

A **fib** MAGYAR TAGOZAT LAPJA

VASBETONÉPÍTÉS

CONCRETE STRUCTURES

JOURNAL OF THE HUNGARIAN GROUP OF **fib**

Mihalek Tamás –
Wellner Péter

A kőröshegyi völgyhíd építésének története

2. Áttekintés a völgyhíd statikai rendszeréről és fő tervezési megfontolásairól

98

Dr. Balázs L. György –
Dr. Kausay Tibor

Betonkészítés beton- és téglahulladék újrahasznosításával

2. Betontervezés és betontulajdonságok

106

Dr. Németh Ferenc

Hajlított héj acélbetéteinek optimális méretezése

117

Beszámoló a Vasbeton-építés közép-európai kongresszusáról

125

Együttműködési megállapodás a BME Építőmérnöki Kar és kiemelten fontos ipari partnerei között

126

SZEMÉLYI HÍREK

Királyföldi Lajosné Sárosi Antónia köszöntése

Dr. Knebel Jenő 80 éves

Dr. Träger Herbert 80 éves

127

2007/4

IX. évfolyam, 4. szám



Főszerkesztő:

Dr. Balázs L. György

Szerkesztő:

Dr. Träger Herbert

Szerkesztőbizottság:

Beluzsár János

Dr. Bódi István

Csányi László

Dr. Csiki Béla

Dr. Erdélyi Attila

Dr. Farkas György

Kolozsi Gyula

Dr. Kovács Károly

Lakatos Ervin

Madaras Botond

Mátyássy László

Polgár László

Telekiné Királyföldi Antonia

Dr. Tóth László

Vörös József

Wellner Péter

Lektorai testület:

Dr. Deák György

Dr. Dulácska Endre

Dr. Janzó József

Királyföldi Lajosné

Dr. Knébel Jenő

Dr. Lenkei Péter

Dr. Loykó Miklós

Dr. Madaras Gábor

Dr. Orosz Árpád

Dr. Szalai Kálmán

Dr. Tassi Géza

Dr. Tóth Ernő

(Kéziratok lektorálására más
kollégák is felkérést kaphatnak.)

Alapító: a *fib* Magyar Tagozata

Kiadó: a *fib* Magyar Tagozata

(*fib* = Nemzetközi Betonszövetség)

Szerkesztőség:

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia
Tanszék

1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.

Tel: 463 4068 Fax: 463 3450

E-mail: fib@eik.bme.hu

WEB <http://www.fib.bme.hu>

Az internet verzió technikai
szerkesztője: Bene László

Nyomdai előkészítés: RONÓ Bt.

Egy példány ára: 1218 Ft

Előfizetési díj egy évre: 4872 Ft

Megjelenik negyedévenként
1000 példányban.

© a *fib* Magyar Tagozata

ISSN 1419-6441

online ISSN: 1586-0361

Hirdetések:

Külső borító: 180 000 Ft+áfa

belső borító: 140 000 Ft+áfa

A hirdetések felvétele:

Tel.: 463-4068, Fax: 463-3450

Címlap:

Készítette: Thanks to:

Shigeru Mizoguchi

TARTALOMJEGYZÉK

98 Mihalek Tamás – Wellner Péter

A kőröshegyi völgyhíd építésének története

**2. Áttekintés a völgyhíd statikai rendszeréről
és fő tervezési megfontolásairól**

106 Dr. Balázs L. György – Dr. Kausay Tibor

Betonkészítés beton- és téglahulladék újrahasznosításával

2. Betontervezés és betontulajdonságok

117 Dr. Németh Ferenc

Hajlított héj acélbetéteinek optimális méretezése

125 Beszámoló a Vasbetonépítés közép-
európai kongresszusáról

126 Együttműködési megállapodás

a BME Építőmérnöki Kar

**és kiemelten fontos ipari partnerei
között**

127 SZEMÉLYI HÍREK

**Királyföldi Lajosné Sárosi Antónia
köszöntése**

Dr. Knebel Jenő 80 éves

Dr. Träger Herbert 80 éves

A folyóirat támogatói:

Vasúti Hidak Alapítvány, Swietelsky Építő Kft., DDC Kft., ÉMI Kht.,
Hídépítő Zrt., MÁV Zrt., MSC Mérnöki Tervező és Tanácsadó Kft.,
Lábatlani Vasbetonipari Zrt., Pont-Terv Zrt., Strabag Zrt., Uvater Zrt.,
Mélyépterv Komplex Mérnöki Zrt., Hidtechnika Kft., Betonmix Mérnökiroda Kft.,
BVM Épelem Kft., CAEC Kft., Pannon Freyssinet Kft., Stabil Plan Kft.,
SW Umwelttechnik Magyarország Kft., Union Plan Kft., DCB Mérnöki Iroda Kft.,
BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéke,
BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

2. ÁTTEKINTÉS A VÖLGYHÍD STATIKAI RENDSZERÉRŐL ÉS FŐ TERVEZÉSI MEGFONTOLÁSÁIRÓL



Mihalek Tamás - Wellner Péter

2000-ben hasonló témájú összefoglalást adtunk Magyarország és Közép-Európa leghosszabb vasúti hídjának, a nagyrákosi völgyhídnak a tervezési munkáiról. Akkor a tervező munkát a zeneszerzéshez hasonlítottuk, a megvalósítást pedig ahhoz, amikor a zenekar megszólaltatja a megkomponált zeneművet.

Nos, a köröshegyi völgyhíd, mely hazánk leghosszabb közúti hídja, olyan különleges feladatot jelentett számunkra, hogy a komponálás után a koncerten is részt vettünk. Néha csak a partitúrát lapoztuk a zenészek előtt, de néha szükség volt a kottafejek átírására vagy a zenemű hangnemének, sőt a tempójának a megváltoztatására is. Most lássuk először az eredeti zenemű elkészítésnek körülményeit.

Az M7 autópálya Zamárdi és Balatonszárszó közötti szakaszának megvalósítására vonatkozó tenderkiírás 2004. március 4-én jelent meg. Ennek az autópálya szakasznak kiemelkedő figyelmet érdemlő eleme a köröshegyi völgyhíd, amelynek a kivitelezésén kívül a tervezése is a pályázók feladatát képezte.

Kilenc résztvevő cég, illetőleg konzorcium pályázott a munka elnyerésére. Az ajánlatokat 2004. április 13-ig kellett benyújtani. A munkát a Hidépítő Rt. és a Strabag Rt. által alkotott „Völgyhíd” konzorcium nyerte el.

Kulcsszavak: Szabadbetonozás, szabadszerelés, segédszerkezet, zsugorodás, lassú alakváltozás, saru

1. A FELADAT MEGHATÁROZÁSA

A vállalkozási tender összeállításához megalapozott vázlattevést készített a Hidépítő Zrt. Szinte minden részletre kiterjedő közelítő statikai számítást készült. A tenderfeltételekben megfogalmazott előírások és kötétségek befolyásolták az építési kívánt szerkezet jellemzőit. Az ajánlatadás során a Hidépítő Zrt. komplex teamje számba vette az alkalmazható építési módszereket, az ezekhez szükséges meglévő és beszerzendő eszközöket, berendezéseket. Az ajánlatunkban megfogalmazott elvek és építési módszerek (technológia) kiválasztása döntő részben meghatározta a tervezés során elvégzendő feladatokat és a méretezendő szerkezeti részek geometriájának is irányt szabott.

Megkezdődött a koncepciók kidolgozása, a tervezési folyamat előkészítése – bízva a sikerben, komoly előmunkálatok folytak a gyártóeszközök lehetséges beszállítóinak felkutatásában is.

A tenderterv azt a feladatot határozta meg, hogy egy 1872 méter hosszú, 23,8 méter széles, az autópálya mindkét irányú forgalmát egyetlen szerkezettel, a völgy legalsó pontja felett mintegy 88 méter magasan átvezető, a két-két szélső 65 és 90 méteres támaszköztől eltekintve 120 méteres támaszközü, célszerűen szabadbetonozásos technológiával épülő feszített vasbeton híd mintegy három év alatt épüljön meg (1. ábra). Ebbe az időtartamba a tervezési munkát is bele kellett érteni.

A köröshegyi völgyhíd több szempontból különleges szerkezet.

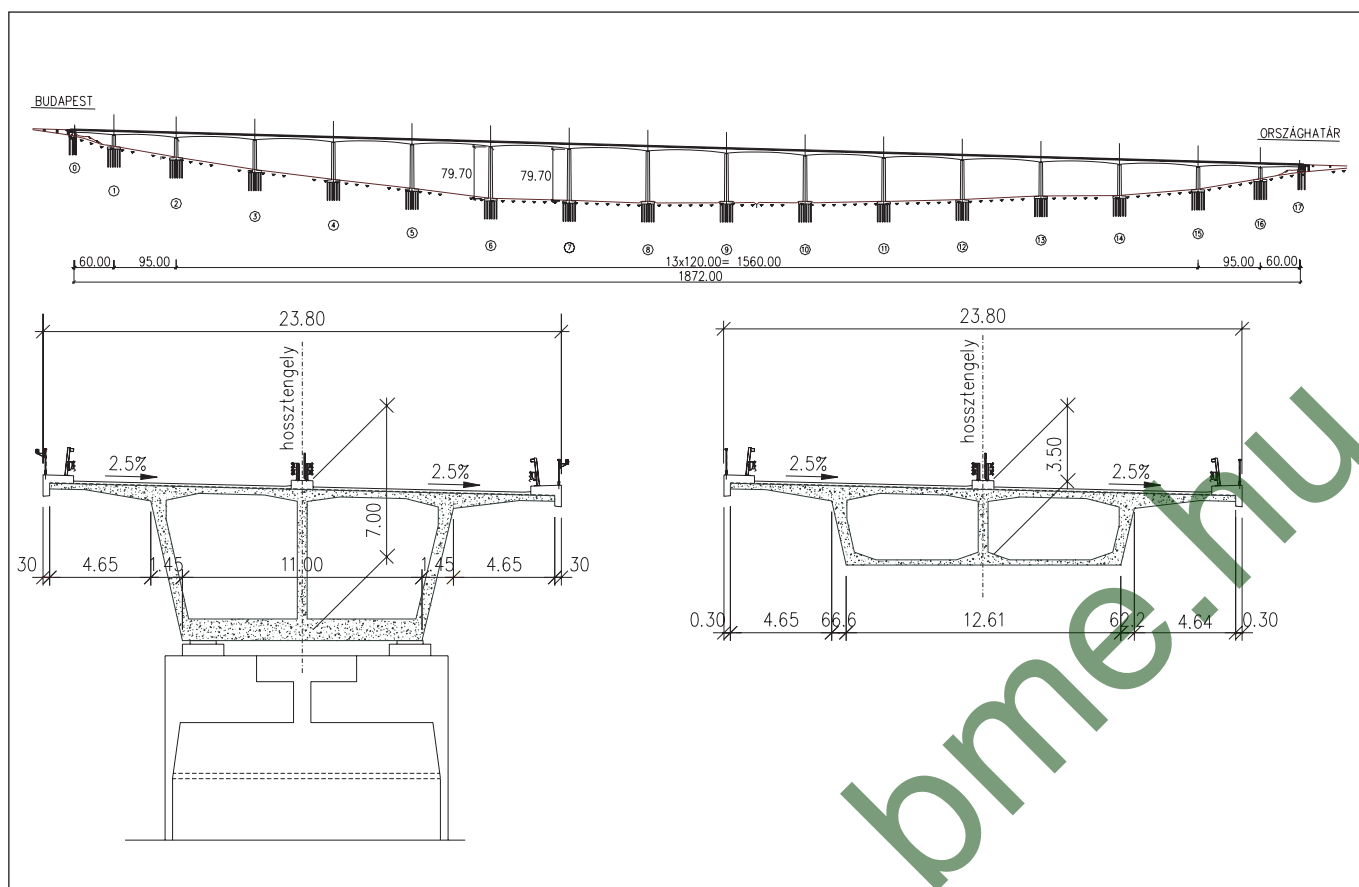
Különleges mérete szempontjából. Egyedülálló, hogy az 1872 méter hosszú híd egyetlen darabból álló, folytatódó

többszárú szerkezet. Különleges a Magyarországon szokatlan, a terep felett majd 90 méteres magasságban végzett építési tevékenység. Különleges, hogy tizenhat pillérről különböző időben, egymás után épülő 120 méteres felszerkezeti szakaszokat folyamatosan kellett egyetlen szerkezetté csatlakoztatni. Ezidáig csak két pillérről épülő, középen csatlakozó szerkezetet építettek Magyarországon. Különleges a megvalósításhoz rendelkezésre álló rendkívül rövid idő miatt.

2. A MUNKÁRA VALÓ FELKÉSZÜLÉS ELSŐ LÉPÉSEI

A tender eredményhirdetése után a munkát azonnal el kellett kezdeni. Természetesen a munka megindulásához szükséges meghatározó tényezőket minél hamarabb tisztázni kellett. A munkaterület megközelítése sok egyeztetést kívánt. Ezek eredménye után a munkaterületen belüli út kiépítésére volt sürgősen szükség.

A közel két kilométer hosszú hídnál mind hosszirányban, mind pedig mélységben változó talajviszonyokkal kellett számolni. Ezért a szokásosnál is részletesebb geotechnikai vizsgálatokat kellett végezni. Szükség volt arra, hogy minden alépitménynél mintegy 40 méter mély talajfúrás eredménye rendelkezésre álljon. Ezek alapján lehetett a cölöpalapozást olyan pontossággal megtervezni, hogy az egyes pillérek süllyedése, de különösen az egymás melletti alépitmények süllyedéskülönbsége minimális, és a szerkezet szempontjából megengedhető legyen. A talajfúrásokat azonnal el kellett kezdeni, bár a későbbi munkákhoz is szükséges bejáró út még nem



1. ábra: A völgyhíd hosszszellete és keresztmetszetei

készült el. Ideiglenes megoldásokkal, sok előrehozott munka elvégzésével tudtuk a feladatot elvégezni. A geotechnikai eredmények ismeretében lehetett a híd alapozásának tervezését megkezdeni. Ezt a társtervező Pont-Terv Zrt.- az előzetes ismereteit is felhasználva, késedelem nélkül meg tudta tenni.

A felszerkezet építésének módját elvileg ismertük. Elvileg azonban nem lehet építeni. A tényleges körülmények, amelyek nem voltak átlagosnak mondhatók, megkívánták a konkrét építési technológia, a valóságos organizációs viszonyok ismeretét. A technológiához alkalmazni kívánt, az építéshez szükséges egyedi nagyméretű és nagy súlyú segédszerkezeteket meg kellett határozni.

Előnyös helyzetünk volt abban a tekintetben, hogy a Hídépítő Zrt. a nagy feszített vasbeton szerkezetek megvalósításánál eddig is azt a gyakorlatot követte, hogy a cég műszaki osztálya az építési technológiát, a segédszerkezeteket és magát a híd-szerkezetet egyidejűleg saját maga tervezte meg. Ez a rendszer lehetővé tette, hogy a tervezők a tervezés első fázisaiban is a kivitelezés kérdéseivel, a később azt végző irányítóival együttműködve foglalkozzanak. Adott esetben bonyolította a tevékenységet, hogy az egyedi, legfontosabb segédszerkezetet külföldről volt célszerű bérelni.

Több irányban tájékozódva, nem kevés egyeztetés után választottuk ki a segédszerkezetet. Ennek tervezésénél is elvárták közreműködésünket (2. ábra). A segédszerkezet adatai, az építési fázisokban jelentkező terhek, azok építési fázisokban állandóan változó helyzete, a felszerkezet erőtanai tervezésének kiinduló adatai voltak. Így lehetett elérni, hogy amikor a segédszerkezet elkészült, a kivitelezés nem teljesen ismeretlen szerkezet szerelését és használatát kezdhette meg. A kezdeti fázisban az ismeretlen szerkezet alkalmazásának gondoljaival is meg kellett megbirkóznunk. Ez utólag természetesnek mondható, de az idő szorításában voltak nem túl kellemes pillanataink is.

A külföldi tervezőkkel, a kivitelező szervezettel kialakí-



2. ábra: A segédhíd építés közben

tott fázisonkénti adatcsere kezdettől fogva jól működött. Ne gondoljuk azonban, hogy ez a folyamatos együttműködés viták nélkül bonyolódott le. Az első lépések során kialakított kapcsolatrendszer azonban jól működött. A viták, nevezzük ezeket a jobb műszaki eredmény elérése érdekében folytatott egyeztetéseknek, hasznosnak bizonyultak. A követett út az elért eredmény tükrében vizsgálva, példaértékű lehet.

A feszített vasbeton szerkezetek területén minden kétséget kizáróan rendelkezésre álló tervezői tapasztalatok mellett, a hazai gyakorlatban újszerűnek minősíthető műtárgy tervezése során teljes értékű, részletes, független ellenőrzést tartottunk szükségesnek végeztetni. Ezzel a szakmai szempontból legrangosabb cégek közé tartozó német Leonhardt, Andrä und Partner céget bíztuk meg. A részletes, minden szempontból független ellenőrzés megállapítása szerint a tervek teljes mértékben megfeleltek feladatuknak.

3. A HÍD STATIKAI RENDSZERÉNEK MEGHATÁROZÁSA

Egy hídszerkezet működését alapvetően meghatározza az alépítményekkel való kapcsolata. Természetes, hogy egy műtárgynak rendelkeznie kell egy fix ponttal. A tenderterv tartalmazta, hogy a magas alépítményeken támaszkodó felszerkezet fix pontját a híd középső szakaszán lenne célszerű kialakítani.

Első feladat az volt, hogy meghatározzuk a fix pont helyét. Figyelembe kellett venni, hogy a különösen hosszú, beton anyagú szerkezet az idők folyamán a zsugorodás és a hőmérsékletváltozás hatására hosszirányú alakváltozást szenved.

A fix pont kialakítása, egy a felszerkezetet és az alépítményt összekötő szerkezettel, a vízszintes mozgásokból származó erőket felvenni képes szerkezettel, úgynevezett sarukkal történhet. Vajon elegendő-e ezt a kialakítást egyetlen pillérnél alkalmazni? A 80 méter magas pillér az összekötés miatt a felső pontján jelentkező vízszintes irányú erők hatására képes elhajolni. Egyetlen pillér merevsége a felszerkezetnek nem nyújt kellő stabilitási biztonságot. A fix ponthoz tehát több magas pillért kellett bevonni. Kérdés, hogy hány darabot. A döntéshez figyelembe kellett venni, hogy az összekapcsolt felszerkezet ezen a hosszon a már említett vízszintes irányú hatásokból alakváltozást fog szenvedni, és az összekapcsolt pilléreket hajlítani fogja. Sok pillér közötti hosszú szakasz a külső pilléreknél jelentős igénybevételt okozott volna. Mindezeket figyelembe véve a középső négy pillért volt indokolt fix saruval ellátni. Ezzel két igényt lehetett kielégíteni. Kialakult a szerkezet stabilitást biztosító része, és a pillérek a jelentkező vízszintes terheket képesek viselni. A többi pillérnél és a hídfőknél olyan sarukat kellett alkalmazni, amelyek a felszerkezet hossz- és keresztirányú mozgását kellő szabadsági fokkal biztosítják.

4. A TERVEZÉS RÉSZTVEVŐI

A nyertes pályázat kihirdetésekor óriási feladat hárult a Hidépítő Zrt. vezette konzorciumra, mivel az igen rövid építési időt a kiviteli tervek elkészíttetésével kellett elkezdni. A megépítendő műtárgyak nagysága, összetettsége szükségessé tette, hogy a gondos és előrelátó előkészítő munka kiinduló adatainak felhasználásával több résztvevő közreműködésével induljon el a kiviteli tervek elkészítése.

A generál tervezést, és egyben a felelős tervezőt a Hidépítő Zrt. adta. A felszerkezet tervezését a különleges feszített vasbeton szerkezetek tervezésében nagy tapasztalattal rendelkező, máshol már sikeresen bizonyított szervezet, a Hidépítő Zrt. műszaki osztálya végezte. Ez újszerű és különlegesen összetett, hosszabb időt igénybe vevő feladat volt.

A szerteágazó feladat végrehajtásához társtervezőként a Pont Terv Zrt. bízta meg. A társtervező Pont-TERV Zrt az alapozási és alépítményi tervek készítésén túl a felszerkezetben lévő vizsgálójárdákat és egyéb belső installációkat alkotta meg. Irányította a szakági tervezőket: a pillérekben lévő lépcsőket tervező Polygon Mérnökiroda Kft-t, az elektromos terveket készítő ConstReal Mérnökiroda Kft-t. A felszerkezetben lévő csapadékvíz-elvezető rendszert a Mélyépterv Komplex Mérnöki Zrt tervezte. A dilatációs szerkezetek és a hídsaruk gyártási terveit a gyártó német Maurer Söhne GmbH cég állította elő, míg a felszerkezet gyártásához használt acélszerkezetű szerek-lőhid statikai számítását és a szerkezeti terveit a német Saul Ingenieure GmbH készítette el.

5. A TERVEZŐMUNKA SZÁMÍTÓGÉPES HÁTTERE

Az egyre nagyobb méretű és bonyolult szerkezeti részeket tartalmazó és egyre összetettebb technológiai megoldásokat igénylő szerkezetek tervezéséhez ma már elengedhetetlen a fejlett számítógép és a megfelelő szoftver. A számítógépek képességeinek rohamos fejlődése lehetővé teszi összetett programok használatát is, melyek széleskörű elméleti háttér, tudományos ismeret eredményeit ötvözik magukban. Az óriási adat és eredményhalmaz feldolgozása és helyes értékelése azonban mindig is az emberre, a mérnökökre hárul.

A Hidépítő Zrt. műszaki osztályán minden munkarész számítógép segítségével végeztünk. A statikai méretezéseket, az adatok feldolgozását, a rajzok szerkesztését, a dokumentálást is gépesítettük. Néhány szóban ismertetjük a felhasznált programokat.

a./ A felszerkezet építési állapotbeli erőtanai számítása a Stabil Plan Kft, míg a használati állapotbeli viselkedés igazolása és a feszítési számítások elkészítése a Hidépítő Zrt. feladata volt. Mindkét cég a saját tulajdonában lévő, a stuttgarti RIB programház PONTI-programjával végezte a számításokat. A térbeli rúd és tartóács végeselem program moduláris felépítésű, alapvetően DIN szemléletű, de a magyar szabványoknak megfelelően aktualizálható. A különféle terheken kívül a meteorológiai terheket is kezeli, külön modulban történik a feszítési terhek feldolgozása. A program további moduljai dolgozzák fel az igénybevételekből számítható normál- és nyírófeszültségeket, elvégezhető benne az építési és használati állapot normálfeszültségi és főfeszültségi ellenőrzése, kiszámítható a szerkezet törési biztonsága, és elvégezhető a teljes nyírási ellenőrzés is.

A program felhasználásával készültek az utóbbi évek legjelentősebb hídjainak tervei:

1995-96	M5 autópálya városi bevezető szakaszának hidjai
1997-98	debreceni homokkerti felüljáró
1999-2000	Zalalövő-Bajánsenye országhatár vasútvonal völgyhídjai
2003	M7 autópálya S27 jelű híd
2004-06	M7 autópálya köröshegyi völgyhíd.

b./ AXIS VM -3D végeselem program, mellyel térbeli rúd-szerkezetek valamint síkbeli felületelemekből (lemez, tárcsa, héjjelem) összeállítható szerkezetek számítása végezhető el. A készíthető I. ill. II. rendű statikai számítások (igénybevételek, alakváltozások, feszültségek) modulján belül elvégezhető a vasbeton felületelemek vasalásának számítása és a hajlított-nyomott rúdszerkezetek vasalási ellenőrző számítása is. A programban alkalmazható speciális kapcsolati elemekkel modellezhetők az építési állapotok speciális helyzetei és részletesen vizsgálhatók egyes szerkezeti részek is (lehorgonyzó tömbök, diafragma falak, zömvégek stb).

c./ SOFICAD vasbetonszerkesztő program, mely automatizált vasbeton szerkesztési lehetőséget biztosít - megfelelően használható a hidépítés nem általános szerkezeti részei vasalási terveinek elkészítéséhez is.

d./ AUTOCAD – Ha hidépítési szerkezeteknél a speciális alakú, tördelt felületű, térbeli szerkezetek vasalásánál az automatizált vaskiosztás, ill. elrendezés szerkesztése egyedi megoldást kíván, akkor az AUTOCAD komplex szerkesztő program kerül előtérbe, a program síkbeli rajzok készítéséhez alkalmas funkcióit lehet kihasználni. A gépi szerkesztés időigényét többszörösen ellensúlyozza az eredményül kapott rajz pontossága, a papírra szerkesztett rajz pauszra történő kihúzásának elmaradása és a módosítások utáni azonnali reprodukálás lehetősége.

6. A HÍDSZERKEZET TERVEZÉSE

A híd statikai számítását az

ÚT 2-3.401 Közúti hidak tervezése

ÚT 2-3.411 Közúti hidak tervezési előírásai I.

ÚT 2-3.412 Közúti hidak tervezési előírásai II.

ÚT 2-3.414 Közúti hidak tervezési előírásai IV.

alapján végeztük.

7. A FELSZERKEZET

Bármely híd tervezését tekintjük, külön tervrész foglalkozik az építés közbeni állapot(ok) és külön a használati állapot vizsgálatával. Különösen érvényes ez a szemlélet a szabadon betonozott hídszerkezetek esetén. Itt lényegesen eltérő helyzeteket kell vizsgálni a két vizsgálat során.

7.1 Előzetes statikai számítás

Ahogy a bevezetőben említettük, a pályázati szakaszban már az ajánlat összeállításához szükség volt olyan vázlattervi megoldásra, melyből a szükséges anyagmennyiségek megállapíthatók voltak. Ehhez egy egyszerűsített (máskor közelítőnek mondott) számítást kellett elkészíteni, mely kiterjedt minden lényeges szerkezeti rész méretének meghatározására, az alkalmazandó vasalás és feszítőanyagok mennyiségének megállapítására.

Kiválasztásra került a megfelelő dilatációs szerkezet és a pilléreken elhelyezendő saruk típusa, teherbírása, mozgásképessége.

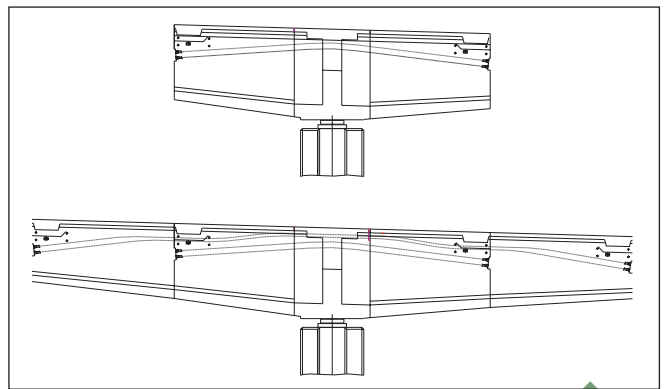
Az egyszerűsített számítás csak annyiban tér el a teljes körű statikai méretezéstől, hogy a kiválasztott szerkezeti pontokat (mértékadó helyeken) vizsgálja, a szükséges és elégséges mértékben, melyek alapján a hídszerkezet vázlatterve felelősséggel megalkotható.

7.2 Tervezés a technológia és segéd szerkezeteinek figyelembe vételével

A köröshegyi völgyhíd sok szempontból figyelemre méltó egyedi, nagyméretű és bonyolult műtárgy. A szerkezet anyagán, fontos méretein túl, az ajánlott szabadbetonozásos építési technológia a tendertervben már említésre került. Ennek lényege, hogy a pillér felett elkészül egy indító szakasz, majd kellő teherbírással rendelkező zsaluzat-pár felhasználásával ettől jobbra és balra készítünk egy-egy rövid hídszakaszt. Ezeket az előzőleg elkészült hídszakaszhoz a véglapok között átvezetett nagyszilárdságú pásmás kábelek megfeszítésével csatlakoztatjuk.

A két irányban épített konzolok hossza közel a szomszédos nyílások közepéig ér (3. ábra). A szomszédos pilléreken hasonlóan kell eljárni. A csatlakozó hídágakat monolit záró szakasszal kellett csatlakoztatni egymáshoz.

A nagy műtárgyak tervezésénél szükséges, hogy figyelembe vegyük az üzemeltetés során számításba vett igénybevételektől eltérő, az építés egyes fázisaiban előforduló különleges terheket. Hosszú idő tapasztalataiból levonható az a következtetés, hogy a hidaknál előforduló jelentős károsodások szinte soha sem az üzemeltetés, hanem az építés során következnek be. A tervezés során tehát foglalkozni kell minden építési fázissal. Az építési állapotokban különleges helyzetek adódhatnak és a szereléshez használt segéd szerkezetek terhe igen jelentős lehet. Ez a köröshegyi völgyhídnál különösen érvényes volt.



3. ábra: Szabadon betonozott zömpárók

A tervezés megkezdésekor meg kellett határozni, hogy mit várunk a segéd szerkezettől.

Voltak organizációból származó igények. Ezt a tervezésre és építésre rendelkezésre álló igen rövid idővel jellemezhetjük. El kellett határozni, hogy az építést mindkét hídfőtől egyszerre kell elkezdni. Ez a döntés a szükséges időt majdnem a felére csökkentheti. A szerkezeti terveket természetesen ennek figyelembe vételével kellett készíteni.

Következő döntési pont az egy ütemben készülő szakaszok hossza volt, tekintettel arra, hogy a zsaluzó-kocsit ennek megfelelően kellett megtervezni. A saját és nemzetközi tapasztalat is azt mutatta, hogy egy szakasz jellemző hossza 5 méter. Ezzel a szakaszhosszal a feladatot határidőre nem lehetett volna megoldani. Nemzetközi kitekintés segítségével sikerült olyan építést kiszolgáló hidat alkalmaznunk, amellyel a különlegesen széles felszerkezetet 11,25 méter hosszú szakaszokkal lehetett elkészíteni. Ezzel a szerkezettel az építési sebesség jó kétszeresére növekedett. Később a szerkezet egyéb előnyeit is ismertetjük. A köröshegyi völgyhídnál a gyakorlatban ezt a módszert követtük.

7.3 Szerkezeti kialakítás

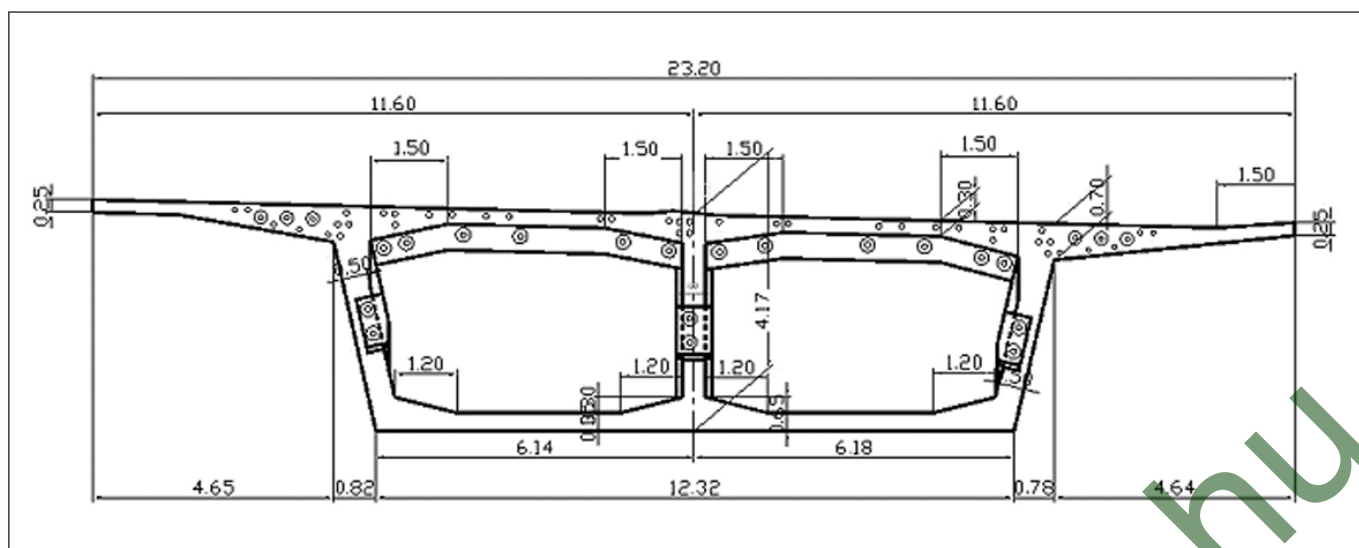
A híd 18 támaszon nyugszik, teljes hossza 1872 méter, nyílás-beosztása: (1,0)+60,0+95,0+13x120,0+95,0+60,0+(1,0)m. A híd tengelye alaprajzilag R=4000 m sugarú körívben fekszik. A pályaszint hosszirányú esése állandó, 2,86%, a pálya keresztirányban 2,5% esésű. A 0 és a 17 jelű hídfő között 53,50 méter szintkülönbség mérhető. A felszerkezet szekrényes, kétcélszerű keresztmetszettel készült, kétoldalt konzolos lemezekkel.

A hídon az ellentétes irányú forgalom közepén 1,0 méter széles szegéllyel van elválasztva, a híd teljes szélessége 23,80 méter. A pálya beosztása: 1,40 m szélső üzemi járda, korláttal + 1,50 m biztonsági sáv + 2x3,75 m forgalmi sáv + 1,0 m oldaltávolság a középső szegélytől. A másik forgalmi irányban a pályabeosztás azonos.

A vasbeton szekrényes felszerkezet magassága a szélső 1 és 16 jelű pillér felett 5,50 méter, míg a többi pillér felett 7,00 méter. A nyílásközepeken a szerkezeti magasság 3,50 méterre csökken, az alsó és a fenti értékek között parabola vonalban változik.

A szekrény felső pályalemeze állandó szélességgel (23,20 m) és változó vastagsági méretekkel épült (4. ábra). A kétoldali konzollemezek vastagsága 70 és 25 cm között változik, a bordák közötti lemezrész vastagsága 30 cm, a három borda mellett 1,50 m szélességben kiékelte lemezvastagítás található (a középső borda két oldalán 25 cm, a szélső bordák mellett 30 cm). A szekrény alsó lemezvastagsága a támaszoktól nyílásközépig 100 és 25 cm között lineárisan változik.

A felszerkezetet az építés során szakaszokra bontva ké-



4. ábra: Keresztmetszet egy zöm végén

sztjük. A 120 méteres nyílásokban minden pilléren egy-egy konzolos mérlegág készül 115 méter hosszban – a mérlegágak között, nyílásközépen 5,0 méter hosszú csatlakozó szakasszal (zárózöm). A mérlegág felépítése: minden pillér felett található egy 6,0 méter hosszú alapelem (indítózöm), melyhez kétoldalt egy-egy 9,5 m-es zömpár csatlakozik, a további négy zömpár pedig 11,25 m hosszal készül.

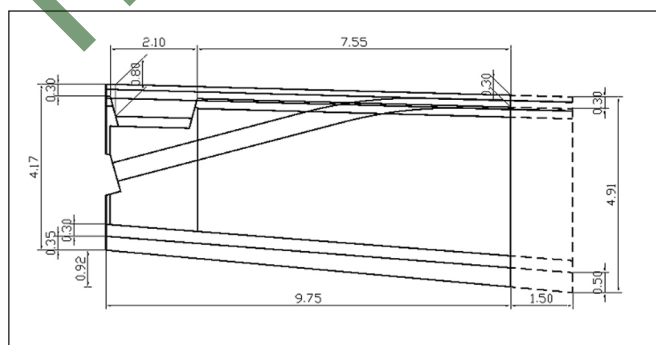
A szekrény külső bordafalai állandó hajlású, lefelé szűkülő ferdeséggel készültek. A támasz melletti 11,0 m fenékszélesség a nyílásközéig 12,62 m-re változik. A keresztmetszetben a középső borda a teljes hídon 45 cm vastag, míg a két szélső borda a támaszoknál lévő indító zömében és az első zöm-párban (összesen $9,5+6,0+9,5=25,0$ m hosszban) 70 cm, a többi zömében pedig 50 cm vastagságú.

A pillérek feletti indítózömökben a három bordás szekrényt két saruval támasztottuk alá, ezért itt 1,50 m vastag keresztfalat alakítottunk ki, melyen mindkét cellában 1,85x2,50 m nyílást kellett kihagyni, ezek teszik lehetővé a szekrény belsejében kialakított üzemi járdák és a csapadékvíz elvezetését szolgáló csővezetékek átvezetését.

A híd felszerkezetének teherbírását (mind építési, mind használati állapotban) feszítőkábelek megfeszítésével biztosítottuk (5. ábra). Az építés során a beton szerkezetben (felső lemez és borda) vezetett kábeleket alkalmazunk, míg a használati állapot előállítását a szerkezet folytatólagossá tételével (alsó és felső lemezben lévő záró kábelekkel) érjük el, és végül a szekrény belsejében szabadon vezetett kábelek adják a teljes teherbíró képességet a hasznos terhek viseléséhez.

Az egyes ágak 4. zöme a szekrény belsejében lévő, szabadon vezetett feszítőkábelek irányváltozási helyeit is keresztfalakkal alakítottuk ki, ezek vastagsága 80 cm. A szabad kábelek lehorgonyzási helyeit a nyílások közepén található 5,0 m hosszú

5. ábra: Bordákábelek lehorgonyozása a zömében



zárózömben alakítottuk ki. Az 1,30 m vastag keresztfal két oldalán horgonyoztuk le a kábeleket, átlapolásos toldással.

A zömök végein a felső pályalemezben vezetett feszítő kábelek lehorgonyzásához keresztirányban 2,0 m széles, 80 cm-re vastagított gerendát alakítottunk ki, míg a bordákban futó 3x2 darab kábelt a zömvégeken megvastagított bordákban horgonyoztuk le.

7.4 Terhek

A hidat az előírások szerinti „A” terhelési osztálynak megfelelően, 800 kN tömegű gépkocsi teherre méreteztük. A felszerkezet önsúlyterhei között figyelembe vettük a használati állapotban meglévő, az üzemeltetéshez és a hídfenntartáshoz szükséges belső installációk, berendezések súlyát is. Ilyenek a mindkét cellában, a híd teljes hosszában meglévő üzemi járdák, a csapadékvíz elvezetését szolgáló csövek és az öblítő vízvezeték is. Az építési állapotban jelentős önsúly jellegű teher volt az építést kiszolgáló és a zsaluzókocsikat tartó szerelőhid súlya is.

7.5 Statikai rendszerek

a./ Építési állapotok. A felszerkezet a pillérek feletti indítózömtől kezdve, kétirányban haladva, konzolosan, mérlegszerűen épül. Az építés során, a helyszínen, függesztett zsaluzatban betonozva, a mérleg két végén egy-egy 11,25 méter hosszú zömt készítünk. A zsaluzatot az acélszerkezetű segédhíd tartja, mely a készülő mérlegág két konzolvégére támaszkodik (A és B támasz), míg a harmadik (C) támasz a már elkészült hídrész konzolos ág-végére támaszkodik.

Az indítózömtől a beépített két gömbsüveg sarura betonozva készítjük. A mérlegág a sarukon elfordulhat, elcsúszhat, az ág stabilitását a segédhíd biztosítja, mivel a hídág elfordulása közben a két (A, B) reakció kiegyenlítődik. Ez a kiegyenlítődés a második zömpár építésénél kezdődik, mivel az indítózömtől lekötve tartjuk az első zömpár elkészültéig, és a lekötést csak ezután szüntetjük meg. Az elkészült mérlegágot hátrafelé, a kész hídrészhez csatlakoztatjuk (zárjuk), így egyre hosszabb, növekvő támaszszámú folytatólagos tartórész alakul ki.

b./ Használati állapot. Végül az elkészült, 9-9 támaszú fél hidat középen is összezárjuk és kialakul a 18 támaszú folytatólagos hídfelszerkezet. Használat közben a híd hosszirányú stabilitását és a vízszintes erők felvételét a középső 4 pilléren beépített fix sarukkal biztosítjuk.

7.6 Vizsgált állapotok

a./ Építési állapot. A zömpárok építése a mérlegág két végén, egy-egy zsaluzókocsiban, két ütemben történt. Az első ütemben a szekrényes keresztmetszet alsó lemezét és a három bordát betonozták a bordák felső szintjéig. Az első ütemű vasszerelés és a beton súlyát a segédhid főtartóján függő zsaluzat hordja. A pályalemez zsaluzatát az elkészült alsó lemezre támasztottuk, így a bordák közötti pályalemezrész önsúlya arra adódik át, míg a kétoldali konzolos pályalemez-részt a zsaluzókocsi hordja. A fentiek miatt a megszilárdult első ütemű betonszerkezetet teherbíróvá kellett tenni, amit a bordákban vezetett 3x2 darab 19x0,6” pászmás kábel megfeszítésével értünk el.

A feszítést az ellenőrző próbakockák 36 N/mm² törési eredményének elérése után lehetett megkezdeni. A második ütemű beton megszilárdulása után következhetett a további, felső lemezben vezetett kábelek megfeszítése.

Az építési állapotok vizsgálatai során kimutattuk, hogy az első ütemű beton felső szálában nem keletkezik a megengedettnél nagyobb húzófeszültség:

$$\sigma_{FI} < \sigma_{eH^*} \quad \sigma_{eH^*} = (\sigma_{eH, C45/55})/2 = 1,92/2 = 0,96 \text{ N/mm}^2$$

A teljes keresztmetszet elkészülte után sehol sem keletkezett a megengedettnél nagyobb húzó feszültség:

$$\sigma_{FI} < \sigma_{eH} \quad \sigma_{eH} = 1,92 \text{ N/mm}^2.$$

Az építés során, mikor a segédhidat a következő pillér fölé áttoltuk, az elkészült hídrész utolsó nyílásának közép keresztmetszetében keletkezett húzás a felső szálban, de ezen húzófeszültség értéke is a megengedett érték alatt maradt

$$\sigma_{FI} < \sigma_{eH} = 1,92 \text{ N/mm}^2.$$

b./ Módosított építési állapot. Az építés során szükségessé vált egy módosítás, mely alapján a zömpök nem a tényleges helyzetükben, zsaluzatban, monolit betonozással készültek, hanem lent a terepen, gyártópadban, előregyártva. A zömpök hossza 1,50 méterrel rövidebb lett, s a meglévő szerelőhídon mozgó emelő berendezésekkel emeltük fel. Az egyszerre felemelt zömpárokat 1,50 méter széles monolit betonsáv készítésével csatlakoztattuk a mérlegág eddig elkészült konzolvégeihez.

A monolit sáv is két ütemben készült, a teljes keresztmetszet betonjának megszilárdulása után a bordákban vezetett 3x2 darab feszítőkábel megfeszítésével lett önálló a zömpár. Ekkor a felfüggesztést meg lehetett szüntetni. Végül a további szerelési kábelek megfeszítése következett. A fenti módszer alkalmazásával is biztosítottuk, hogy a mérleg-ágon nem keletkezett húzás a betonszerkezetben $\sigma_i < 0 \text{ N/mm}^2$.

c./ Használati állapot. Az elkészült hídfelszerkezetben megfeszítették a szekrény belsejében, szabadon vezetett kábeleket. A híd teljes hosszában $2 \times (4+2) = 12$ db 19x0,6” pászmából álló kábelt alkalmaztunk. Ezek biztosítják, hogy az előírt teherosztály üzemi értékét figyelembe véve a felszerkezetben sehol sem keletkezik húzófeszültség a betonban.

7.7 Vizsgált fő szerkezeti részek

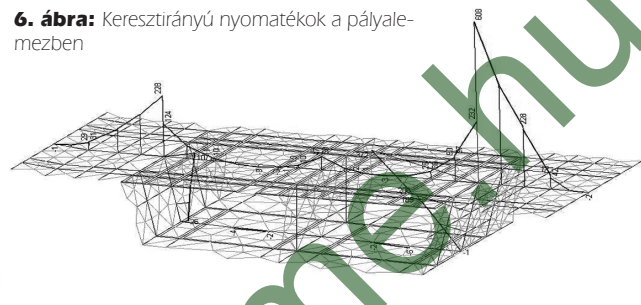
A részletes vizsgálatokat a magyar AXIS VM 8.0 végeselemes programmal készítettük

a./ A pályalemez. A szekrénytartó felső övének (a teljes pályalemez) vizsgálatát héjelemekből felépített, három hídnyílást tartalmazó térbeli modellen végeztük (6. ábra). Ennek

során elvégeztük a zömvégeken kialakított (keresztirányú alsó bordát képező) lehorgonyzó gerendák méretezését is. A pályalemez minden keresztmetszetében olyan kétirányú vasalást alkalmaztunk, mely biztosítja a szerkezetben a $w < 0,2 \text{ mm}$ repedéstágasságot üzemi teherre.

b./ Bordák. A szekrényes keresztmetszet bordáinak nyírásvizsgálatát építési és használati állapotban is a RIB Ponti program nyírási és főfeszültség ellenőrzési moduljával készítettük el. Ennek eredményeként a bordák jobb és bal oldalán is $\phi 20/15$ alapvasalást alkalmaztunk, melyet a támaszok felé haladva zömönként sűrítettünk, ill. két sorban helyeztünk el ($\phi 20/15 + \phi 20/15$ majd $\phi 20/15 + \phi 25/15$ kiosztásban)

6. ábra: Keresztirányú nyomtatók a pályalemezben

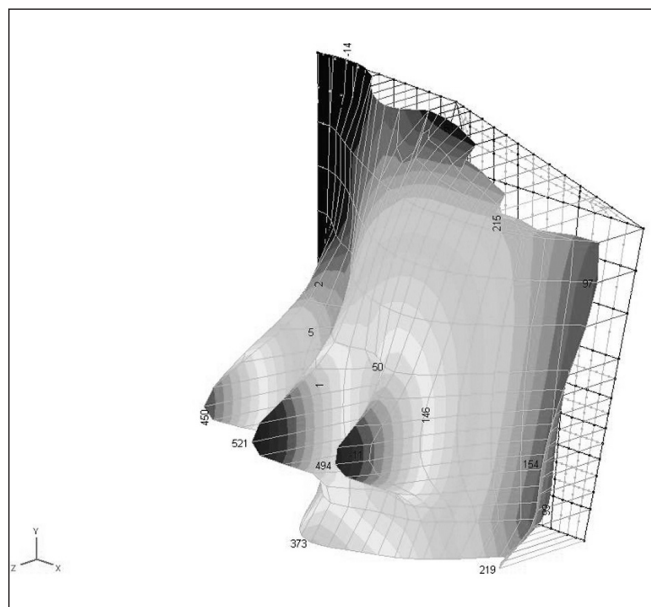


c./ Kereszttartók. A középső borda alátámasztását szolgálja, mivel a bordának közvetlen alátámasztása nincs, csak két sarut alkalmaztunk a szélső bordák alatt. A vizsgálat során a szekrény belsejében vezetett üzemi járdák áttöréseivel gyengített faltartót vizsgáltunk, és láttunk el jelentős nyírási és felfüggesztést adó vasalással.

d./ Szabadkábelek irányváltózási helyei. A szabadon vezetett kábelek irányváltózáseinál keletkező függőleges és a vízszintes súrlódási erők felvételére az alsó és felső lemez között teljes magasságú falat alakítottunk ki, melyet a bordákba is bekötöttünk. Így elkerülhető volt, hogy a kábelerők összetevőiből az alsó lemezben túlzott igénybevételek ébredjenek.

e./ Keresztfal nyílásközépen. A nyílásközépi zárózömpökben 1,30 méter vastag keresztfalat alakítottunk ki, amelyben lehetségesé vált a szabadon vezetett kábelek lehorgonyzása és így átlapolásos toldása. A falakat – a kábelek feszítési sorrendjének megfelelően – egyoldali kábelerők viselésére méreteztük (az összes kábel befeszítése után az igénybevételek majdnem teljesen kiegyenlítődnek) (7. ábra). A falazat méretezését három

7. ábra: Nyomtatók a diafragma falban, a szabad kábelek lehorgonyzásainál ($m_y - kNm/m$)



oldalán befogott térbeli falmodellen végeztük el, az alkalmazott vasalás mellett (ϕ 20/10 + ϕ 25/10) biztosítható a falazatban a $w < 0,2$ mm repedéstágassági feltétel kielégítése.

8. FÜGGETLEN ELLENŐRZÉS

A híd tervezésének és statikai számításainak független ellenőrzését a német Leonhardt, Andrä und Partner cég szakemberei végezték.

A számítások kiterjedtek a használati állapot ellenőrzésén túl az építés minden fázisának vizsgálatára is. Megállapításaik szerint a felszerkezet minden részletében kielégíti a magyar előírások minden vonatkozó kritériumát.

A híd teljes egészét egy végelelemes térbeli modellen vizsgálták. Ellenőrizték a főtartó egészének normálfeszültségeit, vizsgálták a nyírási és főfeszültségi állapotokat is. Számításaik kitértek a pályalemez és a bordák vasalásának felülvizsgálatára is, mely szerint az alkalmazott lágyvasalás mennyiségeit elégségesnek, a vasalat kialakítását pedig optimálisnak ítélték.

9. TERVEZÉS NEMZETKÖZI MUNKAMEGOSZTÁSBAN

A köröshegyi völgyhíd tervezésekor bizonyos speciális részfeladatok megoldásában szükség volt egy nagy nemzetközi tekintéllyel rendelkező tervezőiroda segítségére is. Ez nem volt más, mint a stuttgarti székhelyű Leonhardt, Andrä und Partner GmbH, a világon az egyik legnagyobb tapasztalattal rendelkező hidtervező cég.

Első feladatuk volt a magyar tervezők statikai számításainak és terveinek független ellenőrzése. A tervezők munkáját, minden számítást és tervet megfelelően értékelték.

Következő feladatuk a hídszerkezet építés közbeni alakbeállításának meghatározása volt abból a célból, hogy az egész szerkezet megépítése, az összes kábel megfeszítése és az összes teher ráhordása után a végleges alak pontosan a megkívánt legyen. Az egyes zömök magassági helyzete ugyanis beépítésük után igen sok külső és belső körülmény hatására változik. Először is az építés alatt, a konzolok végén a felszerkezetre támaszkodó, jelentős tömegű (kb. 1600 tonnás) szerelőhid lefelé hajlítja a hídszerkezetet. Ezt a terhet több hét múltán veszik le a megépült szerkezetről. Az általa okozott alakváltozások egy része nem rugalmas, hanem maradós (lassú alakváltozás). A szabad konzolvégén, az épülő mérleg két szabad végén ható függőlegesen lefelé mutató erők a mérlegnek az addig elkészült hídszerkezethez való hozzájárása után már egy megváltozott statikai rendszerről távoznak. Ez egy más statikai vázra ható, felfelé mutató erőként jelentkezik, amely a rugalmas alakváltozáson túl szintén maradós alakváltozásokat is eredményez. Az elkészült felszerkezet nyílásközepei a szabad kábelek megfeszítésének hatására megemelkednek, a felhordott egyéb állandó terhektől (szigetelés, szegélyek, burkolat, korlátok, stb.) viszont lehajlanak. A használat során a szerkezet lassú alakváltozás hatására lehajlik és csak hosszú idő után állapodik meg, vagy legalábbis csökken le jelentéktelen mértékűre.

Mindez elméletileg azt jelenti, hogy a híd alakja csupán egyszer lehet pontosan terv szerinti, azaz 2,86%-os állandó esésű egyenes. De mikor legyen ez az egy pillanat? A lassú alakváltozások befejeztével a végtelenben? Akkor a híd átadásakor túl nagyok lennének a túlemelések. A híd üzembe helyezésekor? Ez esetben hátralevő élete során túl sok lehajlás zajlana le a megkívánt szinthez viszonyítva. Kompromisszumos megoldás a kettő között felúton van, amelyet „fél-végtelennek”

neveztünk el. De hogyan lehet elérni ezt a célt? Leírva roppant egyszerű, megvalósítani igen összetett feladat: minden keresztmetszetnek (zömvégnek) ki kell számítani a beépítésétől addig a bizonyos fél-végtelenig lezajló összes függőleges értelmű elmozdulását, és annak az értéknek az ellentétére kell építéskor beállítani a zömvéget. Ez esetben a beállított szakaszvég, sőt a teljes hídpálya a tervezett időpontban pontosan a tervezett helyzetben lesz. Nos ezt a feladatot végezte el a Leonhardt, Andrä und Partner cég, és munkájuk eredményeképpen adták meg az egyes szakaszok magassági beállításának értékeit.

A feszítés kiegyenlítő hatásának következtében a hosszú idő alatt lejátszódó alakváltozás mértéke nem számottevő, csupán néhány centiméter. Ez az adatmegadás – bár a tervezés első fázisában meghatározták a beállítási értékeket – folyamatos, interaktív munkát tett szükségessé. A kivitelezés közben, meghatározott fázisokban mérni kellett a szerkezet aktuális helyzetét. Ennek eredményét Stuttgartban feldolgozták, értékelték és annak alapján adták meg a következő beállítás esetleg módosított értékeit. Az alak tervezése, és az építési munka folyamatos együttműködést kívánt.

Az interaktivitás a tervezés más területén is jelen volt. A technológia segédszerkezetét, a segédhidat Németországban tervezték és gyártották, míg a felszerkezeti tervek a Hídépítő Zrt. műszaki osztályán születtek. A két szerkezetnek jelentős hatása van egymásra, legfőképpen az acélszerkezet terhének a vasbeton hídszerkezetre. Ez a súly a klasszikus szabadbetonozásos technológiánál használt kb. 200 tonnás zsáuzó-kocsik terheéhez viszonyítva jóval nagyobb, egy teljes szerelőhid esetében mintegy 1600 tonna. A hídszerkezet felszerkeztetésnek tervezői, és a szerelőhid német tervezője ezért állandó kapcsolatban álltak egymással a különböző építési fázisok során, hogy minden esetben mind a vasbeton híd, mind az acél szerelőhid az erőtan és alakváltozási igényeknek megfeleljen. Az együttműködés eredményeképpen sikerült megtalálni a mindkét szerkezet számára megfelelő megoldást.

10. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A nem mindennapi feladat megoldásának körülményeit és eredményeit értékeltük ebben a cikkben. Az építendő völgyhíd igen jelentős műtárgy, Európában a negyedik leghosszabb közúti híd, Közép- és Kelet-Európa legnagyobb völgyhídja. Az előkészítés és a tervezés során nemcsak a híd méreteivel, a terepakadályokkal és a pálya vonalvezetésének nehézségeivel kellett szembe néznünk, hanem az autópálya szakasz roppant közeli határidejével is. Sok döntést, szerkezeti és technológiai megoldást befolyásolt az építés ütemterve. Bizonyosan számos részletet másként, talán célszerűbben is meg lehetett volna oldani, de döntő szempont volt az, hogy a hidat határidőre el kellett készítenünk.

Hazai szerkezettervező mérnök számára talán egyhamar nem lesz ekkora feladat, s e rendkívüli méretű híd igen alaposan átgondolt tervezési szemléletet és gondosságot igényelt. Olyan részfeladatok kerültek előtérbe, melyeket nem minden hétköznapi hídnál kell elvégezni. Ezek közül kiemelkedő maga az ívben fekvő hídszerkezet szabadon betonozott építése. Jelentős feladat volt a 23 méter széles, kétcélszerű szerényes keresztmetszet méretezése konzolos szerelési állapotban, ill. a használati állapotban is. Az építéstechnológia (segédhíddal történő szabadon betonozás) sajátosságaiból adódó erőrendszer folytonosan változó helyzete miatt az építési állapotban igen nagyszámú fázist és teher esetet kellett vizsgálnunk. Egyik legfontosabb mérnöki tevékenység volt a felszerkezet alakjának előzetes tervezésén túl a folyamatos ellenőrző mérések ered-

ményei alapján a beállítási adatok módosítása és pontosítása.

Minden résztvevő mérnök tudása legjavát nyújtotta, és ismereteik tovább gyarapodtak az alkotó folyamat során, amiket remélhetőleg újra hasznosíthatunk a közeljövő hídépítési munkáinak tervezésében.

11. HIVATKOZÁSOK

DSI-Dywidag System International: Dywidag bonded Post Tensioning Systems – Multiplane Anchorage (MA) (1998)

INTERCAD Kft (2007) "AXIS-3D végelele programrendszer", felhasználói kézikönyv

RIB (Stuttgart) (2004) „Programsystem PONTI” User Guide

Wellner, P. Mihalek, T. (2000), „A magyar – szlovén vasútvonal völgyhidjai - 3. A völgyhidak tervezése”, VASBETONÉPÍTÉS 2000/2, pp. 53-61.

Mihalek Tamás (1950) okl. szerkezetépítő mérnök. Tervezési pályáját a Hídépítő Vállalatnál kezdte, monolit és előregyártott gerendás hidak tervezése mellett technológiai tervezésben is részt vett. Jelenleg a Hídépítő Zrt. vezető tervezője. 1988-ban részt vett a Magyarországon először Berettyóújfaluban szakaszos előretolós technológiával épített híd tervezésében. 1996 óta irányításával tervezi a Hídépítő Zrt. műszaki osztálya a cég által épített betölt hídakat. Vezető tervezője volt Magyarország legnagyobb feszített vasbeton vasúti hidjának, az 1400 m hosszú nagyrákosi völgyhídnak és az M7 autópályán épült 1870 m hosszú köröshegyi völgyhídnak is. Fő érdeklődési területei: a feszített vasbeton hidak tervezése, a szerkezeti anyagok lehetőségeinek és az alkalmazott építéstechnológia hatása a szerkezetek működésére, ezek figyelembevétele az erőtani számítások során. A *fib* Magyar Tagozatának tagja.

Wellner Péter (1933) okl. mérnök, a Hídépítő Zrt. műszaki osztályának vezetője. Szakmai tevékenységét 1957-ben, az Uvater Hídirodáján kezdte meg. Részt vett a szolnoki Tisza híd, a budapesti Erzsébet híd, az M7 autópálya első szakasz hidjainak tervezésében. Tevékenységének legértékesebb területe a feszített vasbeton hidak tervezése és az építési technológiáinak kidolgozása. Ennek során olyan tervezői csoportot szervezett és irányított, amely a feszített hidak mindhárom típusában jelentős eredményt tud felmu-

tatni. A hazai első kunszentmártoni szabadon szerelt híd tervezésében való közreműködéséért Állami Díjban részesült. A szakaszos előretolós technológia hazai bevezetésének kiemelkedő eredménye a magyar-szlovén vasútvonalon tervezett nagyrákosi völgyhíd tervezése. E hídval kapcsolatban munkatársaival együtt Innovációs díjat kapott. A szabadbetonozásos technológiával épült köröshegyi völgyhídnál végzett összetett szerkezettervezési munka, a nemzetközi együttműködés, a műtárgy méretei és különleges építési technológiája általános érdeklődést és szakmai elismerést váltott ki. Minden alkalommal hirdette, és a gyakorlatban is követte azt a nézetét, hogy a tervezés és a kivitelezés csak egymással szorosan együttműködve érhet el jó eredményt. A *fib* Magyar Tagozatának tagja.

KÖRÖSHEGY VIADUCT ON M7 MOTORWAY IN HUNGARY

2. Overview of statical system and main design considerations of the viaduct

Tamás Mihalek, Péter Wellner

The application in Hungary of the cast-in-situ free cantilever method at bridges with such span took place twenty years ago. The experiences gained at that time could serve only as starting base during the design and conclusion of the Köröshegy viaduct. Considering both the size and the location of the bridge it was a significant challenge.

We thought it practical to use a special technological auxiliary structure, which can minimize the time needed between the constructions after one another of the certain bridge sections. We had to choose such a section length, which serves the shortening of the whole construction time. This is the reason why we choose the 11 m long segments instead of the usual 5 m long ones. The superstructure of the viaduct were design from the tender design to shop-drawings by the Technical Department of the Hídépítő Zrt, with the help of some sub-designers. During the design, beside the dimensioning of the structure, the construction technology and the equipments had to be taken into consideration. To choose the correct building technology we had to know the job site and the time available for the construction. We had to examine the structure during the construction phases and in the final state as well. Beside the general dimensioning we had a special task the examination of the shape of the constructed cantilever arms to achieve the correct final slope of the superstructure.

The independent analysis of the design and the calculation of the precambering in the construction stages was performed by the experts of the German company Leonhardt, Andrä und Partner.

BETONKÉSZÍTÉS BETON- ÉS TÉGLAHULLADÉK ÚJRAHASZNOSÍTÁSÁVAL

2. BETONTERVEZÉS ÉS BETONTULAJDONSÁGOK



Dr. Balázs L. György – Dr. Kausay Tibor

Jelen cikk 1. része a VASBETONÉPÍTÉS 2007/2 számában jelent meg.

Kulcsszavak: újrahasznosítás, beton, könnyűbeton, betonelem, adalékanyag, hulladék, törmelék, betontervezés, közetfizika

4. ÚJRAHASZNOSÍTOTT ADALÉK-ANYAGÚ BETON TERVEZÉSE

Ahogy a természetes adalékanyagú betonkeverékkel szemben, úgy az újrahasznosított adalékanyaggal gyártott betonkeverékkel szemben is követelmény, hogy a belőle, megfelelő beton-, illetve gyártás- és építéstechnológiával készített beton, vasbeton és feszített vasbeton előregyártott termék, vagy építéshelyen készített (monolit) szerkezet tartós legyen. Tartós a beton, vasbeton és feszített vasbeton termék, illetve szerkezet, ha a terheket, az igénybevételeket és a környezeti hatásokat megfelelő üzemeltetés és fenntartás mellett – kivételes esetektől eltekintve – legalább 50 év használati élettartam alatt biztonsággal hordja.

Az újrahasznosított adalékanyagú beton műszaki feltételei a 4.1 - 4.2 szakaszok szerinti kiegészítésekkel megegyeznek a betonokra általában vonatkozó műszaki feltételekkel, amelyeket az MSZ 4798-1:2004 szabvány 6. fejezete tartalmaz.

Az újrahasznosított adalékanyagú szilárd beton összetételének tervezése és kísérleti ellenőrzése során, – amikor a szórás teljes bizonyossággal még nem határozható meg – az MSZ 4798-1:2004 szerinti nyomószilárdsági osztályában a 150 mm élhosszúságú és végig víz alatt, vagy vegyesen tárolt próbakockák nyomószilárdságának tapasztalati átlag értéke ($f_{cm,cube,test}$ vagy $f_{cm,cube,test,H}$) nagyobb, vagy egyenlő legyen, mint a 6. táblázat szerinti, az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD N2. táblázatának értékeivel összhangban megadott $f_{cm,cube}$, illetve $f_{cm,cube,H}$ megkövetelt érték:

$$f_{cm,cube,test} \geq f_{cm,cube}$$

illetve

$$f_{cm,cube,test,H} \geq f_{cm,cube,H}$$

A 6. táblázatban a kétféle tárolási mód okozta szilárdsági eltérést annak feltételezésével vesszük figyelembe, hogy a végig vízben tárolt próbakockák 28 napos nyomószilárdsága 0,92-szorosa a vegyesen tárolt próbakockák nyomószilárdságának (MSZ 4798-1:2004).

6. táblázat: 150 mm élhosszúságú próbakockák nyomószilárdságának megkövetelt átlag értéke

A beton nyomószilárdsági osztálya	150 mm élhosszúságú próbakockák 28 napos nyomószilárdságának megkövetelt átlag értéke N/mm ²	
	végig víz alatti tárolás esetén $f_{cm,cube}$	vegyes tárolás esetén $f_{cm,cube,H}$
Közönséges beton		
C8/10	14	15
C12/15	19	21
C16/20	25	27
C20/25	31	34
C25/30	37	40
C30/37	45	49
C35/45	55	60
C40/50	62	67
C45/55	69	75
Könnyűbeton		
LC8/9	13	14
LC12/13	17	19
LC16/18	22	24
LC20/22	27	29
LC25/28	33	35

Követelmény továbbá, hogy a nyomószilárdsági eredményekre az MSZ 4798-1:2004 szabvány 14. táblázata szerinti, vagy annál szigorúbb megfelelőségi feltételek is teljesüljenek.

A betontervezés módszere szabadon megválasztható, de eredményét laboratóriumi kísérlettel ellenőrizni kell. Az újrahasznosított adalékanyaggal készülő betonok tervezésére kidolgozott nemzeti vagy európai szabvány, ill. műszaki irányelv nincs, és erre vonatkozó módszer sem ismeretes.

Az építmények bontásából vagy az építőanyag-gyártásból származó tört, osztályozott adalékanyag – főképpen a betonhulladék – önszilárdságának változatossága, szemalakja, felületi érdessége, vízfelvétele folytán sokkal jobban hasonlít a zúzottkőhöz, mint a kavicsához, illetve homokos kavicsához, ezért a következő eltérések figyelembevételével a betonhulladék

és esetleg a vegyes beton/téglahulladék adalékanyagú betonok összetételét a zúzottkőbetonokra kidolgozott tervezési módszerrel, a vegyes téglabetonhulladék és a téglahulladék adalékanyagú betonok összetételét a könnyűbetonokra kidolgozott tervezési módszerrel célszerű meghatározni.

Technológiai szempontból tekintetbe veendő, hogy az újrahasznosított beton, de különösképpen a vegyes és a téglahulladék adalékanyagoknak a nagy porozitás miatt nagy a vízfelvétele, és így ha az ehhez szükséges vízről nem gondoskodunk, akkor az a tervezett beton-konzisztencia megváltozásával jár. Ezért a beton keverővizét (m_v) „alap keverővíz”-ből ($m_{v,0}$) és „többlet keverővíz”-ből ($m_{v,d}$) összetettként kell számolni:

$$m_v = m_{v,0} + m_{v,d}$$

Az „alap keverővíz” a víz-cementtényező és a cementtartalom szorzatából adódó érték, a „többlet keverővíz” az adalékanyag rövid idejű mértékadó vízfelvételéből (például a 10 perces, vagy a bedolgozásig szükséges idő figyelembevételével számított 1 órás vízfelvételből) határozható meg.

A „többlet keverővíz” adagolása miatt megnőhet az egyébként szükséges betonkeverési idő, de alkalmazható vizes előkeverés, ill. a könnyű adalékanyag előzetes beáztatása. A szilárdsági követelmények miatt a teljes adagolt vízmennyiséget ismerni kell.

4.1 Beton, esetleg vegyes beton/téglahulladék adalékanyagú közönséges beton tervezése

Ha az adalékanyag olyan bontási és építési *betonhulladék*, esetleg *vegyes beton/téglahulladék*, amely nem a Kf_u-A közetfizikai csoportba tartozik, akkor a hulladék közetfizikai csoportja szerint a betont nagyobb nyomószilárdságúra kell tervezni, mint amennyi az átlagos nyomószilárdsági követelmény.

A betonhulladék (esetleg vegyes beton/téglahulladék) adalékanyagú beton nyomószilárdságának tervezési értékét úgy kapjuk meg, hogy a beton nyomószilárdsági osztályához tartozó átlagos nyomószilárdságot (6. táblázat) a beton nyomószilárdsági osztály és a betonhulladék mértékadó közetfizikai csoportja függvényét képező ζ szorzóval (7. táblázat) megszorozzuk;

végig víz alatti tárolás esetén:

$$f_{cm,cube,Recyclingconcrete} = \zeta f_{cm,cube}$$

vegyes tárolás esetén:

$$f_{cm,cube,H,Recyclingconcrete} = \zeta f_{cm,cube,H}$$

A ζ szorzó függvényét az $f_{ck,cube}$ küszöbérték függvényében a Kf_u-D2 közetfizikai csoport esetére írtuk fel:

$$\zeta_{D2} = 1,7343 - 0,1477 \cdot \ln(f_{ck,cube})$$

Mínthogy a ζ szorzó regressziós függvénye elfogadható közelítéssel az egymást követő nyomószilárdsági osztályok $f_{ck,cube}$ minősítési értékei hányadosaira (például: $45/37=1,22$; $37/30=1,23$; $30/25=1,20$; $25/20=1,25$; $20/15=1,33$) illeszkedik, így Kf_u-D2 közetfizikai csoportú újrahasznosított adalékanyag esetén a ténylegesnél eggyel nagyobb nyomószilárdsági osztályra tervezünk.

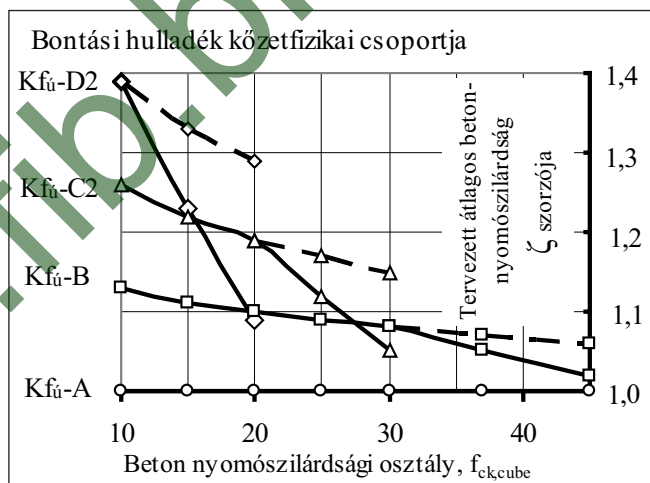
A Kf_u-B és a Kf_u-C2 közetfizikai csoporthoz tartozó ζ szorzó értékét a Kf_u-A és a Kf_u-D2 közetfizikai csoport ζ értékei közé való lineáris interpolálással határoztuk meg (5. ábra és 7. táblázat).

A Kf_u-C1 közetfizikai csoporthoz tartozó ζ szorzó a Kf_u-B és Kf_u-C2 közetfizikai csoporthoz tartozókat, a Kf_u-D1 közetfizikai csoporthoz tartozó a Kf_u-C2 és Kf_u-D2 közetfizikai csoporthoz tartozókat felezi.

A 7. táblázatban a ζ szorzók értékeinek 1,00 feletti növekményét a beton hulladéknak az adalékanyagban való, 4. táblázat szerinti részaránya alapján arányosítottuk. Például a Kf_u-C2 közetfizikai csoportú betonhulladék a C20/25 nyomószilárdsági osztályú beton adalékanyagának legfeljebb 70 tömegszázalékát teheti ki, ezért az eredetileg 1,17 értékű ζ szorzó $1+0,7 \cdot 0,17 = 1,12$ értéket vesz fel.

Például, ha a C16/20 nyomószilárdsági osztályú beton esetén a betonhulladék adalékanyaga Kf_u-B közetfizikai csoportú, akkor ahhoz, hogy a végig víz alatt tárolt beton próbakockák várhatóan elérjék az $f_{cm,cube} = 25 \text{ N/mm}^2$ nyomószilárdsági átlag értéket (6. táblázat), a betont $f'_{cm,cube} = \zeta \cdot f_{cm,cube} = 1,10 \cdot 25 = 27,5 \text{ N/mm}^2$ átlagos nyomószilárdságúra kell tervezni.

Az 5. és a 6. ábrán folyamatos vonallal a 7. táblázat szerinti arányosítással kapott ζ szorzó, illetve $1/\zeta$ viszonzszám görbéit, szaggatott vonallal ezek arányosítás előtti szakaszát ábrázoltuk.



5. ábra: Az újrahasznosított beton tervezett átlagos nyomószilárdságának ζ szorzója

A 7. táblázat adataitól el lehet térni, ha kísérleti eredmények alapján a beton nagyobb nyomószilárdsági osztályúnak bizonyul, mint a tervezett nyomószilárdsági osztály.

Az újrahasznosított beton nyomószilárdságának jellemző értéke a betonhulladék adalékanyag közetfizikai csoportjának függvénye, aminek mértékét az $1/\zeta$ viszonzszám fejezi ki (6. ábra):

$$\frac{1}{\zeta} = \frac{f_{ck}, "Kf_u-i" \text{ közetfizikai csoport}}{f_{ck}, "Kf_u-A" \text{ közetfizikai csoport}}$$

4.2 Téglavagy vegyes hulladék adalékanyagú könnyűbeton tervezése

Könnnyűbetonok esetén a tervezés során a szilárdság mellett párhuzamos követelményként megjelenik a testsűrűség is. A betontervezés során a könnyű adalékanyag tulajdonságaiból kell kiindulni.

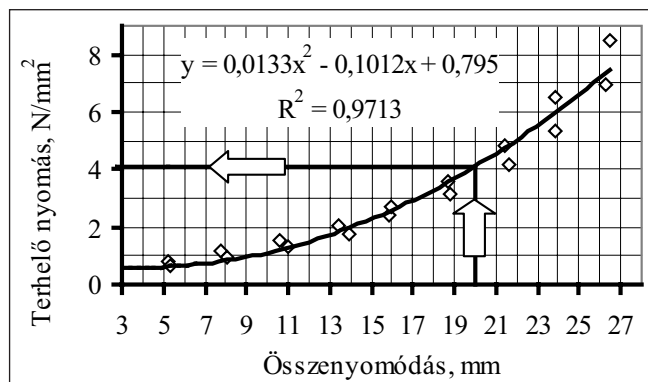
A beton nyomó- szilárdsági osztálya víz alatti tárolás esetén, az MSZ 4798-1 szerint $f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$	$\zeta_{D2} = 1,7343 - 0,1477 \cdot \ln(f_{ck,cube})$	Az átlagos 28 napos beton nyomószilárdság tervezési értékének kiszámításához alkalmazott, a betonhulladék 4. táblázat szerinti részaránya alapján arányosított ζ szorzó a betonhulladék mértékadó közetfizikai csoportja függvényében						
		Kf_u-0	Kf_u-A	Kf_u-B	Kf_u-C1	Kf_u-C2	Kf_u-D1	Kf_u-D2
C8/10	1,39	1,00	1,00	1,13	1,19	1,26	1,32	1,39
C12/15	1,33	1,00	1,00	1,11	1,17	1,22	1,28	$1+0,7 \cdot 0,33 = 1,23$
C16/20	1,29	1,00	1,00	1,10	1,15	1,19	$1+0,7 \cdot 0,24 = 1,17$	$1+0,3 \cdot 0,29 = 1,09$
C20/25	1,26	1,00	1,00	1,09	1,13	$1+0,7 \cdot 0,17 = 1,12$	$1+0,3 \cdot 0,22 = 1,07$	×
C25/30	1,23	1,00	1,00	1,08	$1+0,7 \cdot 0,12 = 1,08$	$1+0,3 \cdot 0,15 = 1,05$	×	×
C30/37	1,20	1,00	1,00	$1+0,7 \cdot 0,07 = 1,05$	$1+0,3 \cdot 0,10 = 1,03$	×	×	×
C35/45	1,17	1,00	1,00	$1+0,3 \cdot 0,06 = 1,02$	×	×	×	×
C40/50	1,16	1,00	1,00	×	×	×	×	×
C45/55	1,14	1,00	×	×	×	×	×	×
C50/60	-	×	×	×	×	×	×	×

Jelmagyarázat: × Bontási, építési és építőanyag-gyártási hulladék alkalmazása nem ajánlott.

6. ábra: Az újrahasonosított beton nyomószilárdságának viszonzyszám ($1/\zeta$) a bontási hulladék közetfizikai csoportjának függvényében

A könnyű adalékanyag halmazszilárdságát minden esetben az MSZ EN 13055-1:2003 szabvány A melléklete szerinti 1. eljárással kell meghatározni, és a 20 mm összenyomódáshoz tartozó feszültséggel kell kifejezni (7. ábra).

Az adalékanyagos könnyűbetonban a habarcs a fő teherhordó rész, de ennek ellenére a szilárdságát nem célszerű sokkal nagyobbra választani, mint az adalékanyagét, a minőségegyenletesség és az adalékanyag szilárdságának kihasználása céljából. A könnyű adalékanyag mellé a



7. ábra: Példa a könnyű adalékanyag halmazszilárdságának meghatározására

finomrészt (általában 1, 2, vagy 4 mm alatt) mind szilárdsági, mind tartóssági szempontból természetes homokkal célszerű kiegészíteni. Ebben az esetben az alkalmazott adalékanyagok testsűrűsége jelentősen eltér egymástól, a szemmegoszlási görbe csak térfogatszázalékban határozható meg. Az adalékanyagok könnyűbetonok esetén az optimális szilárdság elérésekor nem a telített beton a cél. A könnyűbetonra jellemző erőtérlet létrejöttéhez minimálisan 20 térfogatszázalék habarcs-telítettség szükséges. Ez különösen betartandó lemezes szemalakú adalékanyagok esetén, ami bontási és építési téglá és vegyes hulladék esetén fennáll (Nemes, 2005).

A bontott téglá- vagy vegyes hulladék adalékanyagú

betonokat általában könnyűbetonként kell megtervezni, amelynek során a téglahulladék testsűrűségét és önszilárdságát számításba kell venni.

A téglá- vagy vegyes hulladék nem sorolható közetfizikai csoportba, ezért a téglahulladék adalékanyagú könnyűbeton nyomószilárdságának tervezési értékét úgy kapjuk meg, hogy a könnyűbeton nyomószilárdsági osztályából számított átlagos nyomószilárdságot (6. táblázat) az $\eta_{\text{könnyű}}$ szorzóval (8. táblázat) megszorozzuk;

végig víz alatti tárolás esetén:

$$f_{\text{cm,cube},28,\text{Recyclingconcrete}} = \eta_{\text{könnyű}} \cdot f_{\text{cm,cube}}$$

vegyes tárolás esetén:

$$f_{\text{cm,cube},H,28,\text{Recyclingconcrete}} = \eta_{\text{könnyű}} \cdot f_{\text{cm,cube},H}$$

Az $\eta_{\text{könnyű}}$ szorzó (8. ábra) a könnyűbeton nyomószilárdsági osztályának (6. táblázat) a 8. táblázat szerinti függvénye.

A 8. táblázat adataitól el lehet térni, ha kísérleti eredmények alapján a könnyűbeton nagyobb nyomószilárdsági osztályúnak bizonyul, mint a tervezett nyomószilárdsági osztály.

8. táblázat: Szilárdsági szorzó ($\eta_{\text{könnyű}}$) a könnyűbeton átlagos 28 napos nyomószilárdsága tervezési értékének kiszámításához

Könnűbeton nyomószilárdsági osztálya az MSZ EN 206-1:2002 szabvány szerint $f_{\text{ck,cyl/cube}}$	Az $\eta_{\text{könnyű}}$ szorzó értéke
LC8/9 ρ_{LC} 2,0	1,50
LC12/13 ρ_{LC} 2,0	1,45
LC16/18 ρ_{LC} 2,0	1,40
LC20/22 ρ_{LC} 2,0	1,35
LC25/28 ρ_{LC} 2,0	1,30



8. ábra: Az újrahasznosított könnyűbeton tervezett átlagos nyomószilárdságának ($\eta_{\text{könnyű}}$) szorzója

A bontott téglahulladék adalékanyagú, újrahasznosított könnyűbeton tervezésének is szempontja, hogy a könnyűbeton összetétele feleljen meg a tartósság követelményének. Az MSZ EN 206-1:2002 és az MSZ 4798-1:2004 szabvány a könnyűbetonok összetételéről a tartósság szempontjából nem ad tájékoztatást.

5. ÚJRAHASZNOSÍTOTT ADALÉKANYAGÚ BETON ALAKVÁLTOZÁSA

5.1 Rugalmassági modulus

A beton rugalmassági modulusa első sorban összetevőinek rugalmassági modulusától függ.

Az MSZ EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) szabvány a kavicsbeton (kezdeti) átlagos rugalmassági modulusát a $\sigma_c = 0$ és $\sigma_c = 0,4 \cdot f_{\text{cm,cyl}}$ beton nyomófeszültségek közötti hűrmodulusként értelmezi, és a következő összefüggéssel számítja ki:

$$E_{\text{cm}} = 22000 \cdot [(f_{\text{cm,cyl}})/10]^{0,3} \quad [\text{N/mm}^2]$$

ahol

$$f_{\text{cm,cyl}} = f_{\text{ck,cyl}} + 8 \quad [\text{N/mm}^2]$$

Ezzel a számításmóddal a nyomószilárdsági osztályok függvényében a 9. táblázat szerinti rugalmassági modulusok adódnak.

9. táblázat: A kavicsbeton (kezdeti) átlagos rugalmassági modulusa és kúszási tényezőjének átlagos végértéke az MSZ EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) szabvány szerint*

$f_{\text{ck,cyl}}/f_{\text{ck,cube}}$ N/mm ²	E_{cm} N/mm ²	$\varphi(\infty,28)$
12/15	27 000	3,02
16/20	29 000	2,76
20/25	30 000	2,55
25/30	31 000	2,35
30/37	33 000	2,13
35/45	34 000	1,92
40/50	35 000	1,76
45/55	36 000	1,63

* Lásd még: Deák – Draskóczy – Dulácska – Kollár – Visnovitz (2004).

Az MSZ EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) szabvány szerint mészkő, illetve homokkő adalékanyag esetén a 9. táblázatbeli átlagos rugalmassági modulus értékek 10 százalékkal, illetve 30 százalékkal csökkentendők, míg bazalt adalékanyag esetén az értékeket 20 százalékkal meg kell növelni.

A rugalmassági modulus tervezési (mértezési) értéke az MSZ EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) szabvány szerint: $E_{\text{cd}} = E_{\text{cm}}/1,2$

A könnyűbeton átlagos rugalmassági modulusát a kavicsbeton átlagos rugalmassági modulusából a következő összefüggéssel lehet kiszámítani: $E_{\text{cm,LC}} = E_{\text{cm}} \cdot (\rho_{\text{LC}}/2200)^2$, ahol ρ_{LC} a könnyűbeton testsűrűsége kg/m³-ben.

A bontási, építési, építőanyag-gyártási hulladékból készített újrahasznosított beton és könnyűbeton rugalmassági modulusa elmarad a kavicsbeton rugalmassági modulusától.

Irodalmi adatok (Grübl – Rühl, 1998) szerint, ha a 4 mm feletti betonhulladék adalékanyag mennyisége az újrahasznosított betonban

- nulláról (kavicsbeton) 50 tömegszázalékra (újrahasznosított beton) nő, akkor a rugalmassági modulus mintegy 17,5 százalékkal (34 000 N/mm²-ről 28 000 N/mm²-re) csökken,

- nulláról (kavicsbeton) 100 tömegszázalékra (újrahasznosított beton) nő, akkor a rugalmassági modulus mintegy 20,5 százalékkal (34 000 N/mm²-ről 27 000 N/mm²-re) csökken.

A rugalmassági modulus csökkenésének mértékét az is befolyásolja, hogy a betonhulladék adalékanyagot mekkora nyomószilárdságú betonból állították elő. A kisebb saját nyomószilárdságú betonhulladék jobban csökkenti az újrahasznosított beton rugalmassági modulusát, mint a nagyobb saját nyomószilárdságú betonhulladék adalékanyag (Siebel – Kerkhoff, 1998).

Meißner (2000) szerint a betonhulladék adalékanyagú beton rugalmassági modulusa mintegy (10 – 40) százalékkal kisebb, törési alakváltozása mintegy 13 százalékkal nagyobb, mint a kavicsbetoné. Az újrahasznosított beton rugalmassági modulusát indokolt a kavicsbeton rugalmassági modulusánál 20 százalékkal kisebb értékre felvenni.

Zilch és Roos (2000) kísérletei szerint a referencia kavicsbeton, a 4 mm felett betonhulladék adalékanyagú beton, és a 100 százalékból betonhulladék adalékanyagú beton rugalmassági modulusa rendre 33 000 (100 százalék), 26 800 (81 százalék), 18 200 (55 százalék) N/mm².

A téglahulladék adalékanyagú újrahasznosított beton rugalmassági modulusának csökkenése a kavicsbetonéhoz képest jelentősen nagyobb, mint a betonhulladék adalékanyagú újrahasznosított betoné (Grübl – Rühl, 1998). Ha a 4 mm feletti téglahulladék adalékanyag mennyisége az újrahasznosított betonban

- nulláról (kavicsbeton) 50 tömegszázalékra (újrahasznosított beton) nő, akkor a rugalmassági modulus mintegy 32 százalékkal (34 000 N/mm²-ről 23 000 N/mm²-re) csökken,
- nulláról (kavicsbeton) 100 tömegszázalékra (újrahasznosított beton) nő, akkor a rugalmassági modulus mintegy 48,5 százalékkal (34 000 N/mm²-ről 17 500 N/mm²-re) csökken.

5.2 Zsugorodás

A beton zsugorodása időben lejátszódó folyamat, amely első sorban a környezet nedvességétől, az építőelem vagy szerkezeti elem méretétől és a beton összetételétől függ. A zsugorodást a tartó teherbírási határállapotának igazolásakor csak akkor kell figyelembe venni, ha az lényeges, például a vasbeton szerkezeti elem méretezése a II. feszültségi állapot (repedéskorlátozás esete) alapján történik.

Az MSZ EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) szabvány szerint a kavicsbeton zsugorodásának végértéke $\varepsilon_{cs,\infty} = 0,4 \text{ ‰}$.

A könnyűbeton zsugorodásának végértéke az $\leq \text{LC}16/20$ nyomószilárdsági osztályokban: $\varepsilon_{cs,\infty,LC} = 1,5 \cdot \varepsilon_{cs,\infty}$ és az $\geq \text{LC}20/25$ nyomószilárdsági osztályokban: $\varepsilon_{cs,\infty,LC} = 1,2 \cdot \varepsilon_{cs,\infty}$.

A bontási, építési, építőanyag-gyártási hulladékból készített újrahasznosított beton és könnyűbeton zsugorodása nagyobb, mint a kavicsbeton zsugorodása.

Irodalmi adatok (Siebel – Kerkhoff, 1998) szerint, a 320 kg/m³ cementtartalmú, 0,55 víz-cement tényezőjű, 100 tömegszázalékban betonhulladék adalékanyagú újrahasznosított beton zsugorodása 250 napos korban közel duplája (1,15 ‰) is lehet a referencia kavicsbeton zsugorodásának (0,59 ‰). Az adalékanyag rugalmassági modulusa jelentősen befolyásolja a zsugorodást. A betonhulladék rugalmassági modulusa arányos a saját nyomószilárdságával, ezért a betonhulladék adalékanyagú újrahasznosított beton zsugorodását mérsékli (0,90 ‰),

ha a betonhulladék adalékanyag saját nyomószilárdsága növekszik.

Zilch és Roos (2000) mérései szerint 7 – 50 napos kor között a kavicsbeton gyorsabban szárad, mint az újrahasznosított beton, ezért ebben az időszakban az újrahasznosított beton zsugorodása kisebb, mint a kavicsbetoné, 50 napos korban pedig vele azonos (mintegy 0,3 ‰). Ezt követően az újrahasznosított beton gyorsabban zsugorodik, és a 100 százalékból betonhulladék adalékanyagú újrahasznosított beton zsugorodása 170 napos korban a kavicsbeton zsugorodásánál (0,43 ‰) mintegy 58 százalékkal nagyobb (0,68 ‰). Ha a 4 mm alatti szemek természetes homokból állnak, akkor az újrahasznosított beton zsugorodása 170 napos korban a kavicsbeton zsugorodásánál (0,43 ‰) csak mintegy 33 százalékkal nagyobb (0,57 ‰).

5.3 Kúszás

A beton kúszása a tartós terhelés következménye, amelyet a méretezés során úgy veszünk figyelembe, hogy a kezdeti rugalmassági modulus (E_0) helyett az „ideális” rugalmassági modulus (E_i) számolunk:

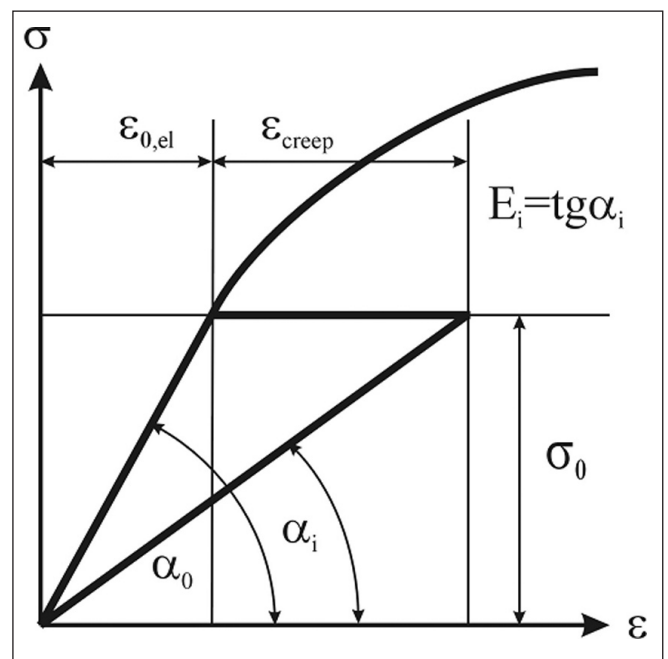
$$E_i = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_{0,el} + \varepsilon_{creep}} = \frac{\sigma_0}{\varepsilon_{0,el}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{\varepsilon_{creep}}{\varepsilon_{0,el}}} = E_0 \cdot \frac{1}{1 + \varphi}$$

ahol

$$\varphi = \frac{\varepsilon_{creep}}{\varepsilon_{0,el}}$$

azaz a φ kúszási tényező a kúszás (ε_{creep}) és a terhelés okozta pillanatnyi rugalmas alakváltozás ($\varepsilon_{0,el}$) hányadosa (Balázs, 1984). A 9. ábra szerint:

$$\begin{aligned} \sigma_0 &= \varepsilon_{0,el} \cdot \text{tg} \alpha_0 = \varepsilon_{0,el} \cdot E_0 = (\varepsilon_{0,el} + \varepsilon_{creep}) \cdot \text{tg} \alpha_i \\ &= (\varepsilon_{0,el} + \varepsilon_{creep}) \cdot E_i \end{aligned}$$



9. ábra: Az E_i „ideális” rugalmassági modulus értelmezése

A beton kúszása a zsugorodáshoz hasonlóan elsősorban a környezet nedvességétől, az építőelem vagy szerkezeti elem méretétől és a beton összetételétől függő, időben lejátszódó

10. táblázat: Példák a bontási és építési hulladék adalékanyagú kézi betonelemek jellemzőire

A beton jele az MSZ 4798-1:2004 szerint	Bontási és építési hulladék adalékanyagú betonelem típusa	A beton erőtani számítás szerint szükséges nyomó- szilárdsági osztálya	Környezeti osztály	A beton környezeti osztályhoz tartozó nyomó- szilárdsági osztálya	A beton mértékadó	
					nyomó- szilárdsági osztálya	nyomó- szilárdsági átlaga, a 6. táblázat szerint, $f_{cm,cube,H}$ N/mm ²
Közönséges betonból készülő betonelemek						
C16/20–X0b(H)–8	Üreges födémbéléléstest	C16/20	X0b(H)	C12/15	C16/20	27
C12/15–X0b(H)–8	Üreges zsaluzóelem	C8/10	X0b(H)	C12/15	C12/15	21
C16/20–X0b(H)–8	Üreges pincefalazó elem legfeljebb 54 % üreg-térfogattal	C16/20	X0b(H)	C12/15	C16/20	27
C12/15–X0b(H)–16	Üreges főfalfalazó elem, belső főfali, legfeljebb 32 % üreg- térfogattal	C12/15	X0b(H)	C12/15	C12/15	21
C30/37–X0b(H), XF1– 16	Üreges főfalfalazó elem, külső főfali, legfeljebb 32 % üreg- térfogattal	C12/15	X0b(H), XF1	C30/37	C30/37	49
C16/20–X0b(H) –16	Kétrétegű, mosott felületű járdaalap hátbetonja	C16/20	X0b(H)	C12/15	C16/20	27
C35/45–X0b(H), XF4, XK2(H)–16	Kétrétegű, mosott felületű járdaalap kopórétege	C25/30	X0b(H), XF4, XK2(H)	C35/45	C35/45	60
C35/45–X0b(H), XF4, XK2(H)–16	Egyrétegű, mosott felületű járdaalap	C25/30	X0b(H), XF4, XK2(H)	C35/45	C35/45	60
C35/45–X0b(H), XF4, XK2(H)–16	Egyrétegű, normál kivitelű járdaalap	C20/25	X0b(H), XF4, XK2(H)	C35/45	C35/45	60
C35/45–X0b(H), XF4, XK2(H)–16	Gyephézagos járdaalap	C20/25	X0b(H), XF4, XK2(H)	C35/45	C35/45	60
C25/30–X0b(H) –24	Kétrétegű útburkolóelem hátbetonja	C25/30	X0b(H)	C12/15	C25/30	40
C40/50–X0b(H), XF4, XK3(H)–24	Kétrétegű útburkolóelem kopórétege	C35/45	X0b(H), XF4, XK3(H)	C40/50	C40/50	67
C40/50–X0b(H), XF4, XK3(H)–24	Egyrétegű útburkolóelem	C35/45	X0b(H), XF4, XK3(H)	C40/50	C40/50	67
C35/45–X0b(H), XF4, XK2(H)–24	Normál kivitelű útszegélyelem	C16/20	X0b(H), XF4, XK2(H)	C35/45	C35/45	60
C40/50–X0b(H), XF4, XK3(H)–24	Kopásálló útszegélyelem	C30/37	X0b(H), XF4, XK3(H)	C40/50	C40/50	67

(a táblázat folytatódik)

C30/37–X0b(H), XF1, XV1(H)–24	Mederlap	C25/30	X0b(H), XF1, XV1(H)	C30/37	C30/37	49
C30/37–X0b(H), XF1, XV1(H)–16	Mederburkoló elem	C30/37	X0b(H), XF1, XV1(H)	C30/37	C30/37	49
C30/37–XC4, XF1, XV1(H)–16	Vasalt folyóka, vasalt surrantóelem	C30/37	XC4, XF1, XV1(H)	C30/37	C30/37	49
Könnyűbetonból készülő betonelemek						
LC12/13– ρ_{LC} 1,8 –X0b(H)–8	Üreges zsaluzóelem	LC12/13	X0b(H)	LC8/9	LC12/13	19
LC16/18– ρ_{LC} 1,8 –X0b(H)–8	Üreges pincefalazó elem, legfeljebb 32 % üreg-térfogattal	LC16/18	X0b(H)	LC8/9	LC16/18	24
LC16/18– ρ_{LC} 1,8 –X0b(H)–8	Üreges főfalazó elem, belső főfali, legfeljebb 32 % üreg-térfogattal	LC16/18	X0b(H)	LC8/9	LC16/18	24
LC25/28– ρ_{LC} 1,8 –X0b(H), XF1–8	Üreges főfalazó elem, külső főfali, legfeljebb 32 % üreg-térfogattal	LC16/18	X0b(H), XF1	LC25/28	LC25/28	35
LC12/13– ρ_{LC} 1,8 –X0b(H)–32	Tömör főfalazó elem, belső főfali	LC12/13	X0b(H)	LC8/9	LC12/13	19
LC25/28– ρ_{LC} 1,8 –X0b(H), XF1–32	Tömör főfalazó elem, külső főfali	LC12/13	X0b(H), XF1	LC25/28	LC25/28	35
LC25/28– ρ_{LC} 1,8 –X0b(H), XF1–8	Hőszigetelő falazóelem, külső oldalra	LC8/9	X0b(H), XF1	LC25/28	LC25/28	29
LC12/13– ρ_{LC} 1,8 –X0b(H)–8	Üreges válaszfal, legfeljebb 45 % üreg-térfogattal	LC12/13	X0b(H)	LC8/9	LC12/13	19
LC25/28– ρ_{LC} 1,8 –X0b(H), XK1(H)–16	Beltéri járólapp	LC20/22	X0b(H), XK1(H)	LC25/28	LC25/28	35

folyamat. A kúszás ezeken kívül a beton első terheléskori szilárdulási fokának, valamint az igénybevétel időtartamának és nagyságának is függvénye. A kúszást is csak akkor kell a tartó teherbírási határállapotának igazolásakor figyelembe venni, ha az lényeges, például a II. feszültségi állapotban (repedéskorlátozás esete) való méretezés során.

A 28 napos korban megterhelt, bedolgozáskor képlékeny konzisztenciájú kavicsbeton kúszási tényezőjének MSZ EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) szabvány szerinti átlagos végértéke $\varphi(\infty, 28)$ a 9. táblázatban található.

Ezeket az értékeket a $(\rho_{LC}/2200)^2$ tényezővel megszorozva kapjuk meg a könnyűbeton kúszási tényezőjének átlagos végértékét:

$$\varphi(\infty, 28)_{LC} = \varphi(\infty, 28) \cdot (\rho_{LC}/2200)^2$$

A bontási, építési, építőanyag-gyártási hulladékból készített, újrahasznosított beton és könnyűbeton kúszása nagyobb, mint a kavicsbeton kúszása.

Siebel és Kerkhoff (1998) mérései szerint a referencia kavicsbeton kúszásához képest 120 százalékkal nagyobb kúszása van a 100 százalékból betonhulladék adalékanyagú betonnak.

Grübl és Rühl (1998) kísérletei szerint a terhelés után 38 nappal a 100 százalékból betonhulladék adalékanyagú

beton kúszási tényezője 43 százalékkal nagyobb (0,97), a 100 százalékból téglahulladék adalékanyagú beton kúszási tényezője 65 százalékkal nagyobb (1,12), mint a referencia kavicsbeton kúszási tényezője (0,68).

Grübl és Rühl (1998) kutatásaira hivatkozva Meißner (2000) megállapítja, hogy az újrahasznosított beton nagyobb kúszása a nagyobb habarcstartalomnak, a kisebb rugalmassági modulusnak, a bontási hulladék nagyobb víztartalmának tudható be. Ezzel függ össze, hogy az újrahasznosított beton tartós szilárdsága a kavicsbetonénak csak 80 százaléka.

Zilch és Roos (2000) rámutat, hogy míg 90 napos korban a 4 mm felett betonhulladék adalékanyagból álló beton kúszási tényezője (3,6) 33 százalékkal nagyobb a referencia kavicsbeton kúszási tényezőjénél (2,7), addig a 100 százalékból betonhulladék adalékanyagból álló beton kúszási tényezője (8,4) már 210 százalékkal nagyobb a referencia kavicsbeton kúszási tényezőjénél (2,7). A kúszási tényező változására tehát a 4 mm alatti szemek jellegének (természetes vagy bontott) van jelentős hatása.

Betonjellemzők	Tanúsítás nélkül		Tanúsítással	
	Kezdeti vizsgálat nélkül	Sorozat gyártás esetén, kezdeti vizsgálattal		
Nyomószilárdsági osztály	Egyedi (nem sorozat) gyártás esetén	C8/10 – C16/20, LC8/9 – LC16/18		C20/25 – C45/55, LC20/22 – LC25/28
Beton összetételének tervezése szerint		Tervezett beton, előírt összetételű beton és előírt iparági beton		Tervezett beton és előírt összetételű beton
Környezeti osztály		XN(H), X0b(H), X0v(H) környezeti osztály	Többi környezeti osztály	Valamennyi környezeti osztály
Megfelelőség igazolási módozat a 3/2003. (I. 25.) BM-GKM-KvVM együttes rendelete szerint	(4)	(4)	(2+)	(2+)

6. BONTÁSI ÉS ÉPÍTÉSI HULLADÉK ADALÉKANYAGÚ KÉZI BETON-ELEMEK JELLEMZŐI

A betonelem típusok gyártásához szükséges beton összetételét úgy kell megtervezni, hogy a beton 150 mm élhosszúságú, a kiszalasztástól a szilárdság vizsgálatig végig vízben tárolt próbakockán, 28 napos korban, vízzel telített állapotban mért $f_{cm,cube,test}$ átlagos nyomószilárdsága a nyomószilárdsági osztálynak megfelelő $f_{cm,cube}$ vagy vegyes tárolás esetén a légszáraz állapotban mért $f_{cm,cube,test,H}$ átlagos nyomószilárdsága a nyomószilárdsági osztálynak megfelelő $f_{cm,cube,H}$ előírt átlag értékeket elérje (6. táblázat). Bontási és építési hulladék adalékanyagú betonból általában a 10. táblázat szerinti „kézi” betonelemek gyárthatók.

7. TERMÉKTANÚSÍTÁS

A beton- és vasbetonépítési műszaki irányelvben foglalt követelmények alkalmasak a bontási, építési valamint az építőanyag-gyártási hulladék adalékanyagok és a felhasználásukkal készülő betonok és betontermékek – beleértve a vasbeton és a feszített vasbeton terméket is – építési célú alkalmasságának megítélésére, következésképpen a műszaki irányelv

- egyrészt alapját képezheti a megfelelőség igazolási eljárás lefolytatásának;
- másrészt alapját képezheti az építőipari műszaki engedély (ÉME) – mint egyfajta jóváhagyott műszaki specifikáció – kiadásának és a megfelelőségi tanúsítvány kiállításának ((1) jelű megfelelőség igazolási módozat);
- harmadrészt nemzeti szabvány hiányában önmagában is jóváhagyott műszaki specifikáció értékű, amelynek alapján a szállítói megfelelőségi nyilatkozat kiadása folyamatba helyezhető ((2+) és (4) jelű megfelelőség igazolási módozat).

A betonnyomószilárdság azonosító vizsgálatának módszerét, a próbatestek szükséges darabszámát, az egységként értékelhető tétel nagyságát illetően az irodalom (Kausay, 2007) szerint ajánlott eljárni.

7.1 Újrahasznosított adalékanyag terméktanúsítása

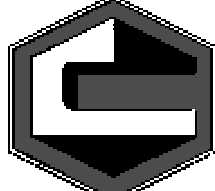
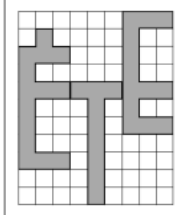
Jelen műszaki irányelv felfogásában a bontási, az építési vagy az építőanyag-gyártási hulladék adalékanyag megfelelőség igazolási eljárásában a (4) jelű megfelelőség igazolási módozatot szabad alkalmazni (kijelölt tanúsító szervezet bevonása nélkül), ha a bontási, az építési vagy az építőanyag-gyártási hulladék adalékanyagot

- olyan C8/10 – C16/20 nyomószilárdsági osztályú beton, illetve LC8/9 – LC16/18 nyomószilárdsági osztályú könnyűbeton készítéséhez használják, amelynek környezeti osztálya XN(H), X0b(H) vagy X0v(H);
- egyedi (nem sorozat) gyártásban állítják elő.

Minden egyéb esetben a bontási, az építési vagy az építőanyag-gyártási hulladék adalékanyag megfelelőség igazolási eljárását kijelölt tanúsító szervezet bevonásával, a (2+) jelű megfelelőség igazolási módozat alkalmazásával kell elvégezni.

7.2 Újrahasznosított adalékanyagú beton és a felhasználásával készült előregyártott elem terméktanúsítása

A bontási, az építési vagy az építőanyag-gyártási hulladék adalékanyagú beton (keverék), valamint előregyártott beton, vasbeton, feszített vasbeton elem (termék) megfelelőség igazolási eljárásában az MSZ 4798-1:2004 szabvány NAD. 10.1. táblázatának értelmezésében, a 11. táblázat szerint

				
A fib Magyar Tagozata	Magyar Betonszövetség	Magyar Cementipari Szövetség	Magyar Építőanyagipari Szövetség	Építési Vállalkozók Országos Szakszövetsége
				
Szilikátipari Tudományos Egyesület Kht.	Építés-tudományi Egyesület Kht.	Közlekedés-tudományi Egyesület Kht.	Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék	Hidak és Szerkezetek Tanszéke

- olyan C8/10 – C16/20, illetve LC8/9 – LC16/18 nyomószilárdsági osztályú beton és felhasználásával készült előregyártott termék esetén, amelynek környezeti osztálya XN(H), X0b(H), X0v(H), *kijelölt tanúsító szervezet közreműködése nélkül*, a (4) jelű *megfelelőség igazolási módozatot* szabad alkalmazni;
- az olyan C8/10 – C16/20, illetve LC8/9 – LC16/18 nyomószilárdsági osztályú beton és felhasználásával készült előregyártott termék esetén, amelynek környezeti osztálya nem XN(H), X0b(H), X0v(H), *kijelölt tanúsító szervezet közreműködésével*, a (2+) jelű *megfelelőség igazolási módozatot* kell alkalmazni;
- a C20/25, illetve LC20/22 és ezeknél nagyobb nyomószilárdsági osztályú, valamennyi környezeti osztályú beton és felhasználásával készült előregyártott termék esetén *kijelölt tanúsító szervezet közreműködésével*, a (2+) jelű *megfelelőség igazolási módozatot* kell alkalmazni;
- egyedi (nem sorozat) gyártás esetén a beton nyomószilárdsági osztályától függetlenül szabad *kijelölt tanúsító szervezet közreműködése nélkül*, a (4) jelű *megfelelőség igazolási módozatot* alkalmazni.

Az újrahasznosított adalékanyagú *előregyártott* beton, vasbeton, feszített vasbeton termék jelében és szállítólevelén, valamint a monolit szerkezet betonjelében nem kell az újrahasznosított adalékanyagra utaló megnevezést alkalmazni, vagy ráutaló megjegyzést feltüntetni, amiből következik, hogy ezeknek megfelelés-igazolási eljárása semmiben sem különbözik a közönséges vagy könnyű adalékanyagú beton, vasbeton, feszített vasbeton termékek és szerkezetek megfelelés-igazolási eljárásától, és így külön tanúsítási kijelölést sem igényel.

8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A fib Magyar Tagozatának a Beton- és Vasbetonépítési Műszaki Irányelvek sorozat kiadására egyetértési nyilatkozatot tett tagjai: Magyar Betonszövetség, Magyar Cementipari Szövetség, Magyar Építőanyagipari Szövetség, Építési Vállalkozók Országos Szövetsége, Szilikátipari Tudományos Egyesület Kht., Építéstudományi Egyesület Kht., Közlekedéstudományi Egyesület Kht., BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke (10. ábra).

Jelen műszaki irányelv kidolgozását támogatta a Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium Hulladékgazdálkodási és Technológiai Főosztálya és az Épületfenntartási K+F Alapítvány.

Jelen műszaki irányelv kidolgozását anyagilag támogatta: Kiss és Társa Budafoki Építőipari és Szolgáltató Kft., MFL Hungária Ipari és Termelő Kft., Rethmann Recycling Hungária Kft., Restone Kereskedelmi és Szolgáltató Kft., Ferrobeton Beton- és Vasbetonelem-gyártó Rt., BVM Épelem Előregyártó és Szolgáltató Kft., EMI-TÜV Bayern Kft., MaHill Mérnökiroda Kft.

Fent nevezetteknek a szerzők köszönetet mondanak.

9. KÖVETKEZTETÉSEK

Az újrahasznosított közönséges beton és könnyűbeton készítése és összetételének tervezése során a megszokott eljárásoktól eltérően figyelembe kell venni a bontott adalékanyag aprózódását, halmaz-szilárdságát, fagyállóságát, vízfelvételét, szemalakját is. Az újrahasznosított beton nyomószilárdságának tervezési értéke a bontott adalékanyag köztetfizikai jellemzőinek függvényében kifejezhető.

Laboratóriumi vizsgálati eredmények és

betonelemek üzemi kísérleti gyártása igazolta, hogy bontott betonhulladékból egyszerű kézi betonelemeket a testsűrűség, a nyomószilárdság, az időállóság, a tartósság követelményének megfelelő, jó minőségben elő lehet állítani. A vegyes hulladék és a téglahulladék elsősorban beltéri könnyűbeton elemek készítésére alkalmas.

A cikkben bemutatott Beton- és Vasbetonépítési Műszaki Irányelv hozzájárul ahhoz, hogy a betonkészítés bontási, építési és építőanyag-gyártási hulladék újrahasznosításával szabályozott körülmények között, jó eredménnyel történjék.

10. JELÖLÉSEK

C A közönséges beton szabványos nyomószilárdsági osztályának betűjele, amely mögött a beton nyomószilárdságának szabványos próbahengeren és próbakockán értelmezett előírt jellemző értéke áll:

$$f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$$

CEM Cementfajta az MSZ EN 197 sorozat szerint

d Legkisebb névleges szemmagysághatár (legkisebb szemmagyság), mm

D Legnagyobb névleges szemmagysághatár (legnagyobb szemmagyság), mm

E_0 Kezdeti rugalmassági modulus, N/mm²

E_i Ideális rugalmassági modulus, N/mm²

E_{cd} A kavicsbeton rugalmassági modulusának méretezési értéke, N/mm², az MSZ EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) jelölése

E_{cm} A kavicsbeton átlagos rugalmassági modulusa, N/mm², az MSZ EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) jelölése

$E_{cm,LC}$ A könnyűbeton átlagos rugalmassági modulusa, N/mm²

$f_{ck,cyl}$ A beton nyomószilárdságának előírt jellemző értéke 28 napos korban, 150 mm átmérőjű, 300 mm hosszú próbahengeren, N/mm²

$f_{ck,cube}$ A beton nyomószilárdságának előírt jellemző értéke 28 napos korban, 150 mm élhosszúságú kockán, N/mm²

$f_{cm,test}$ A beton nyomószilárdságának tapasztalati átlag értéke 28 napos korban, szabványos próbatesten, N/mm²

$f_{cm,cube}$ 150 mm élhosszúságú, végig víz alatt tárolt próbakockákon vizsgált 28 napos nyomószilárdság megkövetelt átlag értéke, N/mm²

$f_{cm,cube,H}$ 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakockákon vizsgált 28 napos nyomószilárdság megkövetelt átlag értéke, N/mm²

$f_{cm,cube,Recyclingconcrete}$ Betonhulladék (esetleg vegyes beton/téglahulladék) adalékanyagú beton nyomószilárdságának tervezési értéke, mint 150 mm élhosszúságú, végig víz alatt tárolt próbakockákon vizsgált 28 napos nyomószilárdság megkövetelt átlag értéke, N/mm²

$f_{cm,cube,H,Recyclingconcrete}$ Betonhulladék (esetleg vegyes beton/téglahulladék) adalékanyagú beton nyomószilárdságának tervezési értéke, mint 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakockákon vizsgált 28 napos nyomószilárdság megkövetelt átlag értéke, N/mm²

$f_{cm,cube,test}$ 150 mm élhosszúságú, végig víz alatt tárolt próbakockákon vizsgált 28 napos nyomószilárdság tapasztalati átlag értéke, N/mm²

$f_{cm,cube,test,H}$ 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakockákon vizsgált 28 napos nyomószilárdság tapasztalati átlag értéke, N/mm²

$f_{cm,cyl}$ 150 mm átmérőjű és 300 mm magas, végig víz alatt tárolt próbahengereken vizsgált 28 napos nyomószilárdság megkövetelt átlag értéke, N/mm²

Kf_u ... Az újrahasznosított betonhulladék és a közönséges adalékanyagok minősülő vegyes beton/téglahulladék adalékanyagok közetfizikai csoportja

LC A könnyűbeton szabványos nyomószilárdsági osztályának betűjele, amely mögött a beton nyomószilárdságának szabványos próbahengeren és próbakockán értelmezett előírt jellemző értéke áll:

$$f_{ck,cyl}/f_{ck,cube}$$

m_v A vízadagolás az 1 m³ bedolgozott friss betonban, amely az $m_{v,0}$ alap keverővíz és az $m_{v,d}$ többlet keverővíz összege, kg/m³

$m_{v,0}$ Az alap keverővíz tömege 1 m³ bedolgozott friss betonban, amelynek értékét a tervezett víz-cementtényező és a cementadagolás szorzata adja meg, kg/m³

$m_{v,d}$ Az adalékanyag mértékadó rövididejű vízfelvételéből számítható többlet keverővíz tömege 1 m³ bedolgozott friss betonban, kg/m³

X0b(H)... Környezeti hatásnak nem ellenálló beton környezeti osztálya

XC... Karbonátosodásnak ellenálló vasbeton és feszített vasbeton környezeti osztálya

XF... Fagyálló beton, vasbeton és feszített vasbeton környezeti osztálya

XF... (BV-MI) A fagyálló betonnak, vasbetonnak és feszített betonnak a beton- és vasbetonépítési műszaki irányelv szerinti környezeti osztálya

XK... (H) Kopásálló beton, vasbeton és feszített vasbeton környezeti osztálya

XV... (H) Vízáró beton, vasbeton és feszített vasbeton környezeti osztálya

$\epsilon_{0,el}$ A terhelés okozta pillanatnyi rugalmas alakváltozás, nevezetlen szám

ϵ_{creep} Kúszás, kúszási alakváltozás, nevezetlen szám

$\epsilon_{cs,\infty}$ A kavicsbeton zsugorodásának végértéke, ‰, az MSZ EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) jelölése

$\epsilon_{cs,\infty,LC}$ A könnyűbeton zsugorodásának végértéke, ‰

ρ_{LC} Könnyűbeton (szilárd és kiszáritott állapotban) testsűrűségi osztálya

σ_0 Terhelés okozta pillanatnyi feszültség, N/mm²

σ_c A beton nyomófeszültsége, N/mm², az MSZ EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) jelölése

φ Kúszási tényező, a kúszás ($\epsilon_{kúszás}$) és a terhelés okozta pillanatnyi rugalmas alakváltozás ($\epsilon_{0,r}$) hányadosa

$\varphi(\infty,28)$ 28 napos korban megterhelt, bedolgozáskor képlékeny konzisztenciájú kavicsbeton kúszási tényezőjének átlagos végértéke, az MSZ EN 1992-1-1:2005 (Eurocode 2) jelölése

$\varphi(\infty,28)_{LC}$ A könnyűbeton kúszási tényezőjének átlagos végértéke

ζ Szorzó a betonhulladék adalékanyagú közönséges beton átlagos 28 napos nyomószilárdsága tervezési értékének kiszámításához

$\eta_{könnyű}$ Szorzó a vegyes és a téglahulladék adalékanyagú könnyűbeton átlagos 28 napos nyomószilárdsága tervezési értékének kiszámításához

11. HIVATKOZOTT SZABVÁNYOK, MŰSZAKI ELŐÍRÁSOK ÉS IRÁNYELV

- MSZ 4737-1:2002 „Különleges cementek. 1. rész: Szulfátálló cementfajták”
- MSZ 4798-1:2004 „Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés. Az MSZ EN 206-1 és alkalmazási feltételei Magyarországon”
- MSZ 18287-1:1990 „Építési kőanyagok szilárdságvizsgálata próbahalmazon. Los Angeles-vizsgálat”
- MSZ 18287-6:1984 „Építési kőanyagok szilárdságvizsgálata próbahalmazon. Mikro-Deval-vizsgálat”
- MSZ 18288-2:1984 „Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. Szemmegoszlás vizsgálata ülepítéssel”
- MSZ 18288-3:1978 „Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. Szemalak vizsgálata”
- MSZ 18288-4:1984 „Építési kőanyagok szemszerkezeti és szennyeződési vizsgálata. A vegyi szennyeződés vizsgálata”
- MSZ 18289-3:1985 „Építési kőanyagok időállóságvizsgálata. Szulfátos kristályosítás”
- MSZ EN 197-1:2000 „Cement. 1. rész: Az általános felhasználú cementek összetétele, követelményei és megfelelési feltételei”
- MSZ EN 206-1:2002 „Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés”
- MSZ EN 933-1:1998 „Kőanyagalmazatok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A szemmegoszlás meghatározása. Szitavizsgálat”
- MSZ EN 933-4:2000 „Kőanyagalmazatok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 4. rész: A szemalak meghatározása. Szemalaktenyező”
- MSZ EN 933-6:2003 „Kőanyagalmazatok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 6. rész: Felületi jellemzők meghatározása. A kőanyagalmazatok kifolyási tényezője”
- MSZ EN 1097-3:2001 „Kőanyagalmazatok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 3. rész: A halmazsűrűség és a hízagtérfogat meghatározása”
- MSZ EN 1097-6:2001 „Kőanyagalmazatok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 6. rész: A testsűrűség és a vízfelvétel meghatározása”
- MSZ EN 1367-1:2000 „Kőanyagalmazatok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálata. 1. rész: A fagyállóság meghatározása”
- MSZ EN 1367-2:1999 „Kőanyagalmazatok termikus tulajdonságainak és időállóságának vizsgálati módszerei. 2. rész: Magnézium-szulfátos eljárás”
- MSZ EN 1992-1-1:2005 „Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok”
- MSZ EN 12620:2003 „Kőanyagalmazatok (adalékanyagok) betonhoz”
- MSZ EN 13043:2003 „Kőanyagalmazatok (adalékanyagok) utak, repülőterek és más közforgalmú területek aszfaltkeverékeihez és felületi bevonatokhoz”
- MSZ EN 13055-1:2003 „Könnyű kőanyagalmazatok. 1. rész: Könnyű kőanyagalmazatok (adalékanyagok) betonhoz, habarcsokhoz, injektálóhabarcsokhoz”
- MSZ EN 13139:2003 „Kőanyagalmazatok (adalékanyagok) habarcsokhoz”
- MSZ EN 14216:2004 „Cement. Nagyon kis hőfejlesztésű különleges cementek összetétele, követelményei és meg-

- felelőségi feltételei”
- MSZ EN ISO 9001:2001 „Minőségirányítási rendszerek. Követelmények”
- ÚT 2-3.201:2006 „Beton pályaburkolatok építése. Építési előírások, követelmények”
- ÚT 2-3.207:2003 „Útpályaszerkezetek kötőanyag nélküli és hidraulikus kötőanyagú alaprétegei. Tervezési előírások”
- Útgyi műszaki előírás
- ÚT 2-3.601:2006 „Útépítési zúzottkővek és zúzottkavicsok”
- Útgyi műszaki előírás
- BV-MI 01:2005 „Betonkészítés bontási, építési és építőanyag-gyártási hulladék újrahasznosításával”
- Beton- és vasbetonépítési műszaki irányelv. *fib* (Nemzetközi Beton-szövetség) Magyar Tagozata

12. HIVATKOZÁSOK

- Balázs Gy. (1984), „Építőanyagok és kémia” *Tankönyvkiadó*, Budapest
- Deák Gy. – Draskóczy A. – Dulácska E. – Kollár L. – Visnovitz Gy. (2004), „Statikai Kisokos. Segédlet tartószerkezetek tervezéséhez. Vasbeton szerkezetek – Tervezés az Eurocode alapján” Springer Media Magyarország Kft. Szakkönyv Divízió, Budaörs
- Grübl, P. – Rühl, M. (1998), „Der Einfluß von Recyclingzuschlägen aus Bauschutt auf die Frisch- und Festbetoneigenschaften und die Bewertung hinsichtlich der Eignung für Baustellen- und Transportbeton nach DIN 1045” Technische Universität Darmstadt, Institut für Massivbau, Baustoffe, Bauphysik, Bauchemie
- Kausay T. (2007), „Azonosító vizsgálat II. Student-eloszlás alapján.” *Beton*, 3. szám pp. 10-12.
- Magyar Szabványügyi Testület (2003), „Nemzeti szabványok tervezett visszavonása. Előszó.” Szabványügyi Közlöny Budapest, 2003. 3. szám, melléklet, pp. 1.
- Meißner, M. (2000), „Biegetragverhalten von Stahlbetonbauteilen mit rezyklierten Zuschlägen” *DafStb Heft 505*. Vertrieb durch Beuth Verlag GmbH Berlin
- Nemes R. (2005), „Habüveg adalékanyagok könnyűbetonok” PhD. értekezés, BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék
- Pankhardt K. (1998), „Építőanyagok újrahasznosítása” *Építési Piac*, 23. szám pp. 27-31.
- Pankhardt K. (2000), „Az újrahasznosított adalékanyagú betonok” *Beton*, I. rész: 3. szám pp. 3-7.; II. rész: 4. szám pp. 3-7.; III. rész: 5. szám pp. 3-5.
- Siebel, E. – Kerkhoff, B. (1998), „Einfluß von Recyclingzuschlägen aus Altbeton auf die Eigenschaften insbesondere die Dauerhaftigkeit des Betons” Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf
- Zilch, K. – Roos, F. (2000), „Betonkennwerte für die Bemessung und das Verbundverhalten von Beton mit rezykliertem Zuschlag” *DafStb Heft 507*. Vertrieb durch Beuth Verlag GmbH Berlin

Dr. Balázs L. György (1958) okl. építőmérnök, okleveles mérnök matematikai szakmérnök, PhD, Dr. habil, egyetemi tanár, a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék vezetője. Fő érdeklődési területei: beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek (anyagai, laboratóriumi vizsgálata és modellezése), szálerezítésű betonok (FRC), nem acélanyagú (FRP) betétek, megerősítések anyagai és módjai, erőátadás betonban, vasbeton tartó repedezettségi állapota, vasbetonszerkezetek tartóssága. A *fib* TG 4.1 „Használhatósági határállapotok” munkabizottság elnöke, további *fib*, ACI és RILEM bizottságok tagja. A *fib* Magyar Tagozat elnöke.

Kausay Tibor (1934) okl. építőmérnök (1961), vasbetonépítési szakmérnök (1967), egyetemi doktor (1969), a műszaki tudomány kandidátusa (1978), Ph.D. (1997), a BME Építőanyagok Tanszék címzetes egyetemi docense (1985), a BME tiszteleti egyetemi tanára az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszéken (2003). A *fib* Magyar Tagozat tagja (2000). Az MTA Szabolcs-Szatmár-Bereg Megyei Tudományos Testületének gróf Lónyay Menyhért emlékérmes tiszteletbeli tagja (2003). Tevékenysége a betontechnológiai és a kő- és kavicsipari kutatásra, fejlesztésre, oktatásra, szabványosításra terjed ki. Publikációinak száma mintegy 125.

CONCRETES BY USING RECYCLED CONCRETE OR BRICK AS AGGREGATE

2. Mix design and concrete properties

György L. Balázs – Tibor Kausay

The Hungarian Group of *fib* developed a Technical Guideline for concretes by using crushed bricks or crushed concrete. Crushed concrete can originate from demolishing or from prefabrication. This paper presents the main parts of the Technical Guideline including classification of crushed recycling aggregates and procedure of preparing the concrete with recycled aggregates.

HAJLÍTOTT HÉJ ACÉLBETÉTEINEK OPTIMÁLIS MÉRETEZÉSE



Dr. Németh Ferenc

A cikk membránérőkkel és nyomatékokkal terhelt vasbeton héjak acélbetéteinek méretezésével foglalkozik. A héj valamely pontjában vizsgálódunk, ahol adottnak tekintjük az igénybevételeket, a beton héj vastagságát, továbbá az anyagminőségeket. A cikk olyan méretezési eljárást tárgyal, amely a vizsgált pontban előre fölvetett vasalási irányok esetén a leggazdaságosabb vasalást eredményezi. A cikk azt is bemutatja, hogy a vasalási irányok módosításával, általában ferdeszögű vasalással további acél-megtakarítás érhető el.

Kulcsszavak: vasbeton héj, membrán erők, nyomatékok, két irányú acélbetét, optimális acélmennyiség, réteg-elmélet

1. RÉTEG ELMÉLET

A héj vizsgált pontjában adottak az igénybevételt jelentő $\bar{n}_x, \bar{n}_y, \bar{n}_{xy}$ membrán erők és az $\bar{m}_x, \bar{m}_y, \bar{m}_{xy}$ nyomatékok. Ezek jelölését és előjelük értelmezését az 1. ábrán láthatjuk. (A nyomatékot olyan irányú vektorral ábrázoljuk, amilyen irányúak a helyettesítő erőpár erői.) E kétféle jellegű és dimenziójú mennyiség együttes hatására általában alul is és fölül is szükség van acél hálóra. Az alsó és felső acélbetétek méretezését e kétféle igénybevétel együttes hatására úgy oldjuk meg, hogy a membránérőket és a nyomatékokat alsó és felső rétegerőkkel helyettesítjük az alábbiak szerint. (A felső rétegerők dőlt betűsek.)

alsó rétegerők:

$$\begin{aligned}\bar{n}_x &= \frac{1}{2}\bar{n}_x + \frac{1}{z_x}\bar{m}_x \\ \bar{n}_y &= \frac{1}{2}\bar{n}_y + \frac{1}{z_y}\bar{m}_y \\ \bar{n}_{xy} &= \frac{1}{2}\bar{n}_{xy} + \frac{1}{z_{xy}}\bar{m}_{xy}\end{aligned}\quad (1)$$

felső rétegerők:

$$\begin{aligned}\bar{n}_x &= \frac{1}{2}\bar{n}_x - \frac{1}{z_x}\bar{m}_x \\ \bar{n}_y &= \frac{1}{2}\bar{n}_y - \frac{1}{z_y}\bar{m}_y \\ \bar{n}_{xy} &= \frac{1}{2}\bar{n}_{xy} - \frac{1}{z_{xy}}\bar{m}_{xy}\end{aligned}\quad (2)$$

A z_i a belső erők karját jelenti, aminek első közelítő fölvetését a 2. ábrán láthatjuk.

Egy második számítási menetben, amikor a héj vastagságát is ellenőrizzük, a belső erők karja is pontosítható.

Ahogy a membrán erők is és a nyomatékok is tenzort alkotnak, úgy az alsó és a felső rétegerők is tenzormennyiségek. Ezeknek általános esetben két egymásra merőleges főirányuk van, és a főerők lehetnek különböző előjelűek is. Ilyenkor bizonyos irányokban húzás adódik (húzott szektor), a többi irányban nyomás van. Ha egy acélbetét a nyomott szektorban fekszik, akkor abban nyomás működik.

A húzások föl vételére azonban olyan helyzetű acélbetét alkalmas, amely húzott szektorban van elhelyezve. Így hát már most megállapíthatjuk, ha valamely acélbetétre, akár az alsó, akár a felső rétegben van, negatív méretezési erőt kapunk, akkor arra a betétre erőtanilag nincs szükség.

Az alsó rétegerőkből az alsó acélbetétek, a felső rétegerőkből a felső acélbetétek szükséges mennyisége számítható ki.

Az ismertetendő eljárást szükség szerint a héjszerkezet több pontjában is el kell végezni.

2. AZ OPTIMÁLIS MÉRETEZÉS KÉPLETEI

A rétegerők ugyanolyan tulajdonságú tenzort alkotnak, mint a nyomatékok. Ezért a nyomatékokra levezetett optimális méretezési képleteket fogjuk alkalmazni, mind az alsó, mind a felső rétegerőkre.

Adottak a vizsgált pontban az alsó rétegerők: $\bar{n}_x, \bar{n}_y, \bar{n}_{xy}$, adottak továbbá a vasalás ξ és η irányai (3. ábra). Kikötés, hogy $\xi \equiv x$ legyen, ha nem így volna, akkor a rétegerőket ilyen koordináta rendszerbe kell transzformálni. Az optimális méretezéshez négy esetet kell megvizsgálni. A négy eset képletei a következők: (Németh 1968)

a) eset

$$\begin{aligned}\bar{n}_\xi &= \bar{n}_x - \bar{n}_y \frac{\cos \varphi}{1 + \cos \varphi} + \bar{n}_{xy} \frac{1 - 2 \cos \varphi}{\sin \varphi} \\ \bar{n}_\eta &= \bar{n}_y \frac{1}{1 + \cos \varphi} + \bar{n}_{xy} \frac{1}{\sin \varphi}\end{aligned}$$

b) eset

$$\begin{aligned}\bar{n}_\xi &= \bar{n}_x + \bar{n}_y \frac{\cos \varphi}{1 - \cos \varphi} - \bar{n}_{xy} \frac{1 + 2 \cos \varphi}{\sin \varphi} \\ \bar{n}_\eta &= \bar{n}_y \frac{1}{1 - \cos \varphi} - \bar{n}_{xy} \frac{1}{\sin \varphi}\end{aligned}\quad (3)$$

ξ) eset

$$\begin{aligned}\bar{n}_\xi &= \bar{n}_x - \frac{\bar{n}_{xy}^2}{\bar{n}_y} \\ \bar{n}_\eta &= 0\end{aligned}$$

η) eset

$$\bar{n}_\xi = 0$$

$$\bar{n}_\eta = \frac{\bar{n}_x \bar{n}_y - \bar{n}_{xy}^2}{\bar{n}_x \sin^2 \varphi + \bar{n}_y \cos^2 \varphi - \bar{n}_{xy} \sin 2\varphi}.$$

Mind a négy eset képleteit kiszámítva a numerikus eredmények elemzésével lehet az érvényes megoldást kiválasztani. Nem érvényesek azon értékpárok

- amelyek előjele különböző: $\bar{n}_\xi \cdot \bar{n}_\eta < 0$
- amelyeknél a törőerők invariánsa kisebb, mint az igénybevételié: $|\bar{n}_\xi + \bar{n}_\eta| < |\bar{n}_x + \bar{n}_y|$
- amelynél van kedvezőbb megoldás.

Derékszögű acélbetétek esetén (4. ábra) az optimális méretezés képletei az alábbiak:

a) eset
$$\begin{aligned}\bar{n}_\xi &= \bar{n}_x + \bar{n}_{xy} \\ \bar{n}_\eta &= \bar{n}_y + \bar{n}_{xy}\end{aligned}$$

b) eset
$$\begin{aligned}\bar{n}_\xi &= \bar{n}_x - \bar{n}_{xy} \\ \bar{n}_\eta &= \bar{n}_y - \bar{n}_{xy}\end{aligned}$$

ξ) eset
$$\begin{aligned}\bar{n}_\xi &= \bar{n}_x - \frac{\bar{n}_{xy}^2}{\bar{n}_y} \\ \bar{n}_\eta &= 0\end{aligned} \quad (4)$$

η) eset
$$\begin{aligned}\bar{n}_\xi &= 0 \\ \bar{n}_\eta &= \bar{n}_y - \frac{\bar{n}_{xy}^2}{\bar{n}_x}\end{aligned}$$

Konjugált irányú acélbetéteket alkalmazva a leggazdaságosabb méretezést érhetjük el, ha mód van arra, hogy az η irányú acélbetéteket a

$$\text{tg}\Phi = \frac{\bar{n}_y}{\bar{n}_{xy}} \quad (5)$$

képletnek megfelelően helyezzük el (5. ábra). Ekkor a méretezési képletek a következők:

$$\begin{aligned}\bar{n}_\xi &= \bar{n}_x - \frac{\bar{n}_{xy}^2}{\bar{n}_y} \\ \bar{n}_\eta &= \bar{n}_y + \frac{\bar{n}_{xy}^2}{\bar{n}_y}\end{aligned} \quad (6)$$

Így a méretezés a lehető leggazdaságosabb, olyan, mintha a derékszögű acélbetéteket alkalmaznánk a főirányokban: $\bar{n}_\xi + \bar{n}_\eta = \bar{n}_x + \bar{n}_y = \bar{n}_1 + \bar{n}_2$

A fentiekben az alsó acélbetétek optimális méretezését tárgyaltuk, ahol az igénybevételt az alsó rétegerők jelentették. Ugyanígy módon lehet a felső acélbetéteket is méretezni, ekkor azonban az igénybevételt a felső rétegerők jelentik.

3. AZ ACÉLBETÉT SZÜKSÉGLET KISZÁMÍTÁSA

Az alsó acélbetét-szükséglet képletei:

$$A_\xi = \frac{\bar{n}_\xi}{\sigma_{aH}}, \quad A_\eta = \frac{\bar{n}_\eta}{\sigma_{aH}}, \quad (7)$$

a felső acélbetét szükséglet képletei:

$$A_\xi = \frac{\bar{n}_\xi}{\sigma_{aH}}, \quad A_\eta = \frac{\bar{n}_\eta}{\sigma_{aH}}. \quad (8)$$

Csak a pozitív értékek érvényesek. A negatív eredmények nyomást jelentenek, ekkor erőtanilag nem szükséges az acélbetét, csak a szerelés céljából kellene.

4. ELLENŐRZŐ SZÁMÍTÁSOK

4.1 Törőerők

Kiindulhatunk a kiszámított $\bar{n}_\xi$, $\bar{n}_\eta$ és $\bar{n}_\xi$, $\bar{n}_\eta$ méretezési erőkből, vagy a ténylegesen alkalmazott, fölkerekített A_ξ , A_η és A_ξ , A_η vasmennyiségekből. Ez utóbbi esetben az acélokban a határerők:

alsó:
$$\begin{aligned}n_\xi^* &= A_\xi \sigma_{aH} \\ n_\eta^* &= A_\eta \sigma_{aH}\end{aligned} \quad (9)$$

felső:
$$\begin{aligned}n_\xi^* &= A_\xi \sigma_{aH} \\ n_\eta^* &= A_\eta \sigma_{aH}\end{aligned}$$

A határerők derékszögű összetevői ferde vasalás esetén (3. ábra):

alsó:
$$\begin{aligned}n_x^* &= n_\xi^* + n_\eta^* \cos^2 \varphi \\ n_y^* &= n_\eta^* \sin^2 \varphi \\ n_{xy}^* &= n_\eta^* \sin \varphi \cos \varphi\end{aligned} \quad (10)$$

felső:
$$\begin{aligned}n_x^* &= n_\xi^* + n_\eta^* \cos^2 \varphi \\ n_y^* &= n_\eta^* \sin^2 \varphi \\ n_{xy}^* &= n_\eta^* \sin \varphi \cos \varphi\end{aligned}$$

4.2 Tartalék rétegerők

A tartalék erők a törőerők és az igénybevételi rétegerők különbsége.

alsó:
$$\begin{aligned}\tilde{n}_x &= n_x^* - \bar{n}_x \\ \tilde{n}_y &= n_y^* - \bar{n}_y \\ \tilde{n}_{xy} &= n_{xy}^* - \bar{n}_{xy}\end{aligned}$$

felső:
$$\begin{aligned}\tilde{n}_x &= n_x^* - \bar{n}_x \\ \tilde{n}_y &= n_y^* - \bar{n}_y \\ \tilde{n}_{xy} &= n_{xy}^* - \bar{n}_{xy}\end{aligned} \quad (11)$$

4.3 A törés ellenőrzése

A törési feltételt abban a formában alkalmazzuk, ahogy Gvozgyev (1949, 1966) fogalmazta meg a tartaléknyomaték fogalmának bevezetésével, azaz, hogy itt a tartalék rétegerő nem lehet negatív. Esetünkben:

$$\text{alsó: } \tilde{n}_x \cdot \tilde{n}_y - \tilde{n}_{xy}^2 \geq 0,$$

$$\text{felső: } \tilde{n}_x \cdot \tilde{n}_y - \tilde{n}_{xy}^2 \geq 0, \quad (12)$$

Ezek a képletek kifejezik, hogy sem az alsó, sem a felső rétegerőkben semmilyen irányban nincs törés. Ha zérus adódik, akkor valamilyen irányban repedés kialakulásának határhelyzete áll fenn.

4.4 A törésvonal iránya

A törésvonal irányát a tartaléknymomaték tenzor főirányaként lehet meghatározni (6. ábra) (Gvozgyev, 1949, 1966, Lenkei, 1966, 1967):

$$\begin{aligned} \text{alsó: } \quad \operatorname{tg} 2\tilde{\alpha} &= \frac{2\tilde{n}_{xy}}{\tilde{n}_x - \tilde{n}_y} \\ \text{felső: } \quad \operatorname{tg} 2\tilde{\alpha} &= \frac{2\tilde{n}_{xy}}{\tilde{n}_x - \tilde{n}_y} \end{aligned} \quad (13)$$

Másik számítási lehetőség a tartaléki főérték,

$$\tilde{n}_1 = \frac{\tilde{n}_x + \tilde{n}_y}{2} + \sqrt{\left(\frac{\tilde{n}_x - \tilde{n}_y}{2}\right)^2 + \tilde{n}_{xy}^2} \quad (14)$$

ismeretében lehetséges:

$$\begin{aligned} \text{alsó: } \quad \operatorname{tg} \tilde{\alpha} &= \frac{\tilde{n}_1 - \tilde{n}_x}{\tilde{n}_{xy}} \\ \text{felső: } \quad \operatorname{tg} \tilde{\alpha}' &= \frac{\tilde{n}_1 - \tilde{n}_x}{\tilde{n}_{xy}} \end{aligned} \quad (15)$$

Ezek a képletek a tartaléki $\tilde{I}$ -es főiránynak az x -tengellyel bezárt szögét adják meg előjelhelyesen, és ez egyben a repedés iránya is.

1. PÉLDA

A héjszerkezet vizsgált pontjában adottak az n_i membrán-erők és az m_i nyomatékok:

$$\begin{aligned} n_x &= +200 \text{ kN/m} & m_x &= +16 \text{ kNm/m} \\ n_y &= +50 \text{ kN/m} & m_y &= +8 \text{ kNm/m} \\ n_{xy} &= +75 \text{ kN/m} & m_{xy} &= +6 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

A héj vastagsága $v = 120 \text{ mm}$ (2. ábra), a belső erők karja az alsó és felső vasalás között mért

$$z_x = 0,092 \text{ m}, \quad z_y = 0,078 \text{ m}, \quad z_{xy} = 0,085 \text{ m}.$$

Alsó rétegerők:

$$\bar{n}_x = +100 + \frac{16}{0,092} = +274 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_y = +25 + \frac{8}{0,078} = +128 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_{xy} = +37,5 + \frac{6}{0,085} = +108 \text{ kN/m}$$

Az alsó rétegerők invariánsa: $\bar{n}_x + \bar{n}_y = +402 \text{ kN/m}$

Felső rétegerők:

$$\bar{n}_x = +100 - \frac{16}{0,092} = -74 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_y = +25 - \frac{8}{0,078} = -78 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_{xy} = +37,5 - \frac{6}{0,088} = -33 \text{ kN/m}$$

A felső rétegben minden irányban nyomás van, így itt nincs szükség acélbetétekre.

Az alsó rétegben alkalmazzunk derékszögű acélbetéteket (4. ábra), és végezzük el az optimális méretezést a derékszögű vasalás esetére vonatkozó képletekkel. Mind a négy értékpárt kiszámítjuk:

$$\begin{aligned} \bar{n}_\xi &= +274 + 108 = +382 \text{ kN/m} \\ \bar{n}_\eta &= +128 + 108 = +236 \text{ kN/m} \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \bar{n}_\xi \\ \bar{n}_\eta \end{aligned}} \right\} > 402 \text{ kN/m}$$

érvényes megoldás

$$\begin{aligned} \bar{n}_\xi &= +274 - 108 = +166 \text{ kN/m} \\ \bar{n}_\eta &= +128 - 108 = +20 \text{ kN/m} \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \bar{n}_\xi \\ \bar{n}_\eta \end{aligned}} \right\} < 402 \text{ kN/m}$$

elégtelen megoldás

$$\begin{aligned} \xi) \quad \bar{n}_\xi &= +274 - \frac{108^2}{128} = +183 \text{ kN/m} \\ \bar{n}_\eta &= 0 \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \bar{n}_\xi \\ \bar{n}_\eta \end{aligned}} \right\} < 402 \text{ kN/m}$$

elégtelen megoldás

$$\begin{aligned} \eta) \quad \bar{n}_\xi &= 0 \\ \bar{n}_\eta &= +128 - \frac{108^2}{274} = +85 \text{ kN/m} \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \bar{n}_\xi \\ \bar{n}_\eta \end{aligned}} \right\} < 402 \text{ kN/m}$$

elégtelen megoldás.

Az a) eset képletei adják az érvényes megoldást:

$$\bar{n}_\xi = +382 \text{ kN/m}, \quad \bar{n}_\eta = +236 \text{ kN/m}.$$

Ezek az értékek, az alkalmazott derékszögű acélbetétek esetében optimális megoldást jelentenek az $\bar{n}_\xi + \bar{n}_\eta = \min!$ értelmében.

A szükséges alsó vasmennyiség:

$$A_x = \frac{382 \text{ kN/m}}{0,35 \text{ kN/mm}^2} = 1091 \text{ mm}^2 / \text{m},$$

$$A_y = \frac{236 \text{ kN/m}}{0,35 \text{ kN/mm}^2} = 674 \text{ mm}^2 / \text{m},$$

ahol a betonacél határfeszültsége:

$$\sigma_{all} = 350 \text{ MPa} = 35 \text{ kN/cm}^2 = 0,35 \text{ kN/mm}^2.$$

Ezzel tulajdonképpen az adott pontban a vasalás méretezése megtörtént, de az ellenőrzés és szemléltetés céljából még végezzünk el néhány vizsgálatot.

Az igénybevételek a kiszámított alsó rétegerők:

$$\bar{n}_x = +274 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_y = +128 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_{xy} = +108 \text{ kN/m}.$$

A törőerők legyenek felkerekítés nélkül a kiszámított értékek:

$$n_x^* = A_x \sigma_{aH} = 382 \text{ kN/m}$$

$$n_y^* = A_y \sigma_{aH} = 236 \text{ kN/m}$$

$$n_{xy}^* = 0.$$

A tartalék erők a törő és igénybevételi erők különbsége:

$$\bar{n}_x = 382 - 274 = +108 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_y = 236 - 128 = +108 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_{xy} = 0 - 128 = -108 \text{ kN/m}.$$

A törési feltétel: $\bar{n}_x \cdot \bar{n}_y - \bar{n}_{xy}^2 \geq 0$ most $108 \cdot 108 - (-108)^2 = 0$ alakban teljesül, éppen a törésnél vagyunk, mert nem alkalmaztunk felkerekítést az acélmenyiség megállapításánál.

Az ábrázolás céljából számítsuk ki a tartaléki tenzor főértékeit:

$$\bar{n}_1 = +216, \quad \bar{n}_2 = 0,$$

továbbá az 1-es főirány szögét, mert ez lesz a törésvonal iránya:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\bar{n}_1 - \bar{n}_x}{\bar{n}_{xy}} = \frac{216 - 108}{-108} = -1$$

innen $\alpha = -45^\circ$.

Szükségünk lesz még az igénybevételt jelentő alsó rétegerők főértékeire és főirányára is:

$$\bar{n}_1 = +331 \text{ kN/m}, \quad \bar{n}_2 = +71 \text{ kN/m}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{\bar{n}_1 - \bar{n}_x}{\bar{n}_{xy}} = \frac{331 - 274}{108} = 0,5278$$

$$\alpha_1 = +27,8^\circ = 0,4856 \text{ rad}.$$

A kiszámított értékek fölhasználásával a 6. ábrán megrajzoltuk az igénybevételi $\bar{N}$ tenzor és a törő N^* tenzor polárgörbét. Ezek az (alsó) rétegerők polárgörbéi, egyenletük az alábbi:

igénybevételi rétegerők:

$$\bar{n}(\alpha) = 331 \cos^2(\alpha - 0,4856) + 71 \sin^2(\alpha - 0,4856)$$

törő-rétegerők:

$$n^*(\alpha) = 382 \cos^2 \alpha + 236 \sin^2 \alpha$$

A mellékábrán bejelöltük a ξ, η derékszögű vasalás irányát, valamint az $\bar{T}$ irányú törésvonal helyzetét is. A polárgörbés ábrázolást először Lenkei (1966) (1967) javasolta.

2. PÉLDA

Legyen adott a héjszerkezet vizsgált pontjában az n_1 membrán-erők és az m_1 nyomatékok tenzora az alábbi adatokkal:

$$n_x = +800 \text{ kN/m}$$

$$m_x = +16 \text{ kNm/m}$$

$$n_y = +200 \text{ kN/m}$$

$$n_{xy} = +300 \text{ kN/m}$$

$$m_y = +8 \text{ kNm/m}$$

$$m_{xy} = +6 \text{ kNm/m}$$

A héj vastagsága és a belső erők karja azonos az előző példabeliével. Számítsuk ki az alsó és felső rétegerőket.

Alsó rétegerők:

$$\left. \begin{aligned} \bar{n}_x &= +400 + \frac{16}{0,092} = +574 \text{ kN/m} \\ \bar{n}_y &= +100 + \frac{8}{0,078} = 203 \text{ kN/m} \end{aligned} \right\} + 777 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_{xy} = +150 + \frac{6}{0,085} = +221 \text{ kN/m}$$

Felső rétegerők:

$$\left. \begin{aligned} \bar{n}_x &= +400 - \frac{16}{0,092} = +226 \text{ kN/m} \\ \bar{n}_y &= +100 - \frac{8}{0,078} = -3 \text{ kN/m} \end{aligned} \right\} + 223 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_{xy} = +150 - \frac{6}{0,085} = -79 \text{ kN/m}$$

Alkalmazzunk mind az alsó, mind a felső rétegben a 3. ábra szerinti ferdeszögű acélhálót, ahol $\varphi = 75^\circ$. Az optimális méretezést a ferde szögű acélbetétek esetére levezetett képletekkel kell elvégezni, ahol $\varphi = 75^\circ$.

Alsó réteg:

$$\left. \begin{aligned} \bar{n}_\xi &= +574 - 203 \cdot 0,206 + 221 \cdot 0,499 = +642 \text{ kN/m} \\ \bar{n}_\eta &= +203 \cdot 0,794 + 221 \cdot 1,035 = +390 \text{ kN/m} \end{aligned} \right\} > 777 \text{ kN/m, érvényes megoldás}$$

$$\left. \begin{aligned} \bar{n}_\xi &= +574 - 203 \cdot 0,349 - 221 \cdot 1,571 = +298 \text{ kN/m} \\ \bar{n}_\eta &= +203 \cdot 1,349 - 221 \cdot 1,035 = +45 \text{ kN/m} \end{aligned} \right\} < 777 \text{ kN/m, elégtelen megoldás}$$

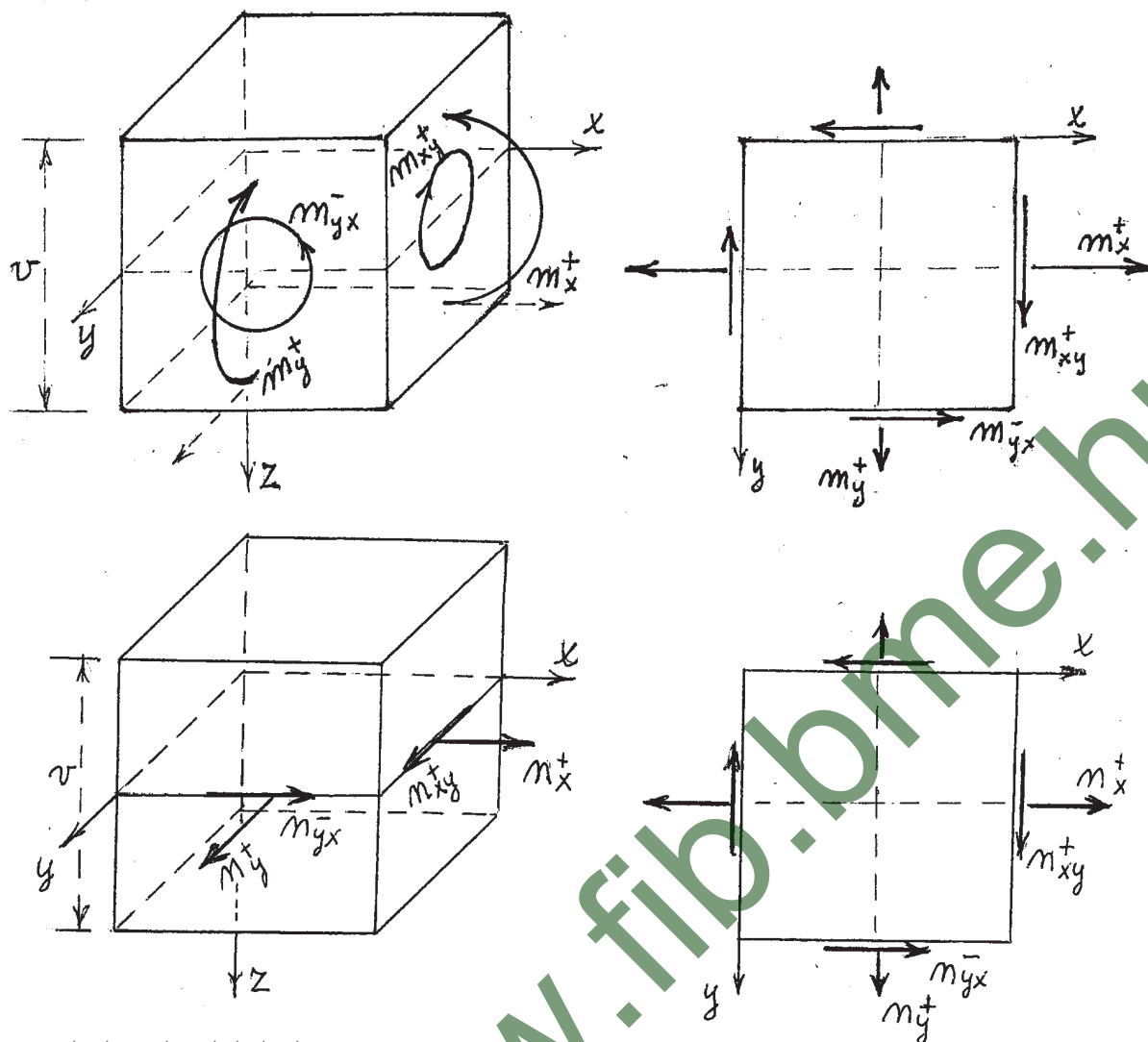
$$\left. \begin{aligned} \bar{n}_\xi &= +574 - \frac{221^2}{203} = +333 \text{ kN/m} \\ \bar{n}_\eta &= 0 \end{aligned} \right\} < 777 \text{ kN/m, elégtelen megoldás}$$

η)

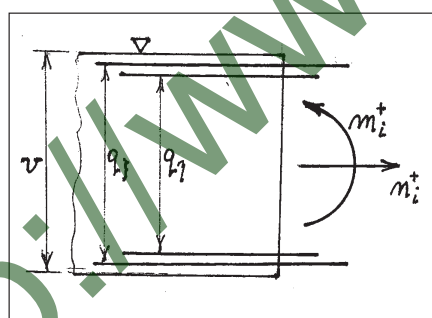
$$\left. \begin{aligned} \bar{n}_\xi &= 0 \\ \bar{n}_\eta &= \frac{574 \cdot 203 - 221^2}{+574 \cdot 0,933 + 203 \cdot 0,067 - 221 \cdot 0,5} = +154 \text{ kN/m} \end{aligned} \right\} < 777 \text{ kN/m, elégtelen megoldás.}$$

Felső réteg:

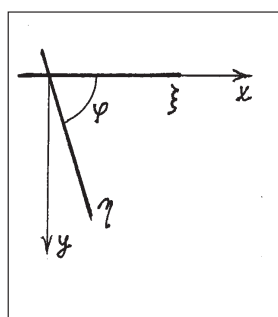
$$\left. \begin{aligned} \bar{n}_\xi &= +226 + 3 \cdot 0,206 + 79 \cdot 0,499 = +266 \text{ kN/m} \\ \bar{n}_\eta &= -3 \cdot 0,794 + 79 \cdot 1,035 = +79 \text{ kN/m} \end{aligned} \right\} > 223 \text{ kN/m, érvényes megoldás.}$$



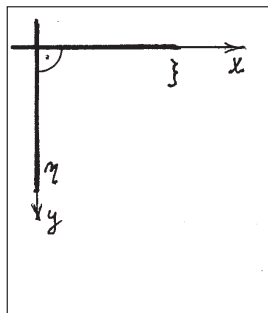
1. ábra: A hég igénybevételei és ábrázolásuk



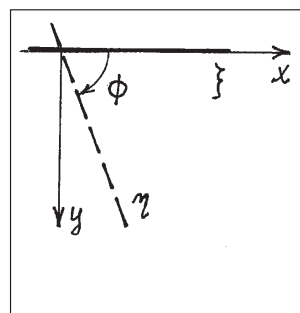
2. ábra: A hég keresztmetszeti adatai



3. ábra: Ferde szögű acélbetétek

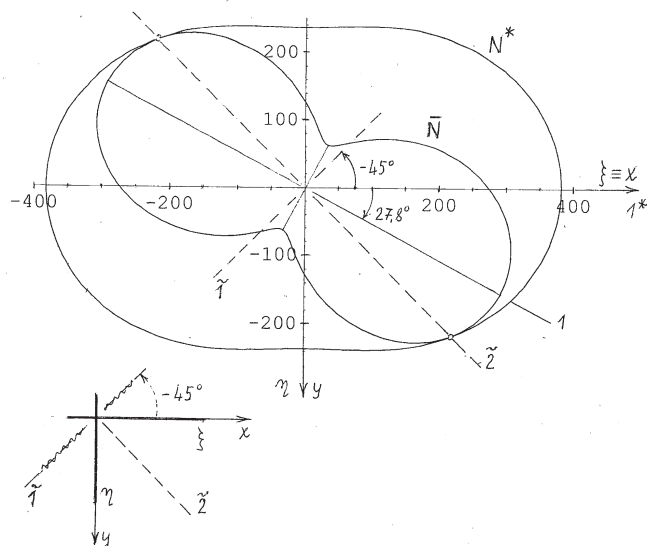


4. ábra: Derékszögű acélbetétek

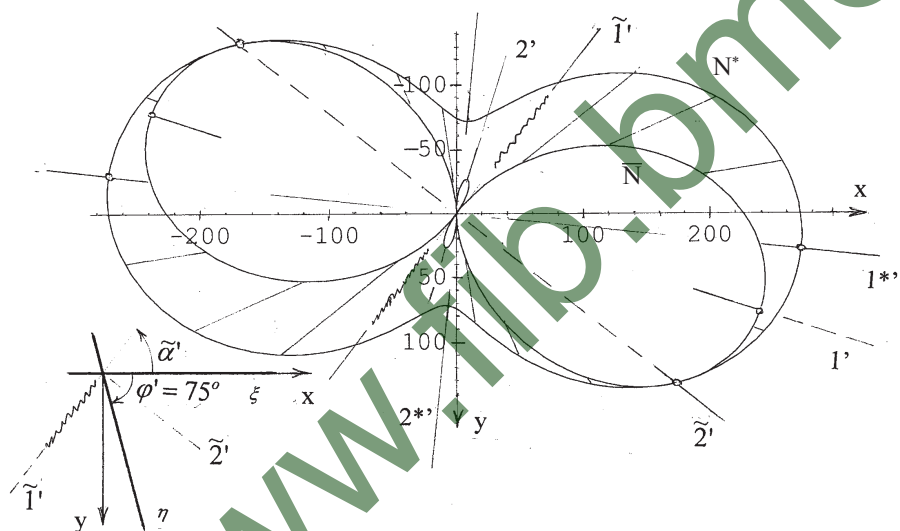


5. ábra: Konjugált irányú acélbetétek

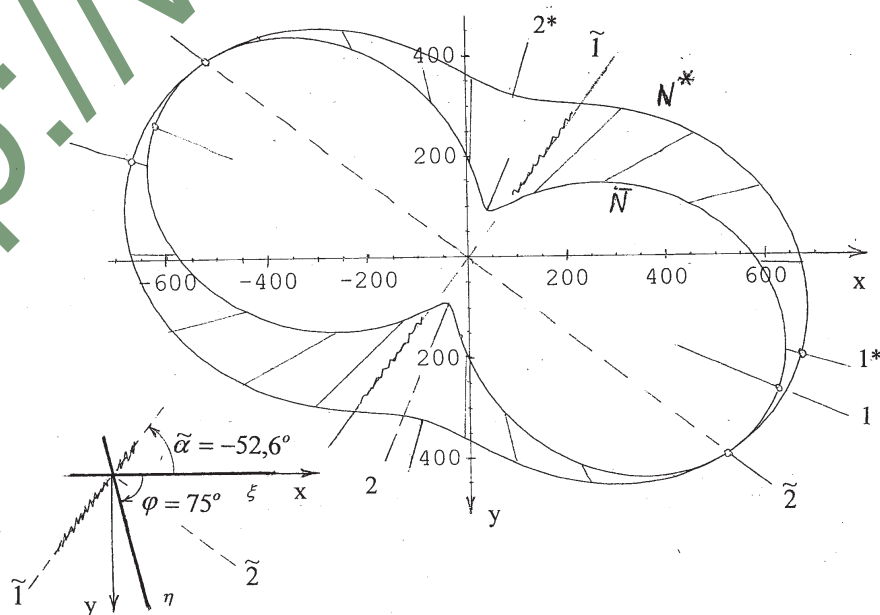
6. ábra: I. példa polárgörbéi



7. ábra: II. példa, felső rétegerők polárgörbéi



8. ábra: II. példa, alsó rétegerők polárgörbéi



$$b) \left. \begin{aligned} \bar{n}_\xi &= +226 - 3 \cdot 0,349 - 79 \cdot 1,571 = +101 \text{ kN/m} \\ \bar{n}_\eta &= -3 \cdot 1,349 - 79 \cdot 1,035 = -86 \text{ kN/m} \end{aligned} \right\} (\pm) \text{ érvénytelen}$$

$$\xi) \left. \begin{aligned} \bar{n}_\xi &= +226 - \frac{79^2}{-3} = 2306 \text{ kN/m} \\ \bar{n}_\eta &= 0 \end{aligned} \right\} \text{ gazdaságtalan}$$

$$\eta) \left. \begin{aligned} \bar{n}_\xi &= 0 \\ \bar{n}_\eta &= \frac{+226 \cdot (-3) - 79^2}{+226 \cdot 0,933 - 3 \cdot 0,067 - 79 \cdot 0,5} = -40 \text{ kN/m} \end{aligned} \right\} \text{ nyomás, érvénytelen}$$

Az érvényes megoldásokból kiszámíthatjuk a szükséges acélkeresztmetszeteket, figyelembe véve, hogy az acél határ-feszültsége $\sigma_{aH} = 350 \text{ MPa} = 0,35 \text{ kN/mm}^2$.

Alsó acélháló:

$$A_\xi = \frac{642}{0,35} = 1834 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$A_\eta = \frac{390}{0,35} = 1114 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Felső acélháló:

$$A_\xi = \frac{266}{0,35} = 760 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

$$A_\eta = \frac{79}{0,35} = 226 \text{ mm}^2 / \text{m}$$

Ezzel a vizsgált pontban az acélháló méretezését elvégeztük, a továbbiakban ellenőrzésekre kerül sor. A törő rétegerők (teherbírás) vizsgálatakor induljunk ki a kiszámított keresztmetszeti adatokból, nem számolva fölkerekítéssel. Ekkor az optimális méretezéssel nyert értékekkel kell számolnunk:

Alsó rétegben: Felső rétegben:

$$n_\xi^* = 642 \text{ kN/m} \quad n_\xi^* = 266 \text{ kN/m}$$

$$n_\eta^* = 390 \text{ kN/m} \quad n_\eta^* = 79 \text{ kN/m}$$

Most számítsuk ki a törő-rétegerők tenzorának a derékszögű komponenseit.

Alsó réteg:

$$n_x^* = +642 + 390 \cdot \cos^2 75^\circ = +668 \text{ kN/m}$$

$$n_y^* = +390 \cdot \sin^2 75^\circ = +364 \text{ kN/m}$$

$$n_{xy}^* = +390 \cdot \sin 75^\circ \cdot \cos 75^\circ = +98 \text{ kN/m}$$

Felső réteg:

$$n_x^* = +266 + 79 \cdot \cos^2 75^\circ = +271 \text{ kN/m}$$

$$n_y^* = +79 \cdot \sin^2 75^\circ = +74 \text{ kN/m}$$

$$n_{xy}^* = +79 \cdot \sin 75^\circ \cdot \cos 75^\circ = +20 \text{ kN/m}$$

Számítsuk ki a tartaléki rétegerőket a törő és az igénybevételei rétegerők különbségeként.

Alsó réteg:

$$\bar{n}_x = +668 - 574 = +94 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_y = +364 - 203 = +161 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_{xy} = +98 - 221 = -123 \text{ kN/m}$$

Felső réteg:

$$\bar{n}_x = +271 - 226 = +45 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_y = +74 + 3 = +77 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_{xy} = +20 - 79 = -59 \text{ kN/m}$$

Ellenőrizzük a törést a Gvozgyev-féle törési feltétel szerint:

$$\text{Alsó réteg: } 94 \cdot 161 - (-123)^2 = 15134 - 15129 = +5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Felső réteg: } 45 \cdot 77 - (-59)^2 = 3465 - 3481 = -16 \text{ kN/m}$$

A törési feltétel teljesültnek tekinthető, csak kerekítési hiba mutatkozik. Számítsuk ki a tartaléki tenzorok főértékeit és főirányait is:

Alsó réteg:

$$\bar{n}_{1,2} = \frac{94 + 161}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{94 - 161}{2}\right)^2 + 123^2} = 127,5 \pm 127,5 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_1 = +255 \text{ kN/m}, \quad \bar{n}_2 = 0.$$

Felső réteg:

$$\bar{n}_{1,2} = \frac{45 + 77}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{45 - 77}{2}\right)^2 + (-59)^2} = +61 \pm 61,1 \text{ kN/m}$$

$$\bar{n}_1 = 122 \text{ kN/m}, \quad \bar{n}_2 = -0,1 \text{ kN/m}.$$

A törési feltétel így is igazolható: $\bar{n}_2 = 0$ és $\bar{n}_2' \approx 0$.

Meghatározhatjuk a törésvonalak irányát is:

Alsó réteg:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\bar{n}_1 - \bar{n}_x}{\bar{n}_{xy}} = \frac{255 - 94}{-123} = -1,309$$

$$\alpha = -52,6^\circ.$$

Felső réteg:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\bar{n}_1 - \bar{n}_x}{\bar{n}_{xy}} = \frac{122 - 45}{-59} = -1,305$$

$$\alpha' = -52,5^\circ.$$

Az ábrázolás céljából kiszámítottuk még az alábbi megnyitásokat.

Alsó igénybevételei rétegerők főértékei és főiránya:

$$\bar{n}_1 = 677 \text{ kN/m}, \quad \bar{n}_2 = 100 \text{ kN/m}, \quad \alpha_1 = 25^\circ = 0,4661 \text{ rad}$$

Felső igénybevételei rétegerők főértékei és főiránya:

$$\bar{n}_1 = 250,6 \text{ kN/m}, \quad \bar{n}_2 = -27,6 \text{ kN/m}, \quad \alpha_1 = 17,3^\circ = 0,3019 \text{ rad}$$

Alsó törő rétegerők főértékei és főiránya:

$$n_1^* = 697 \text{ kN/m}, \quad n_2^* = 335 \text{ kN/m}, \quad \alpha_1^* = 16,5^\circ = 0,2877 \text{ rad}$$

Felső törő rétegerők főértékei és főiránya:

$$n_1^* = 273 \text{ kN/m} \quad n_2^* = 72 \text{ kN/m} \quad \alpha_1^* = 5,7^\circ = 0,0997 \text{ rad.}$$

A 8. ábrán megrajzoltuk az alsó rétegerők polárgörbét. Az N igénybevételi tenzor egyenlete:

$$\bar{n}(\alpha) = 677 \cos^2(\alpha - 0,4661) + 100 \sin^2(\alpha - 0,4661)$$

Az alsó törőerők egyenlete:

$$n^*(\alpha) = 697 \cos^2(\alpha - 0,2877) + 335 \sin^2(\alpha - 0,2877).$$

A törőerők minden irányban nagyobbak az igénybevételi erőknél, kivéve a $\bar{z}$ tartaléki főirányt, ebben az irányban nincs tartalék, a két görbe érinti egymást. Erre merőlegesen alakul ki a törésvonal, az $\bar{\alpha} = -52,6^\circ$ irányban, amit a mel-lékábrán be is jelöltünk.

A 7. ábrán a felső rétegerők polárgörbét rajzoltuk meg. Az igénybevételi rétegerők egyenlete:

$$\bar{n}(\alpha) = 250,6 \cos^2(\alpha - 0,3019) + 27,6 \sin^2(\alpha - 0,3019) .$$

A felső törő rétegerők egyenlete:

$$n^*(\alpha) = 273 \cos^2(\alpha - 0,0997) + 72 \sin^2(\alpha - 0,0997) .$$

A két polárgörbe érintkezési pontja, amely a $\bar{z}$ tartaléki irányban van, kijelöli azt az irányt, amelyben nincs tartalék, tehát a törés határhelyzete áll fenn. Erre az irányra merőleges a törésvonal helyzete.

6. AZ ACÉLBETÉTEKRE VETT NYOMATÉK MÓDSZERE

A külpontosan nyomott vasbeton oszlopok méretezésére szolgáló ismert módszer alap gondolatát, miszerint a húzott vasakra vett nyomaték fogalmát használjuk fel a számítás során, itt is alkalmazhatjuk a hajlított vasbeton héjszerkezetek vasalásának méretezésénél. Héjak esetében mind az alsó, mind a felső vasakra ki kell számítani a nyomatékokat, és persze mindkét eset kétdimenziós feladat abban az értelemben, hogy a nyomatékok kétdimenziós tenzorok.

Több példát kidolgozva a vasakra vett nyomatékok módszerével is és a réteg-módszer szerint is, azt lehetett megállapítani, hogy mindkét módszer azonos eredményre vezet.

A réteg-módszer azonban kevesebb számítási munkával jár, ezért ezt célszerű alkalmazni.

7. JELÖLÉSEK

n_i, m_i a héj igénybevételai (x, y, xy)

$\bar{n}_x, \bar{n}_y, \bar{n}_{xy}$ igénybevételi rétegerők

$\bar{n}_\xi, \bar{n}_\eta$ méretezési rétegerők

n_x^*, n_y^*, n_{xy}^* törő rétegerők

$\bar{n}_x, \bar{n}_y, \bar{n}_{xy}$ tartaléki rétegerők

$\bar{N}$: igénybevételi rétegerők tenzorának polárgörbéje

N^* : törő rétegerők tenzorának polárgörbéje

1,2: igénybevételi rétegerők főtengelyei

1*, 2*: törő rétegerők főtengelyei

$\bar{1}, \bar{2}$: tartaléki rétegerők főtengelyei

$\bar{\alpha}$: törésvonal irányszöge

ξ, η : acélbetétek iránya ($\xi \equiv x$)

φ : acélbetétek által bezárt szög

A fenti jelölések az alsó rétegerőkre vonatkoznak. A felső rétegerőkre vonatkozó ugyanezen mennyiségek jeleit dőlt betűvel különböztetjük meg.

8. HIVATKOZÁSOK

- Németh F. (1968), „Ferde vasalású vasbeton lemez méretezése adott pontban elliptikus hajlítással”, *Építés és Közlekedéstudományi Közlemények*, XII. /3-4. pp. 379-394.
- Németh, F. (1978/1), „Optimum Design of Reinforced Concrete Slabs Subjected to Biaxial Moments of Like Sign”, *Acta Technica Hung.* 87. Fasc. 3-4.
- Németh F. (1978/2), „Design of Steel Bars of Reinforced Concrete Slabs”. IASS Symposium, Darmstadt. *Nonlinear Behaviour of Reinforced Concrete Spatial Structures*. Werner-Verlag Düsseldorf. Volume 1. pp. 177-188.
- Németh F. (1978/3), „Ortotrop vasbeton lemezek folyási feltételeiről”. *Építés és Építéstudomány* X. 1-2. pp. 3-9.
- Németh F. (1979), „Optimum Design of Steel Bars in Reinforced Concrete Slabs with Skew Reinforcement” *Problemy Dynamiki Konstrukcji*, Szimpozium, Rzeszów, pp. 415-435.
- Németh F. (1981), „Some Methods of Tensor Representation and Construction” *Periodica Politechnica CE* 25/3-4. pp. 191-200.
- Németh F. (1998), „Útősfeszítéssel megerősített ferde vasbeton lemez híd méretezési képletei”, *Közúti Közlekedés- és Műépítéstudományi Szemle*. XLVIII.2. pp. 70-72
- Németh F. (2001), „Vasbeton lemezek acélbetéteinek optimális méretezése, és az Eurocode szerinti méretezés összehasonlítása”. *Vasbetonépítés*, III. évfolyam 4. szám. pp. 107-114.
- Németh F. (2004), „Szilárdságtani tenzorok síkgörbéi”, *Alkalmazott Matematikai Lapok* 21. pp. 291-300.
- Gvozgyev, A. A. (1949), „Metod pregyelnovo ravnoveszja v primenyi k paszcsotu zselezoveonüh konsztrukcii” *Inzsenyernij zbornik* t. V. vü. 2.-
- Gvozgyev, A. A. (1966), „Ortotrop közegek és hajlított vasbeton lemezek határfeltételeinek (folyási feltételeinek) kérdései”. *Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Tudományos Közleményei*. XII. 5.
- Lenkei P. (1966), „Törési határfeltételek vizsgálata vasbeton lemezek törésvonalai mentén”, *ÉTI Tudományos Közlemények* 55.
- Lenkei P. (1967), „Discussion on Articles Published by Prof. Save, Massonet and Janas”, *Magazine of Concrete Research*: Vol. 19, No.61. December.
- Cadenas, A., Sozen. M. A. (1968) „Strength and Behavior of Isotropically and Nonisotropically Reinforced Concrete Slabs Subjected to Combinations of Flexural and Torsional Moments”. *University of Illinois*

BESZÁMOLÓ A VASBETONÉPÍTÉS KÖZÉP-EURÓPAI KONGRESSZUSÁRÓL 2007. SZEPT. 17-18., VISEGRÁD

Abban a megtiszteltetésben részesültünk, hogy a

CENTRAL EUROPEAN CONGRESS ON CONCRETE ENGINEERING

magyarul

A KÖZÉP-EURÓPAI VASBETONÉPÍTÉS KONGRESSZUSA

szervezési jogát Magyarország kapta meg.

A kongresszus fő szervezője
a **fib** Magyar Tagozata volt.



A kongresszus társszervezői voltak:

a Magyar Betonszövetség



és a Magyar Betonelemgyártók Szövetsége



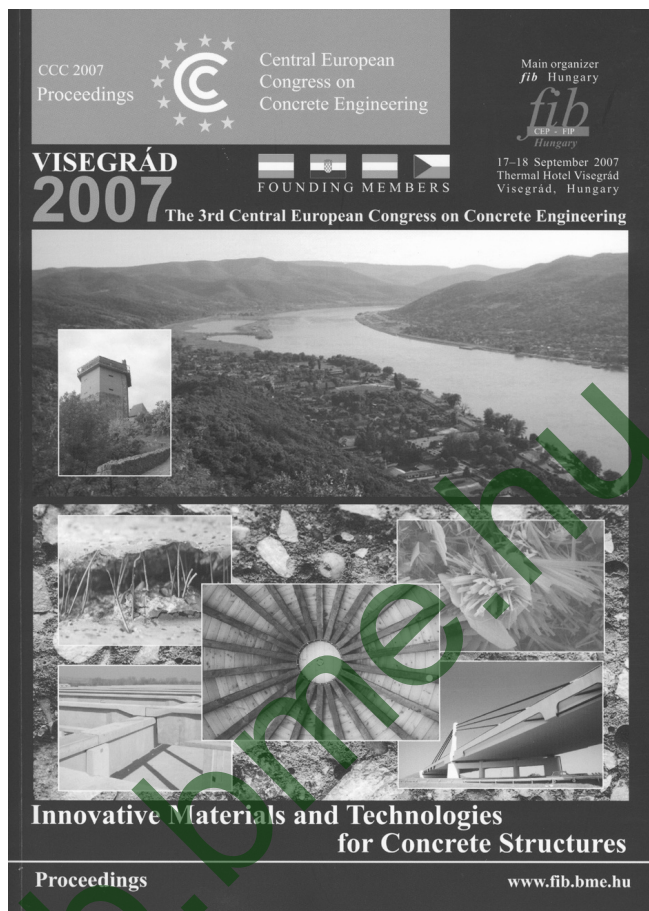
A kongresszus főcíméül választottuk:

„ÚJ ANYAGOK ÉS TECHNOLÓGIÁK A VASBETONÉPÍTÉSBEN”

címet. Témakörei voltak:

1. Igények szerint készülő beton:

- környezeti elvárásokkal kompatibilis cementek,
- új fajta adalékanyagok,
- nagy teljesítőképességű adalékszerkezetek,
- nagy szilárdságú és nagy teljesítőképességű betonok,
- szálerősítésű beton,
- könnyűbetonok,
- alkalmazások.



2. Új típusú feszített és nem feszített betétek és a hozzájuk tartozó technológiák:

- fém és nem fém anyagú betétek,
- belsőleg, ill. külsőleg alkalmazható betétek,
- alkalmazások.

3. Fejlett gyártási és építési technológiák:

- magas követelményeket kielégítő vasbetonszerkezetek,
- előregyártás,
- alkalmazások.

A Kongresszusnak 251 regisztrált résztvevője volt 19 országból. A gazdag szakmai program vonzotta a kollégákat, mind a kivitelezés, mind a tervezés, mind pedig az anyaggyártás oldaláról.

A kongresszust szakmai kiállítás is gazdagította a következő cégek termékeivel: NRS AS-OVM China, **fib** Magyar Tagozata, Centre for Promotion of Steel Quality (Poland), Novia Kft. – Saint Gobain Speciality Reinforcement (Spain), Holcim



Hungária Zrt., BASF, Magyar Betonszövetség – Magyar Betonelemgyártó Szövetség, CSC Jäklekémia Magyarország Kft. és Sika Hungária Kft.

Ezúton is szeretnénk megköszönni a következö cégek támogatását, ami óriási segítség volt a kongresszus lebonyolítatóságához: Hidépítő Zrt., Duna-Dráva Cement Kft., Holcim Hungária Zrt., Pont-Terv Zrt., Céh Kft., ÉMI-TÜV SÜD Kft., Vegyész Zrt., Lábatlani Vasbetonipari Zrt., CSC Jäklekémia Magyarország Kft., SW Umweltechnik Magyarország Kft., Hídtechnika Kft., Sika Hungária Kft. és Uvater Zrt.

Az előadások nyomtatott változatai 525 oldalas konferencia kiadványban jelentek meg, ami megrendelhető a következö címen: fib@eik.bme.hu.

Mellékelt képek ízelítöt adnak a konferencia hangulatából. Úgy gondoljuk, hogy a konferencia kiváló lehetőséget biztosított a szomszédos országok mérnökei széleskörű eszmecseréjéhez.

A konferenciasorozat következö rendezvénye:

2007. okt. 2-3-án Opatijában (Horvátország)

Concrete Engineering in Urban Development

címmel kerül megrendezésre. A 2008. évi kongresszus honlapja: www.grad.hr/4ccc.

Jövö évben is várjuk szeretettel kollégáinkat.

Dr. Balázs L. György
a *fib* Magyar Tagozat elnöke
CCC2007 Tudományos Bizottság elnöke



EGYÜTTMŰKÖDÉSI KERETMEGÁLLAPODÁS A BME ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR ÉS KIEMELTEN FONTOS IPARI PARTNEREI KÖZÖTT

2007. október 11-én az immáron 8. alkalommal megrendezésre került *Építőmérnöki Szakmai Hét* méltó lezárásaként, a Nemzeti Színház teraszán, állófogadással egybekötött ünnepség keretében került sor a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kara, valamint kiemelten fontos ipari partnerei közötti *Együttműködési Kertmegállapodás* aláírására.

Az aláíró cégek hazánk gazdasági élvonalában álló ipari nagyvállalatok: az Állami Autópálya Kezelő Zrt., a Betonút Szolgáltató és Építő Zrt., a COLAS Hungária Kft., a Duna menti Regionális Vízmű Zrt., a Főmterv Mérnöki Tervező Zrt., a Hidépítő Zrt., a Holcim Hungária Zrt., a Lindab Építőipari Kft., a Mahid 2000 Zrt., a MOTA-ENGIL Magyarország Zrt., a STRABAG Építő Zrt., a Vegyész Zrt., a Víz- és Csatornaművek Koncessziós Zrt. és a Wienerberger Téglaiipari Zrt.

A Kertmegállapodás célja az Építőmérnöki Kar és az ipari partnerek között már meglévő – különböző tartalmú és formájú – együttműködési formák hatékonyságának foko-

zása, illetve a még kihasználatlan lehetőségek kiaknázása. Az átfogó együttműködés kiterjed az oktatásra, a kutatásra, az egyetemi infrastruktúra fejlesztésére, valamint hallgatói rendezvények támogatására, illetve hogy ezen területekhez kapcsolódó tevékenységek terén az egymástól kölcsönösen igényelt ismereteket, módszereket és szolgáltatásokat a másik fél számára biztosítsák.

A Kertmegállapodás lehetővé teszi, hogy az ipari partner és a kar tanszékei a későbbiekben – kétoldali szerződésekben – együttesen határozzák meg az együttműködés konkrét területeit és feltételeit.

A Keretmegállapodáshoz további ipari partnerek csatlakozását várja a Kar, amelyre hivatalos formában az évente megrendezésre kerülő *Építőmérnöki Szakmai Hét* keretében lesz lehetőség.

Dr. Lovas Antal
a BME Építőmérnöki Kar dékánja

KIRÁLYFÖLDI LAJOSNÉ SÁROSI ANTÓNIA KÖSZÖNTÉSE



Született Budapesten, 1932. november 3-án. Érettségi vizsgát tett 1951-ben az Evangélikus Leánygimnáziumban. Mérnöki oklevelet 1961-ben, vasbeton szakmérnöki oklevelet 1974-ben szerzett. Nyelvvizsgát tett angol nyelvből 1967-ben.

1950-ben az ÁMTI műszaki rajzolóinak alkalmazta a hírodán. 1953-tól az Uvater-terv-ben technikusként, 1961-től tervező mérnökként dolgozott. Irányító tervezői kinevezését 1968-ban kapta. 1990-ben nyugdíjazták. 1990-2000 között a Közlekedési Főfelügyelet Közúti Felügyelet Hídosztályán dolgozott. 1995-től a Civilplan Kft. alkalmazza.

1972-1977-ig a SZIKM Főiskolán gyakorlatvezető, 1977-1990-ig a BME Vasbetonszerkezetek tanszékén gyakorlatve-

zető, majd 1990-2007 között idegennyelvű oktatásban vett részt. 1994-ben alapítványt tesz az utolsó éves mérnökhallgatók javára. 2003-ban tiszteletbeli docensi kinevezést kap.

A KTE Mérnöki Szerkezetek tagja 1953-tól, vezetőségi tag 1971-től, örökös tag 2003-tól. A Mérnöki Kamara tagja 1988-tól, a **fib** magyarországi szervezetének 1994-től.

Tervezői munkái: részfeladatok nagy hidak tervezésében és önálló tervezés kisnyílású közúti és vasúti hidak esetében, majd részt vett az M7, M1 és M0 autópályahidak tervezésében. Fő érdeklődési területe: vasbeton lemezhidak, vasbeton keretek és előfeszített, előregyártott vasbeton gerendák beépítése. Az Uvater alkalmazottjaként több kitüntetést kapott, legmagasabb a Jáky-díj volt. Művezetéssel bízták meg 1959-ben a kazincbarcikai Sajóhídon; a záhonyi Tiszahíd fenntartási munkáit 1972-1987 között irányította.

DR. KNEBEL JENŐ 80 ÉVES



1927. szeptember 1-én született Budapesten. A budapesti Kegyesitanitőrendi gimnáziumban érettségizett 1945-ben. Mérnöki oklevelét 1949-ben szerezte meg a Budapesti Műszaki Egyetem mérnöki karán. 1974-ben lett egyetemi doktor, 1977-ben címzetes egyetemi docens.

Mérnöki pályáját 1949-ben kezdte el az Állami Mélyépítéstudományi és Tervező Intézetnél, majd e vállalat jogutódjainál, a Mélyépterv és az Uvater híd irodáján folytatta. Végigjárta a tervezői ranglétra minden fokát, volt tervező mérnök, irányító tervező, szakosztályvezető, osztályvezető, irodavezető helyettes és szakfőmérnök. 1996-ban ment nyugdíjba. 1997 óta a Pont-TERV Zrt-nél mint főtanácsadó dolgozik.

Közel hat évtizedes mérnöki pályája alatt számos hazai és külföldi híd tervezésében vett részt. A hazai Duna-hidak közül a bajai, dunaföldvári, szekszárdi, hárosi, lágymányosi, az Erzsébet, Árpád és az esztergomi híd sorolható fel. A Tisza-hidak között a kisari, záhonyi, tokaji, polgári, szolnoki, tiszauzi és a szegedi híd szerepel. Közreműködött a győri sétatéri hidak, a barcsi Dráva-híd és a köröshgyi völgyhíd tervezésében. A

külföldi munkák közül a pozsonyi Duna-híd, a Jugoszláviába tervezett bácskapalánkai, zombori, smederevoi és újvidéki Duna-hidak a jelentősebbek. Athénbe közúti felüljárót, Vietnámba közúti-vasúti hidat tervezett. Egyiptomban a Heluáni Nílus híd és a kairói Gamal-híd tervezésében vett részt. Több ajánlati tervet készített a Német Demokratikus Köztársaságba, Egyiptomba, Törökországba és Ecuadorba.

A Budapesti Műszaki Egyetem oktatói munkájában több évtizeden keresztül mint gyakorlatvezető vett részt.

◆ Több előadást tartott a Mérnöki Továbbképző Intézetben és Acélszerkezeti anketeken. Számos szakcikket írt műszaki folyóiratokba. A Mérnöki kézikönyv 2. kötetének társszerzője.

A Mérnöki Kamara Tartószerkezeti Szakosztályának elnökhelyettese volt 2001-ig.

Sikeresen vett részt számos országos tervpályázaton. A fontosabbak: Csongrádi Tisza-híd, Bajai Duna-híd, M0 Déli Duna-híd, Lágymányosi híd, EXPO gyaloghíd, Galvani úti híd.

Szakmai munkásságát rangos kitüntetésekkel ismerték el. A jelentősebbek: 1964 – Munka Érdemrend bronz fokozat, 1986 – Eötvös Loránd díj, 1997 – Széchenyi díj, 1999 – Aranydiploma, 2005 – Az év hidásza.

DR. TRÄGER HERBERT 80 ÉVES



A XX. század második fele nagyhírű hazai hídmérnök-nemzedékének kiváló személyisége 1927. szeptember 16-án született Budapesten. Egyetemi évfolyamának kiváló tagja volt, 1949-ben a BME Mérnöki Karán jeles minőségű oklevelet szerzett. Már hallgató korában demonstrátor volt Korányi Imre professzor mellett. Az Állami Mélyépítéstudományi és Tervező Intézetnél, majd a Közúti Hídberuházási Vállalatnál dolgozott. Már 1950-ben a Közlekedési És Postaügyi Minisztérium Közúti Hídosztályára került, amelyet (beleértve annak jogutódait) gazdag életpályája során híven szolgált, s teszi ezt töretlenül napjainkban is.

Az évtizedek során sokrétű feladatai voltak. Nagyszámú híd tervének ellenőrzését végezte, szervezte és vezette a próbaterheléseket. Jelentős munkái között voltak a 6. sz. főút és a Keleti Főcsatorna hídjaival, a sárospataki Bodrog-híddal, a tokaji Tisza-híddal és más jelentős létesítményekkel kapcsolatos hatósági feladatok ellátása. Másodállásban a Mélyépítési Tervező Vállalatnál dolgozott.

Központi irányítója volt a szolnoki Tisza-híd (egyúttal az ártéri nyílások) építésének és más jelentős munkáknak.

1956-ban nevezték ki főmérnökké, 1964-től volt csoportvezető, közben osztályvezető-helyettesi megbízást is kapott. 1973-tól volt a Hídosztály vezetője. Ez a megbízatás az igényes feladatok mellett kitüntető rangot is jelent, ha arra gondolunk, hogy milyen kiválóságok töltötték be korábban ezt a tisztséget.

Munkaköréhez tartoztak a fővárosi hidakkal összefüggő minisztériális feladatok. Jelentős szerepe volt a Duna-hidak, így az Erzsébet-híd újjáépítésében és az Árpád-híd szélesítésében is. Az 1983. évi átszervezéstől 1988-ig mint minisztériumi főtanácsos maga látta el a hídfelügyelet munkáit. 1988 óta de jure nyugdíjas, de munkáját szakértőként megszakítás nélkül folytatja, napjainkban a Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központban.

E rövid sorokkal nehéz rávilágítani arra, hogy Träger Herbert a teljes magyar közúti hídállomány alapos ismerője, túl azon a rendkívül nagy számú szerkezeten, amelyhez közvetlen, személyes munkája fűzi.

A kitünő hidász tevékenysége túlmutat mindenkori hivatali feladatai körén.

Munkájához kapcsolódott a hídszabályzatok fejlesztésében való részvétel, a Transzeurópai Észak-Déli Autópálya számára készített szabályzattervezet, tervpályázatok kiírásában, elbírálásában való részvétel, hidakkal kapcsolatos sok hazai rendezvény szervezése.

A nagy tudású szakember folyamatosan szélesítette ismereteit. 1968-ban kitüntetéses gazdasági mérnöki oklevelet szerzett, 1970-ben a BME műszaki doktorrá avatta. Önképzésében segítette anyanyelvi szintű német és felsőfokú angol nyelvtudása, amelyek mellett oroszul és franciául is olvas. Nyelvismeretével gyakran segítette a magyar és nemzetközi mérnöktársadalmat is.

Tudását mindig készséggel osztotta meg a fiatalokkal, a magyar és külföldi pályatársakkal. Segítette a technikai oktatást, hosszú időn át látott el oktatási feladatokat a KTMF keretében és a BME szakmérnöki tanfolyamain, a BME c. egyetemi docense.

Publikációs tevékenysége kiterjed a hazai és külföldi szakfolyóiratokra, konferenciák kiadványaira. Nagyon értékes a Palotás László és Medved Gábor társszerzőjeként írt könyv.

Sokrétű az a munka, amit hazai és nemzetközi szakmai tudományos egyesületekben végzett. Számos külföldi kiküldetése során a FIP és az IVBH rendezvényein vállalt szerepet. 2000 óta a magyar IVBH csoport elnöke, ilyen minőségben házigazdája volt a 2006. évi budapesti szimpóziumnak.

Többször részesült elismerésben, ezek között volt a Munka Érdemérem, a Munka Érdemrend ezüst fokozata, a KTE Jáký emlékérmé és a BME által adományozott aranydiploma. (Balázs, Borosnyói, Tóth, 2007).

Dr. Träger Herbert jubiláris születésnapja alkalmából az UKIG bensőséges ünnepséget szervezett. A jelenlevők hangulata megmutatta, hogy mily megbecsülés és barátság övezi az ünnepeltet. E sorok íróit is érte az a megtiszteltetés, hogy jelen lehettünk a köszöntésnél, s írhattunk egy-egy cikket az UKIG jubileumi kiadványába. Néhány oldalon is nehéz volt átfogóan szólni dr. Träger Herbert példás jelleméről, ifjú korában megmutatókozó tehetségéről és gazdag pályafutásáról. Ezért e helyen csak rövid idézeteket tudunk átültetni a mi folyóiratunkba.

Dr. Träger Herbert 2005. óta látja el a *Vasbetonépítés* magyar nyelvű és a *Concrete Structures* angol nyelvű folyóirat szerkesztői feladatait, egy személyben tekinthető a folyóirat szakmai ellenőrének, nyelvi lektorának, szakmai szerkesztőjének és tördelő szerkesztőjének. Fantasztikus precizitással törekszik a megfelelő szakkifejezések használatára és a nyelvi szabályok betartására. Alapossága révén elérhetővé vált, hogy a legritkábban használt kifejezések is megfelelő formában és a szöveggörnyezettel összehangoltan jelenjenek meg. Hozzásegítette a folyóiratot, hogy az első ránézésre elfogadható, de alapos elemzés után pontatlannak bizonyult mondatok megjelenés előtt mindig kijavításra kerüljenek (Balázs, 2007).

(Az 1945-ben beiratkozott mérnökhallgatókról szólva). A valóban sok kiemelkedő tehetséget számláló évfolyam hallgatói között volt egy társunk, aki két fontos mérnöki tulajdonság tekintetében elismerten első volt. Träger Herbert neve összeforrt a pontosság és gyorsaság fogalmával. Az építőmérnöki szakterület minden ágát kiválóan tanulta, mindemellett különös vonzalmat érzett a hidak iránt. Ezt a környezetben sokan látták, s szinte érezték, mennyire predesztinált Herbert a hidász mérnöki életpályára.

Dr. Träger Herbert tevékenysége oly szorosan kötődik szakterületéhez, hogy neve – költői kifejezéssel élve – szinte szinonimája a magyar közúti hidak szerepének és jelentőségének. Munkája eredményei nélkül szegényebb lenne a magyar közúti hídállomány, sok (építőipari) eljárás első alkalmazása hidakhoz fűződik, s nagy részük elterjedt az építés más ágában is. Träger Herbert igen sok esetben ott volt az újszerű megoldások hazai alkalmazásánál. Irányítási, szervezési tevékenységével, meghatározó mértékben járult hozzá a szakmai-tudományos fejlődés közúti hídépítésünkben való alkalmazásához (Tassi, 2007).

A *fiók* Magyar Tagozata, a *Vasbetonépítés* szerkesztősége őszinte nagyrabecsüléssel üdvözlözi az ünnepeltet. Köszönjük mindazt, amit a magyar hídépítés fejlesztése, a műszaki kultúra terjesztése, ennek során egyesületünk és folyóiratunk érdekében tett, és tesz. Szívvel kívánjuk, hogy hosszú ideig, jó egészséggben folytassa kedvére való munkáját mindannyiunk javára és örömére.

Dr. Balázs L. György – Dr. Tassi Géza

HIVATKOZÁSOK

Balázs Gy., Borosnyói A., Tóth E. (2007): „*Műgyetemen végzett építőmérnökök és munkásságuk 1943-1951*”. Műgyetemi Kiadó, Budapest, 2007.

Balázs L. Gy. (2007): „Dr. Träger Herbert a Vasbetonépítés folyóirat szerkesztője” *Köszöntés dr. Träger Herbert 80. születésnapja alkalmából*, Lánchíd Füzetek, Szerk: Tóth E., Hajós B. Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ, Budapest, pp. 51-52.

Tassi G. (2007): „A hidak szerepe és jelentősége dr. Träger Herbert munkássága tükrében”. *Köszöntés dr. Träger Herbert 80. születésnapja alkalmából*, Lánchíd Füzetek, Szerk.: Tóth E., Hajós B. Közlekedésfejlesztési Koordinációs Központ, Budapest, pp. 160-162.