége az alpművelési mélység, illetve a talpképző és lazító eszközök váltogatása. 4. A bolygatott talajok megfelelő arányú takarása (35–45%) védelmet ad a nyári hő- és csapadéktstressz, a kiszáradás és a biológiai élet visszaesése ellen. A takaróanyag a kritikus hónapok elmúltával a talajba juttatva szerves anyagként hasznosul. 5. Kis vízvesztő felszint kell kialakítani bármely idényben, és különösen a kritikus nyári hónapokban. 6. Kerülni kell a rögzítő műveléseket, mivel a kialakult nagy felület a rosszabb csapadékfelvétel miatt vízvesztő közeg. 7. Az enyhébb őszi és tél a nedvességkímélés kiterjesztését okszerűsíti az őszi alpműveléseknél; minél kisebb párolgató felületet kell hagyni. Míg a nyári és tavaszi bolygatás után egyengetés és tömörítés, ősszel (áttelelés előtt) az egyengetés okszerű. 8. A szélsőséges klíma a nedvességtárolás folyamatosságát, a veszteség csökkentését kényszeríti ki. 9. A talaj szerves anyagának védelme nélkülözhetetlen a nedvesség megtartásában, a tömörődéssel szembeni ellenállásban, a klímastressz enyhítésében. Nem ajánlott a tarlómaradványok energetikai célú hasznosítása ott, ahol szervesanyag-utánpótlásra nincs más lehetőség. 10. Öntözött talajokon fenn kell tartani a talaj vízbefogadó és tároló képességét. Rendszeres öntözés esetén a talajt folyamatos vízstressz éri, ezért minden 2. évben ún. pihenő időre van szükség a szerkezet újraépülésére.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Talajminőség- és klímakutatásokat támogató programok: OM-00381/2008; OM-01289/2009-HR-43/2008, CZ-9/2009; GAK Kft. Kísérleti és Tangazdaság Józsefmajor, Mezőhegyesi Ménesbirtok Zrt., Belvárdgyulai Mg. Zrt., Agroszen Kft. Szentgál, Róna Kft. Hódmezővásárhely, TerraCoop Kft. Szentes.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) BIRKÁS M. (2009): A klasszikus talajművelési elvárások és a klímakár csökkentés kényzsere. *Növénytermelés*, 58. 2. 123-134. pp. (2) BIRKÁS M. (2010): Talajművelők zsebkönyve. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 282 p. (3) BIRKÁS M. – ANTOS G. – NEMÉNYI M. – SZEMŐK A. (2008): Environmentally-sound adaptable tillage. Akadémiai Kiadó, Budapest, 353 p. (4) BIRKÁS M. – JOLÁNKAI M. – STINGLI A. – BOTTLIK L. (2007): Az alkalmazkodó művelés jelentősége a talaj- és klímavédelemben. „KLÍMA-21” Füzetek, 51, 34-47. pp. (5) BIRKÁS M. – KISIC, I. – JUG D. – SMUTNY, V. (2010): The impacts of surface mulch-cover and soil preserving tillage on the renewal of the top soil layer. Agriculture in nature and environment protection. 3rd Internat. Scientific/professional conf., Vukovar, 31st May-2nd June, 2010. Proc. (Eds. Jug, D., Soriae, R.), 21-27. pp. (6) BIRKÁS M. – STINGLI A. – FARKAS Cs. – BOTTLIK L. (2009): Összefüggés a művelés eredetű tömörödés és a klímakárok között. *Növénytermelés*, 58. 3. 5-26. pp. (7) BIRKÁS M. – STINGLI A. – GYURICZA Cs. – JOLÁNKAI M. (2010): Effect of soil physical state on earthworms in Hungary. Applied and Environmental Soil Sci. Spec. Issue: Status, trends and advances in earthworm research and vermitechnology (Eds. Karmegam, N., Kale, R.D. et al.) Vol. 2010. Article ID 830853, 7 pages, doi:10.1155/2010/830853. (8) BIRKÁS M. – KISIC, I. – BOTTLIK L. – JOLÁNKAI M. – MESIC, M. – KALMÁR T. (2009): Subsoil compaction as a climate damage indicator. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 74, 2: 1-7. pp. (9) DEXTER, A. R. (2004): Soil physical quality. *Soil Tillage Res.*, 79, 129-130. pp. (10) FARKAS Cs. – BIRKÁS M. – VÁRALYAY Gy. (2009): Soil tillage systems, to reduce the harmful effect of extreme weather and hydrological conditions. *Biologia*, 64, 624-628. pp. (11) HARNOS Zs. – CSETE L. (szerk.) (2008): Klímaváltozás: környezet – kockázat – társadalom. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 378 p. (12) JUG, D. – STIPESEVIĆ, B. – JUG, I. – SAMOTA, D. – VUKADINOVIĆ, V. (2007): Influence of different soil tillage systems on yield of maize. *Cereal Research Comm.* 35, 2, Suppl. 557-560. pp. (13) LÁNG I. – CSETE L. – JOLÁNKAI M. (2007): A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 220 p. (14) PEPÓ P. (2009): Interactive effect of different crop years and agrotechnical factors on the yield of winter wheat [*Triticum aestivum* L.]. *Növénytermelés*, 58, 107-122. pp. (15) SAJKO, K. – KISIC, I. – BASIC, F. – SABOLIC, M. (2009): Bulk density and soil resistance variability in different soil moisture conditions under different tillage systems. *Cereal Res. Comm.*, 37, Suppl. 371-374. pp. (16) SMUTNY, V. (2010): The role of agronomic factors on yield stability of winter wheat. *Növénytermelés*, 59. Suppl. 533-536. pp. (17) SZÁSZ G. – TÖKEI L. (1997): Meteorológia. Mezőgazda Kiadó, Budapest, 411-658. pp. (18) TÓTH E. – KOÓS S. (2006): Carbon-dioxide emission measurements in a tillage experiment on chernozem soil. *Cereal Res. Comm.*, 34, Suppl. 331-334. pp. (19) VÁRALYAY Gy. (2008): Dedication to the English Edition. In: Birkás M. et al.: Environmentally-sound adaptable tillage. Budapest, Akadémiai Kiadó

ESEMÉNYEK, HATÁSOK, TANULSÁGOK A KÖZLEKEDÉS TÉMAKÖRBŐL

TÁNCZOS LÁSZLÓNÉ

Kulcsszavak: időjárás, közlekedés, események, hatások, tanulságok.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A hazai felszíni közlekedési infrastruktúra szélsőséges időjárási körülményeknek való kitettsége a kötelező fenntartási ráfordítások rendszeres elmaradásának következményeként a jövőben kritikussá válhat. A hosszú távon tovább öregedő társadalom miatt a közsféra erőforrásai várhatóan folyamatosan tovább mérséklődnek, ezzel is csökkentve az infrastruktúra-beruházások és fenntartások volumenét.

Ennek megakadályozása érdekében a közlekedési szektornak egyre inkább önfenntartóvá kell válni a „szennyező/használó” fizessen elv fokozatos életbe léptetésével. A közlekedés tényleges, társadalmi szintű költségét fedező díj kivetése és fogyasztókra történő ráterhelése megdrágíthatja az áru- és a személyszállítást, amely felgyorsíthatja újabb „zöld” erőforrások (pl. elektromos meghajtású közúti gépjárművek) közlekedési elterjedését. Emellett a jövőben várhatóan minden közlekedési mód járműfejlesztése felgyorsul, hatékonyabb logisztikai láncok és intelligens közlekedési rendszerek jöhetnek létre, amelyek tovább segítik a fenntartható közlekedés feltételeinek megteremtését. A fenntartható mobilitás tehát egyre inkább a közlekedéspolitikai szerves részévé válik. A vonatkozó célok elérésére számos eszköz áll rendelkezésre, amelyek között szervezési, szabályozási, informatikai és technológiai elemek egyaránt megtalálhatók. A témában végzett, előbbi rendszerezést alapozó kutatások azt is kimutatták, hogy a különféle intézkedések megfelelő kombinációjával a közlekedés negatív környezeti hatásai lényegesen mérsékelhetők.

BEVEZETÉS

A modern társadalmakban a hatékony közlekedési és szállítási rendszerek kulcsfontosságú szerepet játszanak a gazdasági növekedésben és a társadalom jólétében. E kétségtelenül kedvező hatás mellett a klímaváltozás és a szén-dioxid-kibocsátással járó emberi tevékenység azonban ráirányította a figyelmet a közlekedési ágazat fejlődésével és a mennyiségi növekedéssel járó negatív következményekre is.

Ismert tény, hogy a szállítások döntő hányada a közúti alágazatban realizálódik, mi-

közben szinte a teljes szállítási, közlekedési ágazat az olajra utalt. Az olaj viszont olyan véges erőforrás, melynek az ára mindig érzékenyen reagál a politikai bizonytalanságokra és a jelentős változásokra, továbbá az üvegházhatású gázok kibocsátásáért is felelős.

Mindezen körülmények miatt – figyelemmel kísérve a világ és az EU vonatkozó legújabb tudományos kutatási eredményeit és tapasztalatait – kiemelt figyelmet célszerű fordítani a közlekedés és a klíma- és időjárás-változás hazai események mentén bekövetkező és felismerhető összefüggéseire, az azonosítható törvényszerűségekre, továbbá

folyamatosan követni és értékelni szükséges a hatásokat és meg kell vizsgálni, milyen gyakorlati megoldások adaptálhatók hatékonyan a társadalmi, gazdasági mobilitással együtt járó kedvezőtlen következmények bekövetkezésének megelőzése, esetleges mérséklése érdekében.

ESEMÉNYEK

A közelmúltban előfordult és a hazai felszíni közlekedéssel is kapcsolatba hozható kedvezőtlen események közül – ezúttal csak a szélsőséges időjárással, illetve az annak hatására kialakult árvízzel összefüggő káros hatásokra összpontosítva – mutatunk be néhány jelenséget, majd vázoljuk a káros következményeket.

A hosszabb időszakra (több évtizedre) visszatekintő statisztikai nyilvántartások tükrében is kimagaslónak ítélt késő tavaszi, illetve kora nyári esőzések alatt lehullott csapadék mennyisége és előfordulási módja, egy-egy térséget érintő rendkívüli intenzitása az összességében mintegy 200 milliárd Ft-ra becsült nemzetgazdasági káron belül a hazai közlekedés gerincét képező közúti és vasúti közlekedési infrastruktúrában is jelentős kárt okozott. A tételes számbavétel helyett itt természetesen csak néhány, csupán illusztrációul szolgáló eset bemutatására van lehetőség.

A vasúti közlekedésben okozott károk

A rendkívüli esőzések jelentős kárt okoztak a MÁV vonalain. A MÁV Zrt. szakemberei több hetet küzdöttek az árvíz és belvíz okozta károkkal

A Balatonakarattya és Balatonkenese közötti vonalszakaszon évtizedek óta visszatérő probléma a magaspárt lassú mozgása. A közvetlenül a vasúti pálya mellett található löszfal csúszása miatt már többször megrongálódott a vasúti pálya és az alépítmény. Ennek következtében több alkalommal kellett sebességkorlátozást bevezetni. Az érintett

vonalszakaszt legutóbb 2010. március 8-tól több hétre le kellett zárni, a vasúti forgalom április 1-jén indulhatott meg újból. Tavasszal a földmozgás miatt a vasúti pálya vízszintesen 14 cm-rel, függőlegesen 5 cm-rel mozdult el. A MÁV Zrt. és a MÁVGÉP Kft. munkatársai a vágányszakaszt a talajban található vízrétegek megcsapolásával és a vágány alatti, összerepedezett földtömeg 6 méter mélységig, geopur habbal történő kiinjektálásával állították helyre.

Az ideiglenes helyreállításnak köszönhetően átmenetileg mérséklődtek az egyébként azóta is folyamatos földmozgások. Ez az ideiglenes megoldás 2010 szeptemberéig, a földmű tervezett végleges helyreállításáig szolgálta volna a vonatforgalom fenntartását. Az azóta lehullott rendkívül nagy mennyiségű csapadék miatt azonban a mozgások fokozódtak, a rézsű pedig kritikus állapotba került.

Ennek hatására a közelmúltban *új repedések jelentek meg*, amelyek mentén a csapadék közvetlenül a felszínről is be tudott folyni a csúszólap térségébe. A talajrétegben felhalmozódott rétegvíz jelenleg folyamatosan és intenzíven szivárog a beépített fal réseiből.

Az intenzív esőzések miatt a szóban forgó területen a vasúti pályát is érintő rézsűcsúszás következhet be. Az utazóközönség maximális biztonsága érdekében a MÁV Zrt. 2010. június 17-től Csajág és Balatonkenese között szüneteltette a vasúti forgalmat és az érintett települések között a vasútársaság az utasokat vonatpótló buszokkal szállította el.

A balatonakarattyai löszfal csúszásának végleges megállítására a vasúttársaság már kidolgozta a műszaki (geotechnikai és hidrológiai) terveket, és elkészítette a feladat költségtervét is. A költségeket a Balatonkenesei Önkormányzat és a MÁV Zrt. fele-fele arányban vállalja. A szükséges forrás biztosítása érdekében a két intézmény már az illetékes minisztériumokhoz fordult. A végleges helyreállítást elvégző cég kiválasztására közbeszerzési eljárás keretében kerül sor.

1. fotó



A Budapest–Szob vasútvonalon Nagymaros és Szob között facsoport dőlt a vasúti pályára, mindkét vágányt elzárva a forgalom elől

2. fotó



Sajóecseg–Tornanádaska közötti árvízhelyzet

3. fotó



A rendkívüli esőzések jelentős kárt okoztak a 29. számú észak-balatoni vasútvonalon Csajág és Balatonkenese között

4. fotó



Útátvágás Ónod és Nyékládháza között (2010.06.04.)

5. fotó



Teljesen lezárták a zsolcai körforgalmat

A vasúti pályákban okozott, a személy- és áruforgalmat több tekintetben is jelentősen akadályozó károk (a vonatkésések, a vonatpótló autóbuszok kényszerű forgalomba állításával, a célba érés menetidejét növelő többszöri átszállással megvalósuló utazások, az utazás során adódó kényelmetlenségek) növelték a vasúti pályafenntartás és -üzemeltetés folyamatos ráfordításait, a vasúti szerelvényeket üzemeltető operátorok költségeit, és nem utolsósorban az utasoknak okozott eljutási időnövekedéssel és a fuvaroztatóknak okozott kereskedelmi sebesség csökkenéssel további jelentős gazdasági és társadalmi veszteségeket idéztek elő.

A közúti közlekedést ért károk

Az extrém időjárási körülmények miatt számottevő fennakadások keletkeztek a személy- és áruforgalom döntő hányadát lebonyolító közúti közlekedésben is.

A jelentős hányadban Borsod-Abaúj-Zemplén megyében kialakult rendkívüli árvízhelyzet miatt a megye útjai a kamionok számára gyakorlatilag járhatatlanná váltak, ezért a megye közútjain hosszabb teherforgalom-korlátozás bevezetése vált szükségessé.

További, váratlan intenzitással megjelenő vízfolyások átmeneti tereléseket, sávlazásokat tettek szükségessé, amelyek szűk keresztmetszetek kialakulásához vezettek, ezek jelentős forgalmi torlódásokat okoztak, illetve azonnali költséges (de csupán ideiglenes megoldást nyújtó) helyreállításokat igényeltek, sok esetben még az autópályákon is (pl. M1, M6).

A SZÉLSŐSÉGES IDŐJÁRÁS HATÁSAI

A statisztikai adatok szerint mintegy száz éve nem esett annyi eső Magyarországon, mint ez év májusában–júniusában. A szélsőséges időjárás következtében az árvíz által elöntött települések ingatlanaiban és az ott lakók ingóságaiban okozott vagyoni ká-

rok mellett jelentős károk keletkeztek mind a vasúti, de különösen a közúti közlekedési infrastruktúrában is.

A vasúti pályahálózatban a szélsőséges időjárás és a kialakult árvizek nyomán keletkezett károk számszerűsítésére még előzetes becslések formájában sem állnak rendelkezésre adatok. Az azonban megállapítható, hogy az általánosan egyébként sem kielégítőnek minősülő pályaalapot (a hálózat kétharmadán sebesség- és/vagy tengelyterhelés-korlátozás van érvényben) miatt a szélsőséges időjárás okozta állagromlás jelentős.

A 30 ezer km-es országos közúthálózaton másfél hónap alatt mintegy ezer káresetet regisztrált az üzemeltető Magyar Közút Zrt. Az elárasztott közutak egy része megsülylyedt, beszakadt, számos közúti híd megrongálódott. A csapadékos tél és tavasz miatt több szakaszon a már eleve nedves töltéseknek, ázott alapoknak kellett elviselniük az özvívyszerű esőzéseket, így a károk hatványozottan jelentkeztek. Az átázott földművek elvesztették a teherbírásukat, a rézsűk megcsúsztak és az útburkolatok a forgalmi terhelés hatására egyenetlenné, hullámossá váltak. A kárelhárítás keretében a közeljövőben több tíz kilométer hosszan kell teljes burkolatcserét végezni.

Sajnálatos körülményként kell megemlíteni, hogy a keletkezett károk a hazai közúthálózat általánosan leromlott állapota miatt – és így a negatív szinergiák érvényesülésének következményeként – az indokoltnál is nagyobb állagromlásról tanúskodnak. Bár építhetők olyan utak, amelyek a szokásosnál nagyobb terhelésnek is ellenállnak, de a szükséges pénz előteremtése meghaladja az ország jelenlegi teljesítőképességét.

Az országos közúthálózat kétharmadán a burkolat állapota nem felel meg a jelenlegi előírásoknak; különösen a 4 és 5 számjegyű mellékutakra férne rá a javítás. A leromlott állapot kialakulásában jelentős szerepet játszott, hogy míg az uniós előírások miatt ma már 11,5 tonna terhelésű kamionok is közlekedhetnek a sok szakaszon még csak 10 ton-

na tengelyterhelésre és forgalomra tervezett és kiépített utakon, addig a burkolati károk 40%-áért éppen a nehéz és túlsúlyos járművek tehetősek felelőssé. A burkolatok minőségének javulásában áttörést csak a hosszú évek óta elmaradt felújítások hozhatnak.

Autópályák, főutak, illetve mellékutak esetében 20, 15 és 10 éves várható forgalomnagyságra tervezik a pályaszerkezeteket. A tervezési élettartam a szükséges ciklusidőt is meghatározza, mely útkategóriától függően 10-15 év lenne, de épp itt tapasztalható jelentős elmaradás. A teljes úthosszra vetítve a beavatkozások évenként a hálózatnak mindössze 2-3%-át érintik, holott el kellene érniük annak 12%-át.

Az így kialakult helyzet szerint a Magyar Közút kezelésében levő hálózat átlagéletkora 40 év, és a burkolatoké is meghaladja a 20 évet, ami 10 évvel több az elvárható értéknél.

A fentiekben körvonalazottak miatt a hazai általános közútállapotokra vonatkozó kedvezőtlen helyzetet is figyelembe véve, a szélsőséges időjárás okozta káros hatások csak hosszabb távon lesznek felszámolhatók. Az útkárok döntő többsége az észak-magyarországi és a dél-dunántúli úthálózaton keletkezett, de jelentős kár érte az M1-es és a frissen elkészült M6-os autópályát is.

Előzetes becslések szerint az országos közúthálózatban az idei árvíz okozta útkár meghaladja a 10 milliárd forintot. A július végéig összesített, jórészt csak előzetes felmérések alapján becsült adatok szerint a helyenként – így a keleti országrészben – kritikusan alacsony színvonalú, összesen 140 ezer kilométernyi önkormányzati úthálózaton viszont további, mintegy 31 milliárd Ft a szélsőséges időjárás és az annak nyomán kialakult árvíz által okozott károk veszteségértéke.

AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS UTAKRA GYAKOROLT HATÁSA (FELADATOK, TAPASZTALATOK)

GÁSPÁR LÁSZLÓ

Kulcsszavak: közúti közlekedés, szélsőséges időjárási események,
útügyi feladatok, felkészülés.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Egyértelműek a világméretű éghajlatváltozás társadalmi és gazdasági hatásai, melyek alól az útügy és a közúti közlekedés sem kivétel. Az elmúlt időszakban hazánkban is egyre gyakoribbá váltak a klímaváltozást bizonyító jelenségek. Ezek a szélsőséges időjárási események az útügyi szakma számára is komoly kihívást jelentenek. Az adandó válaszok közül az elsők közé kerülhet a tervezési, építési, fenntartási és felújítási tevékenységekre vonatkozó szabványok és műszaki előírások módosítása, továbbfejlesztése annak érdekében, hogy a szakma a kedvezőtlenebbé váló időjárási helyzetre minél inkább felkészüljön. Emellett szükséges, hogy az ez irányú felkészülést a szakmai felsőoktatás, valamint a szakemberek továbbképzése is segítse, továbbá minél több előadás és azokhoz kapcsolódó publikáció is szolgálja a felkészülést.

AZ ELŐZMÉNYEKRŐL ÉS A FOLYTATÁSRÓL

Az éghajlatváltozásnak a nemzetgazdaság különböző területeire gyakorolt befolyásával az ezredforduló óta már hazánkban is számos kutató foglalkozik intenzíven. Ezek sorában a Szerző is részt vett a *VAHAVA projekt (2006)* munkájában, amelyről néhány tárgybani publikációjában számolt be (*Gáspár, 2006a,b, 2007*). Az időközben felmerült feladatokról és nyert tapasztalatokról a következőkben számolunk be röviden.

A szélsőséges időjárási események gyakoribb előfordulásával jellemezhető éghajlatváltozás egyes elemei közül elsősorban a rövid idő alatt lezúduló özvízszerű esőzés és az orkánerejű szélvihar az, amely az utakra és az azon lebonyolódó közlekedésre különösen hátrányos hatást gyakorol. Néhány ezzel kapcsolatos hazai eseményt idézünk fel a továbbiakban, majd ebből a jövőre vonatkozó feladatokat vezetünk le.

AZ ORKÁNSZERŰ SZÉL BEFOLYÁSA

Az elmúlt években hazánkban egyre gyakoribbá vált a narancs, sőt a piros riasztás. Ez utóbbi esetet „kiterjedt területeket érintő, nagy károkat okozó, és az emberi életet is nagyban fenyegető veszélyes időjárási jelenség” fenyegetésekor rendelik el (*Országos Meteorológiai Szolgálat*). Az extrém erejű (akár a 110 km/h-t meghaladó) szellőkések ilyenkor komoly pusztítást okozhatnak, amely egyebek mellett az útüggyel is kapcsolatos lehet:

– A folyó útépítések helyszínén, a készülő földmű vagy a pályaszerkezeti rétegek minőségét olyan mértékig leronthatja, hogy azok eltávolítása és újraépítése válik szükségessé.

– Útfenntartási vagy -felújítási tevékenységénél – amikor egyébként is kisebb-nagyobb mértékű forgalomkorlátozásra kerül sor – fokozott a balesetveszély, mivel a csökkentett számú forgalmi sávra, esetleg kerülőútra

kényszerülő járművek vezetői az orkán hatására elveszthetik járművük felett az uralmat.

– A „normál” közúti forgalom számára is jelentős úthasználói többletköltségeket okozhat, ha a hatalmas szél a gépkocsivezető látását (pl. a közeli földterületről a por felverésével) zavarja vagy fákat dönthet akadályként az útra.

A RENDKÍVÜL NAGY MENNYISÉGŰ CSAPADÉK HATÁSA

A bemutatott és említett narancs és piros riasztás egyik indokát a csapadékban megnyilvánuló szélsőségek szolgáltatják (*Országos Meteorológiai Szolgálat*). Ennek jellegzetes formái a következők lehetnek

a) zivatarok, amelyeket viharos szellőkés, intenzív csapadék vagy jégeső kísérhet;

b) akár felhőszakadás-szerű (rövid idő alatt 50 mm-nél nagyobb mennyiségű csapadékkal járó) esőzés;

c) folyamatosan, hosszabb időn keresztül lehulló, nagy területre kiterjedő, rendkívül nagy mennyiségű eső;

d) tartós, intenzív ónos eső;

e) nagy mennyiségű hó (24 óra alatt 10 cm-es vastagságot meghaladó friss hó);

f) hófúvás (laza szerkezetű porhó, fagy-pont körüli vagy az alatti hőmérséklet, viharos szél egyidejű megléte esetében).

A felsorolt szélsőséges időjárási események közvetlenül befolyást gyakorolnak az utakra, illetve az azokon folyó közlekedésre, a következők szerint:

ad a) A viharos szellőkéséssel – esetleg jégesővel – kísért zivatarok az úton folyó építési, felújítási vagy fenntartási munkákat nemcsak a csapadék ideje alatt teszik lehetetlenné, hanem utána is olyan helyzetet teremthetnek, hogy a földmű vagy egyes útpálya-szerkezeti rétegek kiszáradását a vállalkozónak meg kell várnia. Jégeső a szabadban tartózkodó dolgozók testi épségét, illetve a berendezések állagát veszélyezteti.

ad b) A felhőszakadás az út környezeti feltételeitől – domborzati viszonyoktól,

talajjellemzőktől, a víztelenítési rendszer kiépítettségétől és állapotától, egyéb hidrológiai tényezőktől – függően akár hirtelen árvizet is okozhat. Ennek következtében pedig – a vízréteg vastagságától függően – a személygépjárműveknek, vagy akár minden közúti járműnek a közlekedését lehetetlenné teszi. Emellett hosszú távú kedvezőtlen hatásokkal is számolni kell, mivel az árvízzel elöntött földmű és pályaszerkezet rövidebb vagy hosszabb távú minőségromlást szenved, amelynek következtében valamilyen időtartamú forgalomkorlátozás és/vagy az út pályaszerkezetének (akár a földmű felső rétegét is érintő) cseréje válik szükségessé. Ez az utat elöntő árvíz veszélye akkor is fennáll, ha az úthoz közeli vízfolyás vízgyűjtő területén alakulnak ki olyan heves, akár ismételt felhőszakadások, amelyek a vízfolyáson rendkívüli árhullámot indítanak el, ez pedig az út időleges elárasztásához vezethet.

ad c) A folyamatosan zuhogó eső a b pontban említettekhez hasonló hátrányos következményekkel jár az útpályaszerkezet állapota, illetve a közúti közlekedés zavartalansága szempontjából. Egyetlen említésre méltó különbség, hogy ebben az esetben az érdekeltek (úttulajdonosok, útkezelők, vállalkozók, úthasználók stb.) számára a „vészhelyzetre” való felkészülésre több idő áll rendelkezésre.

ad d) Az ónos eső következményeként, egyebek mellett, az útburkolatok felületére akár 4-5 mm-es vastagságot is elérő jégbevonat rakódhat. Ez pedig jégpályává változtathatja az utakat, a közlekedésben jelentős mértékű fennakadásokat okozva, illetve súlyos balesetveszélyt váltva ki. Az említett probléma különösen akkor tekinthető komolynak, ha az utat használók előzetesen nem értesültek a meteorológiai riasztásról, illetve „nem az útviszonyoknak megfelelően közlekednek”. Az ónos eső következtében a fákra rakódó jég jelentős súlytöbbletet okoz, az ilyenkor megerősödő vagy viharossá fokozódó szél nagyobb faágakat törhet le, vagy pedig akár fákat törhet ki. Ezek következményeként pedig a közúti forgalom biztonsága csökkenhet, az utat akár időlegesen le kell zárni a forgalom elől.

ad e) A nagy mennyiségű hó az útpályára jutva eleinte a gépjárművek számára a csúszásviszonyokat változtatja meg kedvezőtlenül, a hőmennyiség halmozódásával pedig egyre több közúti járműtípus számára nehezíti meg, illetve válik lehetetlenné az út igénybevétele. Ezek a nehézségek fokozottan jelentkeznek a domb- és a hegyvidéki területeken húzódó, nagyobb hosszúságú szakaszokon. Hatékony síkosságmentesítő és hőeltakarító tevékenység az említett problémák érdemleges enyhítését vagy akár teljes megoldását teheti lehetővé.

ad f) Az intenzív hófúvás a közúti közlekedés egyik legnagyobb ellensége. Amennyiben a porhó, a fagypont körüli hőmérséklet és a viharos szél a hófúvás előfeltételeiként rendelkezésre áll, akkor az úthálózat azon szakaszain áll fenn az útpálya felett akár több méteres magasságú hótorlaszok kialakulásának a veszélye, amelyek sekély bevágásban vannak. A torlaszok a közúti járművek elhaladását tökéletesen lehetetlenné teszik. Már a hótorlaszok kialakulását megelőzően is a gépjárművek vezetői számára komoly forgalombiztonsági kockázatot jelent, hogy a felszínről felkavart hó következtében a látástávolság jelentős mértékben – akár 50 m-esre is – csökkenhet. A magas hótorlaszok eltávolítása a hókotrók és hómarók számára nehéz (sokszor szinte megoldhatatlan) feladat, amit még az a tény is súlyosbít, hogy a nem csilapodó szél az eltakarított útpályára megint ráhordja a havat, újabb hótorlaszt emelve. Sokkal hatékonyabb megoldás a hófúvásra veszélyeztetett útszakaszok előzetes védelme hóvédő erdősávok vagy a padkán kívül, az úttal párhuzamosan elhelyezett mobil hóvédőművek kihelyezésével.

AZ ELMÚLT IDŐSZAK IDŐJÁRÁSÁNAK NÉHÁNY JELLEMZŐJE

Ha a közelmúlt (2010. április 5. – június 23.) hazai időjárását vesszük röviden vizsgál-

lat alá abból a szempontból, hogy az utakat, illetve az azokon folyó közlekedést befolyásoló jelenségek milyen sűrűn fordulnak elő, akkor azok egyértelmű sűrűsödéséről beszélhetünk. Sőt, korábban egyáltalán nem tapasztalt szélsőségek is jelentkeznek. (Megjegyzésre érdemes, hogy ez nem magyarországi sajátosság, hanem világtendencia.)

Az 1. táblázat bemutatja a 2010. április 5. – június 23. közötti időszak sárga és piros riasztásait, megjelölve a veszélyesnek ítélt meteorológiai jelenséget, valamint az ország azon körzetét, amelyet ez érintett. Látható, hogy az előzőekben említett események közül a viharos szellőkésések és a zivatar jellegű csapadékok okozták a leggyakoribb problémát. Említésre méltó az is, hogy a szélsőséges időjárási események leggyakrabban a Dunántúlon (is) következtek be. Különösen a június hónap második felére jellemző, hogy szinte naponta kellett piros riasztást kiadni a hatalmas felhőszakadások miatt, amelyeket gyakran jégeső is kísért. Emellett május második fele volt meglehetősen szélsőséges időjárású.

A 2. táblázat a 2009. év ugyanezen időszakában szemlélteti a meteorológiai riasztásokat. Szemmel látható, hogy az idei év jelentős romlást hozott ebben a tekintetben.

Az említett idei májusi viharok és a sok csapadék a környező országokra is jellemző volt, így a Szlovákiában, Ukrajnában és Romániában lezúduló nagy mennyiségű eső számos magyarországi folyó vízgyűjtő területén olyan mértékű árvizet indított el, amelynek következtében több hazai folyón (pl. Sajó, Bódva, Hernád) soha nem látott magasságú vízszint alakult ki. Az intenzív védekezés ellenére ez a kezelhetetlen mennyiségű víztömeg számos helyen az ártéren kívül is településeket és számos útszakaszt öntött el. Az országos közúthálózatot és a helyi (önkormányzati kezelésű) közúthálózatot több tíz milliárd forint értékű kár érte. Ennek pontos felbecsülése, illetve a szükséges javítási intézkedések meghozatala a legközelebbi jövő feladatát képezi.

1. táblázat

Meteorológiai riasztások a 2010. április 5. és június 23. közötti időszakban

Dátum	Riasztás szintje	Riasztás oka	Területre vonatkozó
2010. április 5.	Sárga	60 km/ó-s széllelés, sok csapadék	Dunántúl
2010. április 22.	Sárga	60-70 km/ó-s széllelés, csapadék	Dél-Dunántúl, északnyugati körzet, Nyugat-Dunántúl
2010. május 7.	Sárga	Viharos erejű szél, eső, jég	Egész ország területe, a délnyugati körzet kivételével
2010. május 11.	Narancs	Eső, felhőszakadás	Ország egész területe
2010. május 14.	Piros	Viharos szél, 110 km/ó-s sebességgel	Közép-Dunántúl
2010. május 15.	Piros	Széllelések sebessége 110 km/ó	Közép-Dunántúl
2010. május 16.	Piros	Széllelések sebessége 100 km/ó	Észak-Dunántúl, Közép-Dunántúl
2010. május 21.	Sárga	Zivatarok	Nyugat-Dunántúl
2010. május 25.	Piros	90 km/ó-s sebességű szél, heves zivatarok, jég	Közép-Magyarország
2010. május 31.	Piros	60 km/ó-s sebességű szél, felhőszakadás	Közép- és Dél-Dunántúl, Észak-Magyarország
2010. június 1.	Piros	Felhőszakadás	Északi, középső, délnyugati országrész
2010. június 8.	Piros	Heves zivatarok	Északi, középső, délnyugati országrész
2010. június 10.	Piros UV-riasztás	Kánikula	Alföld, Dél-Dunántúl
2010. június 17.	Piros	Zápor, zivatar 40 mm-nyi csapadékkal, jég	Budapest, Kelet-Magyarország, Dunántúl északi része
2010. június 18.	Piros	Felhőszakadás, szél, 80-90 km/ó-s sebességgel	Borsod, Tolna, Pest, Csongrád megye Kelet-Magyarországon szupercella
2010. június 19.	Piros	Felhőszakadás, jégeső	Dél-Alföld
2010. június 21.	Piros	Felhőszakadás, jégeső, 90 km/ó-s sebességű szél	Dél-Alföld
2010. június 22.	Piros	Zivatar, jégeső, 90 km/ó-s sebességű szél	Kelet-Magyarország
2010. június 23.	Narancs	Vihar, 90 km/ó-s sebességű szél, sok csapadék	Nyugat-Dunántúl, Dél-Dunántúl, Dél-Alföld

2. táblázat

Meteorológiai riasztások 2009. április 5. és június 23. között

Dátum	Riasztás szintje	Riasztás oka	Területre vonatkozó
2009. május 16.	Narancs	Heves zivatar	Közép-Dunántúl
2009. május 22.	Narancs	Viharos erejű szél	Dél-Dunántúl
2009. június 6.	Narancs	Zivatar, 80 km/ó-s sebességű széllel	Észak-Magyarország, Észak-Alföld
2009. június 11.	Piros	Tornádó, zivatar	Adács
2009. június 23.	Narancs	Zivatar	Észak-Magyarország, Nyíregyháza

AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁSBÓL SZÁRMAZÓ ÚTÜGYI FELADATOK

Külföldi példák

A feladat jelentőségét érzékelteti, hogy az *Útügyi Világszövetség* A1-es „A környezet megóvása” elnevezésű munkabizottsága a klímaváltozás közlekedési infrastruktúrára gyakorolt hatását vizsgálja 2008 óta (*Hunyadi, 2010*).

Az Amerikai Egyesült Államokban a Mexikói-öböl menti államok átlagos tengerszint feletti magassága csupán 30 m (*Savonis, 2008*), ezért az időjárás szeszélyeinek fokozottan ki vannak téve. Pedig ez a körzet rendkívül nagy gazdasági jelentőséggel bír, mivel az ország olajimportjának közel kétharmada az északi körzetek felé ezen a területen halad keresztül. 61 repülőtérrel közül 11 kereskedelmi funkciókat is ellát. A közelmúltban a klímaváltozásnak négy jelét tapasztalták: a hőmérséklet emelkedése; a csapadék intenzitásának és gyakoriságának megváltozása; a tenger vízszintjének emelkedése; a szélviharok erősségének és gyakoriságának megváltozása. A megnövekedett hőmérséklet hatására a mai felhasznált anyagok és technológiai eljárások gyorsabb ütemben mennek tönkre, kevésbé tudják a szélsőséges hőingadozásokat elviselni. A nagyobb intenzitású csapadék gyakoribb árvizeket okozhat, a csapadékvíz-elvezető hálózatok nem lesznek képesek a hirtelen, nagy mennyiségben lezúduló csapadékvíz elvezetésére. Az áradások időtartama meghosszabbodik, emiatt akadózik a közlekedés, ezenkívül jelentős útépitési károk keletkeznek. Szimulációs modellek segítségével megállapították, hogy a tenger vízszintjének 122 cm-es emelkedése esetén a főutak 27%-a, a vasútvonalak 9%-a, illetve a kikötők 72%-a kerülne víz alá. A szélvihar erősségének növekedése következtében a szökőárhullámok akár a 7 m-es magasságot is elérhetik, amikor a főutak és a vasútvonalak közel fele, 29 repülőtér és az összes kikötő tengervízszint alá kerülne. Érthető az amerikai szakemberek aggodalma és rendkí-

vüli erőfeszítése a hatalmas kihívásnak való megfelelés érdekében.

Skóciában 2004-ben addig soha nem látott méretű esőzések alakultak ki, amelyek hatalmas földcsuszamlásokhoz vezettek (*Burton, 2008*). Ennek hatására az úthálózaton jelentős károk keletkeztek, a sártenger által elsodort embereket csak helikopterek segítségével tudták kimenteni. Egy-egy nagy forgalmú autópályát 2-4 napig teljes mértékben le kellett a forgalomtól zárni. Az okokat kutatva megállapították, hogy Skóciában a közelmúltban az átlagos hőmérséklet 1 °C-kal megnövekedett. Emellett a csapadék mennyiségében és intenzitásában is olyan változások következtek be, amelyek miatt számos felszíni víz-elvezető rendszer már nem képes funkcióját ellátni, az áradások száma megnövekedett, a csőátereszek keresztmetszete elégtelennek bizonyult. A 100 éves gyakoriságú árvízre történő méretezés, tapasztalataik szerint, ma már nem elegendő, hiszen ennél lényegesen gyakrabban fordulnak elő hatalmas árvizek. A hirtelen feltámadt szélvihar vagy monszun jellegű esőzések hatására a gépjárművezetők látótávolsága lecsökken (akár meg is szűnhet), ugyanakkor a járművek gumibroncsa és az útpálya közötti tapadó képesség erősen csökken. Megállapították azt is, hogy Skóciában a hóeséses napok száma – feltehetően a globális felmelegedés hatására – újabban jóval kisebb, mint korábban.

A hazai tevékenység

A *KTI Közlekedéstudományi Intézet Non-profit Kft.* 2009-ben – a Közlekedési, Hírközlési és Energiaügyi Minisztérium megbízásából – az „Intézkedési terv a hazai közlekedés éghajlatváltozásra való felkészítéséhez” tárgyú komplex témát művelte. Ennek során a cikk szerzője, mint a téma egyik részének művelője, áttekintette az útügyi tárgyú szabványokat és műszaki előírásokat abból a szempontból, hogy azokban – az éghajlatváltozás kihívásaira válaszul – milyen módosítások válhatnak szükségessé. Néhány a javasolt változtatások közül:

– Az úttervezési előírások közül a minimálisan előírt oldalesést célszerű megnövelni, hogy az útpályára kerülő nagy csapadékmennyiség mihamarabb eltávozhasson a víztelenítő rendszerbe.

– Az eddigieknél kisebb rézsűhajlások alkalmazásával csökkenthető annak veszélye, hogy a rézsű felületét a hirtelen lezúduló, nagy mennyiségű csapadék károsítja, illetve anyagát megbontja; emellett a hatékony rézsűvédelemnek megnövekedett a szerepe.

– A közutak víztelenítésének tervezésekor, a mértékadó csapadékintenzitás gyakoriságának felvételekor az időközben sűrűbbé és súlyosabbá váló jelenségeket messzemenően figyelembe kell venni.

– A csatornába kerülő vízmennyiséget olyan eséssel kell elvezetni, hogy a meder anyagát a víz mozgási energiája ne tudja megbontani.

– A felszín alatt áramló víz elleni védelemül a geomóanyagok alkalmazása egyre nagyobb szerephez jut.

– A földmű oldalesésének kivitelezésekor biztosítandó 4%-os értékét meg kellene növelni annak érdekében, hogy azok felülete az útépitések alkalmával jelentkező monszunszerű esőzések hatalmas vízmennyiséget rövid idő alatt le tudja vezetni; ennek az odalesésnek azonban gátat szab a lefolyó víz nagyobb mozgási energiája, amely a földmű anyagát megbonthatja.

– A hidraulikus kötőanyagú alaprétegekben a környező hőmérsékletnek a klímaváltozás következtében a korábbiaknál gyorsabb változása repedéseket hozhat létre, ezt a tényt pedig az alaprétegek tervezésekor hangsúlyozottan tekintetbe kell venni.

– Az aszfaltkeverékek és -rétegek tervezésekor az éghajlatváltozás várható következményei miatt a következő elemeket indokolt hangsúlyozottan figyelembe venni: az egyes igénybevételi kategóriák, az aszfaltok szélsőséges (nagyon magas vagy nagyon alacsony) hőmérsékleten való viselkedése, az

aszfaltkeverékek reológiai tulajdonságainak időjárási elemektől függő értékei, illetve a vízáteresztő (porózus) aszfaltok alkalmazási kérdései, illetve azok időállósága.

– A betonburkolat merevségének következtében ennél a burkolattípusnál a szélsőségesen magas burkolathőmérséklet kedvezőtlen hatást nem gyakorol; építésük során azonban a magas léghőmérséklet problémát jelenthet, és megnehezítheti a kivitelezést; ezért a betonburkolat utókezelésének időben történő és lelkiismeretes végrehajtása központi kérdéssé válik, a vadrepedések kialakulásának megakadályozása érdekében.

– A betonburkolat üzemelése során az éghajlatváltozásból származó, növekvő hőmérsékleti gradiens értékek, valamint a hirtelen leesett csapadék rövid idejű kiszáradásának következményeként létrejövő, alakváltozásból eredő feszültségek is többlet-igénybevételt jelenthetnek; ezt a tényt pedig a méretezési tárgyú műszaki előírás tervezett módosításakor célszerű figyelembe venni.

– A közutak menti fásítás szabályozása kapcsán – az özönvízszerű esőzések korábbiaknál gyakoribbá válása következtében – kisugarú útszakaszokon a fa ültetésére nagyobb oldaltávolságot célszerű választani, ugyanez igaz a meglévő utak melletti faültetésre, mivel az intenzív esőzések alkalmával a járművek kisodródásának, illetve vízen csúszásának (aquaplaning) esélye megnövekszik.

– A különböző (aszfalt- és betonburkolatú) utakon végrehajtandó ellenőrzések gyakoriságát célszerű megnövelni, mivel a klímaváltozás gyakrabban okozhat veszélyhelyzetet.

– A téli útüzemeltetés során fel kell arra készülni, hogy nagy hideg sűrű hóeséssel és viharos széllel kombinálva jelentkezik, ilyenkor az alkalmazott olvasztószer kiválasztását ez a szélsőséges időjárási jelenség befolyásolhatja és korlátozhatja; a nagy szél az olvasztósó egyenletes elterítését is akadályozza, az oldatban adagolt olvasztószernek kerülnek előtérbe.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

(1) A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A KvVM-MTA „VAHAVA” projekt összefoglalása. A magyarországi klímapolitika alapjai. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, Budapest, 2006, 66 p. (2) Az Országos Meteorológiai Szolgálat publikus riasztási rendszere. http://www.met.hu/riasztas/riasztas_ismerteto.html (3) BURTON, J. (2008): Scottish Road Network Landslides Study, 2005 – kutatási jelentés alapján. A PIARC A1 bizottság ülésén elhangzott előadás, Glasgow, 2008. október (4) GÁSPÁR L. (2006a): A klímaváltozás útburkolatokra gyakorolt hatása. „AGRO-21” Füzetek 47. sz. 31-39. pp. (5) GÁSPÁR L. (2006b): Az útburkolatok és a klímaváltozás. (Panel-beszélgetés a VAHAVA-projekt zárókonferenciáján.) „AGRO-21” Füzetek, 48. sz. 49-52. pp. (6) GÁSPÁR L. (2007): A klímaváltozás és az útburkolatok. Közúti és Mélyépítési Szemle, 3. sz. 1-6. pp. (7) HUNYADI D. (2010): A klímaváltozás hatása a közlekedési infrastruktúrára. Közlekedéscsökkentési Szemle, 3. sz. 35-38. pp. (8) Intézkedési terv a hazai közlekedés éghajlatváltozásra való felkészítéséhez. A KTI Nonprofit Kft. 252-041-1-9 számú témájának zárójelentése. Budapest, 2009. 31 p. (Témafelelős: Bodor Péter Aladár, résztéma-felelős: Dr. Gáspár László) (9) SAVONIS, M. (2008): Impacts of Climate Change and Variability on Transportation Systems and Infrastructure: Gulf Coast Study, Phase. I, U.S. Climate Change Science Program, 2008 – kutatási jelentése alapján. A PIARC A1 bizottság ülésén elhangzott előadás, Párizs, 2008. március.

ÁLTALÁNOS KATASZTRÓFAVÉDELMI RENDSZERMODELL KONCEPCIÓJA

BUKOVICS ISTVÁN

Kulcsszavak: katasztrófavédelem, rendszermodell, koncepció, stratégia, feladatok.

ÖSSZEFOGLALÓ MEGÁLLAPÍTÁSOK, KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A tudomány által feltárt tartalékokra, kihívásokra figyelemmel, új stratégiai célok fogalmazhatók meg a katasztrófavédelemben:

- A lakossági elégedettség növekedése, a polgárközeliség erősödése.
- A minőségorientált biztonság szolgáltatása.
- A minőségi, fenntartható fejlődés, fenntartható biztonság.
- Az integrált rendvédelmi képesség, korszerű irányítási és tervezési modellek alkalmazása.
- A partnerségi viszony javítása a formális és informális közösségekkel.
- A problémamegoldó szolgáltatás felé elmozdulás.
- A legjobb gyakorlat (best practice) alkalmazása.
- Az intelligens, innovatív biztonság.

A részben a már folyamatban lévő, részben az új súlyponti feladatok alkotják a katasztrófavédelem stratégiai menedzsmentet, amely több, egymást kiegészítő párhuzamos, valamint egymásra épülő kisebb projektek és nagyobb programok együttese. Ezek folyamatos megtervezését, menet közbeni kontrollját, értékelését, eredményeik gyakorlatba ültetését és PR-ját a stratégiai menedzsment eszköztárával célszerű irányítani.

– Indokolt létrehozni a klímaváltozással kapcsolatos katasztrófavédelmi események, intézkedések adatbázisát (elektronikus dokumentációját).

– Tudományos forrásokból célszerű folyamatosan átvenni a meghatározó globális, valamint Kárpát-medencei és országos klímaváltozási jellemzők, trendek, valamint meteorológiai adatok adatsorait.

– A bázisokban rendszerezett információkat célszerű térinformatika és egyéb elemző szoftverekkel tárolni, rendszerezni és demonstrálhatóvá tenni.

– Számba szükséges venni, rendszerezni és pontosítani a klímaváltozásból eredeztethető katasztrófavédelemmel összefüggő kihívásokat (már ható és lehetséges fenyegetéseket).

– Különös figyelmet érdemel újszerű kockázatelemző módszer alkalmazása a lakosságvédelemben.

– A klímaváltozás hatásai miatt szükségessé váló módosító, jogszabályi háttér időszakonkénti megfogalmazása.

– Szervezetfejlesztésben az irányító- és vezetési rendszer, valamint a humánerőforrás (oktatás-továbbképzésen kívül eső) fejlesztését megalapozó koncepciók klímaváltozással kapcsolatos követelményeinek lefektetése.

– Műszaki fejlesztések, beruházások (pl. speciális gépkocsik, oltó és műszaki mentő felszerelések, speciális kárterület-felderítő, -mentő eszközök, monitor-rendszerek és/vagy

elemeik, hordozható klímaberendezések, különböző teljesítményű szivattyúk és légcserélő berendezések, hőszigetelt sátrak és konténerek, vízi járművek stb.), felszerelések beszerzése (pl. különböző célokra szolgáló védőruházatok, hőszigetelő anyagok, kánikula-elsőségy felszerelések, vízi személyi mentőeszközök stb.).

– Az új feladatokhoz új módszerek, taktikai eljárások kidolgozása, alkalmazásba vétele.

– A katasztrófavédelmi oktatás, (tovább)képzés, valamint kutatás tervezése és gyakorlatban történő alkalmazása.

– A lakossági és intézményi felkészítés, tájékoztatás, kríziskommunikáció új feladatainak meghatározása, figyelemmel arra, hogy a megoldás a társadalomban valósul meg, melyben fontos a média közvetítő szerepe.

– Kiemelt figyelmet igényelnek a nemzetközi együttműködések, illetve a nemzetközi szervezetek iránymutatásai, direktívái, határozatai, szakmai tájékoztatásai, ezek rendszeres értékelése, döntés-előkészítő folyamatokba történő beillesztése, különös tekintettel az EU-tagságra.

BEVEZETÉS

A globális klímaváltozás ma már általánosan felismert jelenség, amely kialakulásában jelentős szerepe volt és van az emberi tevékenységnek. Megfigyelhető, hogy a nemzetközi politikai, szakpolitikai és diplomáciai egyeztetések kétségtelenül hoztak némi eredményt, de az eddig elhatározott és ténylegesen végrehajtott intézkedések hatásai messze elmaradnak attól, amit a probléma megoldása szükségessé tenne.

A klímaváltozás és a biztonság kapcsolata szoros, mind elméletben, mind gyakorlatban.

A védelmi szakterület számára a lakosság és a környezet biztonsága érdekében már most is aktuális a káros hatások elleni védekezés megszervezése és felkészülés a jövőbeni hatások eredményes kezelésére.

A globális klímaváltozás olyan problémakör, amelyhez hasonlóval az emberiség még nem találkozott. A közvélemény rendkívül sok és esetenként szélsőséges információt kap, és így a közvélekedés sem reális. Érdemes felidézni *Czelnai Rudolf* akadémikus súlyos szavait, aki hosszú ideig a *Meteorológiai Világszervezet* tudományos program-főigazgatója volt, és ma elismert klímaszakértő: „A klímapolitika összességét figyelembe véve azt lehet mondani, hogy a kutatási tö-

rekvések, amelyek a Föld működésének jobb megértésére irányulnak, eddig nevétségesen komolytalanok. Eppen ideje, hogy rájőjjünk, sokkal komolyabb erőfeszítésekre van szükség, és mindenekelőtt hosszabb távú stratégiai gondolkodásra.” Tehát amikor azt mondjuk, hogy az ún. hagyományos tűz-, polgári és katasztrófavédelmi feladatok mellett a már nem túl távoli jövőben komoly kihívásokkal kell szembenéznünk, egyáltalán nem túlzunk. Ezek közül kétségtelenül kiemelkedik a klímaváltozás biztonsági, katasztrófavédelmi kérdése, amely még a pillanatnyilag távolinak tűnő további új vagy újszerű problémákra is kihat, mint a kritikus infrastruktúra védelme, a nemzetközi terrorizmus, a veszélyes anyagok kockázata, vagy az illegális migráció.

Magyarországon a *Láng István* akadémikus által vezetett VAHAVA Program és az ennek mintegy szerves folytatásaként végzett kutatások, kiemelten az ADAM és a „Felkészülés a klímaváltozásra: környezet – kockázat – társadalom” című projektek egyrészt megteremtették a témakörrel összefüggő további tudományos kutatások feltételeit, miszerint a tudomány már nemcsak az események, dolgok követésére alkalmas, hanem proaktív is tud lenni. Másrészt megteremtették különböző kormányprogramok és stratégiák tudományos alapjait.

A PROBLÉMAKÖR AKTUALITÁSA

A Borsod-Abaúj-Zemplén megye területén 2010. május–június hónapban kialakult árvízi veszélyhelyzet elemzésének fontosabb megállapításai:

- A 2010. májusi összetett okú árvíz olyan extrém eseménynek bizonyult, amelyre az elmúlt évszázadokban nem volt precedens. A védelmi szervezetek, rendszerek és maga a társadalom sem volt felkészülve ilyen nagyságrendű, ismétlődő és elhúzódó csapásra. Mindezek ellenére a szintén példátlan társadalmi összefogással és jelentős áldozatvállalással ugyan, de összességében eredményes védekezésről, kárelhárításról beszélhetünk.

- Magyarország természeti és civilizációs katasztrófák elleni védekezésének jogszabályi alapjai, keretei rendezettek, figyelemmel azonban, hogy ezek 10-15 évvel ezelőtti állapotot tükröznek, felülvizsgálatra szorulnak. Egyesíteni, egyszerűsíteni és a vonatkozó jogszabályok számát csökkenteni szükséges. A párhuzamos irányítási rendszereket meg kell szüntetni. Mindezek legalább három alkotmányos jogot érintenek.

- A KKB összehívása, működtetése indokolt, döntései, javaslatai, időbelisége jó volt. Ezek dokumentálása és az információk gyors és pontos továbbítása esetenként akadozott.

- Az OKF a veszélyhelyzet-kezeléssel összefüggő feladatokat rutinszerűen indította, majd ahogy ismétlődött és eszkalálódott a problémakör, továbbá sokszereplőssé és bonyolulttá vált a helyzet, megbillent a védekezési menedzsment, amely kisegítésére időszerű és jó döntés volt az árvízvédelmi és újjáépítési miniszteri biztos kinevezése. A BAZ megyei Védelmi Bizottság alapvetően jól működött, jelentős problémák voltak viszont a helyi védelmi bizottságok jelentésénél. A polgármesterek többsége nem rendelkezik még a védekezés, védelmi szervezés alapismereteivel sem, az ezzel összefüggő jogszabályi kötelezettségeiket nem ismerik, így azok végrehajtása hiányos. A vízügyi közigazgatási szervek pedig nem rendelkeznek megfelelő kapacitással a szakmai segítségnyújtásra.

- A vizek kártételei elleni védelem érdekében szükséges feladatok ellátása – a védművek építése, fejlesztése, fenntartása, üzemeltetése, valamint a védekezés – az állam, a helyi önkormányzatok, illetve a károk megelőzésében vagy elhárításában érdekeltek kötelezettsége. Jogszabály alapján a vízügyi igazgatási szervezetek feladata a mezőgazdasági, vízgazdálkodási célokat szolgáló vízi létesítmények kivételével a folyók vízkár-elhárítási célú szabályozása, a kettőnél több települést szolgáló vízkár-elhárítási létesítmények építése, ezek, valamint az állam kizárólagos tulajdonában lévő védművek fenntartása és fejlesztése, továbbá azokon a védekezés ellátása. A helyi önkormányzatok feladata a legfeljebb két település érdekében álló védművek létesítése, a helyi önkormányzat tulajdonában lévő védművek fenntartása, fejlesztése és azokon a védekezés ellátása. Továbbá a település belterületén a patakok, csatornák áradásai, a csapadék és egyéb vizek által okozott kártételek megelőzése, a védművek építése, fenntartása, fejlesztése, és azokon a védekezés ellátása, valamint a vizek kártételei elleni védelemmel összefüggő, külön jogszabályban meghatározott feladatok ellátása. Szintén a jogszabály alapján a vizek kártételei elleni védelem érdekében szükséges állami vagy helyi önkormányzati feladatkörbe nem tartozó tevékenységek ellátása az érdekelt tulajdonosok, illetve az ingatlantlan egyéb jogcímen használók feladata. A fentiekből következik, hogy a helyi lakosok polgárvédelmi szervezetbe való szervezése, felkészítése és így azok ismeretei nem megfelelőek.

- A tájékoztatás a katasztrófavédelmi szervek számára jogszabályi kötelezettség, ezért azt szakszerűen, a meteorológiai jelentésekkel egyező terminológia alkalmazásával kell a közvélemény felé folytatni. A tájékoztató kötelezettsége ugyanakkor a lakosság részéről is joggal várható el, hiszen csak az adott fenyegetés tudatában képes a polgár megfelelő módon a katasztrófák megelőzésében, elhárításában együttműködni. Így adott esetben a lakosságnak is közre kell működni a védelem-

ben, melyhez szükséges a megfelelő előzetes tájékoztatás és a veszélyeztetett településeken gyakorlatok tartása. Ezzel összefügg, hogy a polgármesterek számára kívánatos lenne aktualizált szakmai kiadványok összeállítására.

- A BAZ megyei katasztrófavédelmi igazgatóságon ebben az időszakban súlyos humán erőforrás-problémák voltak. Nem volt feltöltve a miskolci polgári védelmi kirendeltség vezetői beosztása, hiány volt további hét státuson, és a megyei igazgató-helyettes éppen egészségügyi szabadságon tartózkodott. A fennálló kormányzati létszámstopp tovább nehezítette a helyzetet. A létszám-helyzet megerősítését nehezítette, hogy ebben az időszakban tizenhét megyében volt kisebb-nagyobb védekezés.

- A BAZ megyei veszélyhelyzet-kezelés egyik legnehezebb és egyben legneuralgikusabb pontja a logisztikai feladatok végrehajtása. A védekezésben kialakult elhelyezési, ellátási, valamint a védekezéshez szükséges anyagok biztosításának területén létrejött problémák elsősorban a megfelelő logisztikai háttér hiányára, a tervezési, szervezési, valamint az információáramlási és együttműködési hiányosságokra vezethetők vissza. Az elhelyezési feladatok megoldásának problémáit elsősorban a fektető anyagok hiánya, a rossz egyeztetés és információcsere, valamint a folyamatosan változó védekezési helyzetből adódó anomáliák idézték elő. A különböző logisztikai rendszerek együttműködését hátrányosan befolyásolják a logisztikai rendszerek eltérő működési sajátosságai és technikai adottságai, valamint a különböző híradó, informatikai és kommunikációs rendszerek. Megállapítható, hogy hiányoznak a katasztrófák elleni védekezés logisztikai szakágának jogszabályi alapjai, nem tiszták a hatás- és feladatkörök. A szervezetek logisztikai felkészültsége, képessége rendkívül eltérő és különböző színvonalú. Nem érvényesül az egyenszilárdság elve. Ezt a problémát nehezen tudták csupán szervezéssel kompenzálni. A fogyó anyagok vagy új igények biztosítása külön nehézséget okozott, nem voltak erre helyileg felkészülve.

A befogadással kapcsolatos feladatok alapvetően megfelelően kerültek végrehajtásra. Nehezítette a feladatok megszervezését a körülmények gyors változása, az utak járhatóságához való alkalmazkodás. A tervezést és az elszámolást nehezíti az a körülmény, hogy a szervezetek eltérő pénzügyi normatívával számolnak.

- A helyi polgári védelmi szervezetek képzettsége alacsony színvonalú volt, anyagi-technikai felszereltségük, képességük nem volt arányos a védekezési elvárásokkal. Szembetűnő volt a helyi szintű felkészültségi hiányosság, amelyet még fokozott az információ hiánya, vagy annak szakmai tartalmának pontos értelmezése. A helyi védelmi tervek részben hiányoztak, vagy csak formálisak voltak. A feszített feladatvégzés közben nem fordítottak kellő figyelmet a tevékenységek megfelelő dokumentálására. Rendelkezőnek számlákkal, átvételi elismervényekkel, de ezek indokoltsága, felhasználásuk módja nem követhető. A védekezési költségeket jelentősen befolyásolták a piaci, profitérdekelt-ségű viszonyok, amelyeket a jövőben, a megelőzési időszakban kezelni szükséges.

- Az önkéntes, karitatív szervek kiegészítő, hiánypótló tevékenysége többségük szakmai felkészültsége és gyakorlati tapasztalata alapján fontos és jó volt. Azokkal a szervezetekkel szemben, amelyek állami támogatást kapnak, elvárható lenne a magasabb igénytámasztás. Fontos továbbá a megfelelő koordinálásuk, hogy ne forduljon elő kettős vagy hiányos lakossági támogatás.

- A szakmai kommunikáció műszaki feltételei alapvetően megfelelőek voltak. Mivel nagyon bonyolult és sokszereplős volt a védelmi rendszer, előfordultak felesleges párhuzamosságok, félreértések. A tájékoztatás nem volt megfelelően összehangolt és kiegyensúlyozott, a szakmai információk nem voltak eléggé szakszerűek, pontosak és naprakészek, amit helyi szinten is felvetettek.

- A lakossági és médiakapcsolatok a szokott rutinnak megfelelően működtek, gyakoriságuk megnövekedett, módszerei hagyományosnak tekinthetők.

• Fejletlen a biztosítási rendszer, nem harmonizál az egységes védelmi, biztonsági környezettel.

A LEHETSÉGES VÁLASZOK

Figyelemmel a hagyományos és az új típusú kihívásokra, a nemzetközi kötelezettségekre, a globalizáció diktálta gyors és folyamatos alkalmazkodási és reagálási kényszerre, a biztonságkultúra, biztonság tudatosság társadalmi alapjainak hiányára, az eddig használt módszerek és technikák már nem elegendők. Válaszokat adhat a tudományos kutatások eredményeinek hasznosítása, a korszerű, a vállalkozó szférában bevált stratégiai tervezési és vezetési módszerek alkalmazása.

Tekintettel arra, hogy a katasztrófavédelem egyszerre interdiszciplináris és intersektorális szemléletet követel, szinte egyedüli megoldásként a tudományos módszerek sajátos lehetőségeit célszerű igénybe venni. Ebben a vonatkozásban a katasztrófavédelmi tudományra ajánlatos támaszkodni. A természeti és civilizációs katasztrófák elleni védelem területén folyó tudományos, tudomány-szervezési munkák célja, hogy e speciális módszerekkel segítse, javaslataival döntési helyzetbe hozza a szakmai, politikai vezetést.

A SORS-MODELL – EGY ÁLTALÁNOS RENDÉSZETI RENDSZERMODELL KONCEPCIÓJA

Két alapelv, amely egyben a stratégiai rendszer inputját is jelenti

– a felügyelt területre, helyszínre vonatkozó lehető legmagasabb rendű feldolgozott-ságú információ szükséges;

– a védendő területre és mindenkor körülményekhez legjobban alkalmazkodó rendvédelmi jelenlét megszervezése szükséges.

Ez utóbbi az ún. tesszcellációs sejtautomata rendszerekkel valósítható meg. A sejtautomata-kutatások *Neumann János* klasszikus munkáira alapulnak. Az ez irányú kutatásaink újszerű eredménye, hogy a logikai koc-

kázatelemzésen alapuló információszerzés és feldolgozás, valamint a sejtautomata elvű irányítási rendszer összekapcsolásával egy ettől látszólagosan távol álló, napi aktuális biztonsági probléma megoldható. A rendszernek a SORS munkanevet adtuk, a *Self-Organizing Raiding System* szavakból. A SORS-rendszer bizonyított szolgáltatásai:

– A rendszer önszervező és adaptív: felügyeleti struktúrája automatikusan átalakul, és öntanuló módon optimalizálja a funkcióit.

– A rendszer működési sebessége az informatikai háttér sebességével azonos, amely mindig nagyságrendekkel nagyobb, mint a veszélyt okozó terrorcselekmények sebessége.

– A SORS-rendszer rendelkezik a permanens önjavító képességgel, amely azt jelenti, hogy a sikeres lokális megoldáshoz szükséges állandó döntési kényszerhez a csupán lokális információ nem elegendő, hanem globális információkra van szükség. Ezt a követelményt a sejtautomata elven működő irányítási rendszer kiválóan tudja teljesíteni.

Az elmélet összefoglalása¹

Rendészeti műfaját tekintve a SORS-modell a proaktív felügyeleti rendszer egy ideáltípusa.²

¹ Az összefoglalás fogalmazásmódjának *prolepszise* a következő: Valamely tudományos munka összefoglalásának rendeltetésszerű működését három konfliktus akadályozza. Az első az érthetőség és a szabatoság összeférhetetlensége, a második az érthetőség és a technikalitás ellentéte, a harmadik pedig a technikalitás és az intuíció közötti konfliktus. A tudományos-fantasztikus irodalom (*Verne* Nautiluszától az *Ürodüsszeián* keresztül a *Robotzsaruig*) olykor legyőzi ezeket az akadályokat. És az egzakt tudomány olykor valóra tud váltani álmokat, víziókat, fantazmagóriákat. Az összefoglalás hangvételének mentségét *Ian Stewart* jelenti, aki *A természet számai* c. könyvének „A matematikai képzelet irreális realitása” alcímét adta, előszavában pedig álmairól írt. Szakmaiatlan fogalmazásmódjával kivédte a hármas konfliktust.

² Az „ideáltipikus” kifejezést *Max Weber*től kölcsönözöm.

Intuitív lényege, víziója a következő (a szemléletesség kedvéért ezúttal tudatosan mellőzve a technikai részleteket, sőt, a szakmaiság szigorú követelményeinek is engedményeket téve):

Egy olyan rendészeti felügyeleti rendszerről van szó, amelynek három főkomponense van:

- egy jól definiált struktúrájú hálózat, amely
- intelligens csomópontokból áll, amelyekben
- globális kommunikációs szabályok szerint lokálisan történik kockázatkezelés.

A SORS-rendszer működését számítógépes szimuláció illusztrálja és demonstrálja működőképességét.

Működésének alapja egy ún. genetikus algoritmus. Kijelölt funkciói a rendszer szerkezetének állandó megváltozása ellenére is fennmaradnak. Ilyen tulajdonságokkal tipikusan az élő önszervező rendszerek rendelkeznek (filogenetikus tanulás révén kisebb-nagyobb mértékben).

Működésének célja a természeti – különösen a klímaváltozással összefüggő – katasztrófák valós idejű kezelése. Ez az eljárás sem nem a mitigáció, sem nem az adaptáció módszerével dolgozik, hanem inkább egy kombinált stratégiai megközelítés aránymeghatározását célozza, egy önszervező optimalizálási algoritmus alapján.

A mitigáció a szokványos értelmezés szerint üvegházhatást növelő gázok kibocsátásának csökkentését célzó tevékenységeket jelenti, míg az adaptáció a környezet káros hatásaihoz való alkalmazkodást. A SORS-modell a biztonsági kockázatkezelésre a sejtautomata-elmélet mellett a nemvalószínűségi – logikai – kockázatkezelés módszerét alkalmazza. Ez utóbbi a hibafa-módszer egy továbbfejlesztett változata. Ennek paradigmájában a mitigáció közvetlenül nem értelmezhető, s ha a mitigáció-adaptáció kontextusában akarunk fogalmazni, akkor itt inkább a kettő optimális kombinációját célzó algoritmusokról beszélhetünk.

Mindenesetre leszögezzük, hogy az éghajlatváltozásról szóló (egyre élesedő) tudomá-

nyos-áltudományos vitáktól elhatárolódunk, tekintettel arra, hogy a SORS-modell értelme, alkalmazhatósága és haszna független az éghajlatváltozástól.

Az alapgondolat és előzményei

A rendszer alapgondolata három mondatban megfogalmazható ugyan, de természetesen fogalmi-technikai előzmények nélkül meglehetősen határozatlan:

- Alakítsunk ki a védendő helyszínen egy sejtautomata elvű önszervező hatásmo-dell-hálózatot.

- Tartozzék ennek minden pontjához (lokális komponenséhez, alközpontjához) egy explikált lokális biztonsági kockázatkezelő rendszer (logikai hibafa-modell), amely a komponens állapotáról valós idejű információt szolgáltat.

- Tartozzék továbbá minden ponthoz egy monitoring- (érzékelő), egy beavatkozó és egy ellenőrző rendszer.

A rendszer nem valamely leíró, hanem normatív modellen alapszik. Célja a modell fogalmi rendszerében értelmezett fenntartható biztonság megvalósítása (*Bukovics, 2006*). Természetesen nem magától értetődő, hogy ilyen rendszer

- egyáltalán létezhet-e;

- ha létezhet, megvalósítható-e;

- ha megvalósítható, milyen tárgyi, személyi és anyagi feltételei vannak?

A SORS-rendszer „*Self Organizing Raiding System*” („Önszervező Rajtaütési Rendszer”, illetve – akronim-hűen – Sejtautomata Organizációjú Rajtaütési Stratégiák) alapgondolata az alábbi felismerésekből, illetve meggyőződésekből származik, és több mint tíz éves kutatómunka eredménye (*Bukovics, 2007*).

(1) Minden rendészeti művelet (beleértve a katasztrófavédelmet és természet ellen folytatott stratégiai játékokat is) leggyengébb pontját rendszerint az információhiánnyal összefonódó szervezetlenség jelenti.³

³ *Teller Ede*: Hiroshima hagyatéka c. könyvében (amelynek fordítása a múlt század hetvenes

(2) A szervezetlenség elhárítására, a szervezettség helyreállítására az önszervező rendszerek a legalkalmasabbak.

(3) A mesterséges önszervező rendszerek – az önreprodukáló automaták formájában – mint sejtautomaták ismeretesek.

(4) A sejtautomaták a számítástechnika mai fejlettségi szintjén a gyakorlatban is alkalmazásra kerültek.

(5) Az NCW (Network Centric Warfare) hálózatközpontú hadviselési rendszerek NATO-beli megjelenése időszerűnek és biztatónak mutatja a SORS-modell alap gondolatát.

A SORS-rendszer szakirodalmi háttere és további részletei *Bukovics (2007)* dolgozatában található.

Az önszervező (adaptív automatikus iteratív irányítási) rendszerekkel szemben támasztott legfontosabb követelmény, hogy emberi intuíciótól függetlenül – sőt, adott esetben azzal ellentétesen, konstraintív helyzetekben – is működjék.

Leírásában ezért igen sok elvont, szemléletesen nem értelmezhető fogalom szerepel.

Kénytelen vagyok követni olykor a számítástechnikai programozási nyelvekben elterjedt jellegzetes, félszimbolikus „komment” írásmódszert és az ebből kényszerűen folyó magyartalan szóhasználatot, és jobb híján az angol szaknyelvi terminológiát.⁴

A SORS-MODELL KIALAKÍTÁSA

Helyszín és színhely

A helyszín, mint a SORS-rendszer legalapvetőbb fogalma, a modell szubsztrátuma

éveiben szigorúan bizalmas pártdokumentumnak számított) az USA védelmi és riasztási rendszerének hiányosságait és szervezetlenségét részletesen kifejti. Könyvében a legrészletesebben kidolgozta azokat a szervezési elveket, amelyeket egy totális atomcsapás esetén követni kell az USA feltételezett egész civilizációja teljes megsemmisülése esetén az újjáépítés érdekében.

⁴ Erre vonatkozó egyetlen mentségünk a következő: „A nyilvánvalóság mindig ellensége a szabatoságnak.” *Russell*, 124. old.

az, amelyre a biztonság fenntarthatóságát vonatkoztatjuk, amelyre a fenntarthatóság (normatív és nem leíró) modelljét alkalmazzuk. A helyszín az, ahol az események történnek, ahol olyan folyamatok zajlanak le, amelyek közül egyeseket fenn kell tartani, egyeseket meg kell változtatni (a logikailag lehetséges megszüntetést is beleértve).

Olyan helyszínekre alkalmazzuk a fenntarthatóság paradigmáját, amelyen a lejátsszódo változások tipikusan kaotikusak, kvázideterminisztikusak és egyediek. A helyszínen lejátszódo folyamatok egyidejűleg mutatják fel a helyváltoztatás és az állapotváltozás formáit. Ezen kettős és az önszervező rendszerek terminológiája szerint lokomotív és replikatív mozgásformák egységes kezelése jelenti az alkalmazásbeli sikerek zálogát.

A SORS-rendszerben a helyszín a színhely interpretációja, azaz a színhely a helyszín absztrakciója. Más szóval a színhely a helyszín explikátuma (*Carnap, 1950; Bukovics – Molnár, 2000*).

A helyszín az elmélet fogalmi keretei között lehet

- a Föld teljes felszíne;
- egy jól körülírható földrajzi egység: New York, London, New Orleans, Madrid, Felsőzsolca stb.;
- egy őserdő, egy árvíz vagy földrengés sújtotta település, egy szárazságtól tűzveszélyessé váló erdőrésztlet, egy vírusfertőzött terület;
- egy génkezelt gyomirtótűró repce gyomirtótűró gyomrokonával benépesített mezőgazdasági egység;
- egy repülőtéri váróterem kábítószer-csempész-gyanús tartózkodási területe;
- stb., stb.

Mindezekre való alkalmazás eredményessége attól függ, hogy a SORS-rendszer alkalmazójának mennyire sikerül megfeleltetni a helyszínnel a színhelyet (pontosabban a helyszín bizonyos adott tulajdonságait az állandóan fejlődő SORS-rendszerben a színhelyre vonatkozó tulajdonságoknak, illetve előírásoknak).

A színhely az, amit a SORS elméletében egy sejtter (sejtautomata) reprezentál.

A helyszín részei, rendszerkomponensei a sejtek.

A sejtter, átmeneti függvény és fogalomköre

A sejtter olyan azonos, véges, determinisztikus automaták – sejtek – homogén hálózat szerint összekapcsolt, órázott (szisztolikus) rendszere, melyben minden sejt közvetkező időütembeli állapota csak saját és szomszédai legutóbbi időütembeli állapotától függ. Hogy ez a függés milyen, azt a (lokális) átmeneti függvény szabja meg.⁵

A sejt a helyszín meghatározott részének absztrakciója (és ugyanakkor normatív modellje). A sejt interpretációja a helyszín meghatározott része⁶, egy háztömb, egy telekrész, egy vízzel elárasztott terület, egy metróállomás, egy kórterem, egy tárgyaló, egy banki ügyféltér, egy repülőtér várócsarnoka, egy üzemanyagtöltő állomás, egyszóval bármi, amelyen értelmezhetők, amelyre vonatkoztathatók a SORS-rendszer fogalmi és előírásai.

A sejtállapot: a SORS-modell jelen munkában ismerttetendő konkretizációjában egy 0 és 15 közötti szám, amely jelzi a sejt (interpretációját alkotó helyszínrész) fenyegetettségi fokát, fenyegetettségét.

⁵ Ezen intuitív megfogalmazás Fáy könyvéből vett idézet. Az ezen messze túlmenő egzakt matematikai meghatározás Riguet dolgozatában található. Jelen dolgozatban ilyen mélységig erre nem lesz szükség, bár a SORS-rendszer kialakításában és számítógépi implementációjában nélkülözhetetlen volt.

⁶ Hangsúlyozzuk: A sejt nem anyagi, hanem fogalmi, szimbolikus konstrukció. Ezért például hogy hol van egy sejt határa, az ugyanolyan értelmetlen kérdés, mint például hogy hol van a budapesti Lánchíd oroszlánjának a nyelve. A kérdésre az egyetlen válasz a visszakérdés: „miféle oroszlánnak?”. A kérdező osztrák válaszára a helyes reflexió: „Ez nem oroszlán, ez szobor!”

Minden sejthez hozzátartozik kockázatelemző és -kezelő rendszer, ami által értelmezett egy nemkívánatos esemény, a biztonsági kockázati rendszerek hibafa-metodológiájának értelmében. Ennek kezelése (megelőzése, illetve elhárítása) a SORS-rendszer működtetésének eszköze. E kezelésmód részleteit a PROFES + 4 számítástechnikai rendszer tartalmazza, amelyet az elmúlt évtized során a Profes Környezetbiztonsági Programiroda fejlesztett ki.⁷

Egy sejt fenyegetettségét az határozza meg, hogy a sejt főeseménye kezelési költségigénye és időigénye milyen (előzetes megállapodással megszabott) intervallumban van. Erre az ún. *Franklin-tér* tárgyalása során visszatérünk

A fenyegetettségnek két esete van: az egyik a reális, a másik a virtuális fenyegetettség. E két esetet gyűjtőnéven a veszélyminőség szó foglalja össze. A veszélyminőség bevezetésével válik lehetővé a SORS-rendszer adaptivitása.

A helyszínhez hozzárendelt nemkívánatos esemény lehet például az, hogy

- valahol (a helyszínen) a talajszennyezés (a szennyezőanyag-kibocsátás) mértéke meghalad egy előírt értéket;
- terrortámadás veszélye áll fenn;
- gátszakadástól (vírusfertőzéstől, járványveszélytől stb.) kell tartani;
- továbbá bármi, amelyre vonatkozóan rendelkezésre áll valamely logikailag formalizált szaknyilatkozat.⁸

Ezt a nemkívánatos eseményt nevezzük főeseménynek, és ezt minden sejthez hozzárendeljük, mindegyik sejtre vonatkoztatjuk és ér-

⁷ A több mint egy évtizede folyó fejlesztőmunka részletei a www.Profes.hu honlapon található. Felsőoktatási szintű didaktikai vonatkozásaira nézve lásd a www.wesley.hu honlapon a Környezetbiztonsági kockázatelemzés c. tantárgyat.

⁸ Logikailag formalizált szaknyilatkozatok egy viszonylag új keletű jelentős terjedelmű gyűjteményét tartalmazza a *Fault Tree Analysis* c. kiadvány.

1. ábra

A sejtér ábrázolása

telmezzük. A főesemény kezelésére a logikai kockázatelemzés módszereit alkalmazzuk.⁹

Az 1. ábra a sejtér egy részletét mutatja általános esetben.

A sejt (makro-) állapotát a 0, 1, 2, ..., 15 számok jelzik, színjelük ennek megfelelő.

A felkiáltójel a reális fenyegetettség, vagyis a veszélyminőség jele. Hiánya a sejt virtuális fenyegetettségét jelzi.

Az aláhúzás az ún. örsejteket jelöli.

Minden sejtnek két koordinátája van: sora, vagy sorindexe és oszlopa, vagy oszlopindexe. A koordináták együtt egyértelműen azonosítják a sejteket.

Sejt makro- és mikroállapotai és a veszélyminőségek

A SORS-rendszerben a sejtek állapotát általánosan egyszerűen *s*-sel jelöljük (az angol

„State” szó után), azonban esetenként szükség van sokkal részletesebb jelölésre is. Így az *f* fázisban (interpretációtól függően: időpontban, időütemben, időszakban) fennálló sejtállapot jelölésére az *S(f)* szolgál, *f* = 0, 1, 2, ... Az *s* állapotú *r*, *c* koordinátájú sejt *f* fázisban fennálló állapotát *s*(*r*; *c*; *f*) jelöli. A számítástechnikai implementációban még számos egyéb jelölést is célszerű szerepeltetni. A sejtek állapotát később kifejtendő okokból makroállapotoknak mondjuk a sejt-hez rendelt kockázatelemző rendszer (hibafa) állapotainak megkülönböztetése végett. Ez utóbbiak a sejt mikroállapotai.

Minden sejtnek két veszélyminősége van, amit másként úgy fejezünk ki, hogy a sejt (makro-) állapotának két típusa van: virtuális és reális. A sejt makroállapota definíció szerint virtuális, ha tényleges veszély nem, csupán feltételezett veszély áll fenn benne (ez a célérték-ellenőrzés). A virtuális típus bevezetésére a SORS-rendszer irányításának és ellenőrzésének automatizálása érdekében van szükség, amint az a következőkből valamivel részletesebben kiderül.

⁹ A logikai kockázatelemzés módszerét az jellemzi, hogy a valószínűségi kockázatelemzésből (más szóval a hibafa-módszerből) elhagyunk mindent, ami a valószínűségekre utal. Lásd: *Bukovics, 2007*.

A veszélyminőség szerepeltetése két célt szolgál: egyrészt egységessé teszi a sejtterben interpretálandó (tehát a valóságos színhelyekre való gyakorlati alkalmazás során előálló) mozgásformák definiálását, másrészt lehetővé teszi a sejtterhez rendelt eseménykezelési erők (például rendőri jelenlét, riasztórendszerek, állapotathatározó eszközök stb.) készenléti ellenőrzését, esetleges alaki gyakorlatait és (a folyamatos képzés érdekében) a tényleges veszélyhelyzetek modellezését.

Reális sejtállapotról akkor beszélünk, ha a sejt tényleges veszélyben van, azaz amikor makroállapota ténylegesen fennálló veszélyt jelez (ez a tényérték-ellenőrzés).

Ez azt jelenti, hogy a sejt makroállapota a SORS-rendszerben alkalmazott kockázatelemzési eljárás szerint veszélyesnek minősül, vagyis a sejthez tartozó kockázatkezelési rendszer főeseménye bekövetkezett, más szóval a sejt aktív (mikroállapotban van).

Minden sejt (makro-) állapotának értékét ($s = 0, 1, \dots, 15$) a sejthez (mint kockázati rendszerhez) tartozó prímesemények (érzékeny adatok) alapján a sejt állapotathatározó eszköze (a Profes + 4, illetve annak fejlesztésével előállt program) szolgáltatja.

Ezeket az adatokat a SORS-rendszer az eseménykezelés (azaz megelőzés vagy elhárítás) költség- és időigényéből származtatja.

Ezek összefoglaló neve: *Franklin-paraméterek*.

A támadás a SORS-rendszerben azt jelenti (úgy kerül modellezésre), hogy egy vagy több sejt mikroállapota megváltozik, és e változás a makroállapot változását eredményezi.

Másként fogalmazva: a támadás fogalma a SORS-rendszerben azt jelenti, hogy egy vagy több sejt makroállapota valamely tényleges külső hatásra rosszabbodik, értéke megnövekszik.

Az átmeneti függvény

A SORS-rendszerben alkalmazott átmeneti függvény neve: *CopyMax*. Működését a következő utasítás jellemzi:

„*Másold a szomszédos sejtek közül a maximális állapotát.*”

Minden sejtnak azonos (állapot-) átmeneti függvénye van. Az átmeneti függvény a sejt új (következő fázishoz tartozó, arra vonatkozóan előírt) állapotát határozza meg. Részletesebben: minden sejtállapothoz a következő fázisban fennálló (a pontosabb normatív megfogalmazásban az f fázisra rákövetkező fázisra vonatkozóan előírt): $s(r; c; f+1)$ állapotot rendeli.

Az átmeneti függvény operacionalizálása érdekében két új fogalom bevezetése szükséges. Ez a majoráns és a minoráns fogalma.

A SORS-rendszerben minden sejt új állapota azonos a sejt majoránsának állapotával. Ezt a szabályt majoráns-szabálynak nevezzük. A majoráns szerepe alapvető a SORS-rendszerben. A majoránssal kapcsolatban a sejtállapot-változás szemléletesen úgy interpretálható, hogy a sejt másolja (replikálja) a majoránsát. Azt, amit a sejt másol, minoráns állapotnak nevezhetjük. A majoráns fogalom jelentősége abban áll, hogy egyrészt ez foglalja egységbe a sejtterben lejátszódó alapvetően különböző két mozgásformát: az őrsök helyváltoztató (lokomotív) és a sejtek állapotváltoztató (replikatív) mozgását, másrészt a majoráns kijelölésével alkotható meg az a stratégia, amellyel az eseménykezelés módját szabja meg.

Őrsök

Az 1. ábrán az aláhúzott számok azokat a sejteket jelentik, amelyekhez eseménykezelő erők tartoznak. Ez a gyűjtőneve mindazon (akár tárgyi, akár személyi, akár kombinált formában jelen lévő) eszközöknek, amelyek a (valamely sejthez tartozó) nemkívánatos események kezeléséhez szükségesek, abban felhasználásra kerülhetnek. Ezeket a szemléletesség kedvéért Őrsöknek nevezzük.

A SORS-modellben az őrsöt is sejtnak tekintjük, sejttel képviseltetjük.

Az Őrsök elnevezés nem szükségképpen emberekre vonatkozik, hiszen absztrakt modellfogalmat jelöl. Az őrsök lehetnek automa-

ták, automatikák vagy robotok is, amennyiben állapotváltozásaik szabályai egyértelműen leképezhetőek a SORS-rendszerben kiszabott megfelelő szabályokra. Így természetesen emberi, manuális humán eseménykezelő erőket is jelenthetnek. Ezek vezénylése különleges ergonómiai feladatot jelent, amellyel az implementációban külön foglalkozunk

Beosztásuk szerint a SORS-rendszerben háromféle őrsöt különböztetünk meg: Beosztott, Tartalékos és Készenléti őrsöt. A beosztott őrsök a sejtterben, a tartalékosok a sejtteren kívül helyezkednek el. Ez utóbbiak helye interpretálatlan. Ugyancsak interpretálatlan a készenléti őrs helye is.

A kezelés során az őrsök vonulnak, sejtéről sejtire folytonosan (ugrás, azaz rejtett mozgás nélkül) haladnak.

Szemléltetésre törekedve azt mondhatjuk, hogy az őrsök működését a majoránsok és a minoránsok határozzák meg, amennyiben jelképesen szólva „az Őrs mindig a minoránsára lép” (már persze, ha ebben a minoránsvesztés meg nem akadályozza).

A SORS-rendszerben axiomatikusan posztuláljuk – normative előírjuk –, hogy őrséjtet, szomszédját és szélséjtet soha nem érhet „támadás”. Ennek interpretációja mögött az a kvalitatív hipotézis húzódik meg, hogy

- az őrsök (azaz az őrséjtekhez rendelt védelmi erők) rendelkeznek olyan felkészültséggel, amellyel a saját helyszínük és közvetlen környezetük támadása mindig megelőzhető;

- a helyszín határai kellőképpen ellenőrzöttek.

Ezen kikötés formális (egzakt) megfogalmazására itt nincsen szükség.

A fenyegetettség kvantitatív meghatározása

A sejt fenyegetettségének 16 fokozatú skáláját a sejt állapota reprezentálja. Más szóval a sejt fenyegetettségi fokozata egyenlő a sejt makroállapotával. A sejt (makro-) állapotát a sejt kockázati rendszerének mikroállapota határozza meg.

A meghatározás algoritmus a következő:

Legyen a sejt főeseménye (ami tehát pontosabban a sejthez tartozó, annak interpretációját jelentő helyszínrészen értelmezett kockázati rendszer főeseménye) kezelési (tehát megelőzési, vagy elhárítási) költségigénye: K_{max} , időigénye pedig I_{max} (valamilyen tetszőleges, de rögzített egységekben – például forintban, illetve órában – kifejezve).

Legyen továbbá R_s az s állapotú sejt kockázati rendszerének kockázati állapota („Risk State”). Ennek definíciója a Logikai Kockázatelemzési Rendszer (Profes-LKR) algoritmusával kapható meg.

Jelölje C_s (Cell State) a sejt makroállapotát (amelyet tehát mint a sejt fenyegetettségi fokát interpretáljuk).

Jelölje továbbá $K(R_s)$, illetve $I(R_s)$ az R_s állapothoz tartozó (kezelési) költség-, illetve időigényt rendre a K_{max} , illetve I_{max} értékekre vonatkozó fajlagos egységekben.

Ekkor a sejt C_s makroállapotának definíciója a következő:

$C_s = 0$, ha $0 \leq K(R_s) < 1/4$ és $0 \leq I(R_s) < 1/4$

$C_s = 1$, ha $0 \leq K(R_s) < 1/4$ és $1/4 \leq I(R_s) < 2/4$

$C_s = 2$, ha $0 \leq K(R_s) < 1/4$ és $2/4 \leq I(R_s) < 3/4$

$C_s = 3$, ha $0 \leq K(R_s) < 1/4$ és $3/4 \leq I(R_s) \leq 1$

$C_s = 4$, ha $1/4 \leq K(R_s) < 2/4$ és $0 \leq I(R_s) < 1/4$

$C_s = 5$, ha $1/4 \leq K(R_s) < 2/4$ és $1/4 \leq I(R_s) < 2/4$

$C_s = 6$, ha $1/4 \leq K(R_s) < 2/4$ és $2/4 \leq I(R_s) < 3/4$

$C_s = 7$, ha $1/4 \leq K(R_s) < 2/4$ és $3/4 \leq I(R_s) \leq 1$

$C_s = 8$, ha $2/4 \leq K(R_s) < 3/4$ és $0 \leq I(R_s) < 1/4$

$C_s = 9$, ha $2/4 \leq K(R_s) < 3/4$ és $1/4 \leq I(R_s) < 2/4$

$C_s = 10$, ha $2/4 \leq K(R_s) < 3/4$ és $2/4 \leq I(R_s) < 3/4$

$C_s = 11$, ha $2/4 \leq K(R_s) < 3/4$ és $3/4 \leq I(R_s) \leq 1$

$C_s = 12$, ha $3/4 \leq K(R_s) \leq 1$ és $0 \leq I(R_s) < 1/4$

$C_s = 13$, ha $3/4 \leq K(R_s) \leq 1$ és $1/4 \leq I(R_s) < 2/4$

$C_s = 14$, ha $3/4 \leq K(R_s) \leq 1$ és $2/4 \leq I(R_s) < 3/4$

$C_s = 15$, ha $3/4 \leq K(R_s) \leq 1$ és $3/4 \leq I(R_s) \leq 1$

Ez a fenyegetettségi fok(ozat)-definíció nyilvánvalóan egzaktabb, mint az, amelyik minden diszciplináris megalapozást nélkülöz.

Eseménykezelési eljárás

Az Őrsök által végrehajtásra kerülő, illetve felügyelt eseménykezelési eljárást a SORS-rendszer a következő két elv szerint

modellezi. A rendszer tényleges működését („hadrendbe állítását, operacionalizálását”) ezen elvek alapján kell elvégezni az elmélet figyelembevételével.

Az Önvédelmi elv. Az őrsök vonulásának minden lépése során (minden fázisában) minden őrsejt minden reális állapotú szomszédja virtuálissá válik. A maximális virtuális fenyegetettségű sejt annak Franklin-paramétereitől függően veszélymentes alapállapotba kerül.

A SORS-rendszer absztrahálja az eseménykezelés gyakorlati részleteit, nem tud (bár nem is kíván) számot adni (jelenlegi kidolgozottsága állapotában legalábbis) az őrsök tagjainak tényleges részletes tevékenységeiről (fertőzött terület fertőtlenítése, terrorista elfogása stb.).

A Veszélyfokozódás és terjedés elve. Minden pozitív állapotú sejt minoránsának állapota minden fázisban reálissá válik.

Az eseménykezelési eljárást másként háritási stratégiának is mondjuk. Ennek – a SORS-modell jelenlegi in silico implementációjában – két esete van: a Defenzív és az Offenzív stratégia.

Jelen dolgozatban csak a defenzív (azaz a CopyMax átmeneti függvényt alkalmazó) stratégiáról van szó. A részletekért lásd: *Bukovics, 2007*.

EGY KATASZTRÓFAHELYZET ELEMZÉSE

Legyen egy sejt színhelye egy veszélyeshulladék-tároló. A sejthez tartozó kockázati rendszert a következő szaknyilatkozat határozza meg:¹⁰

¹⁰ A szaknyilatkozat a következő dolgozat alapján készült: *M. D. Alessandro – A. Bonne: Fault-tree analysis for probabilistic assessment of hazardous waste segregation. Computational Geology 4., 45-63. pp., 1982.* Ezen szaknyilatkozatot készítő grémium feltételezte, hogy a szerepeltetett primesemények kiküszöbölése (passzíválása) közvetlenül vagy közvetve a végrehajtó szervek hatáskörében van.

A Szaknyilatkozat

Az alábbi szöveg a TALAJSZENNYEZÉS2 megnevezésű esemény logikai értelmezésére szolgáló úgynevezett „szaknyilatkozat”. Sajátos – tartalomjegyzékre emlékeztető – írásmódja különleges olvasási szabályok követését teszi szükségessé. A szaknyilatkozat minden sora egy negatív tényállítást fejez ki (néha a rövidség kedvéért hiányos nyelvtani alakban).

A szaknyilatkozat minden sora – kivéve az első sort – egy pontokkal elválasztott számjegysorozattal kezdődik (például 3.4.2). Ez az illető sor rendszáma. A rendszámok egy logikai alárendeltségi viszonyt fejeznek ki.

Ha egy sor rendszáma csak az utolsó jegyében különbözik egy másik sor rendszámától, akkor a sor „alárendeltje”, szakkifejezéssel „explikánsa” a másik sornak.

Tekintsük például a következő sort:

3.4.2(V): A TALAJ SZENNYTÁROLÓ
KÉPESSÉGE KIMERÜL

Ennek (egyik) explikánsa az alábbi sor:

3.4.2.2: szenny-immigráció következik be

A rendszámot némely esetben vagy egy „(V)”, vagy egy „(&)” jel követi. Ez az illető sor logikai típusa.

Kétféle logikai típus van: „diszjunkció”, ennek jele „(V)”, és „konjunkció”, jele „(&)”. Ennek megfelelően beszélhetünk egy tényállítás „konjunktív” vagy „diszjunktív” explikánsáról.

Egy sor explikánsai együttesen a sor által kifejezett tényállítás (fennállásának) szükséges és elégséges feltételét fejezik ki a megadott logikai típusnak megfelelően. Diszjunktív logikai típus esetében ez azt jelenti, hogy legalább az egyik explikánsnak fenn kell állnia, konjunktív esetben pedig mind-egyik explikánsnak fenn kell állnia.

A példa esetében ez azt jelenti, hogy az A TALAJ SZENNYTÁROLÓ KÉPESSÉGE KIMERÜL (kifejezésnek megfelelő) tényállítás szükséges és elegendő feltétele az, hogy explikánsai egyike fennálljon.

Ha egy rendszámot nem követ logikai típusjel, akkor azt mondjuk, hogy e sor egy

primitív eseményt (szakszóval primexplikánst) fejez ki. A szaknyilatkozatban a prim-eseményeket kisbetűvel írjuk.

A Szaknyilatkozat

(&): TALAJSZENNYEZÉS

1(V): SZENNYEZŐ HULLADÉK KERÜL A TALAJRA

2(V): TALAJFEDŐRÉTEG ELTÁVOLÍTÁS

3(V): SZENNYMIGRÁCIÓ

1.1: közvetlen káros emberi beavatkozás

1.2: jelentős talajelmozdulás

1.3: extruzív magmatikus aktivitás

1.4: szennyezett talajvíz szintemelkedés

2.1: közvetlen talajleomosódás

2.2: közvetlen glaciális erózió

2.3: közvetlen széllehordás

3.1: a szennyezés egy része a talajban reked

3.2(V): A SZENNYEZÉS EGY RÉSE A TALAJVÍZBE JUT

3.3(V): A HULLADÉK ÉS A TALAJSZINT TÁVOLSÁGA CSÖKKEN

3.4(&): A SZENNYEZETT TALAJVÍZ SZINTELMELKEDÉSE

3.4.1: a szennyezés egy része talajvízbe jutása talajvíz szintemelkedést okoz

3.4.2(V): A TALAJ SZENNYTÁROLÓ KÉPESSÉGE KIMERÜL

3.2.1(V): A SZENNYEZÉS KIZÁRÓLAG A FELSŐ AKVIFERBE JUT

3.2.2(V): A SZENNYEZÉS A FELSŐ ÉS ALSÓ AKVIFER KÖZÜL LEGALÁBB AZ EGYIKBE JUT

3.4.2.1: szennyvizet nyomnak a talajba

3.4.2.2: szenny-immigráció következik be

3.2.2.1(V): KÉT AKVIFER EGYIKE ÉRINTKEZIK A SZENNYEZÉSSSEL

3.2.2.2(V): A FELSŐ ÉS ALSÓ AKVIFERBEN EGYIDEJŰLEG VAN TALAJVÍZ

3.3.1(V): KIHANTOLÓDÁS SEKÉLYEBB RÉTEGEKBŐL

3.3.2(V): FEDŐRÉTEG LEGALÁBB RÉSZBENI ELTŰNÉSE

3.3.2.1: közvetett talajleomosódás

3.3.2.2: közvetett glaciális erózió

3.3.2.3: közvetett széllehordás

3.2.1.1: van talajvíz a felső akviferben

3.2.1.2(V): A FELSŐ VÍZTÁROLÓ RÉTEG ÉRINTKEZIK A SZENNYEZÉSSSEL

3.2.1.2.1: diapirizmus

3.2.1.2.2: meteorit tevékenység

3.2.2.2.1: talajvíz a felső rétegben

3.2.2.2.2: az alsó réteg nyomott vizes

3.2.2.1.1: talajátfagyás

3.2.2.1.2: talajátfűrés

3.2.2.1.3(V): AGYAGRÉTEG-REPEDEZÉS

3.3.1.1: közepes talajelmozdulás kihantolódást okoz

3.3.1.2: közvetett emberi tevékenység

3.2.2.1.3.1: közepes talajelmozdulás agyagréteg-repedezést okoz

3.2.2.1.3.2(&): KISMÉRETŰ TALAJ-DEFORMÁCIÓ

3.2.2.1.3.2.1: kisméretű talajelmozdulás

3.2.2.1.3.2.2(V): AGYAGRÉTEG RUGALMASSÁGVESZTÉS

3.2.2.1.3.2.2.1: glaciális túlterhelés

3.2.2.1.3.2.2.2: talajsüllyedés

Az Állapotlap

Egy támadás esetén (ami lehet árvíz következtében előálló veszélyes hulladék felszínre kerülése) bekövetkezhet egy-egy sejt olyan mikroállapota, amelyben az 1. táblázat (állapotlap) szerinti primesemények következtek be.

Ebben az állapotban (amint azt a logikai kockázatelemzéssel ki lehet mutatni) a főesemény még nem következik be, csupán a kockázatviselő sejt reális veszélynek van kitéve.

Ha a fenti állapotlap szerinti veszélyhelyzet reális, akkor a SORS-rendszer állapotértékelő algoritmussal kiszámítja a hordozósejt (gazdasejt, tartósejt, referenciasejt) makroállapotát.

A makroállapot kiszámítása

Bemutatjuk a fenyegetettség tárgyalásánál említett makroállapot definíciójának alkalmazását a makroállapot kiszámítására. Tehát azt mutatjuk be, hogy a sejt mikroállapotából hogyan számítható ki annak makroállapota.

1. táblázat
Példa támadás esetén bekövetkező
prímeseeményekre

RENDSZÁM	ESEMÉNYNÉV
1.1	közvetlen káros emberi beavatkozás
1.2	jelentős talajjelmozdulás
1.3	extruzív magmatikus aktivitás
2.2	közvetlen glaciális erózió
2.3	közvetlen széllehordás
3.1	a szennyezés egy része a talajban reked
3.4.1	szennyezés miatti talajvízszint-emelkedés
3.4.2.1	szennyvizet nyomnak a talajba
3.4.2.2	szenny-immigráció következik be
3.3.2.1	közvetett talajleemosódás
3.3.2.3	közvetett széllehordás
3.2.1.2.1	diapirizmus
3.2.2.2.1	talajvíz a felső rétegben
3.3.1.2	közvetett emberi tevékenység
3.2.2.1.3.2.2.2	talajszüllyedés

Mint említettük, a sejt makroállapotát a sejthez (mint kockázati rendszerhez) tartozó prímeseemények (érzékelőinek adatai), tehát a sejt mikroállapota alapján a sejt állapot-határozó eszköze szolgáltatja. Ez az eszköz a Profes + 4 szoftver, illetve az annak fejlesztésével előállt program részét képező Makro-állapot-határozó algoritmus.

Az ehhez szükséges adatokat (tehát az algoritmus inputját) a SORS-rendszer az eseménykezelés (azaz a megelőzés vagy az elhárítás) költség- és időigényéből származtatja.

Ezek összefoglaló neve: Franklin-paraméterek.

Franklin-paraméterek

A logikai kockázatelemzésben minden eseménynek költségvonzatot lehet és kell is tulajdonítani. Ez egyébként mind a számvitelnek, mind a biztosításméletnek kiindulópontja, előfeltevése, axiómája. Ezt az axiómát a Franklin-elv („az idő pénz”) névvel illetjük.

A Franklin-elvből következik, hogy nemcsak költségigénye, hanem időigénye is van minden eseménynek, és így minden olyan

cselekvésnek, amelynek eredménye valamilyen esemény. A „cselekvés” szón vagy a „beavatkozás” szón jelen szövegkörnyezetben a primitív események állapotának megváltoztatását értjük.

A Franklin-paraméterek fogalma a prímeseeményeken túl kiterjeszhető tetszőleges komplex eseményekre és állapotátmenetekre, állapotváltoztató beavatkozásokra is. Általános esetben a Franklin-paraméterek függhetnek a mindenkori rendszerállapottól. Minden kockázati rendszerhez elvben hozzátartozik egy költségkeret és egy időkeret, amelyen belül a rendszer állapotváltoztatásai realizálhatóak. E két keretet összefoglalóan a rövidség kedvéért Franklin-keretnek nevezzük.

Minden beavatkozásnak „ára” van, és itt az ár szó nem kereskedelmi értelemben értendő, hanem abban, hogy minden beavatkozás elméletileg előre nem látható reakciót válthat ki a kockázati rendszerből. Ez az evidencia alapvető következményekkel jár, amelyeket a kockázatkezelési beavatkozások gyakorlatában figyelembe kell venni.

Az első és legfontosabb következmény, hogy a kockázati rendszer állapotát állandóan figyelni, monitorozni kell, és új állapot bekövetkezése esetén a lehető legrövidebb időn belül állapotértékelést kell végezni. Az állapotértékelést a Profes + 4 program végzi.

A makroállapot kiszámítása a prímeseeményekhez rendelt Franklin-paraméterek alapján történik. Ezeket a szaknyilatkozat tartozékát képező Adatlap tartalmazza a 2. táblázat formájában. Az adatlap jelen helyzetben fiktív adatokat tartalmaz. Valós adatok biztosítóktól, illetve könyvelési számlatételekből nyerhetők.

Az Adatlap

JELMAGYARÁZAT

SOR: Az illető sorhoz tartozó prímeseemény sorszámát (prímindexét) jelzi

FI (FELÚJÍTÁSI IDŐ(%))

Az illető sorhoz tartozó prímeseemény (vagy annak eseményhordozója) felújítási

2. táblázat

Az adatlap felépítése

SOR	RENDSZÁM	ESEMÉNY MEGNEVEZÉSE	FI	FK	FA
01	1.1	közvetlen káros emberi beavatkozás	80	39	
02	1.2	jelentős talajelmozdulás	58	32	
03	1.3	extruzív magmatikus aktivitás	1	64	
04	1.4	szennyezett talajvízszint-emelkedés	42	60	
05	2.1	közvetlen talajleomosódás	92	44	
06	2.2	közvetlen glaciális erózió	3	34	
07	2.3	közvetlen széllefordítás	67	22	
08	3.1	a szennyezés egy része a talajban reked	89	20	
09	3.4.1	szennyezés miatti talajvízszint-emelkedés	89	66	
10	3.4.2.1	szennyvizet nyomnak a talajba	66	6	
11	3.4.2.2	szenny-immigráció következik be	22	28	
12	3.3.2.1	közvetett talajleomosódás	20	6	
13	3.3.2.2	közvetett glaciális erózió	81	45	
14	3.3.2.3	közvetett széllefordítás	8	63	
15	3.2.1.1	van talajvíz a felső akviferben	19	2	
16	3.2.1.2.1	diapirizmus	72	46	
17	3.2.1.2.2	jelentős kollabáció	69	30	
18	3.2.2.2.1	talajvíz a felső rétegben	28	14	
19	3.2.2.2.2	az alsó réteg nyomott vizes	15	7	
20	3.2.2.1.1	talajátfagyás	64	91	
21	3.2.2.1.2	talajátfűrés	57	86	
22	3.3.1.1	közepes talajelmozdulás kihantolódást okoz	53	80	
23	3.3.1.2	közvetett emberi tevékenység	98	68	
24	3.2.2.1.3.1	rétegrepedezés közepes talajelmozdulás okán	37	99	
25	3.2.2.1.3.2.1	kisméretű talajelmozdulás	83	10	
26	3.2.2.1.3.2.2.1	glaciális túlterhelés	38	37	
27	3.2.2.1.3.2.2.2	talajsüllyedés	34	1	

időtartama a 100%-os indexnek megfelelő maximális értékben és mértékegységben (pl. óra).

FK (FELÚJÍTÁSI KÖLTSÉG(%))

Az illető sorhoz tartozó primesemény (vagy annak eseményhordozója) felújításához szükséges munka költsége a 100%-os indexnek megfelelő maximális értékben és mértékegységben (pl. Ft).

FA Az eseményért felelős ágens azonosítója.

Az illető sorhoz tartozó primesemény figyelésével, illetve adatszolgáltatásával megbízott (természetes vagy jogi) személy azonosító adatai (2. táblázat).

A Makroállapot-határozó algoritmus*Első lépés:*

Osszuk fel a Franklin-keretet (tehát a Sejt-hez tartozó 0-100% terjedelmű Költség- és Időkeretet) 16 részre a Makroállapot definíciója alapján, 0-15 számozással, a 3. táblázat szerint.

Itt: $K(F_s)$ – az s mikroállapot Franklin-féle költségigénye.

Ez a költségigény Felújítási, ha a mikroállapot aktív (vagyis ha a főesemény bekövetkezett), különben Megelőzési.

$I(F_s)$ – az s mikroállapot Franklin-féle időigénye.

Ez az időigény Felújítási, ha a mikroállapot aktív (vagyis ha a főesemény bekövetkezett), különben Megelőzési (3. táblázat).

3. táblázat

A Franklin-tér particiója a 16 makroállapot meghatározásához

K(Fs) I(Fs)	0–24,9%	25–49,9%	50–74,9%	75–100%
75–100%	12	13	14	15
50–74,9%	8	9	10	11
25–49,9%	4	5	6	7
0–24,9%	0	1	2	3

Példa:

A 9. tartományba például az a mikroállapot tartozik, amelyben a Franklin-paraméterek a következő feltételnek tesznek eleget a Makroállapot definíciója alapján:

$$Cs = 9, \text{ ha } 2/4 \leq K(Fs) < 3/4 \text{ és } 1/4 \leq I(Fs) < 2/4$$

Második lépés:

Határozzuk meg az adott sejt mikroállapotát az adott állapotlap alapján (például a 2.1.2 pontbeli táblázat szerint), és állapítsuk meg, hogy ebben a mikroállapotban a főesemény bekövetkezett-e.

Ha bekövetkezett, akkor a sejt makroállapota definíció szerint reális 15.

Ellenkező esetben a SORS – mint irányítási rendszer – szolgáltatása szerint egy reá-

lis mikroállapotban a rendelkezésre álló eseménykezelést, vagyis háritást az optimális (vagy az azt legjobban megközelítő) erőspont passzíválása jelenti.

Egy fiktív példa esetén ezeket az erőspontokat a 4. táblázat tartalmazza.

A táblázatból leolvasható, hogy az optimális háritást a második sor jelenti, amikor 100 egységnyi (pl. 100 E Ft) költségű és 162 egységnyi időigényű (162 perc ~ 3 óra) ráfordítással határozható meg a mikroállapot a következőképpen.

Ha történetesen a sejt rendelkezésére álló aktuális Franklin-keret 1 M Ft és 8 óra, akkor a sejt makroállapota a $100 \text{ E Ft} / 1 \text{ M Ft} = 10\%$, 3 óra/8óra ~ 33% adatokat magában foglaló 9 jelű tartományba tartozik, tehát ez esetben makroállapota = 9.

A 4. táblázat szerint a SORS-rendszer által javasolt háritási terv a következő:

04	1.4	szennyezett talajvízszint-emelkedés	42	60
05	2.1	közvetlen talajleemosódás	92	44
06	2.2	közvetlen glaciális erózió	3	34

A 2. ábra egy támadás eredményét szimulálja.

A 2. ábra olyan támadás eredményét mutatja be, amikor 3399 *támadási kísérletből* mindössze 1080 + 493 volt *sikeres*. Ez 493

4. táblázat

Az erőspontok táblázata egy mikroállapotban

(A számozott oszlopok a megfelelő prímesemények sorszámát jelentik,
H – Az erőspont hosszúsága, azaz elemszáma)

H	FK	FI	1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	13	14	15	16
04	195	181	39 80	32 58	64 1	60 42										
03	100	162					44 92	34 3	22 67							
16	733	882								20 89	66 89	6 20	45 81	63 8	2 19	46 72
17	701	881								20 89		6 20	45 81	63 8	2 19	46 72
17	761	871								20 89	66 89	6 20	45 81	63 8	2 19	46 72
18	729	870								20 89		6 20	45 81	63 8	2 19	46 72

a táblázat folytatása

H	FK	FI	17	18	19	20	21	22	23	24	25	10	11	26	27
04	195	181													
03	100	162													
16	733	882	30 69	14 28	7 15	91 64	86 57	80 53	68 98	99 37	10 83				
17	701	881	30 69	14 28	7 15	91 64	86 57	80 53	68 98	99 37	10 83	6 66	28 22		
17	761	871	30 69	14 28	7 15	91 64	86 57	80 53	68 98	99 37				37 38	1 34
18	729	870	30 69	14 28	7 15	91 64	86 57	80 53	68 98	99 37		6 66	28 22	37 38	1 34

2. ábra



Egy támadás eredményének szimulálása

veszélyes (azaz maximális fenyegetettségű, vagyis $s = 15$ reális állapotú) sejtet eredményezett, a többi sérült sejt állapota 1 és 14 között volt a támadás $f = 1$ fázisában.

Megfigyelhetők az órsók első válaszreakciói is. Mindegyik belső órs egygel jobbra lépett a megelőző fázishoz képest. A balszélső órsók (sorszámuk: 0, 1, 2, 3) elhagyták a sejtteret, *kiléptek*. Ezzel egy időben az (átellenes pontokon) *beléptek* a 256–259 sorszámú órsók.

Az eseménykezelés

Az eseménykezelésnek három alapesete van.

Ezek

- a virtualizálás;
- az ellenőrzés;
- a megelőzés.

Az első két esetben az adatlap már bemutatott rovataira, azaz a prímesemények felújítási Franklin-paramétereire (idő és költség) van szükség, míg a megelőzés esetében a megelőzési paraméterek adatai alapján dolgozunk. Ezek a bemutatotthoz hasonló adatlapot alkotnak.

A *virtualizálás* eseménykezelő beavatkozása, amely a reális (azaz: fizikailag fennálló, a SORS-rendszerben monitorozott, detektált, érzékelt, megfigyelt) veszélyhelyzet virtuálissá való alakítását, tehát elhárítását jelenti.

Ha valamely adott sejten (annak kockázati rendszerén) értelmezett főesemény reálisan (tehát nem in silico szimulációval) bekövetkezett, akkor bizonyos prímeseményeket passzíválni kell.

Valamely adott sejt explikált kockázati rendszerén bekövetkezett prímeseményé-

nek passzíválása azt jelenti, hogy az esemény hatása a kockázati rendszerre vonatkozóan megszűnik. A SORS-rendszerben kidolgozásra kerültek azok a legfontosabb számítástechnikai-kommunikációs eszközök, amelyekkel valamely eseménynek a kockázati rendszerre vonatkozó hatásmegszűnése megállapítható és ellenőrizhetően bizonyítható.

A passzíválás többféleképpen lehetséges. Ennek részletezését egy a SORS-rendszer operacionalizálását meghatározó kézikönyvnek kell tartalmaznia.

Például ha a prímesemény egy tévesen nyitott, de működőképes szelepet jelent, akkor a passzíválás a szelep elzárását jelenti.

Ha a prímesemény egy tévesen nyitva ragadt, tehát működésképtelen szelepet jelent, akkor a passzíválás a szelep kicserélését, illetve felújítását jelenti.

A virtualizálás csak kivételes esetben jelenti egyetlen prímesemény passzíválását, rendszerint egyidejűleg több esemény, eseményegyüttes, eseménycsoport passzíválására van szükség.

Az adott sejt valamely tetszőleges aktív mikroállapotában legelőnyösebben passzíválható prímesemény-együttest a rendszer ún. erőspontjának nevezzük.

A SORS-projekt szoftver-apparátusa minden eddig in silico vizsgált veszélyhelyzet tanúsága szerint rendelkezik erőspont-készlettel és ezt a sejt minden veszélyes állapota esetén a kockázatkezelő személyzet részére döntésre felajánlja.

A SORS-projekt fejlesztésének jelen fázisában rendelkezik azokkal a legalapvetőbb számítástechnikai-kommunikációs eszközökkel, amelyekkel a virtualizálás aktualizálását (végrehajtásának visszajelzését) ellenőrizni lehet.

Az ellenőrzés az eseménykezelő beavatkozás másik esete. Célja a SORS-rendszer valós idejű készenléti állapotának értékelése. Az ellenőrzés a sejt virtuális állapotában, annak számítógépes szimulációjával történik. Annak eldöntésére szolgál, hogy a sejt eseménykezelő eszközrendszere rendelkezésére

álló Franklin-keret lehetővé tesz-e megfelelő virtualizálást. Pozitív kimenetele esetén az ellenőrzés szolgáltatja a megfelelő eseménykört és a végrehajtás feltételeit.

A megelőzés (kockázatelméleti értelemben vett) művelete azt célozza, hogy megakadályozzuk valamely nemkívánatos esemény bekövetkezését. Némelyest rokon az innovatív jogalkotásban mostanában meghonosodó, illetve propagált proaktivitás koncepciójával (<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2009:175:0026:0033:HU:PDF>).

A megelőzés kockázatelméleti és a proaktivitás jogelméleti fogalma azonban gyökeresen különbözik egymástól.

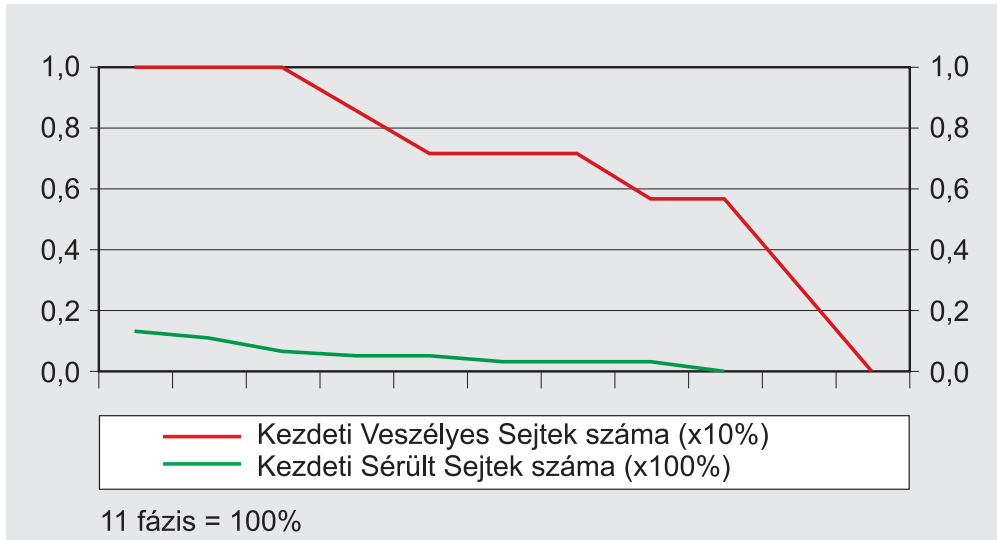
A megkülönböztető tényezők közül a legfontosabbak a következők. A proaktivitás a „minek kell lennie” koncepción alapszik, míg a megelőzés (kockázatelméleti fogalma) a „minek nem szabad történnie” koncepción alapul. A két fogalom különbségének egzakt elemzése deontikus logikai apparátust igényel (Bárdi – Madarász né, 1997).

A megelőzésnek azon speciális esetében, amikor tüzről van szó, tehát a tűzmelegedésnek van egy jogi értelmezése is, amelyet a tűzvédelmi törvény (1996. évi XXXI. törvény) tartalmaz.

Eszerint a tűzvédelem egy bizonyos joganyagokra vonatkozó jogalkalmazói tevékenység: „tűzmelegedés: a tüzek keletkezésének megelőzésére, továbbterjedésének megakadályozására, illetőleg a tűzoltás alapvető feltételeinek biztosítására vonatkozó, a létesítés és a használat során megtartandó tűzvédelmi jogszabályok, szabványok, hatósági előírások rendszere és az azok érvényesítésére irányuló tevékenység.”

Ez a dokumentum magát a tűz fogalmát is definiálja. Ez a definíció deduktív. A tűz fogalmát az égési folyamat és a veszély segítségével határozza meg, ámde kritériumot, tehát a fennállás szükséges és elegendő feltételét egyik esetben sem adja. Ennek folytán nem tartalmaz operatív útmutatást, vagyis a törvény végrehajthatósága tudományosan problematikus.

3. ábra



Támadáselhárítás eredménye

Alapvető különbség továbbá a két fogalom között, hogy az egyik expressis verbis hivatkozik egy széles körben alkalmazható módszerre, a másik pedig nem.

A SORS-PROJEKT EREDMÉNYESSÉGE

A SORS-projekt számítástechnikai alkalmazási rendszere (mint szoftver) az elmúlt évek során számtalan esetben in silico kísérleti ellenőrzésre került. A kísérletek különböző intenzitású támadásokat, hibafa-diszlokációkat (azaz az egyes sejtekhez rendelt kockázatelemző rendszereket) foglaltak magukban.

A 3. ábra egy mindössze 11 lépésben (fázisban) történt támadáselhárítás eredményét mutatja.

A SORS-projekt eredményességének egyik tényezője az élet különböző területeire kidolgozott biztonsági kockázatelemzések hozzáférhető adatbázisának nagysága. Ezekről a *Fault Tree Analysis* bibliográfia ad áttekintést, amely több tízezer tételt tartalmaz.

A világhálón fellelhető biztonsági kockázatelemző rendszerek száma több százezer, és aligha található az életnek olyan területe, amely ne képezte volna alapos (kutatóintézetek, egyetemek, illetve szakvállalatok külön-külön, illetve együttműködésben végzett) kutatómunka tárgyát.

A SORS-projekt hatáskörében lévő (abban közvetlenül, illetve adaptációs munkával módosított formában rendelkezésre álló) diagnózisok jelenlegi száma 100 körül van.

A hibafa-analízis, illetve annak a SORS-projektben alkalmazott és számítógépesített változata, a Profes + 4 logikai kockázatelemző rendszer a rendelkezésre álló, állandóan változó eszközparkhoz kiválóan alkalmazható.

A VAHAVA-PARADIGMA

A VAHAVA kontextusában a SORS-móddal továbbfejlesztését úgy módosítottuk, hogy a VAHAVA-paradigma három kulcsfogalma: a változás, a hatás és a válasz(adás) explicálható legyen a SORS-elmélet fogalmi rendszerében.

Intuitíve a változás fogalmát a SORS-mo-
dellben a következőképpen értelmezzük.
A veszélymentes (sejttérrel reprezentált)
helyszínt véletlenszerű intenzitású és idő-
pontú valamilyen támadás érheti. A „táma-
dást” mint a környezetből eredő, és a sejttér
sejtjeit mint hatásviselőt érő nemkívánatos
hatást értelmezzük. A nemkívánatos válto-
zás fogalmát intuitíve a hibafa-metodológia
szerinti nemkívánatos esemény fogalmához
közel álló jelentésben értjük, és ezt formá-
lisan túllépve, mint egy speciális közve-
tett *Boole-algebrái* függvényt definiáljuk.¹¹
A támadás következtében az egyes sejtek
állapotában nemkívánatos változások állnak
elő. Ezek összességét illeti a „változás” ter-
minus technicus.

A hatás mint a válaszadás nélküli reagá-
lás kerül explikációra, míg a válaszadás azt a
módot jelenti, ahogyan a rendszer (a reagáló
képessége megszabta határok között) reagál
az állapotváltozásra.

A válaszadást a kutatás jelenlegi szaka-
szában azon (sejttér-állapotváltozási) fázisok
számával jellemezzük, amelyek a helyszíni
teljes veszélymentesítéséhez szükségesek.

Ezt védelmi fázisszámmal nevezzük.

A védelmi fázisszám két stratégiai ténye-
zőtől függ. Az egyik a védelmi stratégia, a
másik az adaptációs stratégia.

A VAHAVA-paradigma célja (értékismér-
ve) olyan strukturális változások létrehozá-
sa az egyes (SORS-rendszer komponensek,
azaz) sejtekhez rendelt kockázati rendsze-
rekben, amelyek által ez a védelmi fázisszám
csökkenthető.

A SORS-paradigma a következő szemléle-
tes képpel interpretálható. A SORS-rendszer
– mint klímamodell és biztonsági kockázati
környezeti rendszermodell – működés módját
tekintve alaphelyzetében (normális viselke-
dését tekintve) egy folyamatosan perturbált
ciklus. E ciklust egy sejtautomata (pontosab-

ban: sejttér) konfigurációinak időbeli sorozata alkotja. Ha egy időpillanatban egy konfi-
gurációt (más szóval sejttér-állapotot) egy
változás éri (vagyis ha a sejttér egy adott ál-
lapota megváltozik), akkor általános esetben
a ciklus „kibillen”, és a rendszer egy átme-
neti folyamat után (hacsak külső hatás nem
éri) egy új ciklusba kerül. Ez az új ciklus a
SORS-elmélet értelmében mindig rosszabb,
mint az eredeti, amennyiben az eredeti ciklus
valamilyen kockázatkezelés eredményeként
jött létre, de az új ciklus válaszadás nélkül
(spontán módon) állt elő.

Az általunk értelmezett VAHAVA fel-
fogásban azt kérdezzük, hogyan (milyen
általános operacionalizálható) eljárással le-
het (és kell) alkalmas válaszadást definiálni
a megzavart ciklus megjavítása érdekében.
A ciklus megjavításának eredményét – ami
„ciklusjóságnak” is nevezhető – kvantitatíve
a védelmi fázisszámmal jellemezzük.

A tűrőképesség (mint a helyreállítási ké-
pesség explikátuma) vizsgálata azzal a ta-
nulsággal járt, hogy az fogalmilag csupán a
reagáló képesség egyik speciális eseteként
értelmezhető az eddig kiépített elmélet alap-
ján. A tűrőképesség és a reagáló képesség fo-
galmi viszonya némelyest emlékeztet a mű-
ködés és a viselkedés (mint állapotváltozás,
illetve állapotváltoztatás) viszonyára. Az in-
tuitív köznyelv számára a „rosszul működő
rendszer” nem speciális esete a (logikailag
főlérendelt) „működő rendszernek”. A köz-
nyelvi intuíció szerint ha egy rendszer „elég-
gő” nemkívánatos módon változtatja meg ál-
lapotát, akkor egyszer csak „nem működik”,
megszűnik működni. Tanúbizonyosága ennek
a szemléletnek a „rossz gombot nyomtam le”
kifejezés, amely akkor hangzik el, ha valaki
a nem megfelelő gombot nyomja le valamely
gépi eszközön, kezelőszerven. E szemlélet
alapján természetesen nem lehet elméleti-
leg következetesen megkülönböztetni a nem
megfelelő és a nem megfelelően működő
rendszer(komponens)eket. A műszaki nyelv
olykor tesz egy-egy tétova lépést a szabatos-
ság irányába. Lehet találni a „nem működik”
feliratú táblák mellett „üzemen kívül” fel-

¹¹ Ezt az egyenletrendszert egy Boole-algebrái egyenletrendszer definiálja. Ezt tekintjük kockázati rendszer explikátumának. A részleteket illetően lásd *Bukovics, 2007*.

iratot is. Ha tehát szükség van egy általános reagálóképesség-elméletre a biztonsági kockázati rendszerek esetében, akkor ez nem alapozható pusztán a működés (mégoly kitűnően explikált) fogalmára, hanem – felfogásunk szerint – az ennél általánosabb viselkedés fogalmán kell alapulnia. Egy rendszer ugyanis kétféleképpen viselkedhet – reagálhat – valamely hatásra: vagy megfelelően működik, vagy nem megfelelően működik. A „nem működő rendszer” az elmélet számára üres absztrakció, és a „nem égő tűz”, a „nem fújó szél” és az ehhez hasonló népi eredetű kifejezések körébe tartozik (a száraz tónak a nedves partjától a döglött béka kurtyolásáig).

Vizsgálataink középpontjában mármost olyan biztonsági kockázati rendszerek állnak, amelyek az ökoszférával kapcsolatosak, arra jellemző tulajdonságok absztrakciójaként állnak elő, és amelyekben ily módon a kockázatot a klimatikus extrémítás jelenti.

A klimatikus extrémítás olyan hatás, amelyre többféleképpen lehet reagálni. Lehet tűrni és lehet nem tűrni. De nem lehet nem reagálni. Mint ahogy nem lehet nem viselkedni. A „nem viselkedő rendszer” csakúgy, mint a „nem működő rendszer” számunkra jelenleg extraparadigmatikus: nem képezte vizsgálataink tárgyát. Hogy miként határozható meg a „nem tűrni”, a „nem toleráns válasz”, netán a „jó reagálás”, az napjainkban kezd a globális preferenciák élvonalába kerülni. A reagáló képesség, csakúgy, mint a tűrőképesség, a rendszer – és mostantól a „rendszer” szót olyan rendszerekre vonatkoztatjuk, amelyekben a biztonsági kockázat és a környezeti kockázat egyidejűleg és egyenlő paradigmikus hangsúllyal jelenik meg – viselkedésének (azaz állapotváltozásának, illetve állapotváltoztatásának) a jellemzője.

FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

- (1) 1949. évi XX. tv. A Magyar Köztársaság Alkotmánya (2) ALESSANDRO, M. D. – BONNE, A. (1982): Fault-tree analysis for probabilistic assessment of hazardous waste segregation. *Computational Geology* 4., 45-63. pp. (3) BÁRDI L. – MADARÁSZ T.-NÉ (1997): *Logika – Jogi alkalmazások*. Eötvös József Könyvkiadó, Budapest (4) BUKOVICS I. (2006): *A fenntarthatóság, mint katasztrófaelméleti probléma. Fenntartható fejlődés Magyarországon. Jövőképek és forgatókönyvek; Stratégiai Kutatások Magyarország 2015; Új Mandátum Könyvkiadó, Budapest, 495-511. pp.* (5) BUKOVICS I. (2007): *A természeti és civilizációs katasztrófák paradigmikus elmélete*. MTA doktori disszertáció. Budapest (6) DELONG, T. (1970): *A Fault Tree Manual*. Master's Thesis. Texas A&M University (7) FÁY GY. (1975): *Sejtautomata alapismeretek*. Tankönyvkiadó, Budapest (8) RIGUET, J. (1976): *Automates cellulaires a bord et automates*. Cold-ICRA. *Comptes Rendus de l'Academie les Sciences de Paris*; Magyarul: Dr. Takács V. (szerk.): *Sejtautomaták*. Gondolat Kiadó, Budapest (9) RUSSEL, B. (1976): *Miszticizmus és logika*. Magyar Helikon, Budapest (10) STEWART, I. (1997): *A természet számai – a matematikai képzelet irreális realitása*. Kulturtrade Kiadó, Budapest (11) TELLER E. – BROWN, A. (1962): *The Legacy of Hiroshima*. Macmillan LTD, (magyarul Hiroshima hagyatéka, 1965) (12) WOLFRAM, S. (2001): *A New Kind of Science. Cellular Automata and Computational Complexity*. Champaign IL. Wolfram Media Inc.

EXTRAORDINARY CHARACTERISTICS OF THE WEATHER IN MAY AND JUNE 2010

By

MÓRING, ANDREA – LAKATOS, MÓNICA – NAGY, ANDREA – NÉMETH, ÁKOS

Keywords: May and June 2010, cyclones, precipitation, strong winds.

The weather in Hungary in May and June 2010 was determined by two Mediterranean cyclones called Zsófia and Angéla. Zsófia caused an extraordinary amount of precipitation to fall all over the country between 15 and 18 May, 2010. The precipitation which fell over the four days equalled the monthly average – in certain places, twice or even four times the monthly average. The days from the 15th to 18th May also had extraordinary winds.

Cyclone Angéla brought precipitation in excess of 30 mm between 30 May and 4 June, but amounts exceeding 120 mm were also registered in the hills.

While the mean precipitation between 1971 and 2000 was 586.3 mm annually, 140.5 mm in the spring and 61.1 mm in May, the amount of precipitation in May 2010 was 179.1 mm.

A significant amount of precipitation fell in June as well, but less than in May. While precipitation in June was 73.4 mm between 1971 and 2000, the corresponding figure for June 2010 was 115.8 mm.

CLIMATE CHANGE, EXTREMES AND WATER MANAGEMENT

By

SOMLYÓDY, LÁSZLÓ – NOVÁKY, BÉLA – SIMONFFY, ZOLTÁN

Keywords: water management, climate change, extreme weather, storage, water retention, EU Water Framework Directive.

The strategic tasks in water management will greatly depend on whether the last twenty years' changes in meteorological characteristics continue and whether these trends will become even stronger. Another important question is whether the precipitation extremes can be ascribed to the climatic changes only or whether they are also rooted in human activities. For the time being, there is significant uncertainty in the answers proposed to both questions, even at the European level.

The need to act to prevent increasing losses caused by the extremes, as well as the uncertainties together determine the tasks for water management, in line with the National Climate Change Strategy as well as the directives and recommendations of the Community (Water Framework Directive, Flood Directive, Statement on Drought):

– Short-term measures which can be implemented despite the uncertainties are especially important, as they are effective in reducing losses, entail acceptable costs, and are not called for solely due to the current and expected effects of climate change. The sustainable solution lies in the coordinated handling of flooding, high water table and drought (using various water retention methodologies), as well as in supporting the adaptation of land use to the water management considerations.

– Climate impact studies should be integrated into the water management planning processes (including the preliminary planning of measures to be implemented on a longer term). The most important tasks include reduction of the significant lack of information on the effects of climate change on water management; identification and monitoring of the climate change sensitive indicators; supporting the relevant R+D activities; and strengthening international cooperation.

– Finally, preparation for the longer-term consequences of aridification for water management – i.e. an appreciable reduction of water reserves and increasingly severe droughts – is another priority task. It is desirable to draw up plans adapted to the (uncertainly) forecast extent of climate change, to be implemented if the indicators identified reach the limit values indicating the need for intervention.

SOME AGROCLIMATIC ASPECTS OF RAINWATER, WATER RESOURCES AND WATER USE

By
TÓKEI, LÁSZLÓ – JUHOS, KATALIN

Keywords: water resources, water balance, rainwater, water usage, irrigation.

The often extreme distribution of rainfall can cause unfavourable water balance situations. We are not only sufferers of the impacts of hydrological changes, but also affect such changes through land use. The definition of the lack or abundance of water is relative and depends very much on the amount of water needed, including water required for agricultural production. We should give adequate answers – dynamic in time and space – using special mathematical as well as practical approaches. The answers must include the rational use of available moisture and its preservation in the soil, not only in cultivated areas but in the entire ecological system.

EVALUATION OF THE HYDROLOGY ASPECTS OF GROUNDWATER FLOODS IN 2010

By
PÁLFAI, IMRE

Keywords: precipitation, groundwater flood, climate change.

In 2010, extraordinary groundwater situations emerged in Hungary, primarily – as customary – in the Great Plain. Although a huge area (180,000 hectares) was covered with water in the early spring period as well, the true surprise and extraordinary event was caused by the high water table in late spring and in summer, flooding 230,000 hectares and causing especially extensive losses for agriculture but also in residential areas. The winter and early spring high water tables comparable to those in 2010 occur every five or six years on the average. The frequency of late spring and summer water table levels similar to those in 2010, however, is forty years. The last time when summer water table levels were more serious was in 1940! The total flooded area in 2010 is estimated at 270,000 hectares, as the affected areas were slightly different in spring and summer. Over half of the flooded areas were ploughland, mainly already sowed fields. The high water tables of winter and early spring were caused by the melting of snow, accompanied by heavy rain – following strong precipitation earlier –, while the high water tables of summer were caused by the multiple waves of extremely heavy rainfall in May and June.

Even though the regional climate change expected to take place in the Carpathian Basin over the upcoming decades is foreseen to cause appreciable warming and a reduction in the mean annual precipitation, the natural conditions affecting water table will not improve significantly – on the contrary, the situation may become even worse due to the higher number of days with heavy rainfall, primarily in the summer. To reduce groundwater-related risks, it is advised to carry out the long-delayed renewal of groundwater protection systems, including certain significant improvements, based on a scientifically sound and coordinated strategic programme of agrotechnological, settlement-based and regional tasks.

THE STATE OF AFFAIRS AND PROSPECTS IN AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT

By
BIRÓ, SZABOLCS – CZINEGE, ISTVÁN

Keywords: freshwater, precipitation, catchment, management, EU.

Freshwater is one of the strategic natural treasures of the 21st Century, which should be managed thoughtfully. One of the key factors in improving Hungary's general position is how existing water resources are managed and how water resources are protected and (re)used.

The VAHAVA report states that the average global temperature is rising and that the distribution of precipitation in time and space is undergoing a dramatic change, which might cause local floods and elevated ground water table (see the groundwater floods in 2010). Considering that most of the waters in Hungary come from abroad – primarily from the Carpathian Basin – it is necessary for all countries involved to cooperate responsibly in the field of water management. Overall, Hungary meets the EU expectations at the level of the Catchment Management Plan, but this is little solace when it comes to water used for agriculture in the country.

FRUIT SECURITY

By

SOLTÉSZ, MIKLÓS – SZABÓ, ZOLTÁN – NYÉKI, JÓZSEF

Keywords: fruit production, security, risk, conditions, tasks.

Strategic tasks to improve the security of fruit production in Hungary:

1. Organic and integrated fruit production is becoming more and more competitive globally, with energy and water efficient solutions being increasingly preferred. Therefore the actions directed at improving crop security should also promote the wider adoption of these production methods in Hungary.

2. More than two thirds of all fruit-growing areas are permanently located at the plains. Consequently, the solutions for improving crop security should target the areas of the plains.

3. Identification and utilisation of optimal growing sites is becoming more and more important. Fruit cadastres should be transferred to a new basis. Based on local weather data, the risks of extreme weather having a profound effect on the production of the envisaged fruit species should be identified on the level of individual plots.

4. Decisions on the protection measures and technology to be used to prevent the effects of extreme weather should be taken by the producers at the level of individual plots, taking into account the value of the assets to be protected and the costs of protection measures.

5. Producer organisations, professional and advocacy groups should facilitate the introduction of community-based protection methods wherever necessary and feasible.

6. As a way of protecting the common interests of the society, the government and its bodies should support the improvement of fruit security in the country, with special emphasis on protection from the consequences of extreme weather. In addition to financial support, this should also include legal measures, which should be formulated with regard to the final goal, rather than use stereotyped solutions. It is therefore not expedient to restrict aid to only one method of protection against hail or frost damage.

7. Innovation aimed at increasing crop security should be made a priority and should be encouraged through specific support measures. Only this way will producers have timely access to tools and information required to prevent the consequences of extreme weather or to reduce the loss sustained.

8. The strategic tasks listed above are urgent for preserving competitiveness, as other countries have already paid much attention to improving crop security, and have made serious sacrifices in order to prevent the negative consequences of extreme weather.

WEATHER ANOMALIES AND FRUIT PRODUCTION IN THE WESTERN TRANSDANUBIAN REGION

By
SZENTELEKI, KÁROLY – GAÁL, MÁRTA – MÉZES, ZOLTÁN

Keywords: distribution of precipitation, cherry cracking, hail, spring frost.

Our research focused on weather phenomena which might have a significant effect on fruit growing in the western part of Hungary. Cracking caused by rain is a critical issue primarily for the producers of cherry and sour cherry. We developed a computer programme which can give a reasonable estimate of the risk of cherry cracking. In their main blooming period in April, fruit trees are especially sensitive to weather anomalies. A significant increase in deviation in the absolute minimum temperature was found in the regions covered by the study. Of these regions, Nagykanizsa had the highest risk of frost in April, but the building of a frost protection system would be advisable in the other regions as well. With respect to hail, the situation is more favourable in the western part of the country than in the eastern part: the monthly distribution of hail varied between stations examined.

FORESTS ON THE XERIC LIMIT

By
MÁTYÁS, CSABA – FÜHRER, ERNŐ – BERKI, IMRE
– CSÓKA, GYÖRGY – DRÜSZLER, ÁRON – LAKATOS, FERENC –
MÓRICZ, NORBERT – RASZTOVITS, ERVIN – SOMOGYI, ZOLTÁN
– VEPERDI, GÁBOR – VIG, PÉTER – GÁLOS, BORBÁLA

Keywords: drought frequency, xeric limit, climate sensitivity of tree species.

On the xeric (or trailing) limit, weather extremes determine the presence of forests and climate sensitive tree species. It is first of all the increasing frequency of summer droughts which influences the vitality, health and production of forest ecosystems. The paper sums up the results of the last decade of research on the characteristics of climate sensitivity of forests, a sensitivity which has to be actively countered by silvicultural and conservation measures.

Summer droughts have been increasing over the last 50 years and the models indicate that this trend will continue, especially in the second half of the 21st century. The low elevation, low latitude xeric limit is especially important in Hungary, as most important species reach this limit within the country. Stronger summer droughts cause not only the decline of growth but also the increase of insect gradations and the appearance of heavy damages caused by species which were insignificant earlier. Loss of vitality may lead to mass mortality events.

When comparing climate zones, there is strong and obvious correlation between organic matter production and climate. The above-ground dendromass responds strongly to the worsening of climate, irrespective of tree species, while the below-ground parts remain unchanged. The carbon content of humus and soil increases toward drier climate.

For the 21st Century, climate models predict drastic narrowing of the climatic niche of climate sensitive species, resulting in loss of yield and a decline in profitability. The planned increase of forest area by afforestation seems to be insufficient to counter the worsening of climate – at least according to our present knowledge.

Increased data collection by monitoring and the development of modelling techniques are necessary to obtain a more realistic picture about the multiple roles of forests in climate protection. Long-term strategies depend on reliable data to support climate-oriented forestry and nature conservation. Results will also affect how the society perceives the role of forests and forestry.

TREE GROWTH AND THE CLIMATE

By
FÜHRER, ERNŐ

Keywords: climate change, growing of trees, forestry aridity index.

The improvement of forest management practices depends foremost on the new approach of assessing the ecological and forest site factors of forest landscapes as part of an eco-system. In this system, climate has become a dynamically changing factor of the forest site. The available eco-physiological observations and the biomonitoring of forests as a function of the climate have clearly shown that the water supply in the main growing cycle and main utilisation period (fifth to seventh months) and in the critical months (seventh and eighth) has a decisive effect on the growing and vitality of forests. The cause and effect relationship between climatic conditions and the increase in trunk diameter may be characterized using the simplified „forestry aridity index” /FAI/. The default value of the index is as follows: FAI : $100 \times T\text{ØVII-VIII} / (PV\text{-VII} + PVII\text{-VIII})$.

This means that with the help of the „forestry aridity index” /FAI/ we can characterize the general climate of climate classes used in forestry practice and that of any place or region from a forestry aspect. That is to say beech forest climate is found in areas characterized with a value of 4.75 or lower. Hornbeam-oak forest climate occurs is associated with an FAI value between 4.75 and 6.00, Turkey oak-sessile oak forest climate FAI value is between 6.00 and 7.25, while forest-steppe climate has an FAI value higher than that.

EFFECT OF CLIMATIC VARIABILITY ON THE RESTORATION SUCCESS OF OPEN SANDY GRASSLANDS

By
TÖRÖK, KATALIN – LOHÁSZ, CECÍLIA – SZITÁR, KATALIN

Keywords: drought index, life form strategies, climate change, mowing, aridification.

Drought periods are a major reason of vegetation stress in the Hungarian lowland. The effect of climate was investigated in relation to life form traits in a restoration project aiming to restore endemic grassland community in former black locust plantations. Black locust plantations are species poor habitats and represent a threat to biodiversity by invading surrounding seminatural habitats. After clear-cutting of black locust plantations, resprouting was hindered by chemical treatment, while weed abundance was decreased by mowing and hay removal. The vegetation of the treated and of the control plots became different over the 8 years, but composition and species abundance were still far from the target endemic grassland community (*Festucetum vaginatae*) by 2003. Increased drought resulted in lower vegetation cover in both the control and the treatment plots. Species in different life form groups responded differently. Negative correlation was found between the abundance of spring annuals and perennial monocots with drought, while the correlation between perennial dicots and summer annuals with drought was positive. Only summer annuals showed different sensitivity in the control and the treatment plots (not significantly), as drought resulted in higher cover in mowed plots. This is not necessarily a response to less precipitation, as reduced competition and increased open space can also contribute to higher cover. Altogether it was found that the share of different species groups and their response to drought contributed to different vegetation development in the control and the treatment plots.

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON AMPHIBIANS

By
PUKY, MIKLÓS

Keywords: climate change, amphibians, Hungarian observations.

Climate change increasingly threatens several animal groups, primarily aquatic or semi-aquatic species, such as amphibians, which have small migration radius and complex habitat requirements. Long term data sets indicate that recent climate changes influence the distribution, survival, extinction, morphology and reproduction biology of certain species. Several observations are available on population size changes and successful colonisation of new areas due to weather-dependent factors in Hungary. Besides, the green toad (*Epidalea viridis*) was recorded to have two successful reproductive cycles within a year in 2008, which had not been recorded before. The limited information available suggests that long-term study of all amphibian species in different habitat types is called for to describe climate-induced alterations in order to provide a firm basis for future conservation interventions if necessary.

AGROTECHNOLOGICAL TASKS RELATED TO PERIODS OF EXTREME PRECIPITATION

By
NEMÉNYI, MIKLÓS – MILICS, GÁBOR –
KOVÁCS, ATTILA JÓZSEF – SITKEI, GYÖRGY

Keywords: intensive rainfall, high water table, soil mechanics, hydrology, agrotechnological interventions.

In our opinion, the problem of periods with extreme precipitation could be remedied at a cost which is lower by magnitudes than the losses sustained. One thing is certain: the principle of „Think globally, act locally” is applicable here as well. In this case, „local” refers to countering detrimental effects on or below plot level.

Experience so far indicates that areas with high water table need to be addressed as a separate category with respect to the selection of species, varieties and hybrids as well as in terms of production technology and agrotechnology, allowing for the fact that environmental effects are decisive for both aspects.

At the same time, modern geospatial information systems are now essential in recording data about both crops and soil and in carrying out the necessary monitoring tasks. On the other hand, it remains necessary to adopt and improve methodologies for the online recording of physical and chemical characteristics of soil. The resulting databases could in the future contribute to replacing physical detection methods with satellite-based (hyperspectral) ones.

Additionally, we are convinced that the procedures and modelling methodology presented in the paper can significantly contribute to designing a comprehensive national research project which would provide local, plot-level answers to yet unresolved practical issues.

ENVIRONMENTAL SOIL TILLAGE (3E) AND MACHINERY – A RESPONSE TO CLIMATE CHANGE

By
JÓRI J., ISTVÁN

Keywords: sustainability, climate change, soil tillage, machinery.

One of the essential components of sustainable development is the rational use and protection of our most important natural resource, the soil, as well as the preservation of its versatile functions. This is one of the most important tasks common to environmental protection and agriculture. Soil and the environment mutually affect each other. For one, soil „suffers” the often detrimental stress occurring in the environment, but it may also be the cause of such stress – primarily if used incorrectly – and give rise to threats to other components of the environment, such as the underground and aboveground waters, the atmosphere near the ground, the flora and fauna, as well as the landscape. The solution lies in the environmental soil tillage system.

CLIMATE CHANGE – LESSONS FOR SOIL TILLAGE AND THE CONDITION OF SOIL

By
BIRKÁS, MÁRTA – SZEMŐK, ANDRÁS – MESIĆ, MILAN

**Keywords: soil tillage, the condition of soil,
climate-induced stress, climate damage mitigation.**

The relationship between soil quality factors and climatic effects were studied in long term tillage experiments and by field monitoring. The goal of researchers is to provide scientific proof for the problems encountered in practice and to offer recommendations on making crop growing more reliable under extreme climate conditions. This will change the region's prevailing tillage practices radically, including the abandonment of all methods that are detrimental to the soil and environment alike. In line with the requirements of landscape and environment protection, tillage is nowadays aimed at maintaining favourable soil quality and fertility and at preventing adverse changes such as climate sensitiveness.

One of the most important results of the soil quality research is the identification of tillage practices that are detrimental to the soil. The most important techniques used in the Pannonian region which fall into this category include: 1. Deep stubble stripping in the summer, leaving exposed soil surface without surface forming or coverage. 2. Ploughing in the summer, leaving soil surface without surface cover. 3. Shallow disking when the soil is compacted below the disked layer. 4. Winter ploughing of wet soil, which creates or thickens the plough pan. 5. Leaving soil surface after winter ploughing without surface forming when there is no (site-specific or other) reason for doing so. 6. Failing to loosen the root zone that has been compacted by tillage. 7. Reducing the quality of primary winter tillage by using tools that are not suitable for the soil moisture content. 8. Reducing the looseness of primary tillage at seedbed preparation (creating thick seedbed base). 9. Making decisions concerning tillage for the next crop without knowledge of the status of the soil. 10. Using irrigation techniques without knowledge of the sensitiveness of soil.

Driven by the need to reduce climate stress, regional soil tillage scientists joined forces to help improve tillage practices on the basis of their scientific achievements. Their recommendations are as follows: 1. The first step is to reduce the climate risks of summer soil tillage operations. 2. As tillage-induced soil state issues increase the damage caused by drought and water-logging, information on soil conditions is needed to draw conclusions concerning the likely damage. 3. Preventing the development of compact layers which impede water transport, and eliminating compact layers in the soil through appropriate tillage techniques. 4. Covering the surface with crushed stubble residue to protect soil and moisture and to decrease heat and rain stress in critical periods. 5. Creating a small surface area at any time of the season, without compaction stress. 6. Protecting the soil structure, irrespective of the tillage method. 7. Preserving the organic matter content of the soil is crucial for climate stress mitigation. 8. Adapting any type of tillage method which improves the condition of soil. 9. Causing less stress in over wet or dry soils. 10. Maintaining the soil's capacity to take in and to store water in irrigated soils. Tillage methods which preserve the water and carbon content and the structure of soil are crucial in irrigated soils.

EVENTS, IMPACTS AND LESSONS IN THE FIELD OF TRANSPORTATION

By
TÁNCZOS, LÁSZLÓNÉ

Keywords: weather, transportation, events, impacts, lessons.

As a result of repeated failure to finance the mandatory maintenance tasks, the exposure of surface transportation infrastructure to extreme weather conditions may become critical in Hungary. As society continues to age, public resources can be expected to further dwindle, which will continue to reduce the scope of infrastructural projects and maintenance efforts.

To prevent this, the transportation sector should become self-financing by gradually adopting the „polluter/user pays” principle. The imposition of charges on the consumers which cover the actual cost of transportation to the society may make the transportation of goods and persons more expensive and can thereby speed up the spreading of „green” solutions (e.g. electric motor vehicles) in transportation. Additionally, it is expected that vehicle development for all methods of transportation will speed up in the future. More efficient logistical chains and intelligent transportation systems may be created, which will help create sustainable transportation. Thus, sustainable mobility will increasingly become an organic component of transportation policy. Various tools are available to help achieve the relevant goals, including organizational, regulatory, IT and technology tools. The research done in this field to provide the basis for the categorisation above also indicated that the appropriate combination of measures can significantly reduce the detrimental environmental effects of transportation.

EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON ROADS (TASKS AND FINDINGS)

By
GÁSPÁR, LÁSZLÓ

Keywords: road transport, extreme weather events, road management tasks, preparation.

The effects of global climate change on society and economy are obvious, and affect road management and road transport as well. Events proving the process of climate change have become more frequent in Hungary. Such extreme weather events also pose serious challenges for the road management profession. Of the appropriate responses, modification and improvement of the standards and technical requirements applicable to design, maintenance and renovation operations may come first in order to prepare the industry for the increasingly inclement weather. Additionally, such preparation should be supported by higher education and the on-the-job training of professionals, as well as through as many presentations and related publications as possible.

A GENERAL DISASTER MANAGEMENT SYSTEM MODEL CONCEPT

By
BUKOVICS, ISTVÁN

Keywords: disaster management, system model, concept, strategy, tasks.

In consideration of the reserves and challenges identified by science, new strategic goals may be set:

- Improving civilian satisfaction, strengthening citizen orientation.
- Delivering safety with a focus on quality.
- Quality sustainable development, sustainable safety.
- Integrated law enforcement capabilities, application of state-of-the-art control and planning models.
- Improving partnership with formal and informal communities.
- A shift towards problem-solving service.
- Using best practice.
- Intelligent, innovative safety.

Pending and new priority tasks may make up the „climate strategy” of the strategic management for disaster management, consisting of several concurrent complementary activities – both smaller projects and larger programmes – building upon one another. The tools of strategic management are most useful in the ongoing planning, control and evaluation of such projects and programmes, as well as in communicating their results and transferring such results into practice.

- A database (electronic documentation) containing the disaster management events and measures relevant to climate change is warranted.

- Data pertaining to major climate change trends and meteorological information on a global and national level and on the level of the Carpathian Basin should be continuously obtained from scientific sources.

- The information compiled into databases should be stored, organised and made presentable using geospatial and other analysis software.

- Disaster management challenges induced by climate change (both already active ones and potential threats) should be enumerated and clarified.

- The adoption of a novel risk analysis method in protecting the population is especially desirable.

- Formulating the legislative changes made necessary by the effects of climate change from time to time.

- Laying down the climate change related requirements for the concepts determining the development of control and management system and HR operations (other than education and further training).

- Technical development and investment (e.g. specialised automobiles, fire extinguishing and technical rescue equipment, special tools for exploring damage areas, monitor systems and/or its components, mobile air conditioners, pumps and air exchanging equipment of various capacity, tents and containers with heat insulation, watercraft etc.), procuring new equip-

ment (e.g. protective clothing for various purpose, heat insulating materials, first aid for very hot weather, rescue tools for persons in water etc.).

- Development and application of new methods and tactical procedures for the new tasks
- Planning disaster management education, (on-the-job) training and research, and practical implementation of the plans.
- Identifying the new tasks in preparing the population and institutions, communication and crisis communication, having regard to the fact that the solution will be implemented in the society, where media are important vehicles of communication.
- Special attention should be paid to international cooperation, the guidance, directives, resolutions and technical information issued by international organisations, as well as their regular evaluation and integration into decision-making processes, especially considering EU membership.

CONTENTS

STUDIES

<i>Móring, Andrea – Lakatos, Mónika – Nagy, Andrea – Németh, Ákos</i> : Extraordinary characteristics of the weather in May and June 2010	3
<i>Somlyódy, László – Nováky, Béla – Simonffy, Zoltán</i> : Climate change, extremes and water management	15
<i>Tőkei, László – Juhos, Katalin</i> : Some agroclimatic aspects of rainwater, water resources and water use	33
<i>Pálfai, Imre</i> : Evaluation of the hydrology aspects of groundwater floods in 2010	43
<i>Biró, Szabolcs – Czinege, István</i> : The state of affairs and prospects in agricultural water management	52
<i>Soltész, Miklós – Szabó, Zoltán – Nyéki, József</i> : Fruit security	56
<i>Szenteleki, Károly – Gaál, Márta – Mézes, Zoltán</i> : Eeather anomalies and fruit production in the Western Transdanubian Region	72
<i>Mátyás, Csaba – Führer, Ernő – Berki, Imre – Csóka, György – Drüszler, Áron – Lakatos, Ferenc – Mőricz, Norbert – Rasztovits, Ervin – Somogyi, Zoltán – Veperdi, Gábor – Vig, Péter – Gálos, Borbála</i> : Forests on the xeric limit	84
<i>Führer, Ernő</i> : Tree growth and the climate	98
<i>Török, Katalin – Lohász, Cecília – Szitár, Katalin</i> : Effect of climatic variability on the restoration success of open sandy grasslands	108
<i>Puky, Miklós</i> : Impact of climate change on amphibians	114
<i>Neményi, Miklós – Milics, Gábor – Kovács, Attila József – Sitkei, György</i> : Agrotechnological tasks related to periods of extreme precipitation	121
<i>Jóri J., István</i> : Environmental soil tillage (3E) and machinery – a response to climate change	135
<i>Birkás, Márta – Szemők, András – Mesić, Milan</i> : Climate change – lessons for soil tillage and the condition of soil	144
<i>Tánczos, Lászlóné</i> : Events, impacts and lessons in the field of transportation	153
<i>Gáspár, László</i> : Effects of climate change on roads (tasks and findings)	158
<i>Bukovics, István</i> : A general disaster management system model concept	165
Summary	186

- Novák Béla**, ny. egyetemi docens (2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1. E-mail: novaky.bela@gmail.com)
- Móricz Norbert**, az NYME Erdőmérnöki Kar Környezet- és Földtudományi Intézet tudományos segédmunkatársa (9400 Sopron, Bajcsy Zs. u. 4., Tel.: 99/518-391, E-mail: calvus17@gmail.com)
- Móring Andrea**, az OMSZ Előrejelzési és Éghajlati Főosztály Éghajlati Elemző Osztály éghajlati szakértője (1525 Budapest, Pf. 38, Tel.: 346-4885, Fax.: 346-4687, E-mail: moring.a@met.hu)
- Nagy Andrea**, az OMSZ Előrejelzési és Éghajlati Főosztály Éghajlati Elemző Osztály éghajlati szakértője (1525 Budapest, Pf. 38, Tel.: 346-4653, Fax: 346-4687, E-mail: nagy.andrea@met.hu)
- Neményi Miklós**, akadémikus, az NYME Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete egyetemi tanár, intézetigazgató (9200 Mosonmagyaróvár, Vár 2., Tel.: 96/566-635, Fax: 96/566-641, E-mail: nemenyim@mtk.nyme.hu)
- Németh Ákos**, az OMSZ Előrejelzési és Éghajlati Főosztály Éghajlati Elemző Osztály geográfusa (1525 Budapest, Pf. 38, Tel.: 346-4780, Fax: 346-4687, E-mail: nemeth.a@met.hu)
- Nyéki József**, a DE AGTC Kutatási és Fejlesztési Intézet egyetemi tanára, intézetigazgató (4032 Debrecen, Böszörményi út 138., Tel.: 52/508-477, Fax: 52/526-934, E-mail: erdodine@agr.unideb.hu)
- Pálfi Imre**, az Alsó-Tisza vidéki Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság ny. szaktanácsadója (6720 Szeged, Stefánia u. 4., Tel.: 62/599-599, Fax: 62/599-555, E-mail: palfai.imre@gmail.com)
- Puky Miklós**, az MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet Magyar Dunakutató Állomás tudományos főmunkatársa (2131 Göd, Jávorka S. u. 14., Tel./Fax: 27/345-023, E-mail: h7949puk@ella.hu)
- Rasztovits Ervin**, az NYME Erdőmérnöki Kar Környezet- és Földtudományi Intézet kutató munkatársa (9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4., Tel.: 99/518-391, E-mail: raszto@emk.nyme.hu)
- Simonffy Zoltán**, az MTA TKI Vízgazdálkodási Kutatócsoport tudományos munkatársa (1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3-9., Tel.: 463-4223, Fax: 463-3753, E-mail: simonffy@vkkt.bme.hu)
- Sitkei György**, akadémikus, a NYME Faipari Mérnöki Kar professor emeritusa (1021 Budapest, Széher út 19., Tel.: 275-0749)
- Soltész Miklós**, a KF Kertészeti Főiskolai Kar Gyümölcs- és Szőlőtermesztési Intézet egyetemi tanára (6000 Kecskemét, Erdei Ferenc tér 1-3., Tel.: 76/517-633, Fax: 76/517-601, E-mail: soltesz.miklos@kfk.kefo.hu)
- Somlyódy László**, akadémikus, a BME Építőmérnöki Kar Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék egyetemi tanára (1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3-9., Tel.: 463-3713, Fax: 463-3753, E-mail: somlyody@vkkt.bme.hu)
- Somogyi Zoltán**, az Erdészeti Tudományos Intézet Ökológiai és Erdőművelési Osztály tudományos főmunkatársa (1143 Budapest, Stefánia út 14., Tel.: 30/465-2684, E-mail: som9013@helka.iif.hu)
- Szabó Zoltán**, a DE AGTC Kutatási és Fejlesztési Intézet egyetemi tanára (4032 Debrecen, Böszörményi út 138., Tel.: 52/508-477, Fax: 52/526-934, E-mail: erdodine@agr.unideb.hu)
- Szemők András**, szaktanácsadó, a SZIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézet c. egyetemi docense
- Szenteleki Károly**, a BCE Kertészettudományi Kar Matematika és Informatika Tanszék egyetemi docense, megbízott tanszékvezető (1118 Budapest, Villányi út 29-33., Tel.: 482-6261, Fax: 466-9273, E-mail: karoly.szenteleki@uni-corvinus.hu)
- Szítár Katalin**, az MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete tudományos segédmunkatársa (2163 Vácrátót, Alkotmány út 2-4., Tel.: 28/360-122/152, Fax: 28/360-110, E-mail: szitar@botanika.hu)
- Tánczos Lászlóné**, a BME Közlekedésmérnöki Kar Közlekedésgazdasági Tanszék egyetemi tanára (1111 Budapest, Bertalan Lajos u. 2., Tel.: 463-3265, Fax: 463-3267, E-mail: ktanczos@kgazd.bme.hu)
- Tőkei László**, a BCE Kertészettudományi Kar Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék egyetemi docense, tanszékvezető (1118 Budapest, Villányi út 29-43., Tel.: 482-6272, Fax: 482-6336, E-mail: laszlo.tokei@uni-corvinus.hu)
- Török Katalin**, az MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézete igazgatója (2163 Vácrátót, Alkotmány út 2-4., Tel.: 28/360-122/123, Fax: 28/360-110, E-mail: kati@botanika.hu)
- Veperdi Gábor**, az NYME Erdőmérnöki Kar Erdővagyon-gazdálkodási és Vidékfejlesztési Intézet egyetemi docense (9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4., Tel.: 99/518-137, E-mail: veperdi@emk.nyme.hu)
- Vig Péter**, az NYME Erdőmérnöki Kar Környezet- és Földtudományi Intézet egyetemi docense (9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4., Tel.: 99/518-173, E-mail: pvig@emk.nyme.hu)

SZÁMUNK SZERZŐI

- Berki Imre**, az NYME Erdőmérnöki Kar Környezet- és Földtudományi Intézet egyetemi docense (9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4., Tel.: 99/518-337, E-mail: iberki@emk.nyme.hu)
- Birkás Márta**, a SZIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézet egyetemi tanára, tanszékvezető (2010 Gödöllő, Páter K. u. 1., Tel.: 28/522-000/1674, Fax: 28/410-804, E-mail: Birkas.Marta@mkk.szie.hu)
- Bíró Szabolcs**, az AKI Vidékpolitikai Osztály osztályvezetője (1093 Budapest, Zsil u. 3–5., Tel.: 476-3073, Fax: 217-7037, E-mail: biro.szabolcs@aki.gov.hu)
- Bukovics István**, tanszékvezető egyetemi tanár, az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság szakmai tanácsadója (1192 Budapest, Hungária út 38., Tel.: 20/992-0118, E-mail: bukovicsistvan@wjlf.hu)
- Czinege István**, az Egri AGROBER Tervező Kft. ügyvezető igazgatója, c. egyetemi docens (3300 Eger, Klapka út 1., Tel.: 36/412-214, E-mail: egri-agrober@vnet.hu)
- Csóka György**, az Erdészeti Tudományos Intézet Erdővédelmi Osztály osztályvezetője (3232 Mátrafüred, Hegyalja u. 18., Tel.: 37/320-129, E-mail: csokagy@erti.hu)
- Drüszler Áron**, az NYME Erdőmérnöki Kar Környezet- és Földtudományi Intézet tudományos segédmunkatársa (9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4., Tel.: 99/518-619, E-mail: a.druszler@emk.nyme.hu)
- Führer Ernő**, az Erdészeti Tudományos Intézet tudományos főmunkatársa (9400 Sopron, Paprét 17., Tel.: 30/940-8166, E-mail: fuhrere@erti.hu)
- Gaal Márta**, a BCE Kertészettudományi Kar Matematika és Informatika Tanszék egyetemi docense (1118 Budapest, Villányi út 29-33., Tel.: 482-6192, Fax: 466-9273, E-mail: marta.gaal@uni-corvinus.hu)
- Gálos Borbála**, az NYME Erdőmérnöki Kar Környezet- és Földtudományi Intézet intézeti munkatársa (9400 Sopron, Bajcsy-Zs. u. 4., Tel.: 99/518-622, E-mail.: bgalos@emk.nyme.hu)
- Gáspár László**, az MTA doktora, a Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft. kutatóprofesszora (1119 Budapest, Thán Károly u. 3-5., Tel.: 464-4413; Fax: 204-7979, E-mail: gaspar.laszlo@kti.hu)
- Jóri J. István**, a BME Gépészmérnöki Kar Gép- és Terméktervezés Tanszék egyetemi tanára (1111 Budapest, Bertalan L. u. 1., Tel.: 463-1748, Fax: 463-3505, E-mail: jori.istvan@gt3.bme.hu)
- Juhos Katalin**, a BCE Kertészettudományi Kar Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék egyetemi tanársegéde (1118 Budapest, Villányi út 29–43., Tel.: 482-6272, Fax: 482-6336, E-mail: katalin.juhos@uni-corvinus.hu)
- Kovács Attila József**, az NYME Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete egyetemi docense (9200 Mosonmagyaróvár, Vár 2., Tel.: 96/566-635, Fax: 96/566-641, E-mail: kovacsaj@mtk.nyme.hu)
- Lakatos Ferenc**, az NYME Erdőmérnöki Kar Erdőművelési és Erdővédelmi Intézet egyetemi tanára (9400 Sopron, Bajcsy-Zs. út 4., Tel.: 99/518-160, E-mail: flakatos@emk.nyme.hu)
- Lakatos Mónika**, az OMSZ Előrejelzési és Éghajlati Főosztály Éghajlati Élelemző Osztály éghajlati szakértője (1525 Budapest, Pf. 38, Tel.: 346-4725, Fax: 346-4687, E-mail: lakatos.m@met.hu)
- Lohász Cecília**, az Energia Klub oktatás és képzés programkoordinátora (1056 Budapest, Szerb u. 17–19., Tel.: 411-3520, Fax: 411-3529, E-mail: lohasz@energiaklub.hu)
- Mátyás Csaba**, akadémikus, az NYME Erdőmérnöki Kar Környezet- és Földtudományi Intézet egyetemi tanára (9400 Sopron, Bajcsy Zs. u. 4., Tel.: 99/518-395, E-mail: cm@emk.nyme.hu)
- Mézes Zoltán**, a DE Kerpely Kálmán Doktori Iskola PhD hallgatója (Tel.: 30/613-0201, E-mail: mezes_zoltan@hotmail.co.uk)
- Milan Mesić**, a Zágrábi Egyetem Agrártudományi Kar Általános Agronómiai Tanszék egyetemi tanára (Tel.: +385-1-2393956, Fax: +385-1-2393981, E-mail: mmesic@agr.hr)
- Milics Gábor**, az NYME Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar Biológiai Rendszerek Műszaki Intézete egyetemi adjunktusa (9200 Mosonmagyaróvár, Vár 2., Tel.: 96/566-635, Fax: 96/566-641, E-mail: milics@mtk.nyme.hu)