

Elektronikus nedvességmérő műszer

Dudics Iván

Állami Tudományos Kutatóintézet
„Szisztéma” kárpátaljai részlege, Ungvár

Eredetileg a műszer 7 és 30 mm közötti vastagságú és legalább 80 mm széles fenyő és bükk fűrészárú nedvességtartalmának mérésére szolgál. Ha megfelelő skálát készítünk, használhatjuk más faanyagokra és 5 mm-nél vastagabb farost-, illetve rétegelt falemezek nedvességtartalmának ellenőrzésére is. Azonban ha érzékelőként (L_1 - rezgőkör), cilindrikus üreges hengert használunk, úgy némi átalakítással, a műszer (amarant, búza, rizs stb.) apróanyag nedvességtartalom mérésére is alkalmazható.

A műszer két mérési tartománya lehetővé teszi a fenyő fűrészárú nedvességtartalmának meghatározását 0 és 22% között az első, 40%-ig a második méréstartományban; bükk fűrészárú esetén 0 és 30% között az első, és 80%-ig a második méréstartományban. A mérés eredménye akkor hiteles, ha a környezeti hőmérséklet 205 °C, és a levegő relatív páratartalma nem haladja meg a 80%-ot.

Viszonylag nagy számú laboratóriumi és gyártási viszonyok között használható nedvesség meghatározási módszert ismerünk. Az esetek többségében azonban előnyben részesítik azokat az eljárásokat, amelyekkel az anyag felületének és szerkezetének roncsolása nélkül a technológiai folyamat bármely fázisában meghatározható a nedvességtartalom.

A vezetőképesség mérésén alapuló módszereknél általában kapacitív-induktív nedvességérzékelőket használnak, és nagyfrekvenciás rezgőkörök alkotóelemeiként kapcsolják ezeket a műszerhez. Formájuk lehet üreges henger, szögletes hasáb és olyan lapos tekercs, amelyet jó minőségű, paramétereiben a nedvességtől független szigetelőanyagból készült csévetestre visznek fel (ebonit, hetimax, textilbakelit, kerámia). A csévetest keresztmetszetét, a menetszámot és a huzal fajtáját úgy választják meg, hogy a tekercs saját kapacitásából és induktívitasából adódó rezgőkör-frekvenciája a 3...4 MHz-től 8...9 MHz-ig terjedő tartományba essék. Erre azért van szükség, mert a fa, papír, karton, pamutszövetek és egyéb anyagok aktív és reaktív vezetőképessége, dielektromos vesztesége a legjobban ebben a frekvenciatartományban függ a nedvességtől. Az általunk javasolt módszer azon alapszik, hogy a vizsgálandó anyagot a rezgőkör nagyfrekvenciás terébe helyezük, és regisztráljuk a rezgőkör paramétereinek megváltozását. A rezgőkör jóságának a tápáramkörre gyakorolt hatását a rezgőkörrel párhuzamosan kapcsolt eredő, ekvivalens rezonancia-ellenállásként vehetjük figyelembe:

$$R_e = Q\sqrt{\frac{L}{C}}$$

Ez tisztán ohmos jellegű, és szemmel láthatóan nagyobb, mint a rezgőköri tekercs egyenáramú ellenállása. A rezgőköri tekercs erőterébe helyezett nedves faanyag megnöveli a veszteségeket, és ezzel ΔQ értékkel csökkenti a jósági tényezőt. A rezgőkör induktivitása és kapacitása eközben lényegesen nem változik. A rezonanciaellenállás változása:

$$\Delta R_e = \Delta Q\sqrt{\frac{L}{C}}$$

Az anyag nedvességtartalmának megváltozása a kollektor-(emitter-) áram egyenáramú összetevőjének Δi értékkel való megnövekedését eredményezi az oszcillátor tranzisztorán. Ezért a $W=F(\Delta i/i_0)$ függvény – ahol W az anyag relatív nedvességtartalma, i_0 az oszcillátoron folyó áram egyenáramú összetevője – felhasználható a nedvességmérő skálájának elkészítéséhez.

Az előbbieken leírt elvek alapján már korábban is készültek nedvességmérők, amelyeket ma is eredményesen alkalmaznak a famegmunkáló üzemekben.

Az elvi kapcsolási rajzot az 1. ábrán mutatjuk be. A félvezetőeszközöknek köszönhetően a műszer gazdaságos üzemű, hordozható és független az elektromos hálózattól, tehát kizárja a balesetveszélyt. Ez teszi lehetővé a műszer széleskörű felhasználását közvetlenül a gyártási folyamatban, az üzemekben, a raktárban, a faosztályozó helyeken stb. A műszer konstrukciója és üzemeltetése annyira egyszerű, hogy kezelője különböző előképzettség nélkül is jól használhatja.

Az erdélyi vasútépítészet előzményei Az Első Erdélyi Vasút Arad-Gyulafehérvár fővonala és Piski-Petrozsény szárnyvonala

Dr. Horváth Ferenc
ny. MÁV mérnök, főtanácsos

Az Erdély területén átvezető fővonal vitája az osztrák kormány hathatós támogatása következtében az arad-gyulafehérvári vonal javára dőlt el. Bécsben a Birodalmi Tanács 1864-1865-ben ennek a vonalnak az építését engedélyezte (1. ábra).

Az Arad-Gyulafehérvár fővonal pályája

A Birodalmi Tanács döntését megelőzően erre a vonalra már több előmunkálati engedélyt adtak ki. 1856-ban a Rothschild testvérek, 1861-ben a Tiszavidéki Vasút, valamint a Brassói Bánya és Huta Egylet szerezte meg az előmunkálati engedélyt. Egyik cégnek sem volt azonban elegendő anyagi fedezete a vasútépítés megkezdéséhez.

Ilyen előzmények után 1864-ben, az erdélyi területen uralkodó éhínségre való hivatkozással a kormány az államkincstár terhére határozta el az Arad-Gyulafehérvár vasútvonal építését azzal az említett szándékkal, hogy később átadja az építkezés engedélyét akkor, ha arra tőkeerős társaság vállalkozik.

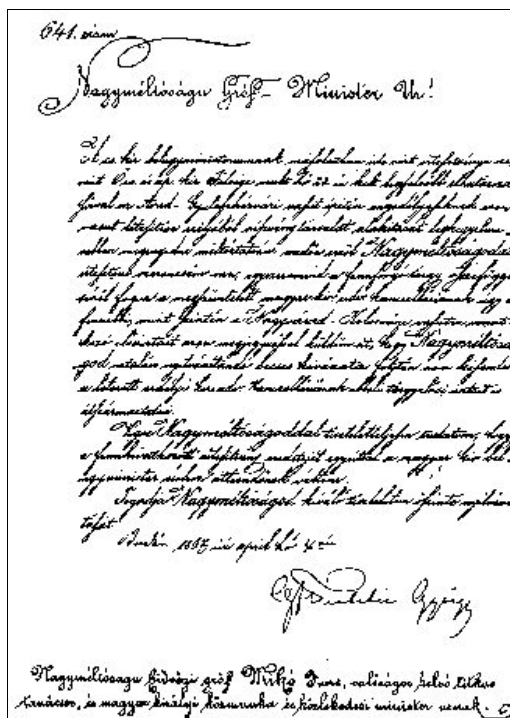
Az államkincstár terhére megkezdett építkezés földmunkáját, mint kivitelező a Tisza-vidéki Vasút (TVV) végezte. A munka azonban lassan haladt és két év alatt 3,5 millió Ft elköltése után a TVV a munkát abbahagyta.

Ekkor, 1866-ban kért és kapott végleges építési engedélyt a Zsil-völgyi bányákban érdekelt Brassói Bánya és Huta Egylet, amely Első Erdélyi Vasúttársaság néven részvénytársaságot alapított és biztosította az építkezéshez szükséges 35 millió Ft-os alaptőkét. Az építkezés megkezdéséhez az akkori szóhasználatnál „a legfelsőbb helyről kiadott” engedélyokmányt 1866. augusztus 18-án keltezték.

A társaság a kivitelezést a Klein testvérek és Sepper vállalkozóknak adta ki. A két vállalat a munkát az építkezés közben adódott nehézségek miatt 7-12 hónap késéssel fejezte be és az Arad-Gyulafehérvár vonalat (211 km) 1868. december 22-én és a Piski-Petrozsény közötti szárnyvonalat (79 km) 1870. augusztus 28-án adta át a forgalomnak (2. ábra).

A vasútvonal Aradról, a Tiszavidéki Vasút 10 évvel korábban, 1858-ban megnyitott Szajol-Csaba-Arad vasútvonalának végállomásából indult ki.

A vasútvonal végig a Maros völgyében haladt és olyan jelentősebb városokat, nagyobb településeket kapcsolt be a vasúti forgalomba, mint Radna, Lippa, Déva, Piski, Alvinc, Szászváros és Gyulafehérvár, a szárnyvonalon pedig Petrozsény.



1. ábra.

Gróf Mikó Imre miniszternek küldött értesítés az Arad-Gyulafehérvár vasútvonal építési engedélyének kiadásáról

A vasút jelentőségét nemcsak az érintett városok, hanem a nyugati részen, Arad-Hegyalja vidékén a mezőgazdasági termékek (kukorica, szőlő, bor), a Déli-Kárpátokban pedig az erdőségek, bányakincsek (vas, nemesérc, kőszén) és az egyre fejlődő ipar határozták meg.

A fővonal pontosabb nyomvonalát a Maros folyóra és partjainak vasútépítésre való alkalmassága, a hegyek közelsége döntötte el. A vasút Aradtól Branyicskáig a folyó jobb, innen Alvincig a bal, majd ezután Gyulafehérvárig ismét a jobb partján haladt. Emiatt két nagy hidat kellett építeni a Maroson. Az emelkedők mértéke 0,5-3,3 ‰ között változott, egyetlen szakaszon volt ennél nagyobb, 5‰-es emelkedő. Az ívsugarak 400-800 m-esek, csak néhány helyen kellett 400 m alatti, 379 m-es ívet beiktatni.

A fővonalon a földmunka kialakítása nem okozott nagyobb gondot, a pálya jórészt 2-4 m magas töltésen haladt. Több munkát igényelt viszont a hidak elkészítése és a part védelme a folyó mentén.

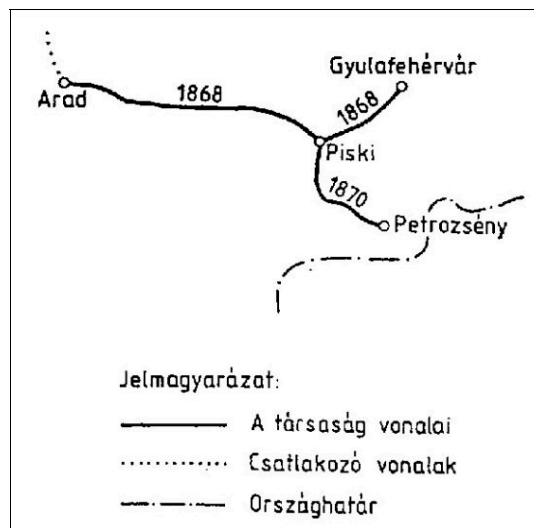
A branyicskai Maros hidat eredetileg teljes hosszában fából, járomhídként tervezték építeni, de a folyómederben talált sziklák miatt a facölöp alapozás lehetetlen volt. Így a 258 m hosszú (1x7,2 m+7x17,0 m+18,3 m+2x30,0 m+1x53,75 m) híd középső nyílásai kőpillérekön nyugvó alsópályás, párhuzamos, illetve felső görbített övű oszloptartós vashidak, a szélső nyílások pedig facölöpökre helyezett fa feszítőműves szerkezetként épültek (3. ábra). 1880-ban a híd faszerkezeti részéből 62 m hosszát vasszerkezetre cseréltek ki, ehhez két új kőpillért emeltek (4. ábra).

Az alvinci (marosportói) hidat először fából készítették, majd 1882-ben a középső részt átépítették vasszerkezetűvé. A két középső nyílásba (65,0 és 69,0 m) ekkor többtámaszú, kőpillérekön nyugvó párhuzamos övű vasszerkezetet helyeztek el, a szélső nyílások (11 x 4,8-7,0 m) cölöpökön nyugvó ékelt fagerenda hídként maradtak.

Piski és Szászváros között 102,4 m hosszú híd épült a Sztrigy folyó felett.

A kisebb vízfolyások felett az építkezéskor boltozott és nyílt átereszekon, fa és vashidakon vezették át a vasúti pályát, de a legtöbb fahidat néhány évvel a megnyitás után vasszerkezetre cserélték át. A vasútvonalon épült néhány felüljáró is.

A vasút felépítményét nagyobb részt Angliából vásárolt, 6,64 m hosszú, 30 kg-os „h” jelű vassínekből fektették, mert a hazai gyárak nem vállalták határidőre a gyártást. Az angol cég is késett azonban a szállítással és ez is hozzájárult az üzembehelyezés késleltetéséhez. A sínek rossz minőségűek voltak, gyorsan koptak, ezért már 1879 és 1880-ban évenként több mint 25 km sínt kellett kicserélni. A cseréknél először 32,5 kg-os „b” jelű vassínt, majd 31,0 kg-os „o” jelű acélsínt használtak. Az államosítás után a MÁV a síncseréket 33,25 kg-os, majd 34,5 kg-os „c” jelű acélsínekkel végezte. Az első világháborúig a vonal nagyobb részén már 42,8 kg-os „l” sínek feküdtek.



2. ábra.

Az Első Erdélyi Vasúttársaság által épített vonalak



3. ábra

Az Első Erdélyi Vasút részben fából, részben vasból készült Maros-hídja Branyicskánál



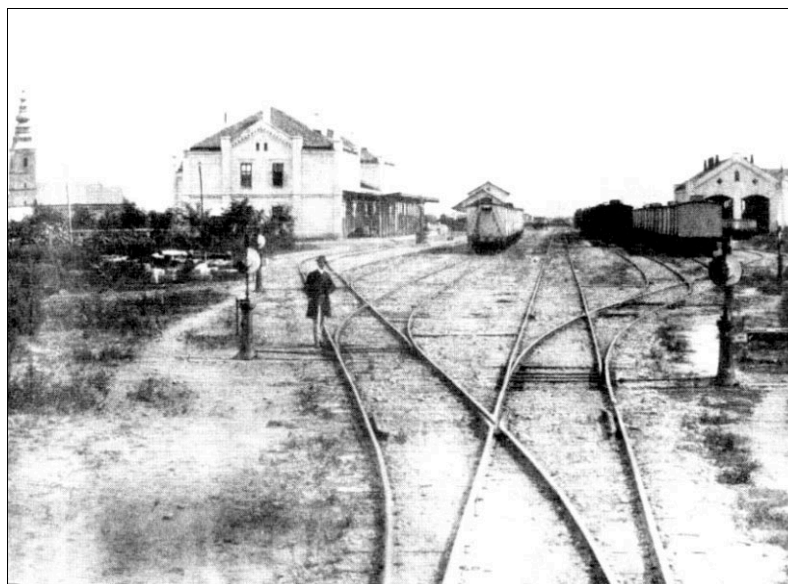
4. ábra
A branyicskai Maros-híd vasszerkezetre átépített része

A vasút építésekor a vonal mentén 640 km távíróvezetékot helyeztek el és 25 Morse készüléket állítottak üzembe. A közlekedés biztonságát 42 harangmű, 192 óraharangmű és 10 állandó lassúmenetjelző szolgáltatta.

A vasút építése kilométerenként 120,6 ezer Ft-ba került.

A vasúttársaság önálló működési idejének végén, 1883-ban 38 mozdonnyal, 67 személy- és 1064 teherkocsival bonyolította le a forgalmat. Fűtőháza működött Aradon és Piskin, ugyanitt műhely is.

A vasútvonal két legnagyobb állomása Arad és Gyulafehérvár (5. ábra) voltak. A közbenső állomások közül jelentős volt Radna, amit később Máriaradnának neveztek, Gyorok, Marosillye, Déva, Piski, Álkenyér és Alvinc. Piski nagy elágazó állomás lett. Az állomásról már az Első Erdélyi Vasúttársaság szárnyvonalat épített Petrozsényig, majd a MÁV Vajdahunyadig.



5. ábra Az Első Erdélyi Vasút Gyulafehérvári állomása

A megnyitás évében a leggyorsabban közlekedő vonat az Arad-Gyulafehérvár távolságot 7 óra, az 1918-as menetrend szerint 4 óra 41 perc alatt tette meg.

A vasútépítés befejeztekor az építési vállalkozók az építés közben elszenvedett veszteségeik és a többletmunkák miatt kártérítési pert indítottak a társaság ellen, amit végül egyezséggel zártak le. Ez 3,5 millió forintos többletkiadást okozott a társaságnak. A vasút forgalma sem alakult a vártnak megfelelően,

mert a MÁV az időközben államosított Nagyvárad-Kolozsvár-Tövis vonalra terelte át az erdélyi forgalom nagyobb részét, annak ellenére, hogy annak vonalvezetési viszonyai kedvezőtlenebbek voltak. A vasúttársaság üzleti feleslegeiből nem tudta fedezni az elsőbbségi kötvények járadékait és emiatt az államtól évenként jelentős összeget kapott kamatgarancia címén, ami 1883. év végéig már 23,8 millió Ft-ot tett ki. A vasúttársaság nem kielégítő gazdasági tevékenysége miatt elfogadta a kormány átvételi ajánlatát és az 1883-ban folytatott tárgyalások után az igazgatóság beleegyezett, hogy az állam megváltsa a vasutat. Az 1884-ben megkötött szerződés alapján a vasút állami tulajdonba került, amit az 1884. XXIX. Törvénycikk hagyott jóvá. A vasútvonalat a MÁV ezután beolvasztotta saját hálózatába és új közlekedési rendet vezetett be. A forgalmat a korábban MÁV tulajdonba vett Nagyvárad-Kolozsvár-Tövis vonalról a kedvezőbb vonalvezetésű Arad-Gyulafehérvár-Tövis vonalra terelte vissza. A Szajol és Tövis közötti távolság ugyanis Aradon át nemcsak 15 km-rel rövidebb, hanem a lejtviszonyok miatt az üzemköltség is 20%-kal alacsonyabb volt.

Az Első Erdélyi Vasút fővonala az építkezés megkezdésekor Aradon csatlakozott a magyarországi vasúthálózathoz, de fő- és szárnyvonala az építkezés befejeztékor Gyulafehérváron és Petrozsényben csatlakozott. Csakhamar azonban újabb kapcsolat létesült. 1871-ben a Keleti Vasút által épített Gyulafehérvár-Tövis közötti vonal összekötötte a két erdélyi fővonalat. Ugyanebben az évben nyílt meg az Arad-Temesvári Vasúttársaság vonala, majd később számos HÉV vonal ágazott ki az egykori Első Erdélyi Vasút vonalának Arad, Gyorok, Máriaradna, Marossillye, Álkenyer, Alvinc és Gulafehérvár állomásaiból.

A Piski-Petrozsény szárnyvonal pályája

Az Első Erdélyi Vasút másik építkezése az Arad-Gyulafehérvár fővonalból kiágazó Piski-Petrozsény szárnyvonal volt, amely a zsil-völgyi bányavidékre vezetett. Ez a 79 km hosszú vasút sokkal változatosabb terepen, hegyes vidéken vezetett, megépítéséhez bonyolultabb munkát kellett végezni.

A vasútvonal forgalmának legnagyobb részét a zsil-völgyi szén, a Pusztá-Kalánon lévő vasércbánya és a vasgyár termékei képezték.

A vasút Piski állomástól Krivádiáig a Sztrigy folyó völgyében haladt, majd Baniczánál a vízváltáson, 614 m hosszú alagúton keresztül lépett át a Zsil völgyébe. A vonal csaknem egész hosszában emelkedőben vitt, amelynek legnagyobb értéke elérte a 16,7 ‰. Sok volt az íves pályarész is, 189 m-es legkisebb ívsugárral. A vasútvonalat több helyen az emelkedők miatt hosszabb vonalkifejtéssel a mellékvölgyekbe kellett vezetni (6. ábra). A Ruszkai és Kudzsiri havasok, valamint a Retyezát hegység között vezető vasútvonalon a pálya kialakításához 20 m-nél nagyobb méretű töltések és bevágások létesítésére volt szükség (7. ábra), és a vízváltáson át vezetett nagy alagúton kívül még hét kisebb (24, 41, 45, 79, 137 és 143 m hosszú) alagutat kellett építeni (8. ábra), közülük három esetben a bevágást utólag boltozták be a földmunka hibái miatt.

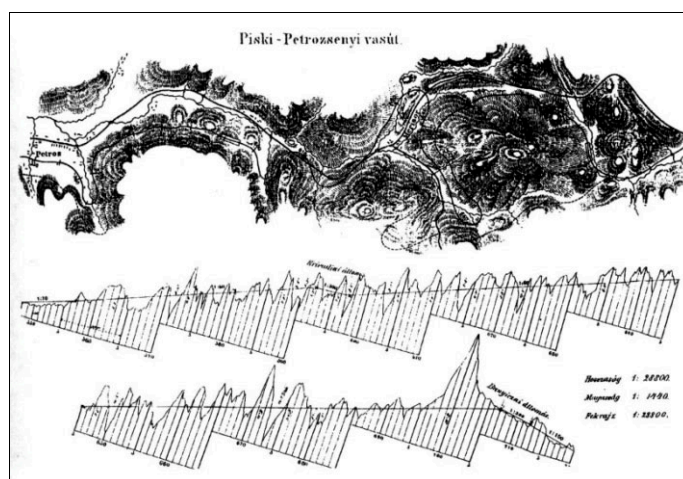
A Krivádia és Banicza közötti szakaszon már az építkezéskor földmozgásokat észleltek. Az alépítményi hiányok megszüntetésére víztelenítő műveket, szivárgókat és támfalakat építettek.

A szárnyvonalon több kisebb nyílt átereszt és boltozott híd, valamint öt nagyobb fahíd épült, amelyeket a megnyitást követő tíz évben vashidakká építettek át. A völgyeket több viadukt hidalta át (9. és 10. ábrák).

A vasút felépítményében az építkezéskor a fővasúthez hasonlóan 30 kg-os vassíneket használtak. Az 1890-es években a síneket 33,25 és 34,5 kg-os acélsínekre cserélték át.

A vasút nagy forgalma miatt az államosítás után a MÁV nemcsak a síneket cserélte ki, hanem jelentős korszerűsítést is végeztetett.

A meglévő állomások vágányhálózatát bevitették, új állomásokat és forgalmi kitérőket létesítettek, a lupényi helyi érdekű vasút csatlakozásakor Petrozsény állomásnál nyomvonal korrekciót hajtottak végre 1909-ben.



6. ábra. A Piski-Petrozsény szárnyvonal helyszínrajz részlete, a merisorai oldalvölgyben vezetett vonalkifejtéssel



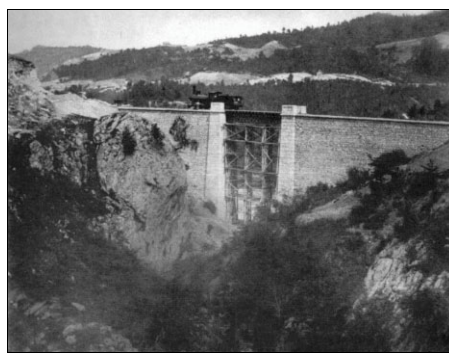
7. ábra
*A Piski-Petrozsény szárnyvonal
pályája építés közben*



8. ábra
*Piski-Petrozsény szárnyvonal
Boli barlang közelében levő alagútja,
amelyen egy 256 sorozatú mozdony vontatta
szerelevény halad át*



9. ábra
A Piski-Petrozsény vonal nagy völgyhídja



10. ábra
*A Piski-Petrozsény vonal ritka szépségű
Grid-völgyi hídja*

Krivádia és Livazény között vonalkorrekción terveztek, 12,3 km hosszú alagúttal. Ez azonban nem valósult meg.

A vonal nagyobb állomásai Russ, Bácsi, Kalán, Őrváralja, Puj, Krivádia, Banicza és Petrozsény voltak. Őrváraljáról helyi érdekű vonal is kiágazott, amely Karánsebesig vezetett, ott csatlakozott a Temesvár-Orsova vasútvonalhoz.

Petrozsényben nagyobb iparvágányhálózatot létesítettek. Több iparvágány épült a vonal mentén a kő- és szénbányákhoz, mészégetőkhöz.

Gipszbeton szerkezetek tervezési módszereinek továbbfejlesztése

Dr. Kászonyi Gábor

főiskolai tanár

Ybl Miklós Műszaki Főiskola, Budapest

1. A dermesztett beton szerkezet és építésmód rövid története

A dermesztett beton („szövetszerkezetes” ill. „gipszbeton”) építési mód kialakulása Sámsondi Kiss Béla munkásságán alapszik, és hazánkban fél évszázados múltra tekint vissza. A szakirodalomból jól ismert saját háza (Budapest, XII. Dayka Gábor u. 83.) 1941-44-ben épült. Az építési mód akkori tapasztalatait „Szövetszerkezetes épületek” c. könyvében foglalta össze. /1./

Munkássága a II. világháború után több vonalon folytatódott, a kipróbált technológiai megoldások az építésmód műszaki gyakorlatát gazdagították, bizonyítva életképességét, aktualitását. Az ÉTI-ben a 60-as években végeztek betondermesztéssel és gipszszaluzattal kapcsolatos mechanikai alapvizsgálatot, eljárást dolgoztak ki gipszszaluzatban dermesztett beton előállításának lehetséges technológiájára. Kísérleti épületeken („Diogenes” szállítható hétvégi ház, „Maisonette-ház” Budafok) vizsgálták az anyag és szerkezet viselkedését.

A laboratóriumi és helyszíni vizsgálatokkal párhuzamosan tudományos igényű javaslatok születtek a dermesztett beton szerkezetek tervezési jellemzőinek meghatározására. Párkányi Mihály foglalkozott „nem tektonikus szerkezetek” a szövetszerkezetes cellarendszeres építési mód kérdéseivel. /2./

E szerkezet anyagvizsgálati jellemzőinek összefoglalására, kísérleti eredmények alapján történő pontosítására ill. új anyagjellemzők meghatározására végeztem alapkutatásokat 1984 és 87-ben Kászonyi Gábor (BME Építőanyagok Tanszék). /3./

Az építész tervezőkkel - egyben a technológia szabadalmazóival Szövényi István, Czoch Andrea, Ónodi Szabó Lajos, Albert Tamás építészekkel együttműködve az 1970-es évek elejétől együttműködve fokozatosan dolgoztuk ki a „szövetszerkezet” vizsgálatait és méretezési elveit.

2. Anyag, szerkezet, technológia ismertetése

2.1. Általános meghatározás:

A dermesztett betonok olyan speciális vékonyfalú teherhordó anyagok ill. szerkezetek, melyek tömörítése a bedolgozáshoz szükséges többlet vízmennyiségnek az előregyártott zsaluzat általi gyors elszívásával történik.

Nedvszívó zsaluzatként a gipsz alkalmazása célszerű, alacsony testsűrűsége, egyszerű gyárhatósága, „kész felület” kialakítási lehetősége miatt.

A gipszbeton felületész monolit vasbeton héjszerkezet, mely statikailag méretezett vasalással legalább C 12-4/ F minőségű dermesztett homokbetonból készül.

2.2. A dermesztett beton anyag: speciális szemszerkezetű, magas cementtartalmú (600-1000 kg/m³), nagyszilárdságú homokbeton, méretezés szerinti 3-8 mm-es vasalással (CI5.H., BHB 60.50., B60.40.), 25-40 mm szerkezeti vastagsággal.

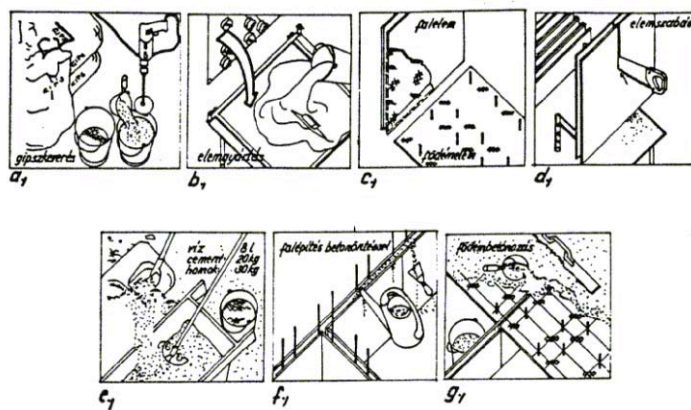
A cementkötésű építőanyagok közül mind az adalék szemnagysága, mind a fajlagos cementtartalom alapján az armocementhez (ferrobetonhoz) áll legközelebb. Jelentős eltérést a bedolgozott anyag alacsony „maradó” víz-cementtényezője jelent a dermesztett beton javára, mivel ez, valamint a dermesztésből fakadó nagy tömörség jelentősen növeli a szilárdságot, ugyanakkor csökkenti a zsugorodás mértékét /2./ , /4./ , /6./ ,

A gipszrétegek közé öntött beton hidrosztatikus nyomása kiküszöbölhető /2./

2.3. Az építési technológia 2 alapvető fázisra bontható:

- a gipsz zsaluzóelemek előregyártása,
- az elkészült táblából horizontális és vertikális elemek összeszerelése, a bordák vasalása és folyós konzisztenciájú homokbetonnal való kiöntése.

A 600x600 mm táblaméretű zsaluzó gipszelemek könnyen szabhatók. A gipsztáblák távtartását beépített műanyag betétek biztosítják, melyek alkalmasak a vékony acélbetétek befűzésére, helyzetének rögzítésére is (1. ábra).



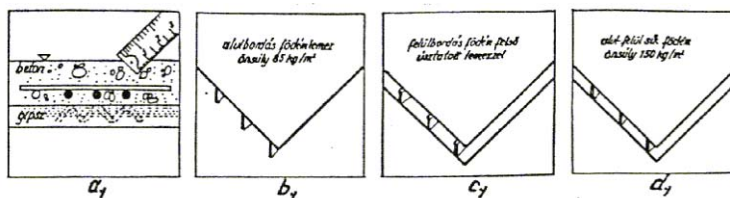
1. ábra

Dermesztett beton szerkezeti elemek gyártási fázisai

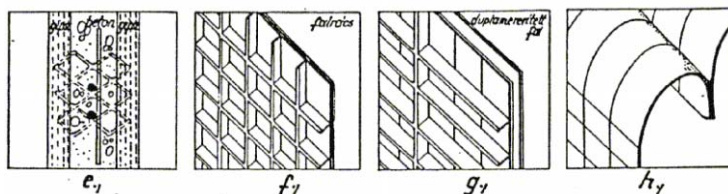
2.4. A deresztett beton szerkezet ill. építési rendszer

Anyag, szerkezet és technológia szétválaszthatatlan egysége. (2. ábra)

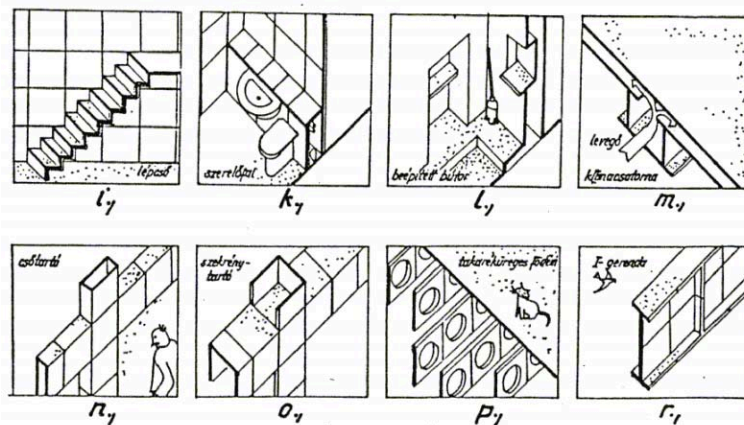
2.4.1. A vízszintes teherhordó szerkezetek (födémek):



2.4.2. A függőleges teherhordó szerkezetek (falak):



2.4.3. Építési segédstruktúrák:



2. ábra

3. Eredmények az anyagvizsgálatok területén

Helyszíni vizsgálati eredmények és laboratóriumi kísérletek alapján meghatároztam a bentmaradó gipsz-zsaluzatos vékonyfalú vasbeton szerkezetek célszerű anyagösszetételét.

3.1. Betonösszetétel meghatározása

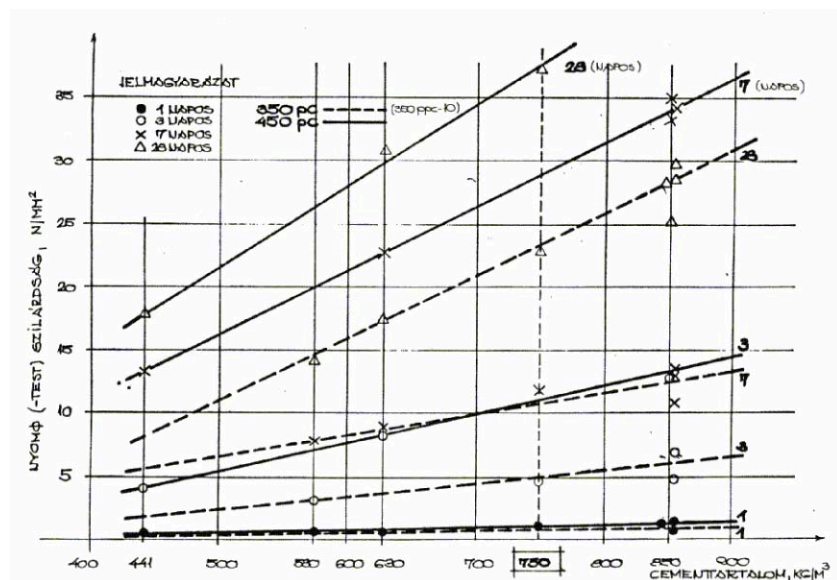
A betonösszetételt a Bolomey-Palotás képlet, valamint korábbi kísérletek empirikus adatai alapján határoztam meg, három anyagtani jellemző szilárdságra gyakorolt hatásának pontosításával. Ezek:

- a cement mennyiségének és minőségének hatása a dermesztett homokbeton szilárdságára ill. szilárdulási ütemére,
- a cementtartalom és az adalékanyag tömegének optimális aránya dermesztett betonok összetételében,
- a gipsz zsaluzóelem nedvességelszívó („dermesztő”) hatása a dermesztett homokbeton önthetőségére ill. szilárdságára.

3.1.1. A cement hatása a beton tulajdonságaira

Anyagvizsgálati kísérleteim során a dermesztett betonok készítéséhez alkalmazott cementekre vonatkozóan az alábbi összefüggéseket tapasztaltam:

- A szilárdságilag szükséges cementmennyiség a normál betonok esetében alkalmazott számítási képletekkel meghatározható.
- A cementadagolás növelésével, valamint nagyobb kötőerejű cement alkalmazásával – hasonlóan a normál betonokhoz – a dermesztett betonok szilárdsága nő, ugyanakkor a magasabb cementadagolású dermesztett betonok szilárdsági szórása nagyobb.
- (A cementtartalom további növelésével valószínűleg elérhető lenne egy optimális (maximális) szilárdsági érték, mely felett túltelített betonoknál - a szilárdság csökkenő tendenciát mutatna. Az általam vizsgált gyakorlati tartományban az összefüggés lineárisnak tekinthető).
- A mechanikai tulajdonságok – bár a cementadagolás hatása egyértelműen bizonyítható – döntőbb mértékben függenek a testsűrűségtől. ($\rho_t \approx 1950 \text{ kg/m}^3 - 2250 \text{ kg/m}^3$)



3. ábra

A nyomószilárdság változása a cementtartalom függvényében különböző korú dermesztett betonok esetén

- A dermesztett betonok maradó víz-cementtényezője laboratóriumi vizsgálataim szerint: $x_m = 0,24 - 0,25$
- A nagy mennyiségű portlandcement adagolás révén a betonacél korrózió a minimumra csökken, így az egyébként alkalmazandó (előírt) betonfedés vastagsága cca 1/3 mértékűre redukálható.

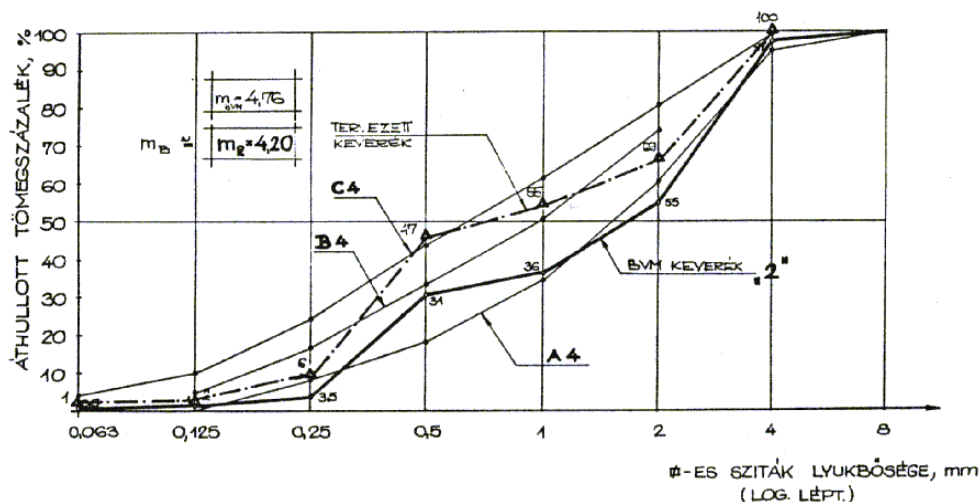
3.1.2. Adalékanyag szempontjából a dermesztett homokbeton általában megfelelő, ha:

- adalékanyaga *inert* (a cement kötését nem befolyásolja),
- az adalékanyagban a finom (0,063/0,25) frakció (H_f) és cement (C) együttes tömegének és a durva (0,25/4) homokfrakciónak (H_d) aránya:

$$\frac{C + H_f}{H_d} \cong 1.0$$

- kívánatos az öntési tapasztalatok alapján, hogy a C/H tömegarány 0,8 - 1,0 közötti értékű legyen.
- A 0,25/ 1 folyami homok „rosszul vezethető” habarcsot eredményez, csomóssá teszi a pépet, folyamatos szemmegoszlású adalékkeverékekben a tömegaránya 35 % alatt megfelelő.

Önálló adalékanyagként a 0,25/ 1 nem alkalmazható.



4. ábra

A Dunaújvárosi kísérleti elemek betonjánál tervezett ill. felhasznált adalékkeverék

3.1.3. A vízmennyiség meghatározásánál a normál kavicsbetonoknál szokásos $x=v/c$ víz-cementtényező helyett az:

$$x_r = \frac{v}{C + H_f}$$

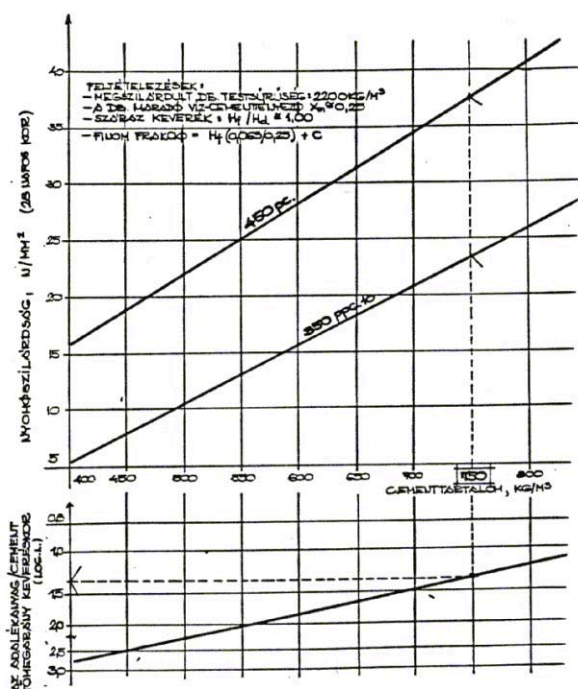
módosított víz-cementtényezővel kell számolni az adalékanyag nagy fajlagos felületének figyelembevételével.

- A keverővíz meghatározásánál a *gipsz zsaluzóelemek nedvszívó képességét* 25-28 % értékben javasolom felvenni. (~ 6,72 kg/m²)

3.1.4. Tervezési nomogram dermesztett betonok összetételének meghatározására

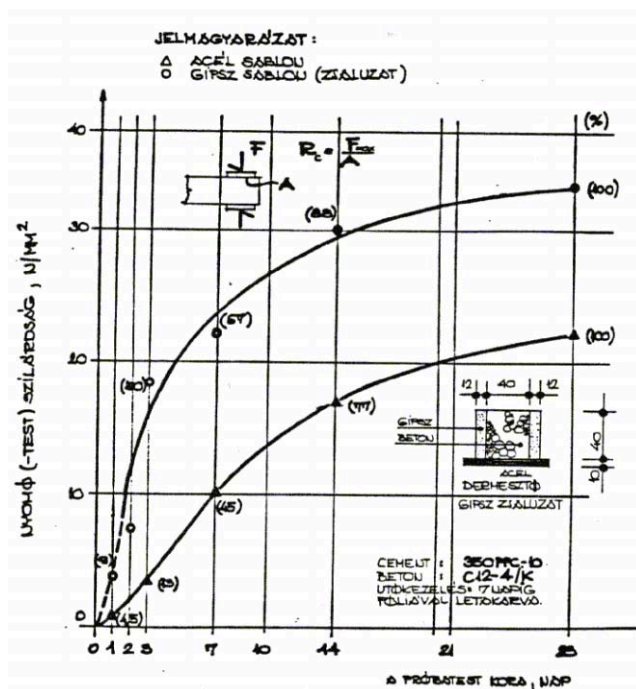
Korábbi vizsgálatok eredményeinek összefoglalása és szintézise eredményeképpen a dermesztett betonok speciális tulajdonságait is figyelembe vevő tervezési nomogramot állítottam össze, melyet az 5. ábra mutat.

A nomogram alkalmas számított, szilárdságilag szükséges cementtartalom (C) ismeretében, adott cementminőség esetén, a nyomószilárdság előrebecslésére, illetve az adalékanyag – az önthetőség szempontjából megfelelő – tömegének közelítő meghatározására.



5. ábra

Nomogram dermesztett betonok összetételének meghatározása



6. ábra

A nyomó-/test/ szilárdság változása a beton korának függvényében

4. A szilárdsági jellemzők meghatározása

Laboratóriumi mérések alapján kimutattam, hogy a vízszívás következtében a beton szilárdulási folyamata jellegében azonos a vízzáró zsaluzatban készült beton szilárdulási folyamatával. Egyes gyakori hazai cementfajták esetére kimutattam a vízszívás (gipsz zsaluzat dermesztő hatása) hatását a nyomószilárdság (4.1) ill. a hajlító-húzószilárdság (4.2) nagyságára és időbeli alakulására.

4.1. A nyomószilárdság értéke és időbeni változása

A nyomó (test-) szilárdság átlagos értéke 28 napos korban (R_c):

- acélsablonban készült testeken 21,0 N/mm²;
- gipszszaluzatba öntött testeken 34,0 N/mm² volt. (Tervezett betonminőség: C12, cement: váci 350 ppc-10., szilárdulási hőmérséklet 20±2 °C.).

A szilárdulás ütemét acél-, ill. gipszszaluzatba öntött testeken a 6. ábra szemlélteti.

A gipszszaluzatban dermesztett betonok szilárdulása lényegesen gyorsabb a fémsablonba öntött betonokénál. A nyomószilárdság 28 napos korban mért értéke a dermesztett betonok esetében átlagosan cca. 50 %-kal magasabb, mint a fémsablonban készült betonoké.

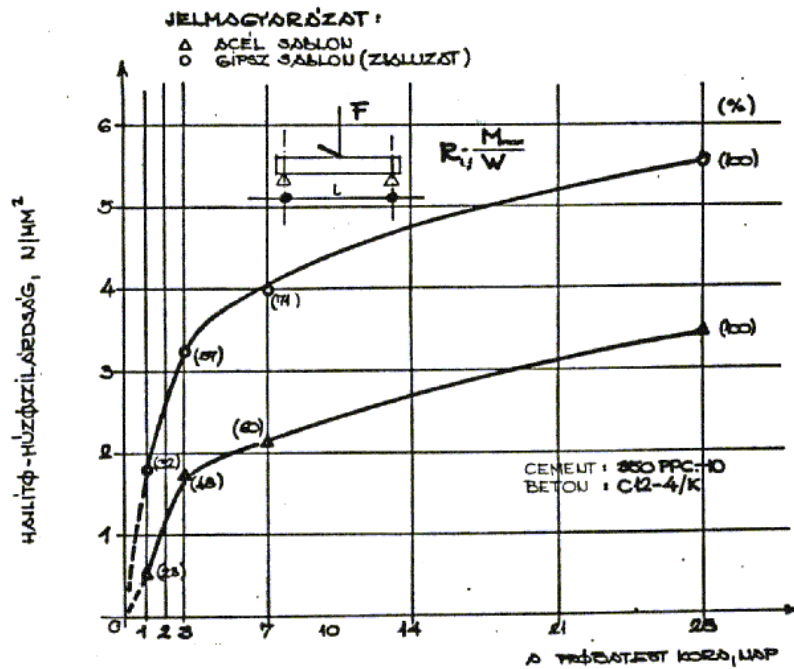
4.2. A hajlító-húzószilárdság átlagos értéke és időbeni változása

A hajlító, -húzószilárdság átlagos értéke 28 napos korban (R_{tf}):

- acél sablonban készült testeken 3,51 N/mm²;
- gipszszaluzatba öntött testeken 5,60 N/m² volt.

(Tervezett betonminőség: C12, cement: váci 350 ppc-10., szilárdulási hőmérséklet 20±2 °C.)

A szilárdulás ütemét acél-, ill. gipszszaluzatba öntött testeken a 7. ábra szemlélteti.



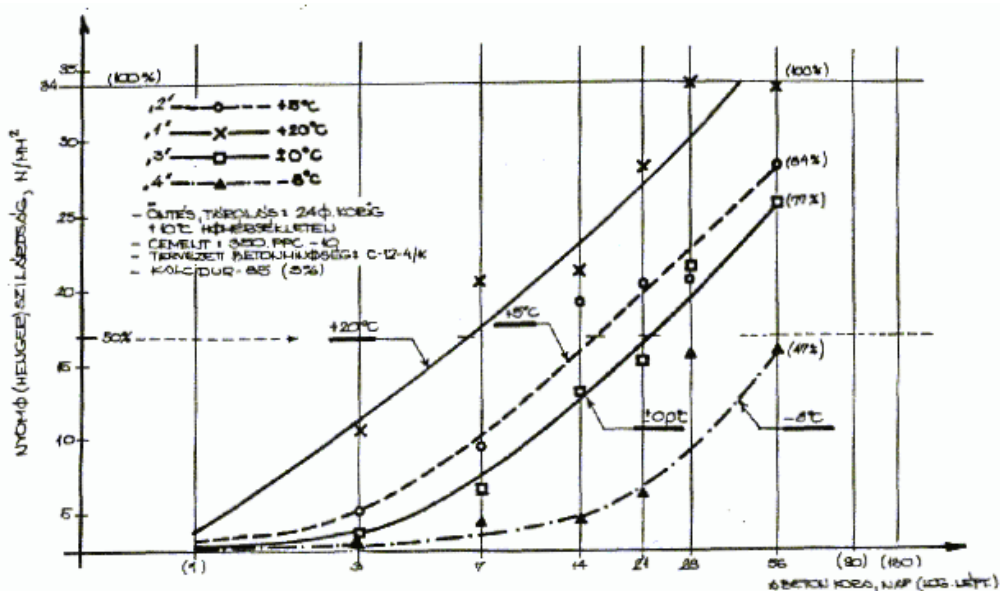
7. ábra

A hajlító-húzószilárdság változása a beton korának függvényében

A hajlító- ,húzószilárdság 28 napos korban mért értéke a dermesztett betonok esetén átlagosan - cca 60 %-kal magasabb, mint a fémsablonban szilárdult testeknél.

4.3. Dermesztett betonok nyomószilárdságának alakulása hideg időben készített szerkezetek esetén

A hideg hőmérséklet hatását a dermesztett betonok szilárdulási ütemére a 8. ábra szemlélteti.



8. ábra

A hideg idő hatása dermesztett betonok szilárdságára és szilárdulási ütemére

Az 56 napos korban mért szilárdságok aránya (kerekítve) +20°C hőmérsékleten tárolt testeknél 100%, +5°C esetén 84% ±0°C esetén 77%, -8°C hőmérsékleten 47%. Mivel a *kizsaluzás* (kiállványozás) általában a végszilárdság 50-60%-nak elérése után végezhető el, így +20°C esetén 7 napos, +5°C-nál 14 napos, ±0°C-nál 28 napos, míg -5°C-nál csak 56 napos korban történhet meg.

(A hideg időben végbemenő betonszilárdulási folyamatok kutatásával Dr. Balázs György foglalkozott. Megállapította, hogy „alacsony hőmérsékleten tárolt, majd tartósan (kb. 60 napig) fagyhatásnak kitett beton szilárdulása sem szűnt meg teljesen a fagyhatás idején, ha beton szilárdsága egy minimális értéket elért (kb. 10-15 kg/ m²). A szilárdulást a fagyhatás idején, valamint felengedés után gyorsította a nagyobb cementadagolás és a kalciumklorid adagolás).

Irodalom

- [1.] Sámsondi Kiss Béla: Szövetszerkezetes épületek (Műszaki Kiadó, Bp. 1965.)
- [2.] Párkányi Mihály: Nem tektonikus szerkezetek, (Építés, -Építészettudomány 1969/1-4)
- [3.] Anyagvizsgálati Szakvélemény 1984., 1987., (Dr. Kászonyi Gábor, BME)
- [4.] Nguyen Huu Thank: A ferrocement mint építőanyag és építésmód. (Építőanyag, XXXIX. évf. 2. szám 1987.)
- [5.] Dr. Bachmann Zoltán: Pécs középkora, A pécsi Dóm Múzeum románkori kőtár bemutatása.
- [6.] Gipszbeton szerkezetek. Alkalmazástechnikai Kézikönyv, (26. ÁÉV. Dunaújváros - ÉMI 1991.)
- [7.] Michaluti Antal: A gipsz alkalmazása fal és fűdémszerkezetekhez.
- [8.] Dr. Kászonyi Gábor: Vékony keresztmetszetű dermesztett beton és vasbeton szerkezetek Magyarországon. (TECHNIKA XXXVII. évf. 6. sz. 1993.)
- [9.] Dr. Gábor Kászonyi: Thin sectioned numbed concrete and numbed reinforced concrete structures. (Science and Technology in Hungary, 1994.)
- [10.] Dr. Kászonyi Gábor: Gipszbeton szerkezetek tervezési módszereinek továbbfejlesztése. (Kandidátusi disszertáció. 1994-95.)

Plazmadiagnosztikai kutatások Elektron Ciklotron Rezonancia Ionforráson

Kenéz Lajos, Karácsony János

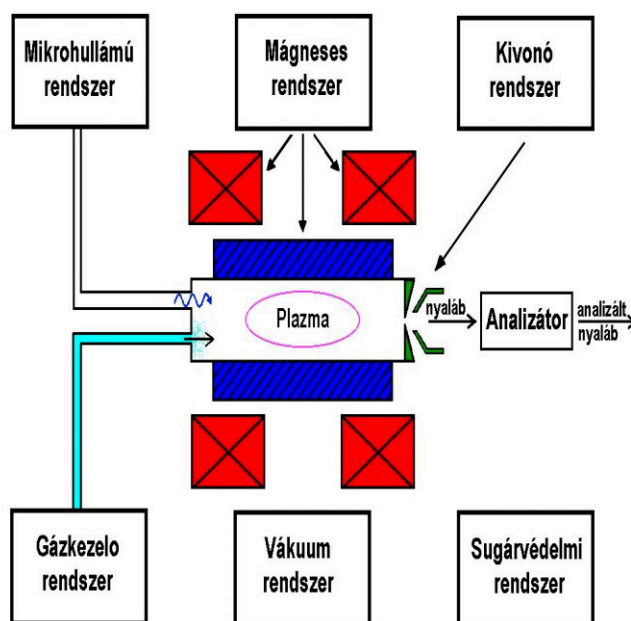
1. Az ECR ionforrások

Az 1980-as évek elején világossá vált, hogy a hagyományos ívkisüléssel ionforrások nem képesek kielégíteni a nagy töltésű, nagy intenzitású ionnyalábok iránt felmerülő igényt. Azokban az időkben két különböző ionforrás volt fejlesztés alatt, az EBIS (Electron Beam Ion Source) és az ECRIS (Electron Cyclotron Resonance Ion Source). Közülük az ECR ionforrás vált közkeletűvé a ciklotron által megkövetelt nehéz ionnyalábok előállítására. Az ECR ionforrás fő tulajdonsága, hogy a lefosztást végző elektronok katód nélkül keletkeznek, ami azt jelenti, hogy nincs az ionforrásban elhasználandó darab. További fejlesztések azokat igazolták, akik az ECR Ionforrás alkalmazása mellett döntöttek, mivel az megbízhatónak, könnyen kezelhetőnek bizonyult, melynek segítségével a periódusos rendszer számos eleméből könnyedén, reprodukálható módon lehet ionnyalábokat előállítani.

Az Elektron Ciklotron Rezonancia (ECR) Ionforrás [1], egyike a legsikeresebb nagy töltésű ionokat előállító berendezéseknek. Felhasználásuk igen széles körű a tudományos társadalom berkeiben. Ezen alacsony energiájú ionnyaláb létrehozó berendezést, fejlődésük kezdeti szakaszában más utógyorsító berendezések injektoraként használták (mint pl. RFQ, Ciklotron stb.). Az utóbbi évtizedben, mint önálló alacsony energiájú gyorsítót is alkalmazzák az ionforrást, mivel az így nyert nyaláb egy olyan, addig lefedetlen energiatartományban rendelkezik, mely az atomi ütközések fizikájában elérhetetlen volt. Mint harmadik alkalmazási területet az ionforrás kutatását (pl. plazmadiagnosztika, fémplazma előállítás, mely asztrofizikai alkalmazásokhoz vezet, fullerén-kutatás) és különböző új anyagok előállítását említhetném meg (endohedrális fullerén, mely orvosi alkalmazáshoz vezet).

1.1. Az ECR ionforrás felépítése és működési elve

Az ECR ionforrás tekinthető (1. ábra), három fő szerkezeti egység, egy komplex mágneses tér, egy nagyfrekvenciájú mikrohullámú tér és egy alacsony nyomású ionizált gáz együttesének. A tekercsek és a hexapol által létrehozott mágneses térben (B - minimum elrendezés) helyezkedik el a vákuumkamra. Az ATOMKI-ECR esetében a mágneses tér indukciója eléri az 1,2 T értéket. Az ionforrás vákuumterébe 14,5 GHz frekvenciájú mikrohullámot csatolunk be.



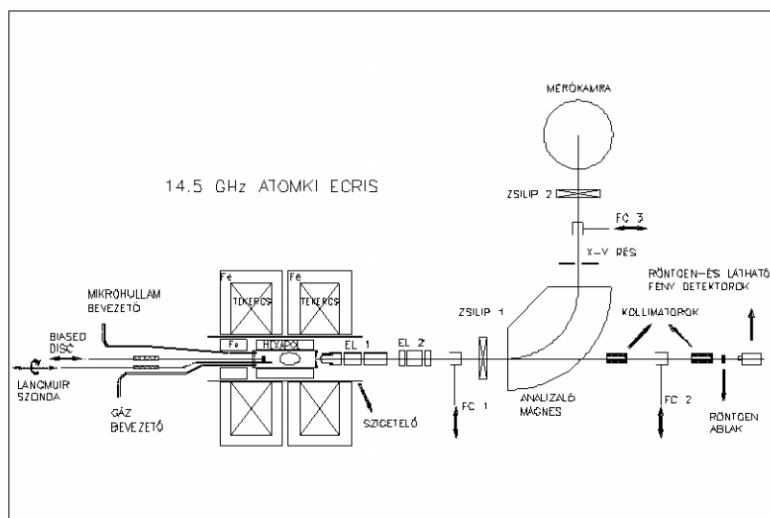
1. ábra: Az ECR ionforrás felépítése. A kamra belsejében a rezonáns zóna metszete látható

A szerkezet geometriájából adódóan létezik a kamrában egy 0,52 T mágneses indukciójú zárt, tojás formájú felület, melyen az ECR ionforrás vákuumterében mindig létező kis mennyiségű szabad elektron éppen 14,5 GHz körfrekvenciával fog rendelkezni. Így ezek az elektronok rezonanciába kerülnek a becsatolt mikrohullámmal és stochasztikus feltételek mellett, energiát nyernek a mikrohullámú sugárzás E elektromos vektorától.

Az ionforrásba vezetett munkagáz (esetlegesen különböző módszerrel előállított fématomok) atomjait, molekuláit az így nyert nagy energiájú elektronok ionizálják. Az ionforrásra kapcsolt megfelelő feszültség alkalmazásával a nyert ionok a kamrából kivonhatók, analizálhatók és/vagy a megfelelő alkalmazás helyszínére juttathatók. Ily módon az igényelt töltéssel rendelkező ionok előállítására hangolható az ionforrás. A berendezésben magas vákuumállapot létrehozása szükséges az ionok és a semleges atomok között végbemenő töltéscicserélődési folyamatok végbemeneteli valószínűségének lecsökkentése érdekében. Az ECR ionforrás esetén az ionok magas lefosztottságának eléréséhez két fontos feltételnek kell teljesülnie. Az első feltétel, hogy az ionokat viszonylag hosszú időre a kamra belsejébe kell koncentrálni, ami élettartamuk megnövelését jelenti. Ellenkező esetben gyorsan eléri a kamra falát, ahol rekombináció, áttöltődés stb. következtében elvesznek, vagy visszatérnek ugyan, de ionizáltsági fokuk erősen lecsökken. A hosszú élettartam azért is fontos, hogy az elektronoknak legyen elég idejük a fent leírt mechanizmus útján, lépésenként (step by step módon) többszörösen ionizálni az atomot. A második feltétel a kamrában kialakult plazma elektronhőmérsékletének növelése. Az elektronokat magas hőmérsékletre kell emelni, vagyis a belső héjak kötési energiájának is megfelelő, vagy annál nagyobb energiát kell velük közölni oly módon, hogy az ionok az energia felvételből a lehető legkisebb arányban részesüljenek.

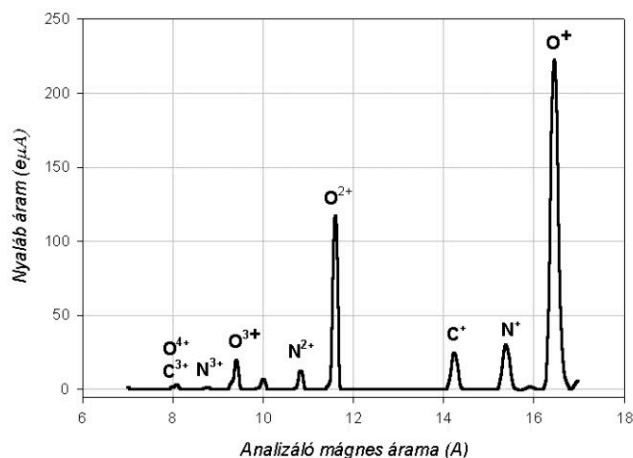
1.2. Ionnyalábok előállítása

Az ECR ionforrások fejlődésük során napjainkra már olyan szintet értek el, ahol megbízható, reprodukálható módon állítanak elő nagy intenzitású, nagy lefosztottságú ionnyalábokat a periódusos rendszer szinte tetszőleges eleméből. A legelterjedtebben alkalmazott módszerek plazmák előállítására gázhalmazállapotú anyagokat alkalmaznak, de kidolgoztak már a kutatók olyan módszereket is, amelyek segítségével szilárd halmazállapotú anyagok plazmáit lehet előállítani (MIVOC eljárás) [2], majd ezekből ionnyalábot kivonni. A 2. ábrán szemléltetett módon, ionnyalábot úgy tudunk létrehozni, hogy a plazmában létrejövő ionokat kivonjuk egy negatív ún. kivonó feszültséggel, majd megfelelő nyalábformáló- (kivonó optika, EL 1, EL 2) és vezető berendezések segítségével (nyalábsatorna) eljuttatjuk egy Faraday csészére (FC), amelyen meg tudjuk mérni a kivont nyaláb intenzitását. Ha a Faraday csésze a nyalábsatorna egyenes részén helyezkedik el (FC 1, FC 2), mérhetjük a teljes kivont nyaláb intenzitását, vagy eltérítő mágnes mögé helyezve (FC 3) kiválaszthatunk egy kívánt töltésállapotú iont és mérhetjük az általuk létrehozott áramot.



2. ábra: Az ATOMKI-ECR ionforrás és egyszerű nyalábsatorna rendszere

Változtatva az eltérítő mágnes áramát tetszőleges iont választhatunk ki abból a sokaságból, melyet a kivonó feszültség segítségével a plazmából nyerhetünk. Ily módon jutunk az analizált ionnyaláb spektrumához, melyet a 3. ábra mutat be.



3. ábra: Analizált nyaláb spektrum

A kivont nyalábból kiválasztott ion árama, természetesen a berendezés maximális képességeinek határáig, tetszés szerint változtatható az ionforrás hangolásával. Az ionforrás hangolása nem más, mint az a folyamat, amely során az ionforrás makroszkopikus paramétereit ciklikusan változtatjuk az ionáram növelésének irányába. Így érhető el az, hogy az ionforrás egy meghatározott iont a lehető legnagyobb határfokkal "állítson" elő. Az ionnyalábok a továbbiakban igen széles körben használhatók. Az ECR ionforrások az atomi ütközések új korszakát nyitották meg, nagy szerepük van rákos daganatok gyógyítására kidolgozott új eljárásokban és új anyagok előállításában, hogy csak néhány alkalmazást említsek meg anélkül, hogy a teljesség igényére törekednék.

2. Lokális plazmadiagnosztika

A fentiekből kiténik, hogy az ionforrás makroszkopikus paramétereinek optimalizálásával az igényeknek megfelelő ionnyalábok állíthatók elő. Ilyen paraméterek például a munkagáz nyomása, a mágneses csapda erőssége, a kivonó és fókuszáló feszültségek stb. Azonban nem, vagy csak kevéssé ismeretek azok a mikroszkopikus folyamatok, amelyek a külső, makroszkopikus paraméterek változásakor játszódnak le az ionforrás plazmájában. Ilyen furcsa és egyelőre meg nem magyarázott jelenség a „plazmába történő külső elektron injektálás” [3] jelensége, amikor egy, a plazmához képest negatívan előfeszített elektródát helyezünk el a plazmakamrában, és ennek hatására a nagy töltésű ionok árama többszörösére növekedik (2..10 x). A jelenség megnevezésének időzójelbe tétele indokolt, mivel a kezdeti magyarázat, mely szerint az elektródából származó elektronok belépnek a plazmába és annak elektronsűrűségét növelik, megdőlni látszik, de még nem született elfogadható magyarázat.

Szükség volt tehát olyan, a plazma paramétereinek meghatározására szolgáló diagnosztikai módszerek kidolgozására, melynek segítségével el lehet dönteni, hogy mi játszódik le a plazmában. Több, erre a célra alkalmas módszer ismeretes. A diagnosztikai módszereket alapvetően két csoportra lehet osztani, úgymint globális és lokális módszerek. A globális módszerek az ionforrásból származó elektromágneses sugárzás (láttható, UV, röntgen, stb.) tanulmányozásával szolgáltatnak információt a plazmaparamétereikről (pl. az elektronok mozgásából származó energiának a mágneses tér erővonalaira merőleges komponense). A lokális módszerek alkalmazása esetén a plazmakamrába juttatott elektróda (Langmuir sonda) segítségével a plazmaparaméterek értékeit helyfüggően lehet meghatározni (pl. elektronsűrűség, az elektronok mozgásából származó energiának a mágneses tér erővonalával párhuzamos komponense, stb.). Mint látható a felsorolt példák közül, a két módszer egymás kiegészítője, így mindkettőnek fontos szerepe van az ionforrásról kialakított kép teljességét illetően. Az ECR ionforrások esetén globális diagnosztikai módszereket már alkalmaztak, míg lokális plazmadiagnosztikai kutatások, tudomásunk szerint, csak próbálkozás szintjén történtek.

2.1. A Langmuir - szonda

Maga a Langmuir szonda egy viszonylag egyszerű mérőeszköz, melyet különböző módon előállított plazmák esetében már sikeresen alkalmaztak. Tulajdonképpen nem más, mint egy szál drót, melyet a plazmakamra kívánt részébe kell juttatni, és egy megfelelő feszültségforrással ellátva alkalmassá kell tenni a rajta átfolyó áram mérésére. Természetesen a „drótot” körültekintően kell megválasztani formáját és anyagát illetően. Magas olvadásponttal és alacsony szekunder-elektron emissziós együtthatóval kell rendelkeznie, mivel a plazmában lévő nagy energiájú töltéshordozók egyrészt megrongálhatják a szondát fizikai értelemben, másrészt pedig nagyszámú többlet töltéshordozót válthatnak ki a szonda anyagából, melyek a plazmába jutva megváltoztatják annak paramétereit és meghamisítják a méréseket. Továbbá a szondának kicsinek kell lennie, hogy minél kevésbé változtassa meg környezetét.

A szondák geometriai szempontból nagyon változatosak lehetnek [4]. Főleg sík, hengeres és gömb szondák használatosak, de alkalmazástól függően elképzelhető más konfiguráció is. Általában a különböző geometriájú szondák elkészítése nem okoz gondot a kísérletező fizikus számára, viszont a mérési adatok interpretálására szolgáló elméleti modell kidolgozása annál nagyobb gondot jelent az elméleti fizikus számára. Köztudott tény az, hogy a plazma nem más, mint ionizált gáz, melyet nagy számú ion és elektron alkot, és egy ilyen rendszer elméleti leírása még a modern számítógépes eszközök segítségével is lehetetlen, így közelítő modellek kidolgozására került sor.

2.2. A szonda feszültség-áram karakterisztikája

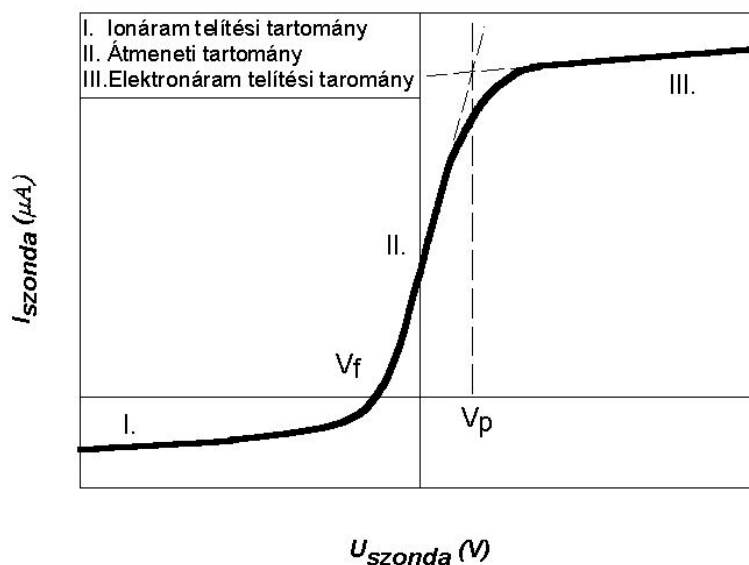
A plazmáról a szonda feszültség-áram (U-I) karakterisztikája szolgáltat információt. A 4. ábra egy ideális karakterisztikát mutat be. Ki kell hangsúlyozni azt a tényt, hogy a legegyszerűbb plazmák esetében is csak az ideálist megközelítő alakú karakterisztika mérhető, mert bármilyen egyszerű is legyen a rendszer, mindig fellépnek torzító hatások. A későbbiekben kitérek az ECR ionforrás plazmájának komplex jellegéből származó néhány effektusra, melyek befolyásolják a mért karakterisztika alakját.

Mivel a plazmában egyidejűleg vannak jelen pozitív és negatív töltéshordozók, egy teljes U-I karakterisztika méréséhez speciális feszültségforrásra van szükség. Erre a célra az ATOMKI-ben egy olyan tápegység tervezésére és építésére került sor, mely a negatív és pozitív feszültségtartomány között folytonos átmenetet biztosít a zéró volton át. Két különböző tápegység használatával is lehetséges karakterisztika mérése, de figyelembe kell venni azt a tényt, hogy a feszültségforrások átkapcsolása igen körülményes (a magas feszültségű platform miatt, amelyre a szonda is el van helyezve), és a zéró volt körüli tartományban nem biztosít folytonos átmenetet, mely viszont a további kiértékelésnél nagyon fontos.

A görbét három részre oszthatjuk, és karakterisztikus pontokat különböztetünk meg [4]. Ha a szonda megfelelően nagy negatív potenciálon található, akkor minden, a környezetében található iont magához vonz és begyűjt, míg minden elektront eltaszít magától. Ezt a szakaszt ionáram telítési tartománynak (I.) nevezzük, és ideális esetben egy egyenes szakaszból áll. Ha abszolút értékben csökkentjük a szondára kapcsolt feszültség értékét, akkor elérkezünk egy olyan részhez, ahol az ionokon kívül már nagy energiájú elektronok is eljutnak a szonda felületére. Tovább csökkentve a feszültséget eljutunk egy olyan feszültség értékhez, ahol a szonda által begyűjtött eredő áram nulla, tehát az elektron áram kiegyenlíti az ion áramot. Ez a kitüntetett feszültség érték az ún. fali potenciál (V_f). Ez az a potenciál érték, melyre feltöltődik minden a plazmával kapcsolatba kerülő felület. Természetesen a fali potenciál értéke függ a szonda helyzetétől, mivel a plazma pontról-pontra változhat. Tovább csökkentve a feszültséget nullára, általában a szonda által begyűjtött áram eredően elektronáram lesz, de ezt ismét a plazma sajátosságai határozzák meg. Ez az elektronok nagyobb mozgékonyságának köszönhető.

Pozitív értelemben növelve a feszültséget egyre inkább fogja a szonda vonzani az elektronokat és taszítani az ionokat. Azt a feszültség értéket, amelyiknél a plazma és a szonda között nem létezik feszültség különbség, plazma potenciálnak nevezzük (V_p). Ennél a feszültség értéknél a töltéshordozókra nem hatnak erők, s így saját mozgási energiájuk szabja meg, hogy eljutnak-e a szonda felületére, avagy sem. Ez szintén egy nagyon fontos pontja a karakterisztikának. A fentiekben leírt feszültségtartományt átmeneti tartománynak (II.) nevezzük. Tovább növelve a feszültséget a szonda már minden iont eltaszít magától, és magához vonz minden elektront. Ezt a tartományt ionáram telítési tartománynak (III.) nevezzük, mely ideális esetben szintén egyenes szakasz.

Szonda U-I karakterisztika



4. ábra: A szonda karakterisztika és kardinális elemei

3. Lokális plazmadiagnosztika az ATOMKI-ECR ionforrásán

Mint már említettem, a Langmuir-szonda egy viszonylag könnyen megvalósítható mérési eszköz. Alkalmazását mégis nehezíti néhány, az ionforrás felépítéséből származó technikai jellegű probléma. Az alábbiakban néhányat megemlítek ezek közül:

- a szondát vákuumban kell mozgatni,
- nagy feszültségen található, így csak távirányítással lehet mozgatni,
- a plazmát nagyfrekvenciájú elektromágneses tér hozza létre,
- erős, inhomogén, B minimum (B-min) típusú mágneses tükör tartja össze,
- nem-maxwelli elektronok jelenléte [5],
- kicsi plazma és kamra méretek, ha a mikrohullám frekvenciája magas (> 5 GHz),
- különböző töltésű ionok jelenléte,
- a szonda anyagának porlasztódásának és oladásának lehetősége (nagyenergiájú plazmarészecskék jelenléte miatt).

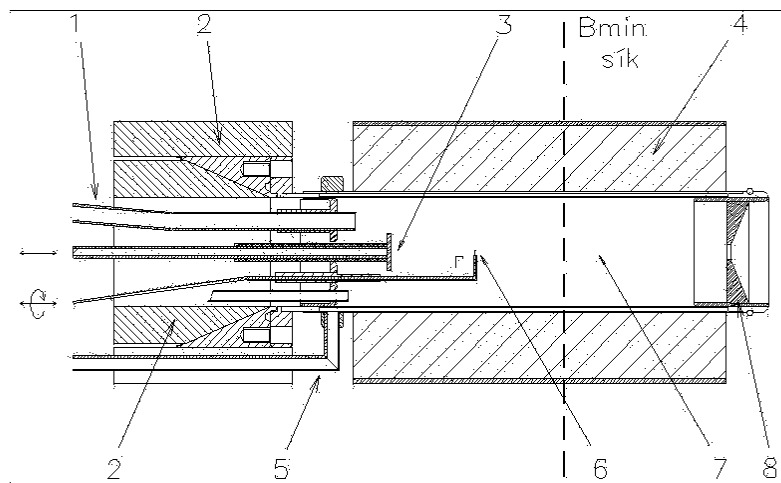
A szonda anyagának és a kísérleti feltételek megfelelő megválasztásával az említett problémák közül néhány kiküszöbölhető, míg a többi hatása megfelelő szintre csökkenthető. Természetesen a felsorolt tényezők nemcsak a kísérleti megvalósítást nehezítik meg, hanem befolyásolják a szondás mérések kiértékelésére szolgáló elméleti modelleket is. Az 5. ábra a szonda elhelyezkedését mutatja be az ECR ionforrás plazmakamrájában.

Az ábrán megfigyelhető az ionforrás belső szerkezete és a 0,4 mm átmérőjű és 3 mm magasságú hengeres szonda. A plazmakamra a hexapol típusú állandó mágnes belsejében található, mely a mágneses csapda radiális részét alkotja. Ezt övezi kívülről három egyenáramú tekercs (megfigyelhető az 1. ábrán), mely a mágneses tükör longitudinális összetevőjét hozza létre.

A kettő összetevődéséből jön létre a B-min mágneses tér, melynek fő jellegzetessége, hogy a mágneses csapda középpontjából kiindulva minden irányban növekszik a mágneses indukció értéke. A hexapol által szolgáltatott mágneses tér indukciójának maximális értéke 1 Tesla, míg a tekercsek maximálisan 1,3 Tesla erősségű mágneses teret szolgáltatnak.

A plazmakamra és az ionforrás injektáló oldala nagy feszültségen található (alkalmazástól függően 10..30 kV) a szondára viszont csak maximálisan néhány száz volt feszültséget kapcsolunk, és gondosan el kell szigetelni a plazmakamrától.

Még gondot okoz az a tény is, hogy működés közben nagy intenzitású röntgen sugárzás hagyja el az ionforrást, így nem lehet a közelében tartózkodni.



5. ábra: Langmuir szonda elhelyezkedése az ECR plazmakamrájában:

1 – Mikrohullám bevezető (14,5 GHz), 2 – Vasgyűrű, 3 – Biased - Disc, 4-Hexapol, 5 – Plazmakamra hűtés,
6 – Langmuir szonda, 7 – Plazmakamra, 8 – Kivonó rész

Ezekon kívül, ahhoz, hogy nagytöltésű ionokat lehessen előállítani, az ionforrásban 10^{-6} - 10^{-7} nagyságrendű vákuumot kell fenntartani. A fentiekben felsorolt tények megnehezítik a szonda precíz mozgatását, a mozgás bevitelét és átvitelét, mivel mindent távolról kell irányítani. Esetünkben a szonda mozgatásáról egy olyan mechanika gondoskodik, mely lehetővé teszi a független lineáris és rotációs mozgást egy henger palástja mentén. A szonda bevezetőjét pedig tetszőlegesen lehet elhelyezni a kamrát bezáró felületre, így tehát kisebb átalakításokkal el lehet érni a kamra tetszőleges pontját. Ily módon a Langmuir-szonda lehetőséget ad arra, hogy fel lehessen térképezni pontról-pontra a plazmát, és el lehet készíteni a „paramétertérképét”, amit más módszerekkel ilyen aprólékosan nem lehet megtenni.

3.1. A karakterisztika kiértékelése

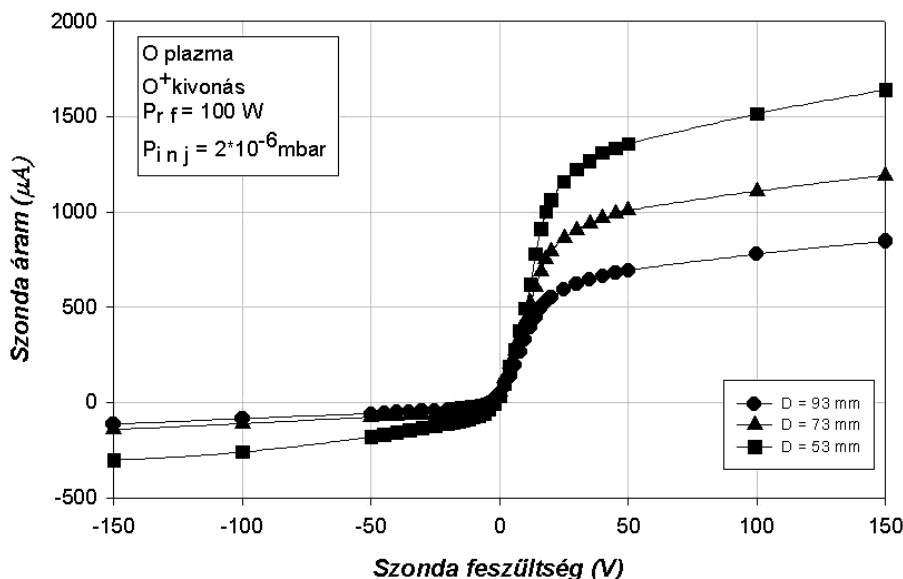
Számos módszert dolgoztak ki a mérési adatok kiértékelésére, melyek a karakterisztika különböző tartományait használják fel a plazmaparaméterek kiszámítására. Néhányat említek meg a teljesség igénye nélkül,

- Klasszikus Langmuir eljárás
- Druyvestein módszer
- Orbital motion limit.

A későbbiekben részletesen a Klasszikus Langmuir eljárásra térek ki, mivel saját kutatásaim során ezt alkalmaztam és fejlesztettem tovább az ECR plazma sajátosságainak megfelelően. A többi módszerről a megfelelő irodalomban lehet olvasni.

Az ECR plazmában mért karakterisztika kiértékelésére nem használható fel a teljes karakterisztika. A plazma mágnesezett volta miatt az elektron telítési áram értéke nagymértékben lecsökken [6]. Ennek oka az, hogy az elektronok kötődtek a mágneses erővonalakhoz, melyek mentén spirális pályán, haladó mozgást végeznek. A szonda főleg azokat az elektronokat képes begyűjteni, melyek olyan mágneses erővonalak mentén mozognak, amelyek metszik a szonda felületét vagy a szonda körül kialakult burkot. A burok egy vékony réteg (Deby hossznyi), mely minden, a plazmával kapcsolatba kerülő felületen kialakul a töltéshordozók különböző mozgékonyágának köszönhetően. Ez egy különleges réteg, melyben már nem érvényesek a plazmát leíró törvények (pl. kvázi-neutralitás) és a plazma többi részével ellentétben nagy elektromos erőter jelenléte jellemzi [7]. Ezen okból kifolyólag a szonda által begyűjtött elektronáram mértéke jóval kisebb, mint egy nem mágnesezett plazma esetében. A különbség elérheti a 10..100 -as faktort is. Ezért ECR plazma esetében az elektron telítési tartomány nem használható plazmaparaméterek számítására. Ugyanígy óvakodni kell a nagy szonda feszültségek esetén is, mivel kimutatott tény az, hogy a szonda körül kialakuló burok vastagsága egyenesen arányosan nő a feszültség növekedésével, ami változó szondaméretet és begyűjtött áramot jelent. A fentiek figyelembevételével megállapítható, hogy a felhasználható karakterisztika szakasz az alacsony negatív feszültségek tartománya, V_f környezete, ahol a fent említett effektusok csak kismértékben befolyásolják a

karakterisztika alakját. A továbbiakban bemutatásra kerülő mérések feldolgozásánál mindvégig a (-50, 0) tartományt használtam fel (6. ábra).



6. ábra: Karakterisztika sorozat – feltüntetve az ionforrás lényeges paramétereit.
D: a szonda és a tekercek középpontja (*B*min sík) közötti távolság

4. Elméleti modell

Az ECR plazmát nagy frekvenciájú elektromágneses tér hozza létre, mágneses tükör tartja össze, és mint már láttuk, ezek megnehezítik az elméleti leírást. Mindkettő főleg a plazma elektronjaira van hatással.

Mágneses térben összetartott plazmák nem érhetnek el egyensúlyi állapotot, következésképpen a mágneses erővonalakkal párhuzamos és a rá merőleges irányba végbemenő mozgás elméleti leírása különböző hőmérsékletek bevezetésével történik. Ilyen esetekben várható, hogy a karakterisztika meredeksége megadja az elektronhőmérséklet párhuzamos összetevőjét, mivel az elektronok a szonda felületére való jutását a mágneses erővonal mentén végbemenő mozgás sebessége határozza meg. Az ECR plazmát megfelelően írja le a „loss-cone” [5] típusú elektron eloszlásfüggvény. Ez az eloszlás maxwelli jellegű tulajdonít a mágneses erővonalakkal párhuzamosan mozgó részecskének, tehát a mi esetünkben az elektronoknak. Ezért munkám során az elektron sebesség párhuzamos komponensének eloszlásfüggvényét Maxwell-Boltzmann típusúnak tekintettem. Természetesen tiszta maxwelli eloszlás nem írhatja le tökéletesen az ECR plazmát, de az irodalomban ez egy elfogadott és bevált megközelítés. Távolati cél a modell kiterjesztése többszörös maxwelli elektron eloszlásfüggvények (EEF) és nem-maxwelli EEF-ek alkalmazása [8,9].

Jelölje a továbbiakban T_e az elektronhőmérséklet párhuzamos komponensét és T_i az ionhőmérsékletet.

A Langmuir-szondák leírására szolgáló modellek nem veszik figyelembe azt a tényt, hogy az ECR plazma többféle atom különböző töltésű ionjait tartalmazza. Minden meglévő modell csak egyszerűen töltött ionok és elektronok jelenlétét feltételezi. Ahhoz, hogy a mérési adatokat helyesen értékeljük ki, figyelembe kell venni a többszörösen töltött ionok jelenlétét.

4.1. Egyszeresen töltött ionok

Alapfeltevés, hogy a plazma ionkomponense egyetlen atom egyszerűen töltött ionjait tartalmazza, és az ionok hidegek ($T_i \approx 0$). Ez utóbbi feltevés igaz ECR plazma esetében. Szintén helyes az a feltevés, hogy az elektronok hőmérséklete jóval nagyobb az ionok hőmérsékleténél ($T_e \gg T_i$). Feltételezve még, hogy az elektronok begyűjtése főleg az elektronok sebességének párhuzamos komponensétől függ, az ion Bohm-sebességet a következő alakban írhatjuk fel [7]:

$$v_B = \left(\frac{kT_e}{M} \right)^{1/2} \quad (1)$$

ahol, k a Boltzmann állandó és M az ion tömege. Az ún. burok feltétel megköveteli [7], hogy az ionok rendelkezzenek egy a Bohm-sebességnél nagyobb drift sebességgel, amely jóval nagyobb, mint az ionok rendezetlen mozgásából származó sebesség. Az ion telítési áram felírható, mint:

$$I_{sat}^{ion} = \frac{1}{2} \cdot n_e e A \cdot v_B \quad (2)$$

ahol, I_{sat}^{ion} az ion telítési áram, n_e az elektron sűrűség, e az egységnyi töltés, és A a szonda felületének a mágneses erővonalakra merőleges vetülete. A 2. egyenlet csak abban az esetben érvényes, ha a plazma kvázi-neutralitási egyenlete az $n_i = n_e$ alakban írható fel, minden ion Bohm-sebességgel lép be a burokba és a plazma egyetlen ion komponenset tartalmaz. Az irodalomban létezik olyan elmélet [10], mely az elektron telítési áramot használja fel az elektron sűrűség meghatározására, de a már említett mágneses tér általi elektron áram elnyomás miatt ECR esetében nem alkalmazható. A Stangeby által bevezetett módszert [6] alkalmazva a szonda U - I karakterisztikája illeszthető a

$$I = I_{sat}^{ion} \left(1 - \exp \frac{V - V_f}{T_e} \right) \quad (3)$$

egyenlettel, ahol

- I – szonda áram
- V – szonda feszültség
- V_f – fali potenciál

Ez csak egy szűk feszültség tartományban igaz ($V < V_f$) mivel mágnesezett plazmák esetén V_f fölött eltérések mutatkoznak az exponenciális viselkedéstől. Ez a már említett mágneses tér jelenlétében történő elektron telítési áram elnyomásnak tulajdonítható. Felhasználva a V_f környezetére korlátozott feszültség tartományt, megbízható elektronhőmérsékletet nyerünk [11]. A számításokat a kísérleti görbék 3. egyenlettel történő számítógépes illesztésével végeztem a (-50,0) feszültségtartományban. Míg V_f mérhető, I_{sat}^{ion} és T_e regressziós összefüggés paraméterei, és a 3. összefüggésből határozható meg. Ismerve az elektron hőmérsékletet, az elektron sűrűség (n_e) a 2. egyenlet segítségével határozható meg, míg a plazma potenciál kiszámítható a

$$V_p = V_f + (3.8 + 0.5 \ln \mu) \cdot T_e \quad (4)$$

összefüggéssel, ahol V_p a plazma potenciál és μ az ion relatív atom tömege.

4.2. Többszörösen töltött ionok

A Langmuir-szonda által begyűjtött ion áram erősségét befolyásolja az a tény, hogy az ECR plazma ugyanannak az ionnak különböző töltéssel rendelkező ionjait tartalmazza. Ahhoz, hogy helyes eredményt kapjunk a karakterisztikák kiértékeléséből az ECR plazmának ezen jellegzetességét figyelembe kell venni az elméleti modell megalkotásában. Az ion telítési áram kifejezésének meghatározásához többkomponensű plazma esetében abból indulhatunk ki, hogy a szonda körül létrejövő burok két részre osztható: maga a burok, ahol nagyon erős elektromos tér van jelen, és az ún. elő-burok ahol csak gyenge elektromos tér észlelhető. Az elő-burokban a kvázi-neutralitás feltétele érvényesül, míg a burokban nem. A karakterisztikának csak az ion áram tartományával foglalkozunk, ahol az elektronok taszító teret éreznek, így eloszlásfüggvényük maxwelliként írható fel:

$$n_e = n_0 \exp \left(\frac{eV}{kT_e} \right) \quad (5)$$

ahol, n_0 a perturbálatlan elektronsűrűség és V az elő-burok és a plazma távoli pontja közötti potenciál különbség (utóbbi lehet 0 vagy a plazma potenciál). A dn_e / dV deriváltból az ún. effektív elektron hőmérséklet számítható ki,

$$\frac{e}{kT_e} = \frac{1}{n_e} \frac{dn_e}{dV} \quad (6)$$

amelyik nem-maxwelli esetben nem egyezik meg a kinetikus elektron hőmérsékletével. Feltételezve, hogy a hideg ionok a mágneses erővonalak mentén mozognak, a feladat egy dimenzióban tárgyalható. A j töltésű ion stacionárius transzport egyenletei

$$\frac{d}{dx}(n_j v_j) = S_j \quad (7)$$

$$n_j M v_j \cdot \frac{dv_j}{dx} = j e n_j E - M v_j S_j \quad (8)$$

a hidrodinamikai folytonossági egyenlet és az impulzus egyenlet [6,12] ahol S_j forrástag (megadja az egységnyi térfogatban egységnyi idő alatt keletkező ionok számát), M az ion tömege, $E = -dV/dx$ az elektromos térerősség az elő-burokban, és $m v_j S_j$ a fékezési tag, amely azt fejezi ki, hogy az ion gyakorlatilag 0 sebességgel keletkezik és a folyadékmozgás gyorsítja fel v_i sebességig.

Behelyettesítve (8)-ba a (7)-es deriváltját és a (6)-ból számított dV/dx deriváltat kapjuk, hogy

$$\frac{M v_j^2}{n_j} \cdot \frac{dn_j}{dx} = j \cdot \frac{k T_e}{n_e} \cdot \frac{dn_e}{dx} + 2 \cdot \frac{M v_j S_j}{n_j} \quad (9)$$

amely a (10) kvázi-neutralitási egyenletből számított dn_j/dx deriválttal

$$\sum_j j \cdot e \cdot n_j = e \cdot n_e \quad (10)$$

írható, mint

$$\left(1 - \frac{k T_e}{n_e} \cdot \sum_j \frac{j^2 n_j}{M v_j^2} \right) \frac{dn_e}{dx} = 2 \cdot \sum_j j \cdot \frac{S_j}{v_j} \quad (11)$$

Amikor a zárójel zéróvá válik, a dn_e/dx végtelenné, ami jelzi a pontot, ahol véget ér a plazma és kezdődik a burok. Itt az elektron sűrűség hirtelen lecsökken és az ionokat kezdi a szonda vonzani [13]. Így az elő-burok – burok határfelületen

$$\sum_j \frac{j^2 \cdot n_j}{M \cdot v_{jB}^2} = \frac{n_e}{k T_e} \quad (12)$$

ahol, v_{jB} a j töltésű ion Bohm-sebessége. A ion telítési áram írható, mint

$$I_{sat}^{ion} = A \cdot \sum_j n_{jS} \cdot j \cdot e \cdot v_{jB} \quad (13)$$

ahol, A a szonda felülete, n_{jS} a j töltésű ion sűrűsége a burok szélén, és v_{jB} a Bohm-sebessége. Ennél a pontnál empirikus lépés bevezetésére kényszerülünk. Legyen $\overline{n_s^+}$ az átlagos ion sűrűség (az elő-burok – burok határfelületen, egységnyi térfogatban található ionok száma függetlenül a töltésüktől); és α_j egy 0 és 1 közötti szám, melyet az analizált nyalábspektrumból számíthatunk ki; ez megmutatja, hogy milyen százalékos arányban található egy bizonyos töltésállapot a plazmában. Feltételezhető, jobb híján, hogy a plazmában uralkodó feltételek jól tükröződnek a kivont nyalábspektrumban. Számítási eljárás:

$$\alpha_j = \frac{I_j/j}{\sum_j (I_j/j)} \quad (14)$$

ahol, I_j a j töltésű ion által létrehozott elektron áram. Könnyen belátható tehát, hogy

$$n_{jS} = \alpha_j \cdot \overline{n_s^+} \quad (15)$$

Feltételezve ütközésmentes elő-burkot, ahol az ionokat az elő-burok – burok potenciálkülönbség ($U = -V = V_p - V_s$) gyorsítja fel a v_{jB} sebességre, a (13) és (15) –ből kapjuk, hogy

$$I_{sat}^{ion} = A \cdot \overline{n_s^+} \cdot e^{3/2} \cdot \left(\frac{2U}{M} \right)^{1/2} \cdot \sum_j \alpha_j \cdot j^{3/2} \quad (16)$$

U kiszámítható (12) –ből figyelembe véve a kvázi-neutralitási egyenletet.

$$U = \frac{kT_e}{2e} \quad (17)$$

Feltéve, hogy a nyalábspektrumból számított $\overline{j^+}$ átlagos lefosztottság, megegyezik a plazma átlagos lefosztottságával (egykomponensű plazmát tekintve), a kvázi-neutralitási egyenlet írható, mint

$$\overline{n_s^+} \cdot \overline{j^+} \cdot e = n_{es} \cdot e \quad (18)$$

ahol, n_{es} az elektron sűrűség a burok szélén, $\overline{j^+}$ kiszámítható, mint

$$\overline{j^+} = \frac{\sum_j I_j}{\sum_j (I_j/j)} \quad (19)$$

Felhasználva (17) és (18)-at az ionáram felírható, mint

$$I_{sat}^{ion} = \frac{A \cdot n_{es} \cdot e}{\overline{j^+}} \cdot \left(\frac{kT_e}{M} \right)^{1/2} \cdot \sum_j \alpha_j \cdot j^{3/2} \quad (20)$$

Az (n_0) perturbálatlan elektron sűrűség felírható a burok szélén található n_{es} elektron sűrűség függvényében, felhasználva (5)-öt $V \equiv -U = V_s - V_p$ -vel, és (17)-et

$$n_{es} = n_0 \cdot e^{-1/2} = 0,61 \cdot n_0 \quad (21)$$

Felhasználva (20) és (21)-et, az elektron sűrűség írható, mint

$$n_0 = \frac{I_{sat}^{ion} \cdot \overline{j^+}}{0,61 \cdot A \cdot e} \cdot \left(\frac{kT_e}{M} \right)^{-1/2} \cdot \left(\sum_j \alpha_j \cdot j^{3/2} \right)^{-1/2} \quad (22)$$

I_{sat}^{ion} és T_e meghatározható az illesztésből, α_j , $\overline{j^+}$ és a maximális töltés j (j_{max}) a nyalábspektrumból.

4.3. Többkomponensű plazma

Az ECR plazma nem tiszta, ami alatt azt értem, hogy az ionforrás vákuumtere mindig tartalmaz maradó gáz atomokat (N, C, O, H...), és sok esetben két vagy több gázzal dolgozunk azért, hogy a munkagáz atomjainak minél magasabb lefosztottságú ionjait állítsuk elő. Természetesen ezek az atomok is ionizálódnak a plazmában, kimutathatók a nyalábspektrumban, és eljuthatnak a szonda felszínére, növelve a szonda által begyűjtött áram értékét. Ahhoz, hogy helyes elektron sűrűséget kapjunk, a számításokban figyelembe kell vegyünk a fent említett ionokat is. A 22. egyenlet általánosítása megoldható egy a plazma különböző komponensei szerinti összegzés bevezetésével.

$$n_0 = \frac{I_{sat}^{ion} \cdot \overline{j^+}}{0,61 \cdot A \cdot e} \cdot (kT_e)^{-1/2} \cdot \left(\sum_{j,k} \frac{\alpha_{j,k} \cdot j^{3/2}}{M_k^{1/2}} \right)^{-1/2} \quad (23)$$

ahol, $\overline{j^+}$ a többkomponensű plazma átlagos lefosztottsága.

5. Kísérleti eredmények

Mint már említettem, a kísérleti körülményeket gondosan kell megválasztani a szonda épségének és a mérési adatok kiértékelhetőségének érdekében. A bemutatásra kerülő sorozatokat a hideg plazma tartományban mértük ki. A korlátozás oka az, hogy ha a szonda eléri a rezonáns zónát, ahol nagy energiájú elektronok találhatóak, akkor megrongálódhat (egyszerűen elolvad). Az általunk használt wolfram olvadáspontja magas, és elkerüljük a rezonáns zónát. Amikor a szonda a rezonáns zónán kívül található, a plazmát csak kismértékben zavarja meg. Ez nyomon követhető a kivont nyaláb folytonos megfigyelésével. A szonda anyagának termikus-emissziója szintén elhanyagolható, mivel a karakterisztikának csak alacsony feszültségű tartományait használjuk. Ami még zavaró hatású lehetne, az a szonda anyagának porlasztása, de a kivont nyalábban nem találunk a legcsekélyebb mennyiségű wolframot sem.

Az elméleti modell fejlesztése szükségességének demonstrálására két mérési sorozat kiértékelését mutatom be.

5.1. Lineáris elektronsűrűség profil

A szonda tartórúdja a 4. ábrának megfelelően volt elhelyezve, ami azt jelenti, hogy a szonda az áram begyűjtő felülete az ionforrás tengelyén volt. Karakterisztikák mérése a tengelyen egymástól egyenlő távolságra lévő pontokban történt.

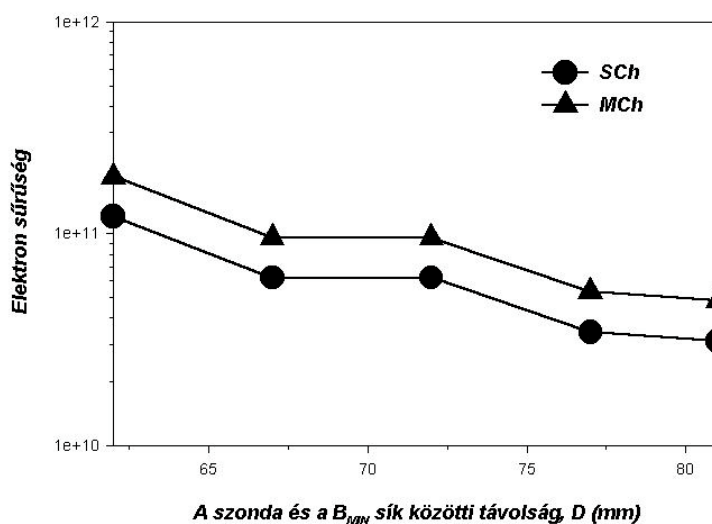
SCh – egyszerűen töltött ionok megközelítés (single charged approximation)

MCh – többszörösen töltött ionok megközelítés (multi-charged approximation)

1. sorozat: az ionforrás paraméterei O^{3+} kivonására optimalizálva; nyomás a kivonó oldalon $1,6 \cdot 10^{-6}$ mbar; betáplált mikrohullámú energia 100 W; a szonda $D = 85$ mm és $D = 60$ mm helyzetek közötti mozgatása közben a mágneses indukció 1,0 T és 0,6 T érték között változott. A nyaláb összetételét (szennyeződésektől eltekintve) az 1. táblázat, míg a elektron sűrűség profilt a 7. ábra tartalmazza.

1. táblázat: Töltés állapotok, áram értékek és a nyaláb százalékos összetétele. Átlagos töltés 2,25.

| | O^{5+} | O^{4+} | O^{3+} | O^{2+} | O^{1+} |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $e\mu A$ | 15 | 74 | 110 | 91 | 45 |
| α_j | 0.02 | 0.13 | 0.25 | 0.3 | 0.3 |



7. ábra: Axiális elektron sűrűség profil: kivonásra optimalizált töltésállapot O^{3+}

2. sorozat: az ionforrás paraméterei O^{5+} kivonására optimalizálva; nyomás a kivonó oldalon $1,6 \cdot 10^{-6}$ mbar; betáplált mikrohullámú energia 150 W; a szonda $D = 85$ mm és $D = 60$ mm helyzetek közötti mozgatása közben a mágneses indukció 1,0 T és 0,6 T érték között változott. A nyaláb összetételét (szennyeződésektől eltekintve) az 2. táblázat, míg a elektron sűrűség profilt a 8. ábra tartalmazza.

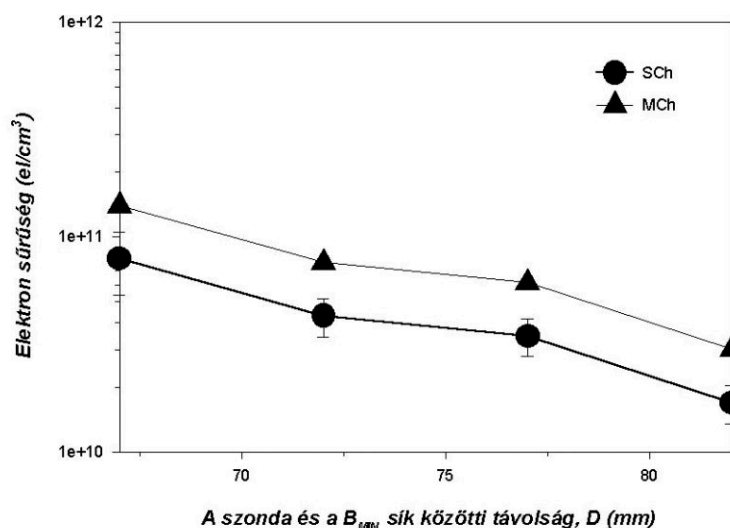
2. táblázat: Töltés állapotok, áram értékek és a nyaláb százalékos összetétele. Átlagos töltés 2,9.

| | O^{6+} | O^{5+} | O^{4+} | O^{3+} | O^{2+} | O^{1+} |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $e\mu A$ | 24 | 51 | 38 | 53 | 31 | 17 |
| α_j | 0,05 | 0,14 | 0,13 | 0,24 | 0,21 | 0,23 |

A 7. és 8. ábrán az elektronsűrűségnek ugyanaz a tendenciája figyelhető meg. Azonban egy szembetűnő különbség is megfigyelhető.

7. ábra: a plazma ionkomponensének átlag töltése 2,25 és az MCh / SCh arány 1,55.

8. ábra: a plazma ionkomponensének átlag töltése 2,9 és az MCh / SCh arány 1,77.



8. ábra: Axialis elektronsűrűség profil: kivonásra optimalizált töltésállapot O^{5+}

Elmondhatjuk tehát, hogy a plazma átlagos töltésének növekedésével nő az eredeti és a módosított elmélet modell közötti különbség is (ezt a következtetést későbbi számításaim is alátámasztották). Ez elfogadható, mivel magasabb töltésállapot kivonására optimalizált plazma átlagos töltése magasabb kell legyen.

A számított elektronsűrűségek változása bizonyítja a többszörösen töltött ionok a modellbe való bevezetésének szükségességét. Várható, hogy az igazán magas töltésállapotú ionok előállításánál (pl. Ar 11+), a különbségek még számottevőbbek lesznek.

Az ECR ionforrás plazmájának további megismerése érdekében a szondát alkalmassá kell tenni a plazma érdekesebb részének tanulmányozására is. Értem ez alatt a rezonáns zónát, ahol a nagy energiájú elektronok keletkeznek, amelyek képesek az ionok további ionizációját elvégezni. Ez egy komoly kihívás a szonda és a mérési technika további fejlesztését igényli. Ilyen pl. a vékonyabb szondák alkalmazása, speciális szigetelő kerámiák alkalmazása, vagy éppen tápegység számítógépes irányítása, mely esetlegesen lehetővé tenné azt, hogy egy karakterisztika felvételéhez szükséges idő (amely most néhány perc nagyságrendű) nagyságrendekkel lecsökkenjen.

A bemutatott modell, a mérési módszer és a kapott eredmények világosan mutatják, hogy a Langmuir-szondák alkalmasak (egyelőre még korlátozásokkal, bizonyos körülmények között) az ECR plazma tanulmányozására, és fontos eredményekkel szolgálhat működésének megismeréséhez.

Irodalom

- [1.] Proceedings of the 14th International Workshop on ECR Ion Sources, Geneva, Switzerland, 1999
- [2.] K.E. Stiebing, S. Biri, J. Arje, F. Ditrói, H. Koivisto, J. Pálinkás, L. Schmidt, A. Valek: Proceedings of the International Conference on the Physics of Highly Charged Ions (HCI'98), Bensheim, 1998, Germany
- [3.] Biri S., Kenéz L., Valek A., Nakagawa T., Kidera M., Yano Y.: Production of Highly Charged Ions in Electron Cyclotron Resonance Ion Sources Using an Electrode in Two Modes. Review of Scientific Instruments 71(2000)869
- [4.] F.F. Chen, in Plasma Diagnostics Techniques (Academic, New York, 1965), Chap. 4.
- [5.] R.A. Dory, G.E. Guest and E.G. Harris, Phys. Rev. Lett. 14, 131 (1965)
- [6.] P.C. Stangeby, C.M. McCracken: Nucl. Fusion 30,1225(1990)
- [7.] F.F. Chen: Modern Uses of Langmuir Probes, Research Report, Nagoya University, 1985
- [8.] G. Shirkov, Proceedings of the 14th International Workshop on ECR Ion Sources, Geneva, Switzerland, 1999, 155
- [9.] D.H. Edgell, J.S. Kim, S.K. Wong, R.C. Pardo, R. Vondrasek, Rev. Sci. Instr. 71(2) (2000) 666-668
- [10.] I. Langmuir and H. Mott-Smith, General Electric Rev. 27, 449 (1924)
- [11.] J.A. Tagle, P.C. Stangeby, S.K. Erents, Plasma Phys. Control Fusion 29,297(1987)
- [12.] W.M. Stacey, Fusion Plasma Analysis, Wiley, New-York, p.78, (1981)
- [13.] P.C. Stangeby, in Physics of Plasma-Wall Interactions in Controlled Fusion, ed. D.E. Post; R. Behrisch, NATO ASI Series vol. 131, Plenum Press, New York, p. 41, (1986)

Vasbetontartók vizsgálata az Eurocode és a hazai szabvány szerint

Dr. Kiss Zoltán

Kolozsvári Műszaki Egyetem

1. Bevezetés

A méretezési előírások betartása mindenhol kötelező volt régen is, kötelező ma is. Ezek az előírások a történelem folyamán, elsősorban nemzeti szabványok formájában jelentek meg. Az utóbbi időben, azonban, egyre nagyobb az igény egységes szabványok alkalmazására, mert a különböző szabályzatokban a szerkezetek méretezésénél eltérően megválasztott biztonsági szintek befolyásolják az építmény megvalósításának költségeit, gazdaságosságát. Ezért a piaci verseny viszonyai között egyáltalán nem közömbös, hogy a szerkezetek tervezését milyen előírások alapján végzik.

Az Eurocode-ok, illetve egységes EU szabványok jelentősége csak részben az, hogy a műszaki fejlődés aktuális szintjét tükrözik, ennél sokkal nagyobb a jelentősége annak, hogy Londontól Bukarestig (vagy még távolabb is) ugyanúgy kell számolni, azonos könyvek és főleg egyforma jelölések használhatók.

2. Az Eurocode és a hazai szabvány szerint tervezett tartószerkezetek biztonsági szintjeinek összehasonlítása

Az Eurocode, a STAS szabványsorozathoz hasonlóan, a teherviselő szerkezetek méretezését különböző határállapotok szerinti vizsgálatokra vezeti vissza. Az egyes határállapotok ellenőrzésénél az osztott biztonsági tényezők módszerét alkalmazza, de nem zárja ki a megkívánt biztonsági szintek más módszerekkel, például valószínűségi elmélettel történő ellenőrzéseit sem.

A jelenlegi érvényben levő román szabályzat (STAS) és az Eurocode közötti eltérés alapvetően a két szabályzatban megkövetelt biztonsági szintek különbségéből adódik, és nem annyira a számítási modellekből (mint ahogy azt látni fogjuk a hajlított-nyírt vasbetongerenda esetében is).

A biztonsági szintek formális összehasonlítása a következő eredményre vezet:

A teher oldalon a STAS szerinti mértékadó igénybevétel (átlagos esetben)

$$S_d = 1,15G + 1,3Q \quad (1)$$

alakban, míg az EC szerinti érték

$$S_d = 1,35G + 1,5Q \cong 1,163(1,15G + 1,3Q) \quad (2)$$

módon számítható (G-állandó, Q- esetleges teher).

Ez azt jelenti, hogy az EC szerinti mértékadó igénybevétel 16,3%-kal nagyobbak vehető, mint a STAS szerinti érték.

Az ellenállási oldalon a szilárdságok tervezési értékei hasonlíthatók össze. A beton határszilárdsága (f_{cd}) átlagban 5%-al nagyobb a STAS esetében. Mivel a teherbírás szempontjából mértékadó az acélbetét és a két szabvány ellenállási értékeinek hányadosa.

$$\frac{f_{yk(EC)}/1,15}{f_{yk(STAS)}/1,15} = 1,0 \quad (3)$$

akkor az EC szerinti többlet igény: $1,163/1,0 = 1,163$, azaz 16,3%.

Tehát az Eurocode szerinti szerkezetépítés némileg nagyobb biztonságot ad, mint a STAS alapján történő tevékenység.

Itt érdemes megjegyezni, hogy míg Nyugat-Európában és Magyarországon szinte kizárólagossá vált az 500 N/mm^2 folyáshatárú betonacélok alkalmazása, addig Romániában általában az elavult 350 N/mm^2 de sok esetben, még a 235 N/mm^2 folyáshatárú acélokat használják. Emiatt úgy tűnhet, hogy a STAS szerint végzett

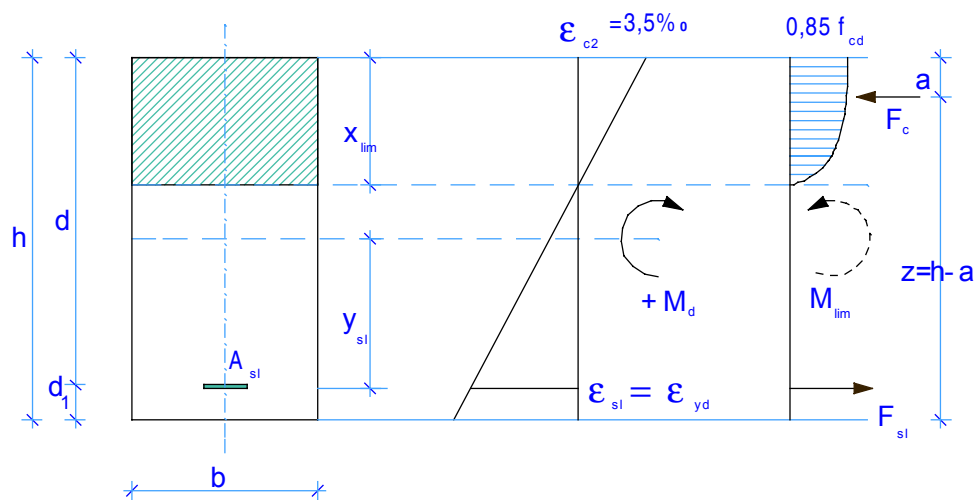
méretezés nagyobb biztonságot ad, mivel általában nagyobb vasmennyiségre van szükség éppen az acél rossz minősége miatt.

Mind a két szabvány a méretezés alapjául a keresztmetszet terv szerinti méreteit tekinti, de az EC esetében figyelembe kell venni még a kedvezőtlen betonacél-elmozdulást is. Ez valamelyest csökkenti az EC többletbiztonságát.

3. Csak a húzott oldalán vasalt keresztmetszet hajlítási teherbírása

Az EC2 és a STAS 10107/0-90 alapján történő méretezések legfontosabb alapfeltevései megegyeznek (1.ábra). Ezek a következők:

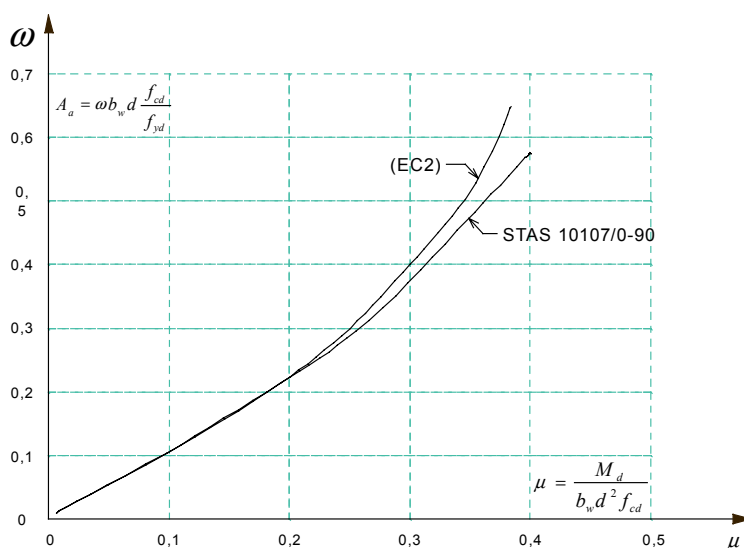
- érvényes a sík keresztmetszetek elve;
- a beton és az acél csúszásmentesen együttműködnek;
- a vasbeton teherbírását berepedt állapotban kell kimutatni, amikor a beton csak nyomást vesz fel;
- a beton és az acél egyszerre éri el a határfeszültséget (f_{cd} , f_{yd});



1. ábra

A méretezésnél használt III-ik feszültségi állapot

Az 2.ábrán a két szabvány közötti különbség látható. A közepesen terhelt tartók esetében a két görbe szinte egybeesik. Az EC szerint számolt vasmennyiség mindig nagyobb mint a STAS által adott érték.



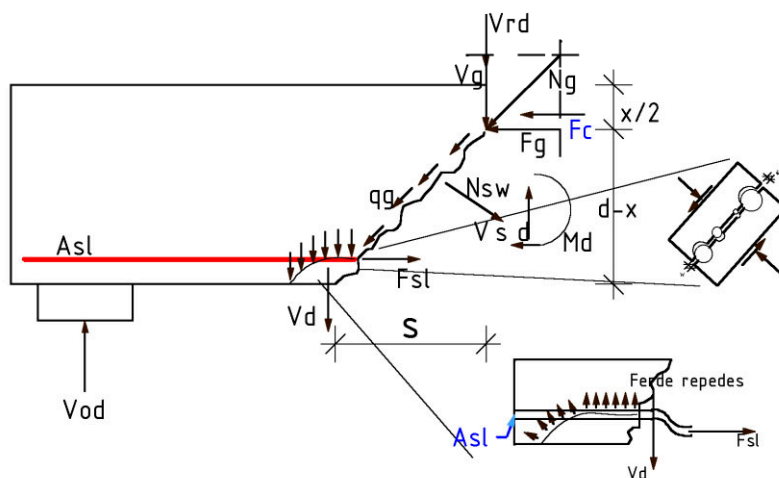
2. ábra

Az EC és a STAS szerinti méretezés nyomatókra négyszög keresztmetszet esetében

4. Az EC2 és a STAS 10107/0-90 nyírásvizsgálatának összehasonlítása

A két szabvány alapján végzett nyírás teherbírás számításához használt alapelvek lényegében egyeznek, azonban különbségek is vannak.

A hajlított-nyírt vasbetongerenda teherbírásának kimerülése általában a 3. ábra szerint ferde repedés mentén következik be.



3. ábra

A nyírás repedés mentén működő erők

Az ábrán feltüntettük azokat az erőket, amelyek az egyensúlyban közreműködnek. Ezek az erők a következők:

| | |
|---------------------|---|
| V_{Rd} | nyomott betonöv által felvett nyíróerő; |
| V_g | a repedés menti súrlódással az ún. szemesehatás következtében kialakuló csúsztatóerő; |
| V_d | a hosszanti A_{sl} betétben az ún. csaphatás által felvett nyíróerő; |
| T_{sl} ill. F_c | a hosszanti A_{sl} betétben, illetve a nyomott övben ébredő erő; |
| N_{sw} | az A_{sw} nyírás betétben ébredő erő; |

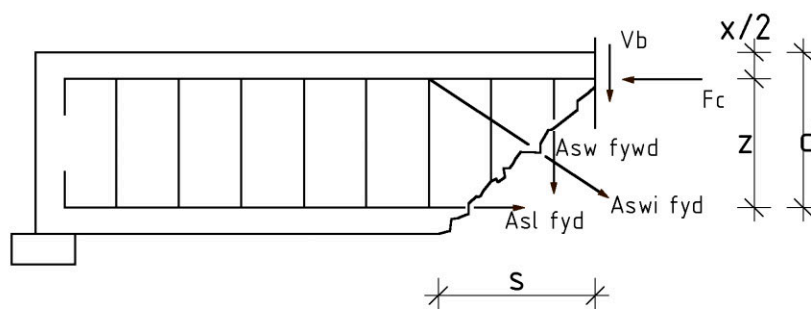
A hajlított-nyírt vasbetontartók teherbírásához a gyakorlatban kétféle eljárást alkalmaznak, éspedig:

- a ferde metszet egyensúlyára (STAS);
- a rácsostartó modellre (EC)

épített eljárásokat.

A ferde metszet törési állapotához tartozó teherbírás felírásánál az alábbi alapfeltevésekkel élünk (4. ábra):

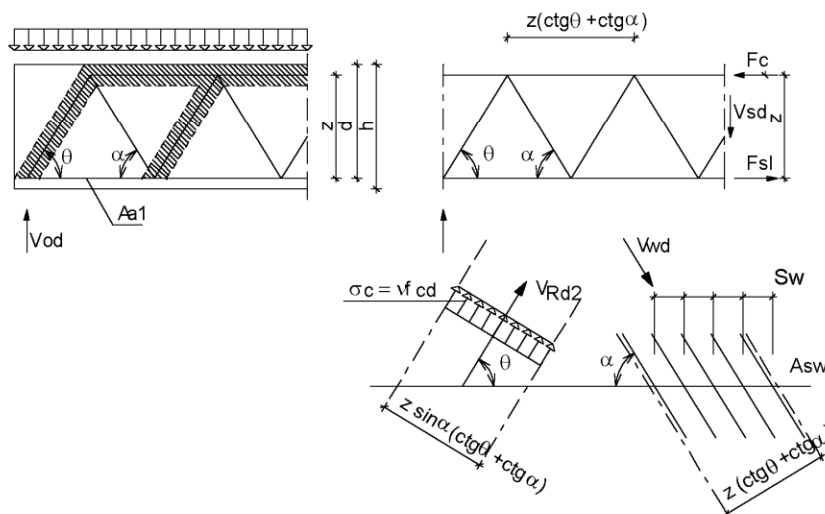
- a nyomott betonöv törési állapotban van, és az F_c értéke $f_{cd} = \text{konst.}$ szilárdsággal számítható;
- a ferde metszetet keresztvező A_{sl} ill. A_{sw} keresztmetszetű betétek folyási állapotban vannak;
- a szemcse és csaphatás figyelmen kívül hagyható, mert feltételezzük a repedések erős megnyílását.



4. ábra

A ferde metszet egyensúlyára épülő eljárás

A hajlított-nyírt vasbeton gerenda szilárdsági viselkedésének legrégebbi modellje a rácsostartó elv (5.ábra).



5. ábra
A rácsostartó modellre épülő eljárás

Eszerint a vasbetongerenda úgy viselkedik, mint egy rácsos tartó. A teherviselés alapelve, hogy a hajlítást az övek, a nyírást pedig a gerinben kialakuló nyomott betonrácsrudak és a húzott nyírási vasalás veszik fel.

Mindkét esetben az acélbetétek méretezését csak akkor kell elvégezni, ha a nyíróerőre teljesül a következő egyenlőtlenség:

$$V_{Rd1} < V_{sd} < V_{Rd2} \quad (4)$$

A beton által felvett nyíróerő vagy ahogy az EC2 nevezi a *nyírási vasalást nem tartalmazó gerenda* teherbírása a következőképpen írható fel:

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} k (1,2 + 40\rho_1) b_w d \quad (5)$$

Mivel a beton nyírási szilárdsága a húzószilárdság hányada

$$\tau_{Rd} = 0,25 f_{ctk,0,05} / \gamma_c = 0,167 f_{ctk,0,05} \quad (6)$$

ahol a $\gamma_c = 1,5$, az (5) így írható

$$V_{Rd1} = 0,167 k (1,2 + 40\rho_1) f_{ctk,0,05} b_w d \quad (7)$$

A képlet figyelembe veszi a hosszanti $\rho_1 = A_{sl} / b_w d$ vashányad hatását és a szerkezeti mérethatást is a $k = 1,6 - d > 1,0$ (m) segítségével.

A beton által felvett nyíróerő alsó határát úgy kapjuk, ha a minimális hosszanti vasat alkalmazzuk (0,15%) és K értékét 1-nek vesszük:

$$V_{Rd1}^{\min} = 0,21 f_{ctk,0,05} b_w d \quad (8)$$

A Román szabvány a beton által felvett nyíróerőt, a ferde repedés vízszintes vetületének függvényében számolja:

$$V_{Rd1} = 10 \sqrt{f_{ctk0,05} b_w \rho_l \frac{d^2}{s}} \quad (9)$$

A nyíróerő alsó határa a STAS szerint:

$$V_{Rd1}^{\min} = 0,5 b_w d f_{ctk0,05} / \gamma_c = 0,333 f_{ctk0,05} b_w d \quad (10)$$

Eszerint a STAS kb. 1,6-szor nagyobb nyírási szilárdságot tulajdonít a betonnak. A kapott eredmények a 6. ábrán láthatóak.

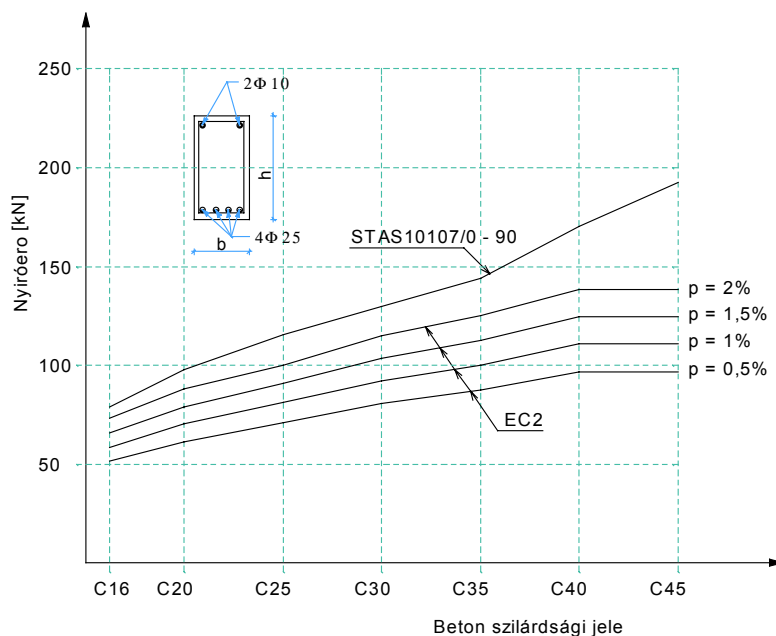
A maximális nyírási teherbírást az EC2 előírása szerint a következőképpen határozzuk meg:

$$V_{Rd2} = 0,9 b_w d v f_{cd} / (\text{ctg}\theta + \text{tg}\theta) \quad (11)$$

ahol

$$v = 0,7 - 0,005 f_{ck} \geq 0,5 \quad (12)$$

$$0,4 \leq \text{ctg}\theta \leq 2,5 \quad (13)$$



6. ábra

A méretezett nyírási vasalással nem rendelkező gerendaszakasz nyírási teherbírása (V_{Rd1})

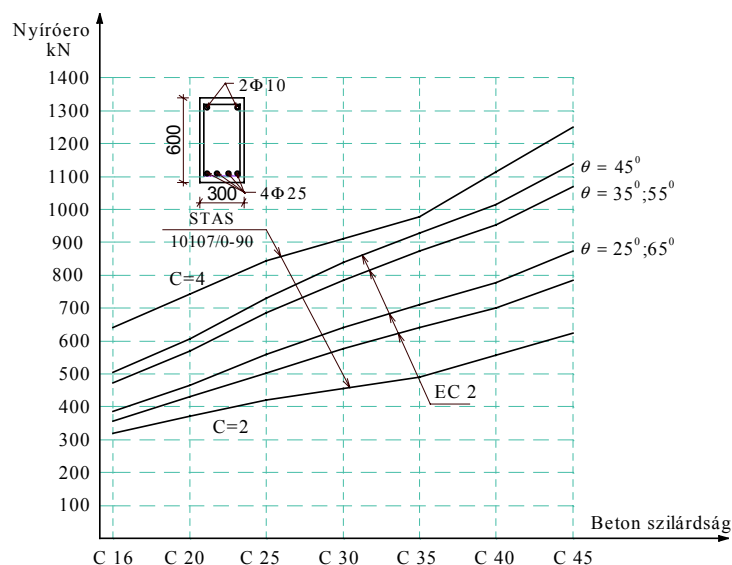
míg a STAS előírása szerint

$$V_{Rd2} = c b_w d f_{ctk0,05} / \gamma_c \quad (14)$$

A c értéke 2 vagy 4-nek vehető annak függvényében, hogy a tartóvégen képlékeny csukló alakul ki földrengés esetén, vagy sem. A kapott eredményeket a 7. ábra szemlélteti, különböző szilárdsági osztályokba tartozó betonok felvételével és változó dőlésű rácsrudak hatására.

Ennek alapján a STAS szerinti számítás nem olyan flexibilis mint az EC, de a nagyságrendjében nem mondható rossznak.

Ha a (4)-es egyenlőtlenség teljesül, akkor a nyírási acélbetéteket méretezni kell.



7. ábra
A maximális nyírási teherbírás (V_{Rd2})

A STAS szerinti függőleges tengelyre vett vetületi egyensúly a következő:

$$V_{sd} \leq \Sigma 0,8 A_{swi} f_{yd} \sin \alpha + \Sigma 0,8 A_{sw} f_{ywd} + V_{rd1} \quad (15)$$

Ha a nyírási vasalást csak kengyelekkel oldjuk meg, akkor a (15)-ös egyenlet megfelelő átalakítása és deriválása után kifejezhetjük a tartószakasz minimális nyírási teherbírását:

$$V_{wd} = 2 \sqrt{b_w d^2 \sqrt{100 \rho_l} q_w f_{ctk0.05} / \gamma_c} \quad (16)$$

Felvéve a $V_{Rd3} = V_{sd}$ egyenlőtlenséget

$$q_w \approx 0,0375 V_{sd}^2 / b_w d^2 \sqrt{\rho_l} f_{ctk0.05} \quad (17)$$

értékénél kiszámíthatjuk a nyírási vasalást

$$\left(\frac{A_{sw}}{s_w} \right) = \frac{q_w}{0,8 f_{ywd}} \quad (18)$$

Az EC esetében a nyírási vasalás (csak kengyelekkel) a változó dőlesű rácsrúd módszerrel a következő:

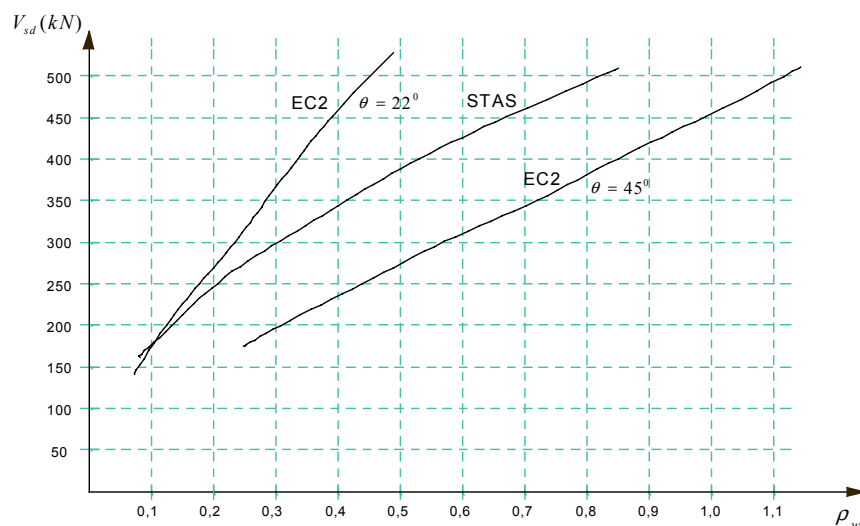
$$\left(\frac{A_{sw}}{s_w} \right) = \frac{V_{sd} - V_{Rd1}}{0,9 d f_{ywd} c t g \theta} \quad (19)$$

Ahol θ a (13) szerinti értékeket veheti fel.

Összehasonlítás végett kiválasztottunk egy adott vasbetongerendát. Először állandónak vettük a tartó nyílását, keresztmetszetét valamint a beton és acél minőségét, változónak a gerenda mentén egyenletesen eloszló függőleges terhet (8. ábra). Másodszor pedig a terhelést vettük állandóknak és a beton minőségét változtattuk (9. ábra).

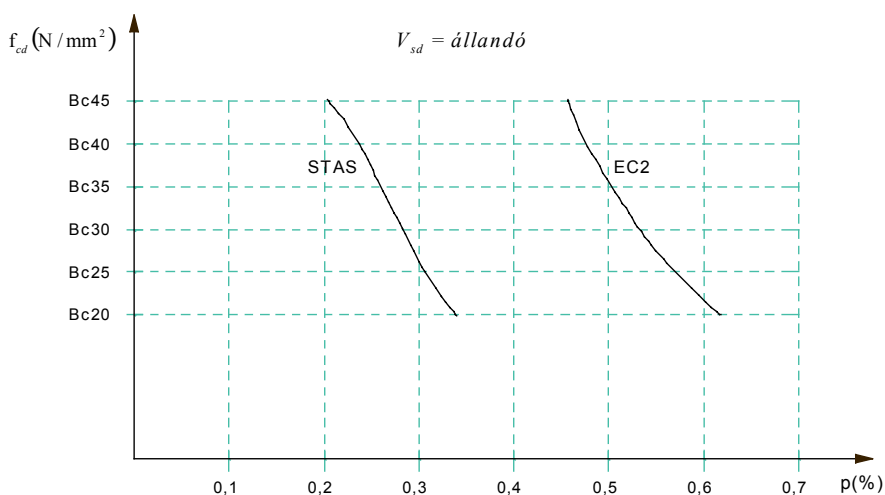
Mint ahogy a 8. ábrából kitűnik, az EC2 számítási modellje alapján ($\theta = 45^\circ$) közel 2,3-szor nagyobb vasmennyiséget kapunk. Ez az arány nagyobb nyíróerő esetén csökken egészen 1,37-ig.

A $\theta = 45^\circ$ -nál laposabb nyomott rácsrúddőlés (repedéshajlás) feltételezése a szükséges kengyelezés mennyiségét csökkenti, de a nyomatéki (hosszanti) vasalás mennyiségét (a nyomaték eltolása miatt) növeli. Ebben az esetben a szükséges vasmennyiség kisebb mint a STAS-nál kapott érték, főleg nagyobb nyíróerő esetén.



8. ábra

A ρ_w vashányad változása a nyíróerő függvényében az EC2 és a STAS 10107szerint



9. ábra

A ρ_w vashányad változása a beton szilárdságnak függvényében az EC2 és a STAS 10107 szerint

Mind a két szabvány esetében (EC2 és STAS) a beton minőségének növelésével csökken a nyírási vasalás mennyisége (9. ábra).

Egyértelműen a jobb beton kedvezőbb acélfelhasználást eredményez.

5. Megállapítások

Románia Európai Unióhoz való csatlakozásának egyik feltétele, hogy a csatlakozás időpontjában a hazai szabványok legalább 80%-ban EU-konformok legyenek. Ezért alapvető érdekünk, hogy a szerkezetek tervezésére vonatkozó európai szabványok Romániában is használhatók legyenek.

Az elvégzett vizsgálat alapján kimondhatjuk, hogy a hajlított-nyírt vasbetontartó EC2 szerinti méretezése biztonságosabb mint a hazai szabvány, ugyanakkor nyilvánvaló, ha az Eurocode-ot használjuk, akkor azt teljes egészében át kell venni. Ez azt is jelenti, hogy a Romániában ma gyártott acélok helyett a nyugati 500N/mm²-es folyáshatárú acélt kell sürgősen bevezetni. Nem lehet egy korszerű számítási módszert használni elavult acélminőségek mellett.

Jelen tanulmány ennek érdekében kívánt gondolatokat ébreszteni.

6. Jelölések

A fontosabb különbségek az EUROCODE és a STAS szerinti jelölésekben:

| Jel EC | fogalom | jel STAS |
|-------------------|--|----------|
| M_d | a hajlítónyomaték tervezési értéke | M |
| V | nyíróerő | Q |
| f_{cd} | a beton nyomószilárdságának tervezési értéke | R_c |
| f_{ctd} | a beton húzószilárdságának tervezési értéke | R_t |
| f_{yd}, f_{ywd} | a betonacél szilárdságának tervezési értéke (hosszanti vagy kengyel vasak esetében) | R_a |
| f_{yk} | a betonacél folyási határának karakterisztikus értéke | R_{ak} |
| d | hasznos (hatékony) magasság | h_0 |
| b | a betonkeresztmetszet szélessége | b |
| b_w | a gerinc szélessége | b_i |
| A_{sl} | a hosszanti betonacél keresztmetszetének felülete | A_a |
| A_{swi} | a ferde betonacél keresztmetszetének felülete | A_i |
| A_{sw} | a kengyel keresztmetszetének felülete | A_e |
| s_w | a kengyelek közötti távolság | a_e |
| ρ_l, ρ_w | vashányad | μ |

7. Hivatkozások

- [1.] Szalai K., Farkas Gy.: A Betonszerkezetek Eurocode-jai. Beton évkönyv 1998/99, Budapest, 56-76. oldal.
- [2.] Farkas Gy.: A hazai és európai szabványok helyzete. Tartók 2000, Budapest, 111-119. oldal
- [3.] Bob C., Plumier A., Tudor A.: Calculul structurilor din beton armat și beton precomprimat. Exemple de calcul. Tempus Phare Complementary Measures
- [4.] Project 01198. Temesvár 1992.

Üreges együttdolgozó acél-beton (öszvér) lemezek tervezése

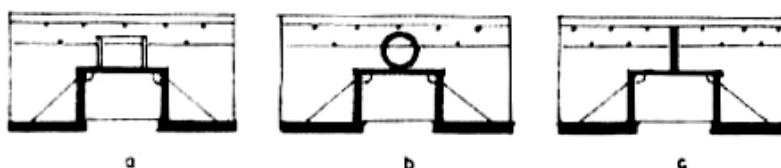
Dr. Köllő Gábor¹, Dr. Kopencz Lajos¹, Orbán Zsolt²

¹Kolozsvári Műszaki Egyetem, egyetemi tanár, ²PFT Kolozsvár, okl. mérnök

1. Üreges együttdolgozó acél-beton öszvérlemezek

A következőkben a vasúti hidaknál alkalmazható üreges öszvérlemezek számításával és tervezésével kapcsolatos kérdésekkel foglalkozunk.

Az acélszerkezetet hegesztett acéllemezekből állítják elő. Az alsó és a gerinclemezek vastagabb ($\approx 12\text{mm}$), a felső vízszintes lemez vékonyabb ($\approx 6 - 8\text{mm}$), ennek a fő szerepe, hogy rá lehessen hegeszteni a kapcsolóelemeket, amelyek lehetnek merev vagy rugalmas kapcsolóelemek. (1. ábra)



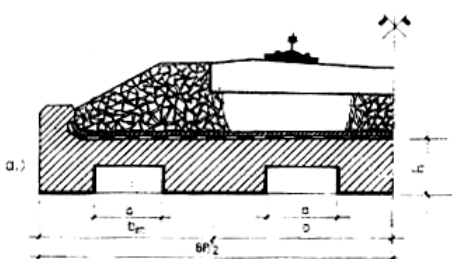
1. ábra

1/a ábra – merev kapcsoló elemek U idomacél

1/b ábra – rugalmas kapcsolóelemek, spirál kapcsolóelem

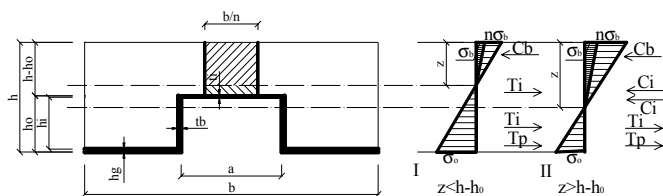
1/c ábra – rugalmas kapcsolóelemek, folytonos acéllemez, amelyen betonacél van átvezetve

A hídszerkezet keresztmetszeti elrendezése a 2. ábrán látható, majd a hídszerkezet keresztmetszete és az acélszerkezet, merev kapcsolóelemekkel a 3. ábrán van feltüntetve.

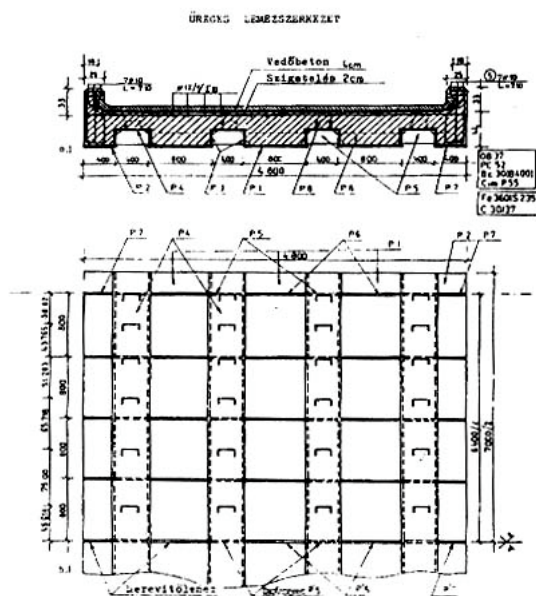


2. ábra

Az itt bemutatott öszvérlemez-szerkezet számítási modelljét a 4. ábra szemlélteti.



4. ábra



3. ábra

Az I. és II. egyensúlyi egyenletből meghatározható a súlyvonal helyzete „z”.

$$\text{I. } C_b = T_i + T_i + T_p \Rightarrow Z_I \quad (1)$$

$$\text{II. } C_b + C_i + C_i = T_i + T_p \Rightarrow Z_{II} \quad (2)$$

A súlyvonal helyzetét meghatározó egyenletek (3),(4):

$$bz^2 + 2n[t_i(a + 2t_b) + 2h_i t_b + h_p(b - a)]z - n \left[\begin{aligned} &t_i(a + 2t_b)(2h - 2h_p - 2h_i - t_i) + \\ &+ 2h_i t_i(2h - 2h_p - h_i) + h_p(b - a)(2h - h_p) \end{aligned} \right] = 0 \quad (3)$$

Jelölve

$$\beta = 2n[t_i(a + 2t_b) + 2h_i t_b + h_p(b - a)]$$

$$\gamma = n[t_i(a + 2t_b)(2h - 2h_p - 2h_i - t_i) + 2h_i t_b(2h - 2h_p - h_i) + h_p(b - a)(2h - h_p)]$$

$$\Delta = \beta^2 + 4b\gamma \Rightarrow z = 0.5(\sqrt{\Delta} - \beta)/b \quad (4)$$

$$z = \frac{b(h - h_0)^2 + 2nt_b(2h - h_0 - h_p - t_i)(h_0 - h_p - t_i) + nh_p(b - a)(2h - h_p) +}{2b(h - h_0) + 2mt_i(a + 2t_b) + 4nt_b(h_0 - h_p - t_i) + 2nh_p(b - a)} + \frac{nt_i(a + 2t_b)(2h - 2h_0 + t_i)}{2b(h - h_0) + 2mt_i(a + 2t_b) + 4nt_b(h_0 - h_p - t_i) + 2nh_p(b - a)}$$

A méretezési számítások megkönnyítése érdekében a 4. ábrán bemutatott két esetre (I, II) és az 5. ábrán látható jelölésekkel egy program segítségével meghatározhatjuk azokat az elemeket, amelyekre a méretezési és feszültségek ellenőrzési számításainak elvégzésékor szükségünk van. Az 5-ös ábra jelölései a következők.

AC = az „ideális” homogén keresztmetszet területe (cm²)

IC = az „ideális” homogén keresztmetszet tehetetlenségi nyomatéka (cm⁴)

WI, WS = az „ideális” homogén keresztmetszet keresztmetszeti modulusza (cm³)

AB = a nyomtatott beton keresztmetszet területe (cm²)

AO = acélkeresztmetszet területe (cm²)

IO = acélkeresztmetszet tehetetlenségi nyomatéka (cm⁴)

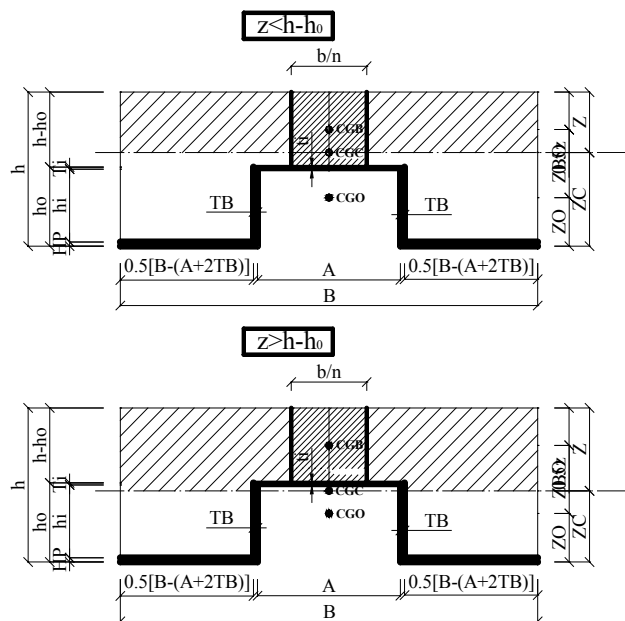
SM = a nyomott betonkeresztmetszet statikai nyomatéka (cm⁴)

ICT = a keresztmetszet csavarási másodrendű nyomatéka (cm⁴)

AN = semleges vonal

CGC = az ideális keresztmetszet súlypontja

Ezen elemek kiszámítása a következő ábra (5. ábra) jelölései szerint egy számítógépes program segítségével történik. Az eredményeket az 1. és 2. táblázat tartalmazza.



5. ábra

1. táblázat

| Z | AC | IC | WS | WI |
|-----------|------------|-----------|------------|--------------|
| AB | ZB | AO | ZO | IO |
| ZC | ICT | ZCO | SM | CT |
| H = 30 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 6.268 |
| 13.74938 | 416.3499 | 42897.71 | 3119.975 | 2639.758 |
| 1649.925 | 23.12531 | 153.12 | 4.432288 | 4923.508 |
| 16.25063 | 32224.52 | 11.81834 | 1809.623 | 2.203443E-03 |
| H = 32 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 6.268 |
| 14.4286 | 431.7536 | 50423.43 | 3494.686 | 2869.631 |
| 1731.432 | 24.7857 | 155.52 | 4.757408 | 5718.105 |
| 17.5714 | 33814.4 | 12.81399 | 1992.832 | 2.064363E-03 |
| H = 34 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 6.268 |
| 15.09688 | 446.9477 | 58680.14 | 3886.905 | 3104.257 |
| 1811.626 | 26.45156 | 157.92 | 5.087842 | 6581.239 |
| 18.90312 | 35378.68 | 13.81528 | 2181.709 | 1.942018E-03 |
| H = 36 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 6.268 |
| 15.7553 | 461.953 | 67690.46 | 4296.362 | 3343.614 |
| 1890.636 | 28.12235 | 160.32 | 5.423353 | 7514.524 |
| 20.2447 | 36919.88 | 14.82135 | 2376.159 | 1.833563E-03 |
| H = 38 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 6.268 |
| 16.40478 | 476.7873 | 77476.71 | 4722.813 | 3587.679 |
| 1968.574 | 29.79761 | 162.72 | 5.763717 | 8519.55 |
| 21.59522 | 38440.2 | 15.8315 | 2576.103 | 1.73676E-03 |
| H = 40 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 6.268 |
| 17.04614 | 491.466 | 88061.01 | 5166.039 | 3836.436 |
| 2045.537 | 31.47693 | 165.12 | 6.108721 | 9597.882 |
| 22.95386 | 39941.5 | 16.84514 | 2781.469 | 1.649827E-03 |
| H = 42 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 6.268 |
| 17.68008 | 506.0027 | 99465.26 | 5625.837 | 4089.868 |
| 2121.61 | 33.15996 | 167.52 | 6.458166 | 10751.07 |
| 24.31992 | 41425.46 | 17.86175 | 2992.201 | 1.571329E-03 |
| H = 44 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 6.268 |
| 18.30723 | 520.4094 | 111711.2 | 6102.029 | 4347.963 |
| 2196.867 | 34.84639 | 169.92 | 6.811864 | 11980.64 |
| 25.69277 | 42893.52 | 18.88091 | 3208.244 | 1.500093E-03 |
| H = 46 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 6.268 |
| 18.92813 | 534.6964 | 124820.5 | 6594.448 | 4610.71 |
| 2271.375 | 36.53393 | 172.32 | 7.169638 | 13288.09 |
| 27.07187 | 44346.98 | 19.90224 | 3429.553 | 1.435156E-03 |
| H = 48 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 6.268 |
| 19.54327 | 548.8732 | 138814.7 | 7102.941 | 4878.097 |
| 2345.192 | 38.22837 | 174.72 | 7.531319 | 14674.93 |
| 28.45673 | 45786.96 | 20.92541 | 3656.088 | 1.375717E-03 |
| H = 50 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 6.268 |
| 20.15309 | 562.9481 | 153715.1 | 7627.371 | 5150.116 |
| 2418.37 | 39.92346 | 177.12 | 7.896748 | 16142.62 |
| 29.84691 | 47214.5 | 21.95017 | 3887.813 | 1.321103E-03 |
| H = 30 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 12.536 |
| 16.77339 | 313.6821 | 31823.69 | 1897.272 | 2406.036 |
| 2012.807 | 21.6133 | 153.12 | 4.432288 | 4923.508 |
| 13.22661 | 4968.519 | 8.79432 | 1346.586 | 4.420396E-03 |
| H = 32 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 12.536 |
| 17.65255 | 324.4978 | 37572.98 | 2128.474 | 2618.791 |
| 2118.305 | 23.17373 | 155.52 | 4.757408 | 5718.105 |
| 14.34745 | 5226.717 | 9.590046 | 1491.444 | 4.146761E-03 |
| H = 34 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 12.536 |
| 18.51852 | 335.1873 | 43904.73 | 2370.855 | 2835.951 |
| 2222.222 | 24.74074 | 157.92 | 5.087842 | 6581.239 |
| 15.48148 | 5481.061 | 10.39364 | 1641.363 | 3.905451E-03 |
| H = 36 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 12.536 |
| 19.37253 | 345.7623 | 50838.36 | 2624.249 | 3057.493 |
| 2324.704 | 26.31373 | 160.32 | 5.423353 | 7514.524 |
| 16.62747 | 5731.909 | 11.20411 | 1796.243 | 3.691062E-03 |
| H = 38 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 12.536 |
| 20.21566 | 356.233 | 58393.02 | 2888.504 | 3283.395 |
| 2425.879 | 27.89217 | 162.72 | 5.763717 | 8519.55 |
| 17.784343 | 5979.572 | 12.02062 | 1955.996 | 3.49933E-03 |
| H = 40 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = .6 cm | N = 12.536 |
| 21.04882 | 366.6084 | 66587.59 | 3163.483 | 3513.638 |
| 2525.858 | 29.47559 | 165.12 | 6.108721 | 9597.882 |

2. táblázat

| Z | AC | IC | WS | WI |
|-----------|------------|-----------|-----------|--------------|
| AB | ZB | AO | ZO | IO |
| ZC | ICT | ZCO | SM | CT |
| H= 30 cm | B=120 cm | A= 40 cm | TI = 6 cm | N = 6.268 |
| 13.78338 | 440.2929 | 42909.68 | 3113.146 | 2646.031 |
| 1705.59 | 22.88148 | 153.12 | 4.432288 | 4923.508 |
| 16.21662 | 1804.417 | 35149.77 | 1769.794 | 1.718526E-02 |
| H = 32 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = 6 cm | N = 6.268 |
| 14.47978 | 461.8378 | 50446.98 | 3483.96 | 2879.358 |
| 1802.031 | 24.47396 | 155.52 | 4.757408 | 5718.105 |
| 17.52022 | 1984.873 | 37489.95 | 1943.961 | 1.605614E-02 |
| H = 34 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = 6 cm | N = 6.268 |
| 15.1686 | 483.3827 | 58721.64 | 3871.262 | 3118.284 |
| 1897.884 | 26.06792 | 157.92 | 5.087842 | 6581.239 |
| 18.83139 | 2170.382 | 39830.13 | 2123.253 | 0.0150658 |
| H = 36 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = 6 cm | N = 6.268 |
| 15.85082 | 504.9275 | 67758.03 | 4274.733 | 3362.819 |
| 1993.224 | 27.66313 | 160.32 | 5.423353 | 7514.524 |
| 20.14918 | 2360.845 | 42170.3 | 2307.607 | 1.419024E-02 |
| H = 38 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = 6 cm | N = 6.268 |
| 16.52724 | 526.4724 | 77580.37 | 4694.091 | 3612.967 |
| 2088.114 | 29.25938 | 162.72 | 5.763717 | 8519.55 |
| 21.47276 | 2556.176 | 44510.49 | 2496.967 | 1.341065E-2 |
| H = 40 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = 6 cm | N = 6.268 |
| 17.19855 | 548.0173 | 88212.75 | 5129.082 | 3868.734 |
| 2182.607 | 30.85651 | 165.12 | 6.108721 | 9597.882 |
| 22.80145 | 2756.304 | 46850.67 | 2691.287 | 0.0127121 |
| H = 42 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = 6 cm | N = 6.268 |
| 17.86532 | 569.5621 | 99679.23 | 5579.481 | 4130.125 |
| 2276.749 | 32.45438 | 167.52 | 6.458166 | 10751.07 |
| 24.13468 | 2961.17 | 49190.85 | 2890.529 | 1.208263E-02 |
| H = 44 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = 6 cm | N = 6.268 |
| 18.52806 | 591.107 | 112003.8 | 6045.089 | 4397.143 |
| 2370.577 | 34.05288 | 169.92 | 6.811864 | 11980.64 |
| 25.47194 | 3170.72 | 51531.03 | 3094.659 | 1.151248E-02 |
| H = 46 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = 6 cm | N = 6.268 |
| 19.18719 | 612.6519 | 125210.3 | 6525.724 | 4669.792 |
| 2464.125 | 35.65193 | 172.32 | 7.169638 | 13288.09 |
| 26.81281 | 3384.912 | 53871.21 | 3303.65 | 1.099367E-02 |
| H = 48 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = 6 cm | N = 6.268 |
| 19.84307 | 634.1967 | 139322.6 | 7021.222 | 4948.075 |
| 2557.422 | 37.25144 | 174.72 | 7.531319 | 14674.93 |
| 28.15693 | 3603.708 | 56211.39 | 3517.477 | 1.051958E-02 |
| H = 50 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = 6 cm | N = 6.268 |
| 20.49603 | 655.7416 | 154364.6 | 7531.439 | 5231.994 |
| 2650.492 | 38.85136 | 177.12 | 7.896748 | 16142.62 |
| 29.50397 | 3827.072 | 58551.57 | 3736.119 | 1.008467E-02 |
| H = 30 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = 6 cm | N = 12.536 |
| 16.82412 | 296.7065 | 31805.13 | 1890.448 | 2413.891 |
| 1941.552 | 21.88671 | 153.12 | 4.432288 | 4923.508 |
| 13.17588 | 1338.818 | 4450.018 | 1379.39 | 1.807085E-02 |
| H = 32 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = 6 cm | N = 12.536 |
| 17.69489 | 308.6789 | 37558.03 | 2122.535 | 2625.497 |
| 2051.523 | 23.43279 | 155.52 | 4.757408 | 5718.105 |
| 14.30511 | 1484.859 | 4743.548 | 1521.783 | 1.688258E-02 |
| H = 34 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = 6 cm | N = 12.536 |
| 18.55294 | 320.6513 | 43893.17 | 2365.834 | 2841.522 |
| 2160.508 | 24.98258 | 157.92 | 5.087842 | 6581.239 |
| 15.44706 | 1635.928 | 5037.079 | 1668.892 | 1.584237E-02 |
| H = 36 cm | B = 120 cm | A = 40 cm | TI = 6 cm | N = 12.536 |
| 19.39964 | 332.6238 | 50829.86 | 2620.144 | 3061.974 |
| 2268.612 | 26.53561 | 160.32 | 5.423353 | 7514.524 |

A feszültségeket a következő képletek segítségével határozzuk meg, figyelembe véve a tartós terhek, rövid ideig ható terhek, valamint fáradásra használt redukáló tényezőt.

$$\sigma_b = \frac{M \cdot z}{n \cdot I_c} \begin{cases} \rightarrow \sigma_b(n_t) \\ \rightarrow \sigma_b(n_r) \\ \rightarrow \sigma_b(n_f) \end{cases} \quad (5) \quad \sigma_a = \frac{M \cdot (h - z)}{I_c} \begin{cases} \rightarrow \sigma_a(n_t) \\ \rightarrow \sigma_a(n_r) \\ \rightarrow \sigma_a(n_f) \end{cases} \quad (6)$$

$$\sigma_{bmax} = \max\{[\sigma_b(n_t) + \sigma_b(n_r)]; [\sigma_b(n_t) + \sigma_b(n_f)]\} \quad (7)$$

$$\sigma_{amax} = \max\{[\sigma_a(n_t) + \sigma_a(n_r)]; [\sigma_a(n_t) + \sigma_a(n_f)]\} \quad (8)$$

A (7,8) képletek segítségével határozzuk meg a legnagyobb feszültségeket a beton és az acél legjobban igénybevett öveiben.

A 5. ábrán látható lemezelem kapcsolóelemeinek a számítását mutatjuk be a következő példánkban.

Tolóerő (csúszóerő) számítását a következő képlettel végeztük el:

$$V_{lr} = \frac{V_{max} \cdot Sc}{I_c} \quad (9)$$

ahol: V_{max} = maximális nyíróerő

A legnagyobb tolóerőt meg kell határozni az alátámasztásnál is a lemezelem közepén $\{V_{lr}; V_{lm}\}$.

A tolóerőt, amire a kapcsolóelemet méretezzük a következő képlettel számítjuk ki (EUROCODE 4 szerint):

$$P_{Rd} = \frac{1}{\gamma_c} A_{fl} \sqrt{\frac{A_{fl}}{A_{fl}}} \cdot f_{ck} \quad (10)$$

Az A_{fl} , A_{fl} -t a 6. ábra jelölései szerint határozzuk meg. $\gamma = 1.5$

$$V_T^* = \frac{V_{lr} + V_{lm}}{2} \cdot \frac{1}{2} \quad (11)$$

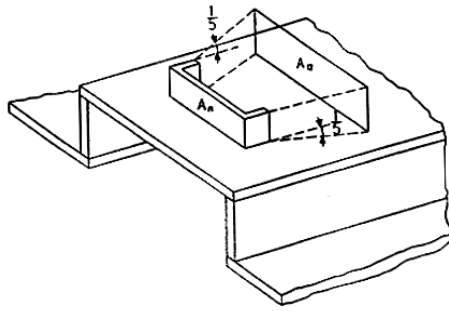
A fél lemez hosszra jutó teljes tolóerő l = a lemez hossza.

A kapcsolóelemek száma:

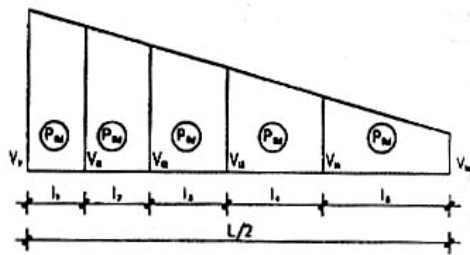
$$N = \frac{V_T}{P_{Rd}} \quad (12)$$

A merev kapcsolóelemek elosztását a lemez hosszában a 7. ábra szerint végezzük a következő összefüggés segítségével.

$$2 \frac{V_{lr} - V_{lm}}{l} l_i^2 - 2V_{lr} l_i + 2P_{Rd} = 0 \Rightarrow l_i \quad (13)$$

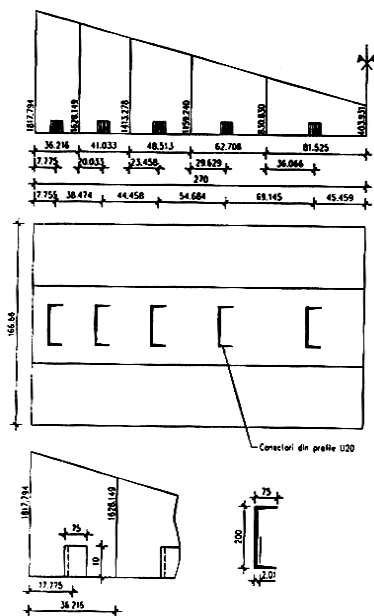


6. ábra

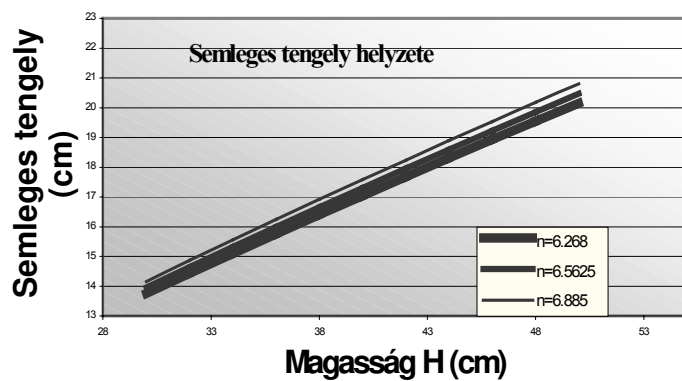
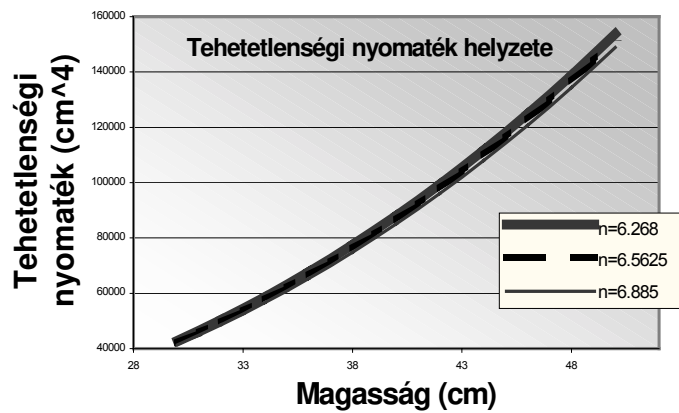


7. ábra

A számításokat egy számpéldával szemléltetjük: ($l = 5,40$ m vonatterhelés EUROCODE 1 MODEL 71: $V_{tmax} = 94,50$ kN, $V_{rmax} = 470,037$ kN, $V_{rl/2} = 125,626$ kN). (8. ábra)



8. ábra



9. ábra

A 9. ábrán a semleges tengely helyzete és a tehetlenségi nyomaték változását szemléltetjük a magasság függvényében különböző osztályú betonok esetén (n).

2. A végelem-módszer alkalmazása az öszvérszerkezetekre

2.1 Bevezetés

A végelem-módszer egyre nagyobb teret hódít a mérnöki feladatok megoldására. Az öszvértartók számításához is az utóbbi évtizedben a leginkább alkalmazott módszer a végelemek módszere, (The Finite Element Method).

A módszer lényege az, hogy a tartószerkezetet egy megválasztott hálózattal elemekre (végelem) szabjuk fel, és az elemeket csak a csomópontokban illesztjük egymáshoz.

Az új típusú programrendszerek (ROBOT, ANSYS, MARK), a hálózatot automatikusan választják meg, míg a még sok ideig használatban levő programrendszereknél (az ár miatt) ez a mérnök feladata.

De mint minden statikai feladatnál, a gépiessé válás aggodalmakat okoz, és ez nem alaptalan, mert a modellfelvétel örök kérdés. (Kopenetz, 1985)

Minden adott feladatnál nagyon fontos a statikai modell és a numerikus eljárás megválasztása.

A kutatási program keretében a célunk az, hogy olyan végelemeket alkalmazzunk, amelyeknek az eredménye a kevés elemszám mellett a nagy pontosság, különösen ha tartórendszerekről van szó.

Figyelembe véve ezeket a követelményeket, egy felületszerkezetekre írt programrendszert használtunk a, SUMO1-et (Kopenetz 1989, Cătărig – Kopenetz 1998, Cătărig – Kopenetz 1994), amelybe egy 4 csomópontú tárcsa elemet építettünk be (Zienkiewicz – Irons típusú). Az így nyert javított SUMO1 programrendszer lehetővé teszi mind a klasszikus (Klingenberg 1952), mind az új elgondolású öszvértartók (Köllő 1998) egyszerű végelem kezelését.

2.2 A SUMO1 programrendszer

A SUMO1 programrendszer nemlineáris térbeli membrán és kábelszerkezetek megoldására készült.

A kontinuum-mechanika tenzor fogalmazásával a kinematikai és anyagtörvényeket olyan formában használjuk, hogy a statikai és dinamikai kérdéseket egységes fogalmazásban lehet írni.

Az egységes fogalmazás alapja, hogy a tetszőleges mértékű „nagy” alakváltozásokat is figyelembe vevő Lagrange-féle leírási móddal, a II. Piola-Kirchoff féle feszültségtenzorral dolgozunk.

Mivel a programrendszer a végelem elmozdulásmódszerére támaszkodik, a globális merevségi mátrix mindig összeállítható a szerkezetet alkotó sík felületek merevségi mátrixaiból és az egyes felületek réteg résztartományaiból. (Kopenetz 2000).

A nemlineáris végelem feladat jellegénél fogva az egyensúlyi megoldási módszert, a Newton – Raphson eljárást használja, amely független az elemcsaládtól. A mozgási egyenletek integrálásához a Newmark és Wilson eljárást használjuk.

Az öszvérszerkezetek modellezéséhez a programrendszerbe a 12 szabadságfokú térbeli négyszögelemet és a 6 szabadságfokú rúdelemet használjuk.

A szabadságfok megállapítása egy kompromisszum eredménye, mert a pontosság növelése érdekében kívánatos minél több bázisfüggvény felvétele, de ezáltal nő az ismeretlen paraméterek száma és bonyolódik a numerikus eljárás.

Mindezeket figyelembe véve, mivel a négyszögelemet tárcsaszerű feladatok megoldására használjuk, a tapasztalatok szerint az izoparametrikus alak a legalkalmasabb.

A végeselemes modellezésben az ilyen elemeknél egy elemen belül fekvő pont globális koordinátáit és elmozdulás jellemzőit ugyanazokkal a bázisfüggvényekkel lehet kifejezni.

2.2.1. Négy csomópontú tárcsa elem

A szerkezet geometriáját a csomópontok koordinátaival írjuk le, ahol N csomópontot jelent (N=1,2,3,4). A szabadságfokokat i-vel jelöljük (i=1,2,3).

Egy P pontot a lokális hálózathoz a θ^α ($\alpha=1,2$) jelöljük. A θ^α a peremen ± 1.0 értéket kap. A P pont koordinátái a globális rendszerben legyenek x^i és az elmozdulásai u^i . Ezeket ki lehet fejezni a csomóponti koordinátákkal (x^{Ni} , θ^α) és a Φ bázisfüggvényekkel. (10. ábra)

$$x_p^i(\theta^\alpha) = \theta^N x^N, \quad (N = 1,2,3,4; i = 1,2,3) \quad (14)$$

ahol a Φ^N bázisfüggvények a következő alakúnak:

$$\Phi^1(\theta^1, \theta^2) = \frac{1}{4}(1 + \theta^1)(1 + \theta^2), \quad (15.a)$$

$$\Phi^2(\theta^1, \theta^2) = \frac{1}{4}(1 - \theta^1)(1 + \theta^2), \quad (15.b)$$

$$\Phi^3(\theta^1, \theta^2) = \frac{1}{4}(1 - \theta^1)(1 - \theta^2), \quad (15.c)$$

$$\Phi^4(\theta^1, \theta^2) = \frac{1}{4}(1 + \theta^1)(1 - \theta^2). \quad (15.d)$$

Az elmozdulások az izometrikus elem meghatározásából:

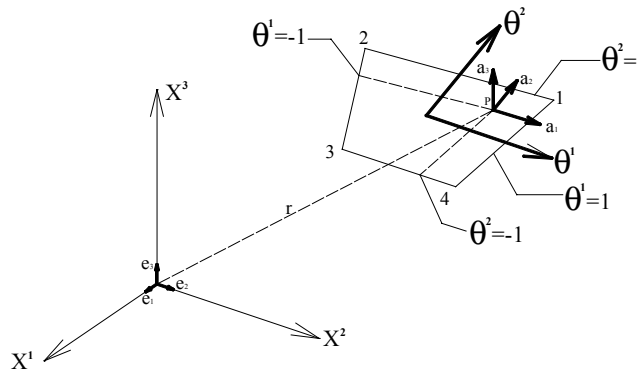
$$\mathbf{u}^i = \Phi^{N_i} \mathbf{u}^{N_i} \quad (16)$$

A P pont helyzetét az \mathbf{r} vektorral írhatjuk le:

$$\mathbf{r} = x^i \mathbf{e}_i \quad (17)$$

vagy:

$$\mathbf{r} = x^1 \mathbf{e}_1 + x^2 \mathbf{e}_2 + x^3 \mathbf{e}_3 \quad (18)$$



10. ábra

Felhasználva (14)-et a (17)-ből kapjuk:

$$\mathbf{r} = \Phi^N x^{N_i} \mathbf{e}_i \quad (19)$$

A P pont bázis vektorjait könnyen megkapjuk:

$$\mathbf{a}_\alpha = \frac{\partial \Phi^N}{\partial \theta^\alpha} x^{N_i} \mathbf{e}_i = \mathbf{a}_\alpha^i \mathbf{e}_i \quad (20)$$

vagy:

$$\begin{Bmatrix} \mathbf{a}_1 \\ \mathbf{a}_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{T}_1 \\ \mathbf{T}_2 \end{bmatrix} \boldsymbol{\eta} = \mathbf{T} \boldsymbol{\eta} \quad (21)$$

ahol:

$$\mathbf{a}_1 = \begin{Bmatrix} \mathbf{a}_1^1 \\ \mathbf{a}_1^2 \\ \mathbf{a}_1^3 \end{Bmatrix}, \quad \mathbf{a}_2 = \begin{Bmatrix} \mathbf{a}_2^1 \\ \mathbf{a}_2^2 \\ \mathbf{a}_2^3 \end{Bmatrix} \quad (22)$$

$$\mathbf{T}_1 = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi^1}{\partial \theta^1} & 0 & 0 & -\frac{\partial \Phi^1}{\partial \theta^1} & 0 & 0 & -\frac{\partial \Phi^4}{\partial \theta^1} & 0 & 0 & \frac{\partial \Phi^4}{\partial \theta^1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial \Phi^1}{\partial \theta^1} & 0 & 0 & -\frac{\partial \Phi^1}{\partial \theta^1} & 0 & 0 & -\frac{\partial \Phi^4}{\partial \theta^1} & 0 & 0 & \frac{\partial \Phi^4}{\partial \theta^1} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial \Phi^1}{\partial \theta^1} & 0 & 0 & -\frac{\partial \Phi^1}{\partial \theta^1} & 0 & 0 & -\frac{\partial \Phi^4}{\partial \theta^1} & 0 & 0 & \frac{\partial \Phi^4}{\partial \theta^1} \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$\mathbf{T}_2 = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Phi^1}{\partial \theta^2} & 0 & 0 & \frac{\partial \Phi^2}{\partial \theta^2} & 0 & 0 & -\frac{\partial \Phi^2}{\partial \theta^2} & 0 & 0 & -\frac{\partial \Phi^1}{\partial \theta^2} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial \Phi^1}{\partial \theta^2} & 0 & 0 & \frac{\partial \Phi^2}{\partial \theta^2} & 0 & 0 & -\frac{\partial \Phi^2}{\partial \theta^2} & 0 & 0 & -\frac{\partial \Phi^1}{\partial \theta^2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial \Phi^1}{\partial \theta^2} & 0 & 0 & \frac{\partial \Phi^2}{\partial \theta^2} & 0 & 0 & -\frac{\partial \Phi^2}{\partial \theta^2} & 0 & 0 & -\frac{\partial \Phi^1}{\partial \theta^2} \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$\boldsymbol{\eta} = \{x_1^1 \quad x_1^2 \quad x_1^3 \quad x_2^1 \quad x_2^2 \quad x_2^3 \quad x_3^1 \quad x_3^2 \quad x_3^3 \quad x_4^1 \quad x_4^2 \quad x_4^3\}^T \quad (25)$$

$\frac{\partial \Phi^N}{\partial \theta^\alpha}$ értékeit a 3. táblázatban adjuk meg.

| N függvény | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| $\Phi^N(\theta^1, \theta^2)$ | $\frac{1}{4}(1+\theta^1)(1+\theta^2)$ | $\frac{1}{4}(1-\theta^1)(1+\theta^2)$ | $\frac{1}{4}(1-\theta^1)(1-\theta^2)$ | $\frac{1}{4}(1+\theta^1)(1-\theta^2)$ |
| $\frac{\partial \Phi^N}{\partial \theta^1}$ | $\frac{1}{4}(1+\theta^2)$ | $-\frac{1}{4}(1+\theta^2)$ | $-\frac{1}{4}(1-\theta^2)$ | $\frac{1}{4}(1+\theta^2)$ |
| $\frac{\partial \Phi^N}{\partial \theta^2}$ | $\frac{1}{4}(1+\theta^1)$ | $\frac{1}{4}(1-\theta^1)$ | $-\frac{1}{4}(1-\theta^1)$ | $-\frac{1}{4}(1+\theta^1)$ |

3. táblázat

Ezekkel a jelölésekkel fel lehet írni a bázisvektorokat:

$$\mathbf{a}_\alpha = \mathbf{T}_\alpha \boldsymbol{\eta} \quad (26)$$

A felület kovariáns mértéke:

$$\mathbf{a}_{\alpha\beta} = \boldsymbol{\eta}^T \mathbf{T}_\alpha^T \mathbf{T}_\beta \boldsymbol{\eta} = \boldsymbol{\eta}^T \mathbf{T}_{\alpha\beta} \boldsymbol{\eta} \quad (27)$$

ahol:

$$\mathbf{T}_{\alpha\beta} = \begin{bmatrix} \mathbf{T}_{11} \\ \mathbf{T}_{12} \\ \mathbf{T}_{13} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{T}_1^T & \mathbf{T}_1 \\ \mathbf{T}_2^T & \mathbf{T}_2 \\ \mathbf{T}_3^T & \mathbf{T}_3 \end{bmatrix} \quad (28)$$

A tárcsaelemek számításánál megjelennek a következő típusú integrálok:

$$I = \iint_s \Phi(\theta^1, \theta^2) \sqrt{a} d\theta^1 d\theta^2 = \int_{\theta^1=-1}^{+1} \int_{\theta^2=-1}^{+1} \Phi(\theta^1, \theta^2) \sqrt{a} d\theta^1 d\theta^2 \quad (29)$$

Ezeknek a megoldására a Gauss-féle kvadraturát alkalmazzuk. Így a (29) típusú integrálokat a következő formában kapjuk:

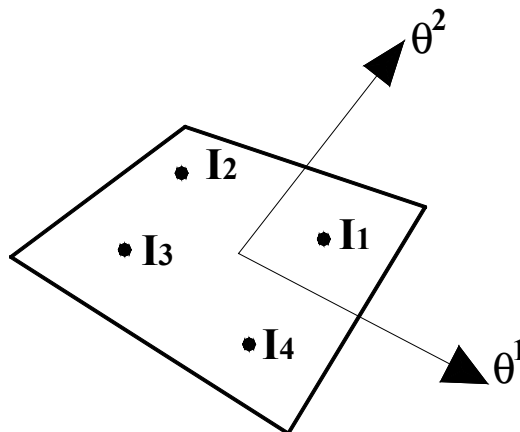
$$\sum_{I_1=1}^{INT} \Phi(\theta_{I_1}^\alpha) \sqrt{a_{I_1}} W_{I_1} \quad (30)$$

ahol:

- INT Gauss féle kvadratura pontok
- W_{I_1} súlyok

4 integrálási pontra (11. ábra) a (29) egyenlet a következő alakú:

$$I = W_{I_1} \Phi(\theta_{I_1}^1, \theta_{I_1}^2) \sqrt{a_{I_1}} + W_{I_2} \Phi(\theta_{I_2}^1, \theta_{I_2}^2) \sqrt{a_{I_2}} + W_{I_3} \Phi(\theta_{I_3}^1, \theta_{I_3}^2) \sqrt{a_{I_3}} + W_{I_4} \Phi(\theta_{I_4}^1, \theta_{I_4}^2) \sqrt{a_{I_4}} \quad (31)$$



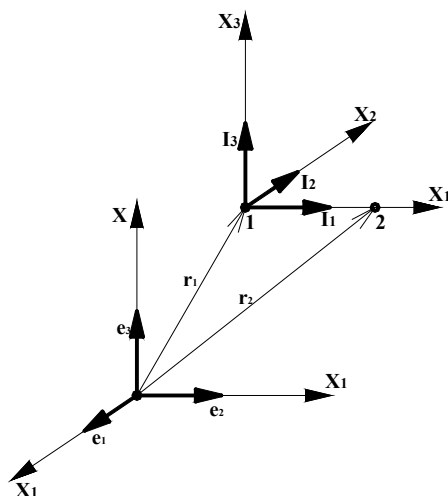
11. ábra

| Integrálási pontok | θ^1 | θ^2 | W_{I_1} |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| I_1 | $+\frac{1}{\sqrt{3}}$ | $+\frac{1}{\sqrt{3}}$ | 1 |
| I_2 | $-\frac{1}{\sqrt{3}}$ | $+\frac{1}{\sqrt{3}}$ | 1 |
| I_3 | $-\frac{1}{\sqrt{3}}$ | $-\frac{1}{\sqrt{3}}$ | 1 |
| I_4 | $+\frac{1}{\sqrt{3}}$ | $-\frac{1}{\sqrt{3}}$ | 1 |

4. táblázat

2.2..2 Két csomópontú csuklós rúdelem

Mivel a vasalás a beton-elemek csomópontjainál csatlakozik, elégséges 6 szabadságfokú rúdelemeket használni (20. ábra).



12. ábra

A 12. ábrán feltüntetett rúdelemet az r_1 és r_2 pozitív vektorok írják le és a globális koordinátákat az alábbi formában írhatjuk:

$$\eta = \begin{Bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \eta_3 \\ \eta_4 \\ \eta_5 \\ \eta_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X_1^1 \\ X_1^2 \\ X_1^3 \\ X_2^1 \\ X_2^2 \\ X_2^3 \end{Bmatrix} \quad (32)$$

A lokális rendszerben az i_1 a következő alakú lesz:

$$i_1 = \frac{1}{|l|} = \frac{\Delta X^1 e_1 + \Delta X^2 e_2 + \Delta X^3 e_3}{\sqrt{(\Delta X^1)^2 + (\Delta X^2)^2 + (\Delta X^3)^2}} = \frac{\Delta r}{\sqrt{\Delta r \Delta r}} \quad (33)$$

ahol:

$$\Delta X^1 = X_2^1 - X_1^1$$

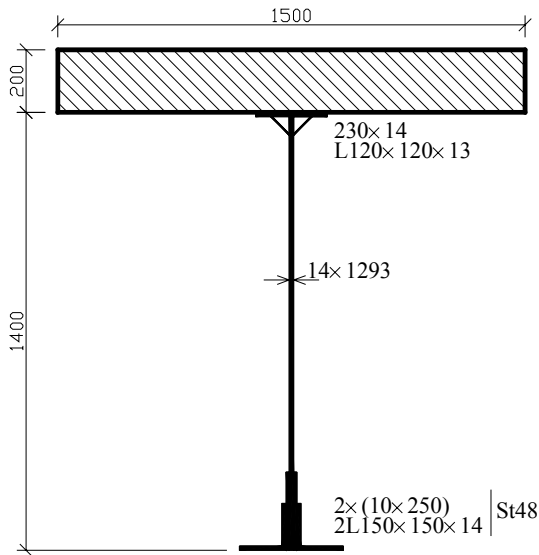
$$\Delta r = l$$

2.3. A SUMOI – programrendszer öszvértartókra való alkalmazása

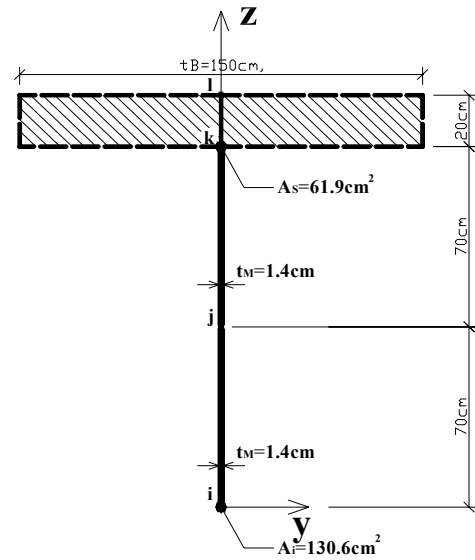
Egy programrendszer felhasználhatóságánál a legfontosabb kérdés a pontosság elemzése. A legbiztosabb út az ilyen feladatra az olyan szerkezetek vizsgálata, amelyeknél az eredményeket kísérleti úton kapták.

2.3.1. Példa

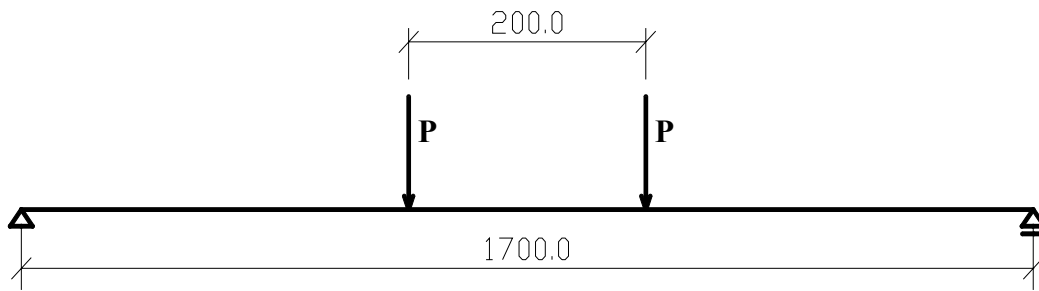
Egy állandó keresztmetszetű klasszikus öszvértartó (13/a/b/c. ábra) törési terhét kísérleti úton határozták meg (Klingenberg 1952).



13/a.ábra

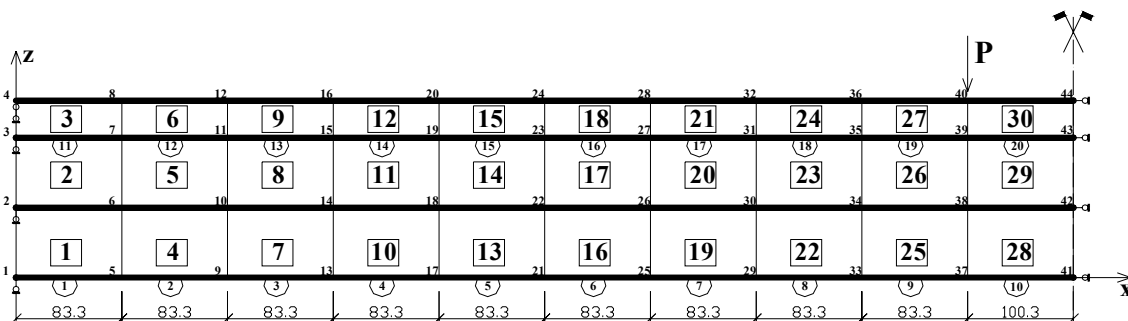


13/b.ábra



13/c.ábra

A SUMO1 programrendszerrel a 13/d. ábrán látható hálózattal a kapott eredmény ($P = 162.0\text{MN}$) 1,8%- kal közelíti meg a kísérleti értéket ($P = 165.0\text{MN}$), (5. táblázat).



P_u kísérlet : 165MN
 végeelem : 162MN
 Analitikus számítás
 /HERZOG/ : 147,2MN

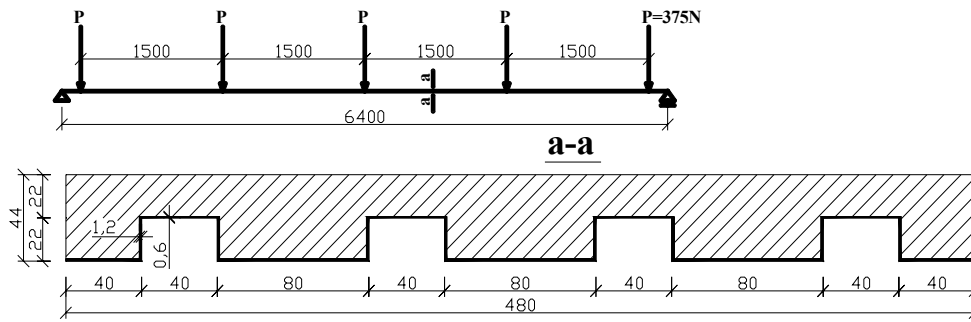
13/d.ábra

| A szerkezet jellemzői | | | | | | |
|--|-----------------|----------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------|
| Anyag | Young tény. | Poiss. tény. | Vast. | Dil. tény. | sűrűség | Codsol |
| 1 | 0.210E+07 | 0.000E+00 | 0.140E+01 | 0.120E-04 | 0.780E-05 | 0.000E+00 |
| 2 | 0.210E+06 | 0.000E+00 | 0.150E+03 | 0.120E-04 | 0.250E-05 | 0.000E+00 |
| 3 | 0.210E+07 | 0.000E+00 | 0.131E+03 | 0.120E-04 | 0.780E-05 | 0.000E+00 |
| 4 | 0.210E+07 | 0.000E+00 | 0.619E+02 | 0.120E-04 | 0.780E-05 | 0.000E+00 |
| eset | ACC.X nyomás | ACC.Y Hőmérséklet | ACC.Z feszített | PR.X | PR.Y | PR.Z |
| 1 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | -0.981E+03 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | | | |
| Csomóponti erők: | | | | | | |
| Csp. | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
| 40 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | -0.1620E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| Iterációk száma 1 | | | | | | |
| Csomóponti max.elmozdulás=-0.88175755E+01 csomópontban 41 a 3-as globális irányba | | | | | | |
| Iterációk száma 2 | | | | | | |
| Csomóponti max. elmozdulás =0.22440221E+01 csomópontban 41 a 3-as globális irányba | | | | | | |
| Iterációk száma 3 | | | | | | |
| Csomóponti max. elmozdulás =0.45293275E-01 csomópontban 41 a 3-as globális irányba (TOLERANCIA 0.10000E+00) | | | | | | |
| Koordináták, elmozdulások, elfordulások a 3. iteráció után | | | | | | |
| Csp. | X-COORD. | Y-COORD. | Z-COORD. | X-DEPL. DX-DEPL. | Y-DEPL. DY-DEPL. | |
| | | | | | | |
| 40 | 0.749852E+03 | 0.000000E+00 | 0.153572E+03 | 0.151561E+00 -0.8726E-03 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | |
| 41 | 0.850000E+03 | 0.000000E+00 | -0.652826E+01 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | |
| 42 | 0.850000E+03 | 0.000000E+00 | 0.634682E+02 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | |
| 43 | 0.850000E+03 | 0.000000E+00 | 0.133463E+03 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | |
| 44 | 0.850000E+03 | 0.000000E+00 | 0.153463E+03 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | |
| ..REZ. bare...// | | | | | | |
| rúd | csomópont I | csomópont J | MATCAB | erő | nemfeszített hossz | valós hossz |
| 9 | 33 | 37 | 103 | 0.53446344E+06 | 0.83299988E+02 | 0.83462318E+02 |
| 10 | 37 | 41 | 103 | 0.55899181E+06 | 0.10029999E+02 | 0.10050442E+03 |

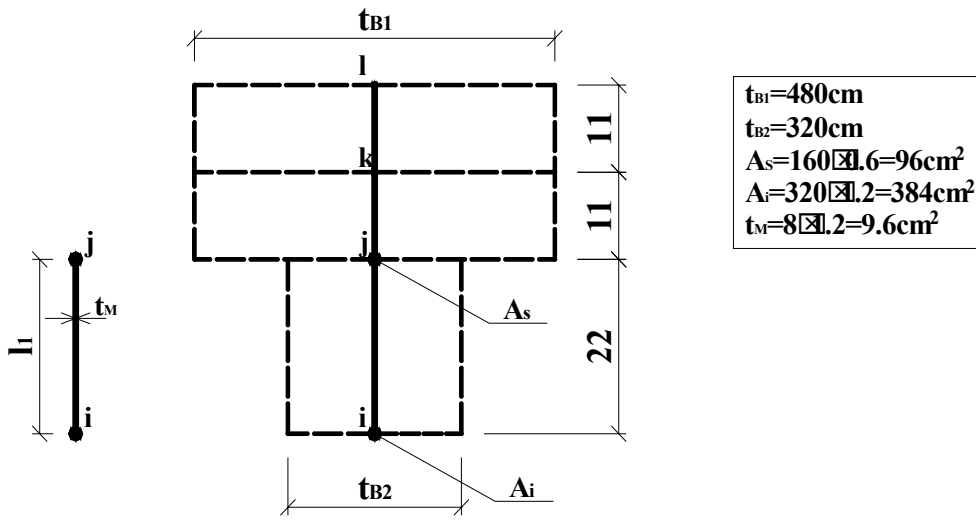
5. táblázat

2.3.2. Példa

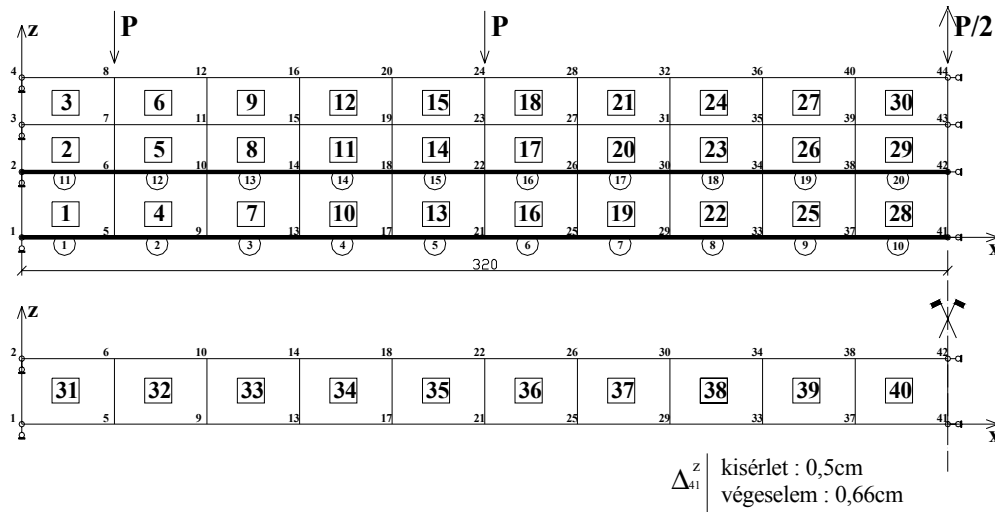
Egy új típusú öszvértartónak (Köllő 1998) (14/a. ábra), kísérleti úton kapott lehajlása ($w=0,5$ cm) jól egyezik a SUMO1 programrendszerrel számított értékkel (14/a/b/c. ábra, 6. táblázat).



14/a. ábra



14/b. ábra



14/c. ábra

| A szerkezet jellemzői | | | | | | |
|-----------------------|-------------|--------------|-----------|------------|-----------|-----------|
| Anyag | Young tény. | Poiss. tény. | Vast. | Dil. tény. | Sűrűség | Codsol |
| 1 | 0.210E+07 | 0.000E+00 | 0.480E+03 | 0.120E-04 | 0.250E-05 | 0.000E+00 |
| 2 | 0.210E+06 | 0.000E+00 | 0.320E+03 | 0.120E-04 | 0.250E-05 | 0.000E+00 |
| 3 | 0.210E+07 | 0.000E+00 | 0.960E+01 | 0.120E-04 | 0.780E-05 | 0.000E+00 |
| 4 | 0.210E+07 | 0.000E+00 | 0.384E+03 | 0.120E-04 | 0.780E-05 | 0.000E+00 |
| 5 | 0.210E+07 | 0.000E+00 | 0.960E+02 | 0.120E-04 | 0.780E-05 | 0.000E+00 |

| eset | ACC.X nyomás | ACC.Y hőmérséklet | ACC.Z feszített | PR.X | PR.Y | PR.Z |
|--|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------|
| 1 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | -0.981E+03 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 |
| | 0.000E+00 | 0.000E+00 | 0.000E+00 | | | |
| Csomóponti erők: | | | | | | |
| Csp. | FX | FY | FZ | MX | MY | MZ |
| 8 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | -0.375000E+05 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 24 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | -0.375000E+05 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| 44 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | -0.187500E+05 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 | 0.0000E+00 |
| Iterációk száma 1 | | | | | | |
| Csomóponti max. elmozdulás = -0.65914893E+00 csomópontban 41 a 3-as globális irányba | | | | | | |
| Iterációk száma 2 | | | | | | |
| Csomóponti max. elmozdulás = 0.17942430E-02 csomópontban 41 a 3-as globális irányba | | | | | | |
| Koordináták, elmozdulások, elfordulások a 3. iteráció után | | | | | | |
| Csp. | X-COORD. | Y-COORD. | Z-COORD. | X-DEPL. DX-DEPL. | Y-DEPL. DY-DEPL. | |
| | | | | | | |
| 41 | 0.320000E+03 | 0.000000E+00 | -0.656857E+00 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | |
| 42 | 0.320000E+03 | 0.000000E+00 | 0.213431E+02 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | |
| 43 | 0.320000E+03 | 0.000000E+00 | 0.323429E+02 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | |
| 44 | 0.320000E+03 | 0.000000E+00 | 0.433426E+03 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | 0.000000E+00 0.0000E+00 | |
| Membrán feszültségek helyi koordináta rendszerben | | | | | | |
| Nr. el. | NSS NXX | NST NXY | NTT NYY | NNSS NMAX | NNST NMIN | |
| | | | | | | |
| 28 | 0.264868E+02 0.678110E+04 | -0.212520E+01 -0.374047E+03 | -0.142572E+01 -0.172512E+03 | 0.678110E+04 0.680117E+04 | -0.374047E+03 -0.192575E+03 | |
| 29 | -0.451654E+02 -0.115603E+05 | -0.489786E+01 -0.430971E+03 | -0.168085E+02 -0.508454E+03 | -0.115603E+05 -0.491674E+03 | -0.430971E+03 -0.115770E+05 | |
| 30 | -0.874773E+02 | -0.542574E+01 | -0.219445E+02 | -0.223863E+05 | -0.477379E+03 | |

6. táblázat

Az alkalmazott végeelem modellezés jól megközelíti a szerkezet valós erőjátékát és az eredmények a számított, valamint mért értékeket igazolják.

Felhasznált irodalom

- [1.] Köllő Gábor, Dr.: Vasúti egyttudolgozó acél-beton hídszerkezetek, Műszaki Szemle, 12-21 oldal, 1992.
- [2.] Köllő Gábor, Dr.: Suprastructuri de tip dală, Ed. UT Pres, 2000.
- [3.] Kopenetz Ludovic, Dr.: Contribuții la calculul structurilor portante cu cabluri, Doktori disszertáció, 1989.
- [4.] Kopenetz Ludovic, Dr., Cătărig Alexandru, Dr.: Probleme de analiză structurată pentru consolidarea podurilor, Conferința Drumuri Poduri, Cluj-N, 2000.
- [5.] Köllő Gábor, Dr.: Tartók 2000, Nemzetközi Konferencia, Budapest 2000. 226-251 old.

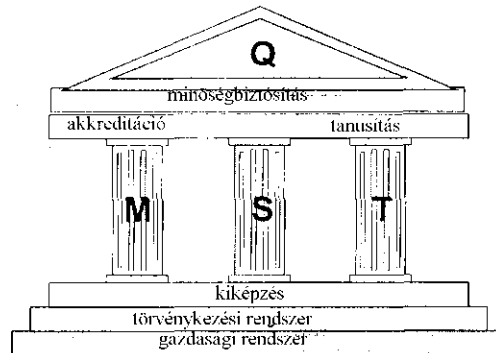
Szabványosítás, európaiuniós nézőpontból

Dr. Kormos Fiammetta

Kolozsvári Kémiai Kutatóintézet

Az első szabványok időszámításunk előtt két ezer évvel jelentek meg Kína első császáranak, Qin Shi Huangdi utasítására. Ezek technikai adatokat tartalmaztak (pld. az ivóvízvezetékek, a városkapuk szélességének, a országutak méreteit illetően).

A standardizálási tevékenység jelentőségét a minőségbiztosításban az 1-es ábra mutatja be. A minőség három tartópillére: a metrológiai, (M), a szabványosítási (S) és a tanúsítási (T) tevékenység.



1. ábra. A minőségbiztosítás tartópillérei

Az idők során a szabványok nagyon aprólékos technikai adatokat tartalmaztak és változtak minden ország elképzelései, a nemzeti szinten érvényben levő szabályozások szerint. Ezek létezése nagy mértékben gátolta a termékek országok közötti szabad forgalmát. Ennek következtében, főleg Európa területén, megjelenik az igény a szabványok összehangolására. Az új irányzat 1985-ben az Európai Unió belül születik meg az Európatanács 1985 májusi (COM.85/C136/01) rendeletével. Ennek alapját, a technikai követelmények és a szabványosítási politika egybehangolása képezi. Nem technikai adatok betartását követeli, hanem a termékek, szolgáltatások lényeges sajátosságainak tiszteletben tartását írja elő. Ez megoldaná a termékek szabad mozgását az EU országain belül.

A szabványok új értelmezési módja a fő hangsúlyt, a termékek biztonságos voltára és a hibás termékek iránti felelőségre helyezi. Ennek megfelelően a minőségbiztosítás rendszerének bevezetése kötelezővé válik. Az új értelmezési módban kidolgozott szabványok célja biztonság minden fokon, egészség- és környezetvédelem.

Az egybehangolt szabványok a következő követelményeknek kell eleget tegyenek:

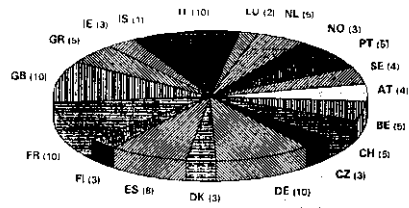
- termék vagy termékcsoportokra vonatkozzanak és ezek csak a lényeges sajátosságokban kell megfeleljenek az előírásoknak (ezt a 22 darab alapirányzat tartalmazza).
- az EU megbízásából készüljön
- legalább egy tagországban, nemzeti szabványként alkalmazzák
- az EU Hivatalos Közleményében kell megjelenjen.

Az új egybehangolt szabványok nem kötelező érvényűek, de ha valamely ország szabályzórendszerében megjelenik, azonnal kötelező jelleget nyer.

Az új szabványosítás-mód alapelvei a következők:

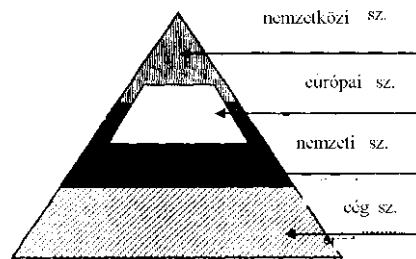
- önkéntes jelleg, nem kötelező, inkább csak ajánlott mód.
- nyitottság, minden szabványtervezetet nyilvánosan megvitatnak az érdekelt felek részvételével
- konszenzus, az új szabvány csak akkor lép életbe, ha az érdekelt felek egyöntetű véleményét alakítanak ki
- az új tudományos és technikai eredmények felhasználása
- a gazdasági tényezők figyelembevétele
- a közjó érdekének elsődlegessége

A szabványok összehangolásán két nagy nemzetközi szervezet munkálkodik: CEN, az európai szabványosítási bizottság és ISO, a standardizálás nemzetközi szervezete. 1995-től a szabványok először ISO formában jelennek meg, majd ezt alkalmazza a CEN. A CEN-nek jelen pillanatban tizenkilenc tagországa van, és mindegyik más más szavazati joggal bír (2-es ábra).



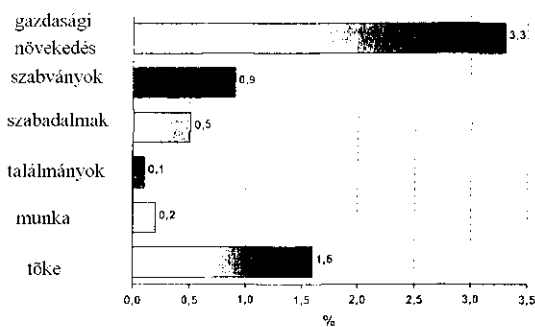
2. ábra. A CEN tagországai és szavazataik száma

Ha Romániát is befogadják, kb. 5-7szavazatra lesz jogosult. Ha egy szabvány legalább 71%-os többséget ér el, akkor ez kötelezővé válik és a tagországok kötelesek alkalmazni nemzeti szinten. Ez azt is jelenti, hogy minden más ezzel ellentétbe kerülő hazai szabványt törölni kell. A nemzeti szabványokat a cégek saját belső minőségbiztosítási előírásaira (cégszabvány) bonthatók le. A különböző típusú szabványok közötti arányt a 3-as ábra mutatja be. A piramis jelleg kihangsúlyozza, hogy csak kevés ISO és EN szabványra van szükség és ezeket át kell fedniük a nemzeti szabványoknak.



3. ábra. Szabványok piramisa

Egy ország gazdasági fejlődését több tényező (befektetett tőke, a kifejtett munka, találmányok, szabadalmak, szabványok száma) különbözőképpen befolyásolja (4-es ábra).



4. ábra. A gazdasági növekedést meghatározó tényezők

Megállapíthatjuk, hogy a gazdasági növekedés szempontjából a tőkén kívül a legnagyobb szerepe az érvényben levő szabványoknak van.

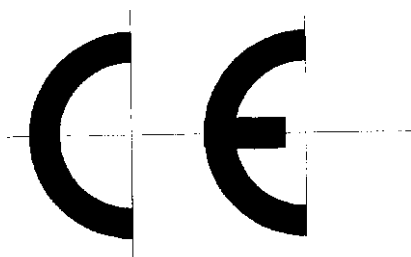
A szabványok alkalmazása lehetővé teszi a találmányok, az új azonnali bevezetését és ez által a piaci ár csökkentését, a minőség fejlesztését, tehát a gazdasági növekedést vonja maga után. A nemzetközi szabványok bevezetése és tiszteletben tartása pozitív hatással van az ország versenyképességének megítélésére is.

Ahhoz, hogy országunk is az EU és a CEN tagjává váljon, elsőrendű feltétel, hogy az európai szabványok 80%-át átvegye és alkalmazza. Ezt a feltételt a volt szocialista államok közül, csak Csehország teljesítette. Jelenleg kb.15000 EN szabvány létezik, s ebből mi csak kb. 1000-et vettünk át. Az EN szabványok átvétele és gyakorlatba ültetése hazánkban az ASRO (Asociația de Standardizare Română) feladata. Ahhoz, hogy felgyorsíthassa tevékenységét, szükséges lenne az állam és a magán cégek hathatós anyagi segítsége.

Más szomszédos országokhoz képest, mint az az alábbi táblázatból kiderül, országunk vezetősége nem támogatja ezt a tevékenységet.

| ORSZÁG | ÉVI KÖLTSÉGVETÉS (svájci frank) | KORMÁNY ADOMÁNYA (%) | ALKALMAZOTTAK SZÁMA |
|---------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------|
| Bulgária | 2.459.124 | 100 | 1174 |
| Csehország | 6.417.659 | 49 | 194 |
| Horvátország | 5.100.000 | 56 | 146 |
| Jugoszlávia | 1.033.742 | 100 | 114 |
| Lengyelország | | 84 | 332 |
| Magyarország | 6.390.838 | 40 | 116 |
| Románia | 377.650 | 0 | 84 |
| Szlovákia | 2.268.700 | 56 | 112 |
| Szlovénia | 4.927.000 | 90 | 92 |

Az EU-n belül szabadon forgalmazhatók a CE márkával (5. ábra) ellátott termékek. A márkát a csomagoláson tüntetik fel, s legalább 5 mm magasságú kell legyen. A CE márkára a jogosultságot az EU által jóváhagyott akkreditált szervek adják meg.



5. ábra. A szabadforgalmat biztosító EU márka

Ezek a szervek tanúsítják, hogy a termék lényeges sajátosságai megfelelnek az előírtaknak. A megfelelést bizonyító CE márka könnyebben megszerezhető, ha a termék az EN szabvány alapján készült. A CE márkát a következő országok tekintik kötelezőnek áruik számára: Ausztria, Dánia, Finnország, Franciaország, Olaszország, Hollandia, Norvégia, Anglia, Csehország, Spanyolország, Svédország, Svájc és Magyarország.

A hazai szabványosítási szerv, az ASRO is végez tanúsítási tevékenységet, melynek eredményeképpen az SR vagy az SR-S márka kerül a termékre. Az SR jelentése: a termék megfelel a román szabvány előírásainak. Az SR-S, a román biztonsági szabványoknak való megfelelést bizonyítja.

Általában a szabványok használata a következő előnyökkel jár:

- biztosítja a szabad kereskedelmet mind hazai, mind nemzetközi síkon;
- pozitív hatással van az import és export fejlesztésére;
- a termékek és szolgáltatások modernizálásának garanciáját képezik;
- megteremti a keretet a helyesen értelmezett versengésre;
- biztonságos termékek előállítását, biztonságos munkakörülmények között;
- csökkenti a hibás termékek keletkezésének a lehetőségét;
- növeli a fogyasztók termékbe vetett bizalmát;
- egységesíti a tanúsítási, tesztelési módokat;
- csökkenti a bürokráciát, mivel semmit sem bíz a véletlenre.

Tehát a szabványok egyformán értékesek és megkönnyítik a munkáját a gyártóknak, a szállítóknak, a tervezőknek, a kutatóknak, a fogyasztóknak, a fogyasztóvédelemnek, az exportőröknek.

Irodalom

- [1.] ASRO szeminárium: A szabványok jelentősége a gazdasági növekedés szempontjából, az Európai Unió koncepciója szerint. 2001. május 17-18., Kolozsvári Ipari Kamara.

Előregyártott vasbetonelemekből kivitelezett támasztó szerkezetek, vasalt földtámrendszerek, a mélyépítési, vízepítészeti és közlekedési gyakorlatban, ezek pozitív hatása az építkezés környezetére

Dr. Mihalik András

Nagyvárad, Egyetem, Építőmérnöki tanszék

*„A matematikai összefüggés a mérnöknek csak az,
ami a nyelvtan az írónak.*

Vezeti a gondolatot, de nem ad gondolatot”

Dupuit

E tanulmányban a szerző röviden összefoglalja több mint három évtized kutatási, tervezési és kivitelezési eredményeit, azokat a támasztó szerkezeteket, amelyek először kerültek alkalmazásra az államvasutaknál a Nagyvárad–Vaskoh vasútvonalon, Nagyvárad városi környezetében, a Sebes-Körösön és a Fekete-Körösön mint speciális küszöbátak, partvédelmi hosszanti szivárgó rendszerek vízműveinél torrens gátak a bihari hegyekben, Visó-völgy és Máramarossziget között, valamint az erózió elleni építményeknél Bihar megyében.

Az előregyártott vasbetonelemekből kialakított struktúrák a mai napig pozitívan, sikeresen vizsgáztak és a támasztó szerkezetek nagy családjában az egyedüli természetbarát, környezetkímélő mérnöki létesítmények.

1. Bevezetés

A mérnöki létesítményeket nem önmagukban, hanem a környező élő természettel való összefüggéseikben kell szemlélnünk. Az élő természet viselkedése nem foglalható képletekbe, de olyan szabályokat követ, amelyek megtanulhatók és ezeket a szabályokat a mérnöknek tisztelnie kell éppúgy, mint a statika és a hidraulika törvényeit.

Minden mérnöki létesítmény – esetünkben támasztó szerkezetek, vasalt földtámrendszerek, mélyszivárgók, küszöbátak, torrens gátak, árvédelmi töltések – összefügg a környező tájjal, annak részévé válik, kitéve a légköri behatások, a felszíni és felszín alatti vizek, a felszínmozgások stb. hatásainak. Ha nem ismerjük fel helyesen azokat az eleven természeti erőket, amelyek a táj képét formálják, ha a tervezés és az építés során nem vesszük ezeket figyelembe, akkor a mérnöki építmény rombolólag hat, mezőgazdasági, esztétikai szempontból károkat okoz. Ezek a jelenségek azután a műszaki létesítményre is visszahatnak, azt tönkreteszhetik, vagy annak fenntartása, karbantartása csak nagy költségekkel lesz lehetséges. A táj, amelybe a mérnöki alkotás mint idegen test belekerül, növényvilágával együtt szerves egység, amely állandóan változik és átalakul, csak a szerves folyamatokkal együtt érthető meg teljesen. Egyes jelenségek kiszakított szemlélete teljesen hamis következtetésekre vezet.

Ezért helytelen a természetben végzett mérnöki működés során csak tisztán műszaki szempontokat venni figyelembe.

A mérnöki alkotások évszázadok óta a kulturált táj elválaszthatatlan tartozékai, jelképezik az emberi akaraterőt. Ma már ritkán találunk olyan tájat, ahol szemünkbe ne tűnnének az utak és vasutak, vagy az árvízvédelmi töltések és szabályozott medrek jellegzetes vonalai. Alig van műszaki alkotás, amely a természettel oly szoros kapcsolatban lenne, mint a mérnöki létesítmények közül a földművek. Ezért a földmű tervezőjének, kivitelezőjének és fenntartójának a növényi élettel kapcsolatos biológiai szabályokat feltétlenül ismernie kell.

A mérnök a növényi élet gondos tanulmányozásával, a műszaki létesítményeknek a tájba való harmonikus beillesztésével kéz a kézben halad a természettel.

A földműveket tervező, létrehozó műszaki emberek tehát a táj összhangjának és szépségének megőrzéséért is felelősek. A földművek létesítése során a mérnök nemcsak holt, hanem élő biológiai építőanyagot is felhasznál. Feltétlenül tekintetbe kell vennünk az éghajlat, a talajösszetétel, a vízháztartás, a tájolás szempontjait. Ezek mind kapcsolatban vannak a mérnökgeológiai feladatok megoldásaival is, melynek ismerete nélkül nehezen képzelhetők el napjainkban az építmények kivitelezésének a problémái.

A szerző több mint harminc év kutatásaira, tapasztalataira támaszkodva olyan szerkezetű támasztó rendszereket alkalmaz, amelyek a talaj, a növényzet és a vízháztartás szoros kapcsolatát csak gyengén befolyásolják, ezáltal eltűnik az „idegen test” káros hatása, csökken a természet káros visszahatása a műszaki létesítményre, ami a karbantartás szempontjából az építmények biztonságos viselkedésénél nem elhanyagolható körülmény.

A támasztószervezetek előre gyártott vasbetonelemekből vannak összeszerelve, amelyek az építmények szilárdsági vázát képezik. A szilárdsági struktúra által határolt területet terméskővel vagy esetleg más anyaggal lehet kitölteni.

Ezáltal például egy támfal, mint építmény egy szivárgó rendszerre alakul át, ami biztosítja a levegő állandó mozgását a megtámasztott föld felülete és a környező levegő között, valamint nem emel akadályt a talajvíz normális, természetes áramlása elé, mint a monolitikus támfalak.

Mivel lényegében ugyanazok a jelenségek szabadon lejátszódhatnak az építkezés után is, mint a természetes környezetben, nyilvánvaló, hogy ez a mérnöki beavatkozás nem hat rombolólag. Ugyanakkor, mivel a természet erői sem találnak ellenállásra – nincs mit legyőzniük – építménykímélőkké válnak.

Különösen alá lehet húzni ezeknek a szivárgószellőztető előregyártott vasbetonelemekből készült támfalnak a jelentőségét a kötött-agyagos talajokban, ahol a statisztikai adatok alapján az építmények károsodása maximális.

Mivel az agyagos talajokból a víz nem távozik a szokásos gravitációs törvények szerint, hanem csak szellőztetéssel, megváltozik a mélyszivárgókról alkotott eddigi elképzelés, ugyanis nem a vizet, hanem a rugalmasan elhelyezkedő párás felületeket szükséges ezekből a talajnemekből szellőztetéssel az árok határfelületén lecsapódásra készíteni, és utána a szivárgó rendszeren át eltávolítani. Megjelenik a termoozmózis jelensége. Az ilyen rendszerű szivárgók alkalmazása emeli a víztávoltítás határfokát, hozzájárulva ezzel az alépítmények általános stabilitásához.

Ugyanez a szerkezet, – ha nem földet támaszt, hanem egy víztömeg és hordalék nyomásának van kitéve, mint küszöbát vagy torrens gát, közepes nagyságú folyókban (Körösök stb.) – szivárgó rendszerként működik egy bizonyos ideig, utána pedig a hordalékmozgás hatására átalakul monolitikus szerkezetté. Vízfolyások esetében tehát csak egy meghatározott periódusról lehet beszélni, amikor a küszöbát „idegen testként” nem hat különösebben a hordalékmozgás rideg törvényeire. Ez a periódus – az építéstől a szivárgó monolitikus átalakulásáig – az eddigi tapasztalatokra alapozva elegendő arra, hogy hozzászoktassa a vízfolyást a megváltozott mederbeli helyzetéhez. A Sebes-Körös esetében, a folyó konkrét szakaszán, ez a periódus kb. 5 hónap, amely magába foglalja egy nagy tavaszi árvíz levonulását is.

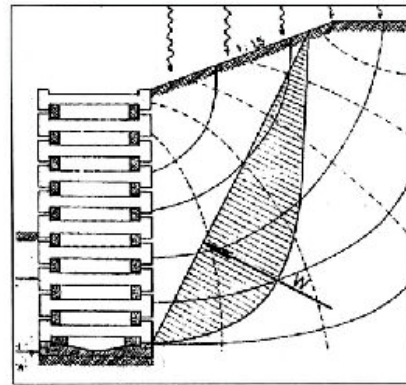
Aláhúzhatjuk, hogy ez a periódus folyónként változó, mint ahogy változó ugyanazon folyó konkrét szakaszán is.

Az elért eredmények biztatóak ezeknél a támasztó szerkezeteknél és figyelmet érdemelnek a mérnöki gyakorlatban számtalan technikai probléma megoldásánál.

2. A probléma fölvetése, általános megjegyzések

A földművek részben már építésük időszakában, de elkészültük után is folyamatosan ki vannak téve az időjárás hatásának, folyton változó hőmérsékleti és csapadékhatásoknak, a fizikai és kémiai mállás tényezőinek. Állékonyságukra a víz is kihat, ezért az állékonysági és víztelenítési kérdések egymástól soha el nem választhatók.

Az előbb említett, az állandóan változó hatások miatt sohasem szabad a földmű állékonyságának kérdését statikusan egy adott helyzetben vizsgálni, mindig számot kell vetni a körülmények változásával, azok dinamikus jellegével. Minthogy pedig minden kérdésre még a leg gondosabb előkészítéssel és tervezéssel sem tudunk előre pontos választ adni, tudomásul kell vennünk, hogy a földmű állékonysága nem határozható meg minden részletében előre, csupán kerettervet készíthetünk, a sorrendűséget állapíthatjuk meg, a részletadatokat pedig a munka végrehajtása közben, a helyszínen talált viszonyok gondos megfigyelése alapján tudjuk megoldani. Még a leg gondosabb előzetes talajfeltárás sem mutatja ki az altalaj minden apró, de sokszor nagyon lényeges változását, sok részlet csak a bevágások megnyitása, a töltések alapozási munkái stb. során válik ismeretessé. Az előzetesen többé-kevésbé feltevések alapján kidolgozott tervet gyakran meg kell változtatni és a helyszíni viszonyokhoz alkalmazni.



1. ábra

A támfal szilárdsági váza az előregyártott vasbetonelemekből. A megtámasztott földfelület, a terméskővel kitöltött szerkezeten keresztül közvetlenül érintkezik a környező levegővel. Ennek különös jelentősége van az agyagos talajok esetében. A támasztószervezetek családjában az egyedüli környezetkímélő, természetbarát, mérnöki létesítmény.

A talaj építőanyagként való felhasználásának a tudománya a történelem előtti időkben vette kezdetét. A talaj változó és bonyolult jellegét tekintve nyugodtan állíthatjuk, hogy a történelem előtti időktől kezdve napjainkig kevés szerkezeti probléma megoldása kívánt annyi figyelmet, eredetiséget és invenciót, mint éppen a talajjal kapcsolatos kérdések. E problémákat egészen a legújabb időkig kizárólag empirikus úton oldották meg mintegy kísérletezés útján, számolva azzal, hogy a szerkezet esetleg károkat szenved, vagy összedől. A 18. század, mely általában a konstruktív mérnöki tudományok időszeke volt, e téren haladást jelentett. A talajmechanika egyik fontos fejezete, a földnyomáselmélet kapott ekkor helyes megfogalmazást és olyan megoldást, mely bizonyos korlátozások mellett ma is használható. Ez az eredmény a nagy francia fizikus, Coulomb nevéhez fűződik.

A vízügyi építkezések munkálatai, a vasút, hatalmas építkezései során alapozódott meg a talajok mérnöki értékelése. Ugyanis ebben a periódusban, az építmények fenntartásával kapcsolatosan találkozunk a műszaki személyzet az első rézsű alakváltozásokkal a töltéseknél és a bevágásoknál.

Az első komoly munka, amely ezen alakváltozások kutatásaival foglalkozik, a méltatlanul elfeledett francia mérnök, A. Collin nevéhez fűződik. Ez a munka – *Recherches experimentales sur les glissements spontanés des terrains argileux, accompagnées de considerations sur quelques principes de la mecanique terrestre.* Paris, Carillon Cocury et Valmont editeurs. 1846 – azdag tapasztalati anyagra támaszkodva elemzi a rézsűcsúszások okait, amelyek még ma is érvényesek.

Az agyagos talajok csúszólapját elemezve arra a következtetésre jutott, hogy ez egy klotoid görbe. Érdekes laboratóriumi kísérletek alapján megállapított olyan fizikai-mechanikai tényezőket, mint a nyírófeszültség, a képlékenység, zsugorodás és a duzzadás. Foglalkozott továbbá a rézsűk megerősítésével és a talajvizek eltávolításával.

A kohézió nélküli talajok földnyomásaira támaszkodva megállapítható, hogy erre az esetre vonatkozó kísérleti tapasztalatok, elméleti vizsgálatok, valamint jól bevált szerkesztési és számítási eljárások egész sora áll rendelkezésre, s az ilyen földtestek nyomását viselő szerkezetek méretezése gazdaságosan és biztonságban megtörténhet.

A kohézió nélküli talajok földnyomásaira támaszkodva megállapítható, hogy erre az esetre vonatkozó kísérleti tapasztalatok, elméleti vizsgálatok, valamint jól bevált szerkesztési és számítási eljárások egész sora áll rendelkezésre, s az ilyen földtestek nyomását viselő szerkezetek méretezése gazdaságosan és biztonságban megtörténhet. Nem mondható el azonban mindez kohéziós földtestek nyomására vonatkozóan. Ennek okai a következők. A talajtömegek aktív nyomásának meghatározásában a nyírószilárdság kérdése jelentős szerepet játszik, márpedig agyagok nyírószilárdságának pontos meghatározása a talajmechanikának a nem teljesen megoldott kérdései közé tartozik.



2. ábra

A vasúti töltés rézsűjének lassú alakváltozása különösen veszélyes a kanyarban a külső sínszál stabilitására



3. ábra

A keresztaljak végéig megcsúszott vasúti töltés megkérdőjelezi a forgalom biztonságát, s az esetek többségében, – a helyreállításig – a vonalat lezárják

Másodszor az aktív nyomás előidézéséhez szükséges alakváltozás nagysága kötött talajok esetén nem egyértelműen meghatározható mennyiség: nincs módunkban összefüggést megállapítani a kohéziós talaj elmozdulása és oldalnyomása között úgy mint a szemcsés, kohézió nélküli talajok esetében. Ha egy kohéziós földtömegben már kialakult csúszólapon a nyírófeszültség állandó marad, akkor számíthatunk arra, hogy a földnyomás értéke is állandó lesz. Ha viszont a talajtömegben fellépő nyírófeszültségek túllépik a talaj fundamentális nyírószilárdságát, akkor állandó nyírófeszültségre csak abban az esetben számíthatunk, ha állandó, lassú, folyamatos alakváltozás következik be a támfallal megtámasztott földtömeg esetében, tehát a fal állandó lassú, kifelé való mozgást végez.

Ha ez a mozgás nem tud bekövetkezni, nyírási alakváltozás a kezdődő csúszólapon nem tud túllépni, mert a fal egyéb okok miatt mozdulatlan, a fellépő nyírófeszültségek a relaxáció miatt csökkennek. Ekkor pedig az egyensúly csak akkor maradhat fenn, ha az oldalnyomás fokozatosan megnő.

Kohéziós talajt megtámasztó falakat tehát csakis akkor ajánlatos aktív földnyomás nagyságára méretezni, ha a fal lassú, folyamatos alakváltozása káros következmények nélkül beállhat, vagy pedig a fal nem olyan merev, – illetve az építmény egyéb részeivel együttesen nem alkot olyan merev szerkezetet –, hogy a kisebb aktív nyomás fenntartásához szükséges alakváltozás fellépte nem biztosítható.

Aktív nyomásra méretezett fal esetén ilyen alakváltozással mindig számolnunk kell. Kohézió nélküli szemcsés talajban ilyen hatással nem kell számolnunk, mert ott az elmozdulás és a nyírófeszültség között egyértelmű összefüggés van.

Ha a kohéziós talajt megtámasztó falnak szerkezeti funkciója miatt nem szabad elmozdulnia, akkor a falat a nyugalmi nyomás értékére kell méretezni. Nyugalmi nyomás állapotában az oldalirányú feszültség eloszlása hidrosztatikus, értéke a függőleges önsúly feszültség 0,9-szeresét is elérheti, a hidrosztatikus szorzó tehát nem sokkal kisebb az egységénél.

Még az ilyen nagy nyomásra méretezett fal is kisebb mozgásokat fog végezni akkor, ha a háttöltés ki van téve az atmoszferilliók hatásának, s így hőmérséklete és víztartalma a felső rétegekben változásnak van alávétve. A földnyomás értéke kedvezőtlen esetekben még a nyugalmi nyomás értéke fölé is emelkedhet. Ez az eset akkor, ha a háttöltésben a vízfelvétel hatására „duzzadás” indul meg. A fellépő duzzadási nyomás még a paszszív földnyomás határértékét is meghaladhatja. Nagysága földnyomás-elmélettel nem határozható meg. A háttöltést magát is gondosan vízteleníteni kell; a fal mögé szivárgót, a falba nyílásokat kell építeni.

Amikor figyelmünket az agyagos talajokban kivitelezett építmények, a magas százalékban károsodott struktúrák felé irányítottuk, meggyőződünk arról, hogy a fent említett hiányosságok kivédése csak egy rugalmas, de szilárd vázú szerkezettel lehetséges. Erre a legalkalmasabb, hatékony struktúra csak előregyártott vasbetonelemek segítségével lehetséges, ahol az elmozdulások nem veszélyeztetik az építmények általános stabilitását, s nedvességcsökkentő, szellőztető hatásukkal a földtömeg állékonyságát növelik. A gyakorlat azt igazolja, hogy nem tévedtünk, habár kutatásaink veszélyes körülmények között néha a kiábrándulás határát is érintették.



4. ábra

*Az alépítmény csúszása agyagos talajban.
Műtárgyak károsodása*



5. ábra

Egy vegyes szelvény megcsúszása

(Folytatása következik)