

A *fib* Magyar Tagozata Palotás László-díjasának írása

Spránitz Ferenc

<https://doi.org/10.32969/VB.2025.1.3>

KÖSZÖNET

Köszönöm a kimagasló mérnök-szakmai kitüntetést a tisztelt Kuratóriumnak, Dr. Balázs L. György professzornak és a díjat személyesen átadó Dr. Ing. László M. Palotás, Ph.D. professzornak. Mivel szeretem a munkámat, ezért mindig értelmét láttam és örömet leltem a különféle termékek, szerkezetek gazdaságos megvalósításában való közreműködésnek. Köszönöm minden tanáromnak és munkatársamnak, hogy tanulhattam tőlük. Köszönöm az alkotó és oktató munkára kapott lehetőséget a munkahelyeimtől és a nyugodt, segítő háttérrel a családomtól.

Gratulálok egyben Dubrovsky Gábornak, akivel közösen kaptuk a 2024. évi Palotás-díjat. Évtizedek óta ismerem Gábort, akinek élete szinte egyet jelent a vasbeton szerkezetek gyártásával, új technológiák fejlesztésével.

1. BEVEZETÉS

Az építőiparhoz való vonzódásomat valószínűleg meghatározta édesapám unokatestvére, Spránitz Tibor építészmérnök, akire büszke voltam, mert 5 évig a Műegyetemen tanított, majd hazahívták a háborúban kiégett székesfehérvári Vörösmarty Színház újjáépítésének tervezéséhez és mérnök kollégáival közösen társadalmi munkában készítették el a terveket. Sok lelkes fehérvári adakozásával fel is épült a színház.

Az Építésügyi Minisztérium ösztöndíjasaként (1980-85) Szentpéterváron építőmérnöki, később az ARÉV támogatásával (1998-2000) a BME-n betontechnológus szakmérnöki diplomát kaptam. Még az egyetemi TDK-s munkák során mondta az *Ásványi kötőanyagok* tanára, hogy jó érzékem van a kísérletek megtervezéséhez, elvégzéséhez, de főképp az eredmények értelmezéséhez, grafikus ábrázolásához, következtetések levonásához; ilyen területen sikeres lehetek.

2. SZAKMAI KEZDET

Egyetem után, 1985-ben kerültem a székesfehérvári ARÉV-hez. Itt szokás volt, hogy a pályakezdő mérnököket egy évig a cég különböző egységeihez osztják be, majd a „forgást” követően kiválaszthatják azt a területet, amelyen dolgozni kívánnak. A 86-os évben a fejlesztési főmérnökséget választottam, ahol olyan kutatás-fejlesztési munkák folytak, amelyekben kiváló építész, statikus, gépész, vegyész, fizikus szakemberek vettek részt. A gondolatok szárnyalhattak, mivel kezdetben e kutatásokhoz még megfelelő pénzügyi keret állt rendelkezésre; állami, ún. célprogram bizottságok is működtek, melyekben részt vett a főmérnökség. Egy ilyen, szakmailag vonzó projekt

volt pl. a gipszkartont gazdaságosan és környezetbarát módon helyettesítő, papírhulladék és REA-gipsz alapú gipszrost lapgyártás fejlesztése. Az volt a vezérigazgató terve, hogy közép-európai gipsztermék „nagyhatalom” leszünk; elmondta, hogy ebben rám is számít. Sajnos korán elment nyugdíjba, az utódoknak már nem voltak ilyen terveik.

Szívesen mentem ki a „lordok házából” az ipari telepre, hogy részt vegyek olyan termelési munkákban, amelyek aktuális gyártási vagy kivitelezési feladatok megoldásához kapcsolódtak. Ilyen volt az öntött gipsz válaszfalakok gyártási ciklusidejének költségmentes meggyorsítása, a préselt gipsz válaszfalakok léghanggátlása javítása olcsóbb kötőanyaggal, a sportsarnokunk meredek lelátójához szükséges FN-KK betonkeverék szivattyúzhatósága 4-5 V% légbuborék bevitelével vagy az önterülő anhidritesztrich szivattyúzásakor esetenként fellépő dugulás gazdaságos megelőzése gánti dolomitliszttel. Lenyűgözött az Alba Clasp homlokzati kéregpanelek feszítő-puskás gyártása, de főképp az angol licenccsú szén-dioxiddal telített „hideggőzös” érlelésük, amit csak 25 évvel később értettem meg.

A 80-as évek második felében még természetesnek tűnt, hogy az országos panelszerelési lázban az ARÉV cégvezetése meghagyott, sőt a székesfehérvári városvezetéssel és más helyi cégekkel összefogva közösen felújított, a most Palotavárosként ismert városrészben egy régi, macskaköves, parasztházas, varázslatos utcát (*1. ábra*).

Kár, hogy ez a fajta gondolkodásmód és összefogás napjainkra már kevésbé jellemző.

Az újfajta termékek gyártásán túl az akkori fejlett világ számos építéskivitelezési technológiáját is átvettük (pl. *2. ábrán* Binishell kupola, Lift-Slab födémemelés, Tremix vákumpadló, angol CLASP könnyűszerkezetes építési rendszer stb.).

Az 1987-es évet a cég szakmai tolmácsaként kezdtem az orosz minisztériumokkal és tervező intézetekkel folytatott

1. ábra: Székesfehérváron, a Palotaváros lakótelepen meghagyott és felújított Rác utca





2. ábra: Binishell kupola vasszerelése a földön, majd felfújva az ARÉV ipari telepén

tárgyalásokon, majd a sikeres szerződések után az Alba Clasp rendszerünk helyszíni létesítményfelelőse lettem Kazahsztánban. A tucatnyi könnyűszerkezetes építmény felépítése után hazatérve, örültem, hogy mellettem döntött az ipari főmérnök, amikor a megszűnő fejlesztési főmérnökség dolgozóiból ipari fejlesztési csoportvezetőnek kiválasztott.

Rengeteg inspiráló szakmai feladat volt. A rendszerváltással egyidőben megszűnt a korábbi olcsó és egyenletes minőségű, Harz-hegységbeli NDK-s félhidrát- és anhidritgipsz beszállítása; az elfogadható áron beszerezhető alapanyagok (pl. foszforsav- és citromsavgyártásból, füstgázkéntelenítésből származó gipsz, néha természetes gipsz) jellemzői nagyban különböztek. Gyorsvizsgálati módszereket fejlesztettünk ki, amelyekkel egy órán belül kideríthető volt, hogy mire alkalmas leginkább az adott gipsz-szállítmány (kis, normál vagy nagy testsűrűségű válaszfallap gyártása, van-e görbülési hajlama és az megelőzhető-e kis mennyiségű kálium-szulfát adagolásával stb.). Matematikai modellezésen alapuló kísérlettervezéssel oldottuk meg Pekár Gyulával az Alba Térkö nyomószilárdsága növelését; a betontechnológiában ismert paraméterek betartása mellett döntőnek találtuk a betonkeverék 0,125 mm alatti szemcséinek (cement+egyéb poranyag) kb. 165 l/m³ térfogati arányát.

Feladatunk volt még hidrofób gipszlap gyártása, az osztrák licencű Alba Prottelith könnyűbeton-adalékanyag költséges vegyszerének kiváltása, szárazhabarcsok összetétel-tervezése és gyártása: pl. ORFK lapostetője hőszigeteléséhez lejtésben beépíthető PSH könnyűbeton és erre önthető vékony, félig önterülő cementesztrich a ragasztott vízszigetelés fogadásához, ragasztó- és simító gipsz a gipszlapok beépítéséhez, vakoló gipsz és csemperagasztó receptek, téli betonozási munkákhoz részletes betontechnológiai utasítás készítése, Ujhelyi Jánossal közösen „trezorbeton” tervezése és készítése az OTP-MNB székházhoz, laborvizsgálatok az M7 autópálya Erdélyi Attila-féle gyorsbetonjához, ipari padlók betonösszetétel-tervezése, könnyű- és normál testsűrűségű cementesztrichek kifejlesztése, a mára lebontott Népstadion emelt tribün vasbeton szerkezeteinek diagnosztikája stb. E munkák során kiváló külsős szakemberekkel dolgozhattam együtt, mint pl. Csányi László, Dombi József, Máhr Géza, Rejtő Péter, Sántha Béla, Zsigovics István. Sokat tanultam a külföldi építésvegypari konferenciákon is (pl. Culminal, Elotex, Wacker-Chemie, Akzo Nobel, Newchem konferenciák).

Amikor Székesfehérvár legrégibb műemléki épületét, a Szent Anna kápolnát újítottuk fel, a befülledésre hajlamos solnhofeni kőlapok alatti esztrichpadozat összetétel-tervezése kapcsán mondta Valtinyi Dániel: „Mivel ez a terepből kiemel-

kedő domb a középkori járványok tömegsírjait, épületek vegyes törmelékeit fedi, ezért ha van benned egy kis lokálpatriotizmus, akkor kb. $V_{lev} = 17\%$ levegőtartalmú, tehát már jó légáteresztő (a próbatest túloldalán égő gyertya már elfújható) és polimerrel módosított cementkötésű padozati anyagot készítesz; mert fontosnak tartod a károsító környezeti hatásokkal szembeni ellenállóképességet is!” Évekkel később e szemlélet anyagtanú magyarázatait tanította Kovács Károly és Ujhelyi János a betontechnológiai szakmérnöki tanfolyamon, ill. a környezeti ellenállási oldal újfajta osztályai - mint kulcsfontosságú változások - már megjelentek a második generációs Eurocode tartószerkezeti tervezési szabványban is (lásd pl. MSZ EN 1992-1-1:2024 szabvány 6.3 és 6.4 táblázatát).

Mai napig igen sikeresnek tartom a Lurdy-ház kb. 40 em²-nyi PCC esztrich összetétele tervezését, a beépítés művezetését. A nyílászárók beépítése előtt, huzatos körülmények között, tehát minden műszaki előírás alapfeltételei mellőzésével kellett elkészíteni a 3-5 cm vastag, csúszóréteges szerkezeti felépítésű esztrichet. A receptúrában egy kedvező térfogati fajlagos felületű OH 0/4 homok, kohósalak-portlandcement, mikroszál, adalékszerként pedig nagy molekulásúlyú természetes polimerdiszperzió és egy sztirol-akrilát kopolimer diszperzió keveréke volt. A mikroszál a vékony szerkezet korai felületi vízvesztése okozta repedések és a korai táblaszáli felhajlások megelőzését célozta; a kétfajta polimerdiszperzió pedig részben a könnyebb bedolgozhatóságot, részben pedig a portlandcement lassított karbonátosodását, s így a szerkezet keresztmetszetében egyenlőtlen karbonátosodási zsugorodásból fakadó késői felhajlás csökkentését tette lehetővé, ráadásul nagy hajlító-húzószilárdságot és igen jó kopásállóságot is eredményezett. Már a laborkísérletek során kiderült, hogy e műanyagdiszperziók keveréke azért volt szerencsés választás, mert jelentősen gyorsabbá vált a filmképződés, mint az egyes diszperzióké külön-külön, ráadásul a száradást követően meglepően nagy felületi Shore D keménység adódott. Vélhetően ezért nem károsodott, porlott a felület az egyes építéstechnológiai munkafázisokhoz kötődő raktározás, szállítás során (pl. burkolást megelőzően a padlólapok felhalmozása, kerekese kézi eszközzel történő mozgatása). E projekt után kértek fel az Esztrich és Ipari Padló Egyesület vezetésére, mert úgy ítélték meg hogy bár mérnök vagyok, de nem csak papíron és laborban, hanem az építési helyszíneken is tudok olyan esztrichanyagokat és szerkezeteket készíteni, mint az egyesületet alapító, többnyire Németországban gyakorlatot szerzett kisvállalkozások vezetői. Kb. 10 év után Csorba Gábor vette át az egyesület vezetését, aki a mai napig eredményesen és áldozatosan végzi a munkáját. Neki köszönhető, hogy



3. ábra: Cementmentes út- és járdaburkolat készítése hengerléssel és finiserrel

országos hatályú lett az esztriches és az ipari padlós műszaki irányelvünk.

Bár az elmúlt évek fejlesztése, de idekapcsolódik, hogy - egy cementmentes, környezetbarát útburkolat készítése során - sikeresen alkalmaztam szeles, forró nyári időszakban a Lurdy-ház PCC esztrich anyagában bevált természetes polimerdiszperzió „ösét”, mert az ilyen, levegőn száradó (nem hidraulikus) kötőanyag szilárdulásához kedvezőek azok a környezeti körülmények, amelyek „halálosak” a portlandcement számára. A laborkísérletek eredményeként sikerült kifejleszteni egy olyan big-bag kiszerelésű, vizes oldattal kevert finomszemcsés adalékvázú „Biopreferred” terméket, amely statikus hengerléssel vagy aszfaltfiniserrel 4-6 cm vastagságban tömörítve jól bevált kisforgalmú utak, portmentes járdák készítéséhez (3. ábra). A próbabeépítések vizsgálatai szerint - a geotechnikában használatos földműanyagoktól eltérően - az optimális víztartalmat a Proctor-görbe „száraz ága” felől közelítve érhető el a kedvezőbb helyszíni teherbírási jellemzők.

3. SZAKMAI KÖZÉLETI TEVÉKENYSÉG

Igaza lett Ujhelyi Jánosnak, amikor 2002-ben, az ARÉV megszűnése idején együttértésével és biztató mosolyával zökkentett ki elkeseredettségemből: „Végezd a munkád jól, úgy ahogy eddig is; olvass minél több angol nyelvű szakirodalmat és meglátod, a feladat majd megtalál”. Adott is jónéhány PCA, FHWA és FIP kiadványt, némelyekhez a saját kézírásos fordítását is.

Két héten belül hívtak telefonon, hogy érdekel-e egy most épülő, kis előregyártó üzem betonüzemvezetői állása. Azóta dolgozom a mostani munkahelyemen és írok, oktatok a szakmai tapasztalataimról.

A Beton Újságban 2002-től megjelenő írásaim forrása az új munkahelyemen, a Dolomit Kft.-nél készített kis költségű hengerelt betonburkolatunk (15 óra alatt 7.500 m²), a zúzott-köves betonból való vibropréslés és öntömörödő elemgyártás, az UHPC betonunk, a megnövelt savállóságú csatornázási aknaelemek, repedést követően felkeményedő viselkedésű betonból gyártott vasalatlan termékek és a CAD-CAM alapú robottechnológiás aknafelelem-gyártás volt (*Spránitz*,



4. ábra: CAD-CAM alapú robottechnológiás gyártás

2022). Ezekkel kapcsolatos cikkeim a Beton Újságon kívül megjelentek a Magyar Építőipar és Vasbetonépítés szaklapban is.

A publikációknak köszönhetően az elmúlt két évtizedben több, mint 60 szakmai konferencián tartottam előadást. Egyetemi tanszékek, tudományos és műszaki szervezetek (pl. BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, BME Hidak és Szerkezetek Tanszék, Szikktilabor Kft., NIF Zrt., MAÚT, ÉMI), valamint hazai és külföldi cégek, tervezők, bíróságok, építési vállalkozások és magánszemélyek számára készítettem szakvéleményeket. Örömmel vettem részt a cementpépek reológiai és szövetszerkezeti jellemzőinek, majd később a kloridállóság kutatására irányuló szakintézeti munkákban. A szakma iránt érdeklődő hallgatóknak szívesen vállaltam konzulensi feladatot TDK és szakmérnöki dolgozatok készítésében, ill. tanszéki felkérésre bírálói feladatot.

Magánszemélyként vagyok tagja a *fib* Magyar Tagozat, Magyar Mérnöki Kamara Építési Tagozat, Esztrich és Ipari padló Egyesület (EIEPE), Burkolástechnika Egyesület (BTE), Szilikátipari Tudományos Egyesület (SzTE) Beton szakosztálya, Építéstudományi Egyesület (ÉTE) szakmai szervezeteknek.

Szakmai egyesületek delegáltjaként vagyok tagja a CEN/TC 104 „Concrete and related products” munkabizottságnak és az MSZT/MB 107 betonos műszaki bizottságnak.

A *fib* kiadványok és a meghívott nemzetközi szaktekintélyek kiváló előadásai, valamint a „Betonopus” honlap (*Kausay, 1998-*) segítenek abban, hogy rövid idő alatt tájékozódhassak

4. SZOKÁSOS BETONOK KONZISZTENCIÁJA, SZIVATTYÚZHATÓSÁGA VS. A PÉPFÁZIS REOLÓGIÁJA

Mind a szabványok, mind pedig az építéskivitelezési gyakorlat kiemelt fontosságúnak tekinti a frissbeton roskadásával vagy területével jellemezhető konzisztenciát. Ez az építési gyakorlat számára kielégítő eljárás, mert a transzportbeton átadás-átvételéhez, vagy a munkahelyi beton ellenőrzéséhez jól lehet használni a mérési eredményeket. Ezen túlmenően azonban többnyire megfelelünk arról, hogy ezekkel a konzisztencia mérőszámokkal nem a frissbeton, hanem az adott módon bedolgozott betontest valamely jellemzőjét határozzuk meg: a roskadással a csömszörtlő kúp alakváltozási hajlamát, összetartó képességét és alakíthatóságát, a területtel egy másfajta, kisebb kúp átfarmálódási képességét és mozgékonyágát, a tömörítési mérőszámmal a vibrált hasáb tömörödési képességét, a Vebe-idővel a vibrált henger pép- és víztartó képességét. Ebből következően a konzisztencia-mérőszámok nem a friss betonkeverékre, hanem az adott betonkeverékből adott módon tömörített adott betontestre érvényesek, és egymással nem felcserélhetők.

Logikus tehát kijelenteni, hogy a konzisztenciavizsgálatokból általános érvényű következtetéseket nem szabad levonni és a beton szivattyúzhatóságának előzetes megítélését fenntartással kell kezelni a szabványos betonkonzisztencia mérések eredményei alapján.

Nem véletlen, hogy a kivitelezési gyakorlatban sokszor adódik nehézség a szivattyúzhatósággal kapcsolatban. Hiába jó a keverék területe, a csőátmérő és a gémozvezetés, de a beton gyakorta mégsem szivattyúzható. Folyósítószer ráadagolásakor pedig többnyire eldugul a csővezeték.

Miért nem segít ilyenkor a folyósítószer és miért csak felvizezéssel válik szivattyúzhatóvá a betonunk?

A Sziktilabor Kft. viszkozitásmérései alapján megállapítottuk, hogy a mozgékony cementpép reológiai viselkedése csak kb. 52-60 V% péptöménység fölött (kötőanyag-kombinációtól függően $x \geq 0.23-0.3$) vált át nyírásra vékonyodó jellegről nyírásra vastagodóra; tehát elvileg még jól kezelhető kellene, hogy legyen a szivattyúzhatóság a szokásos $x=0.4-0.5$, de még az akár $x=0.3$ víz-kötőanyag tényezőjű betonok esetében is, hiszen ezek pépfázisa még nyírásra vékonyodó.

A „Miért nem segít ...” kérdésre a választ a nyírásra vékonyodó viselkedés tendenciáinak elemzése adhatja meg. Jelentős eltérést tapasztaltunk a folyósítószeres és az anélküli pépek viselkedésében, amikor azokat kis vagy pedig nagy nyírási igénybevételnek tettük ki. A folyósítószerekkel elérhető növekvő terület - akár kis víz-cement tényező esetén is - jó összefüggést mutat a kis nyírási sebességhez tartozó viszkozitás csökkenésével. A pépterület és a nagy nyírási sebességhez tartozó viszkozitás tendenciája viszont betontechnológiai szempontból kedvezőtlen irányt jelez a folyósítószeres és anélküli pépek összehasonlításakor. A folyósítószeres pépek esetében ugyanis a pépterület vs. nagy nyírási sebesség görbéje „ellaposodik”; tehát a pépterület jelentős növekedése ellenére is csak igen kis mértékben vagy semennyit sem csökken a pép viszkozitása, ha pedig tovább erőltetjük a folyósítószer

adagolását, akkor a PCE-hatóanyagú szerek többsége vérzést okoz. Ezzel szemben a víz-cement tényező növelésével, tehát a beton felvizezésével jelentősen csökken a pépfázis nagy nyírási sebességhez tartozó viszkozitása; tehát kétségtelenül a víz tűnik a betonba adagolható, legjobb szivattyúzást segítő összetevőnek, még ha a területet kevésbé is növeli, valamint ismert módon rontja a szilárdsági és tartóssági jellemzőket.

A mérnöknek azt kell tudni, hogy az $x < 0.5$ víz-cement tényezőjű keverékek esetében {pl. XV3(H), XF4(H), XA4(H)-XA6(H), XA3, XD3 környezeti osztályban} a helyszíni konzisztenciamérés jó eredményéből nem feltétlenül adódik a frissbeton - felvizezés nélkül elérhető - szivattyúzhatósága. **Ezért kellene az ilyen környezeti osztályú betonoknál kötelezővé tenni betontechnológus szakmérnök bevonását.** A betontechnológus ugyanis empirikus úton megtanulta, hogy a folyósítószer gondos megválasztásával az $x \geq 0.45$ víz-cement tényezőjű betonok szivattyúzhatósága még megoldható a jól ismert betontechnológiai peremfeltételek betartásával, de $x < 0.45$ esetén ez már nem elegendő; **a szivattyúzhatóság aligha oldható meg megfelelő kiegészítőanyag nélkül.**

Vizsgálataink alapján ennek az a reológiai magyarázata, hogy **némely kiegészítőanyag** (pl. mészkölszt, köszénpernye, kis adagolású szilikapor, granulált kohósalak) **jóval kedvezőbb mértékben csökkenti a nagy nyírási sebességhez tartozó viszkozitást, mint a folyósítószer adagolásának növelése.** Kísérleteink során a folyósítószer adagolásának 1.5-szeresre növelésével a pépfázis viszkozitása 185 mPa*s-ról mindössze 171 mPa*s-ra csökkent; míg, ha a folyósítószer adagolását nem növeltük tovább, hanem kiegészítőanyagként köszénpernyét, szilikaport vagy granulált kohósalakot adagoltunk rendre 18%, 5%, ill. 20%-ban, akkor a viszkozitás 185 mPa*s-ról rendre 76, 110 és 124 mPa*s-ra, tehát jóval erőteljesebben csökkent. Töményebb pépfázisban (pl. $x=0.35$) nagyobb a kiegészítőanyagok viszkozitáscsökkentő hatása, mint a hígabb pépfázisban (Spránitz, 2023).

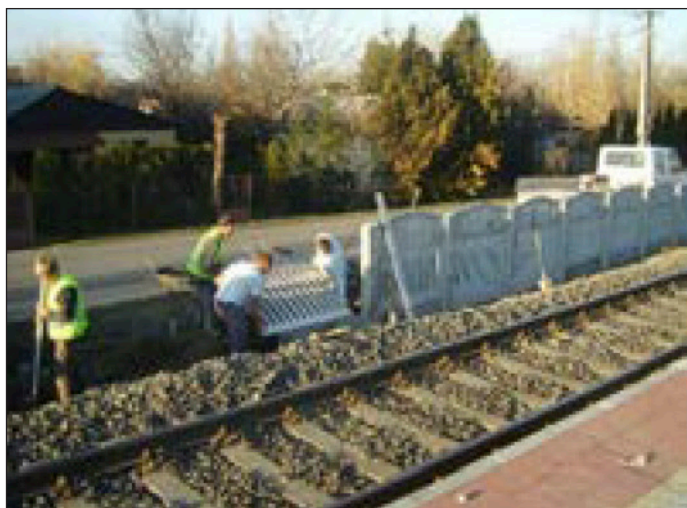
E kiegészítőanyagok tehát azért javítják a beton szivattyúzhatóságát, mert nem csak a közel nyugalmi állapotban (pl. területméréskor), hanem főként akkor csökkentik a pépfázis belső súrlódását, amikor azt intenzív nyíróigénybevétel éri. Eredményeinket igazolják azok az $x=0.23-0.3$ víz-kötőanyag tényezőjű, pernye- és szilikaporttartalmú betonösszetételek (Li, 2020), amelyekkel a felhőkarcolókhoz sikeresen szivattyúztak betont 400-600 m magasságba.

5. ÚJSZERŰ BETONOK: ÖNTÖMÖRÖDŐ, UHPC ÉS TRC

A napjainkban hangsúlyos fenntarthatósági szempontok (nagyobb tartósság, kisebb anyagigény és CO₂ kibocsátás, csökkenő szállítási és beépítési költségek), valamint a második generációs EC-2 szigorodó betonfedései elősegíthetik a szálerősített és a textilbeton elemek elterjedését. Ezek anyagköltsége ugyan nagyobb, mint a szokásos betonoké, mert többnyire öntömörödő technológiát, megfelelő kiegészítőanyagokat és többfajta adalékszer is igényelnek, de a nagyobb anyagköltséget ellensúlyozhatják a kedvező fenntarthatósági jellemzők.

Öntömörödő technológiával már 2002 óta gyártunk vasalt és szálerősített betonelemeket (5. ábra), ill. közreműködtünk az alkotó által örökkévalóságnak szánt szobrok öntésében (6. ábra).

Érdemes egy rövid reológiai és tartóssági elemzést végezni a Szegeden elkészült Szent István téri víztorony 12 m magas



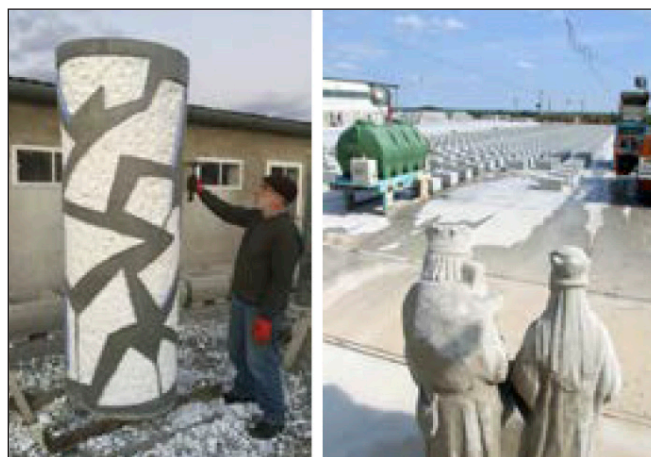
5. ábra: 3 cm vastag szálerősített vasúti kerítéselemek($x=0.31$)



zászlótartó rúdjaival kapcsolatban. Ehhez a szerkezethez olyan, nyírásra vastagodó frissbetont tartottunk optimálisnak a Csányi Lászlóval és Lányi Györggyel közös előkísérletek során, mely 175 N/mm^2 nyomószilárdságot eredményezett 91 napos korban. Ez a szükségtelenül nagy érték abból adódott, hogy míg a szokásos és az öntömörödő beton pépfázisa kb. 36-45 V% portartalmú, addig ebben a keverékben 62 V% volt. Mivel a nyomószilárdság porozitásfüggő, ezért törvényszerű a nagy szilárdság, amikor a kellő mozgékonyasághoz társítani tudjuk a kis víz-kötőanyag tényezőt (pl. $x=0.23$) és a jó légtelenedő képességet. Ez utóbbi is igen fontos, de sok esetben csak egy ritkán használt adalékszerrel (habzásgátlóval) érhető el.

E zászlótartó rúdnál a szerkezet betonfedése változó mértékű volt, néhány helyen mindössze $c_{nom}=10 \text{ mm}$. A reológiai viselkedés miatt optimálisnak ítélt négy-összetevős kötőanyag-kombinációban lévő $\text{CaO}_{\text{reakcióképes}}$ tartalom mindössze 39% volt, ami megfelel a kb. 35% mészkőliszt-tartalmú CEM II/B-LL és a 35% klinkertartalmú CEM VI (S-LL) típusának. A kis betonfedés és a kevés reakcióképes CaO -tartalom miatti karbonátosodási korrózió veszélyét jól ellensúlyozta a kis ($x=0.23$) víz-kötőanyag tényező, ill. az ebből adódóan kedvezően kis víz/ $\text{CaO}_{\text{reakcióképes}}=0.59$ arány. Az esőtől nem védett szerkezetekre (XC4) vonatkozó Leemann-féle becslőképletből ($y=8.3x-4.7$) (Hunkeler, 2023) a karbonátosodási együtthatóra $k=0.2 \text{ mm}/\sqrt{\text{év}}$ átlagérték becsülhető (mivel $y=8.3 \times 0.59 - 4.7 = 0.2$). Az ISO 16204 és a fib Bulletin 34 dokumentumok karbonátosodási mélységet becslő, $x_c(t)=k \cdot w \cdot \sqrt{t}$ „idő-négyzetgyökös” összefüggéséből visszaszámolva - a kapilláris vízfelszívástól, mikroklímától, környezeti páratartalomtól, esős napok arányától és a széllel hajtott eső valószínűségétől függő nedvesedési együtthatót durva közelítésben $w=1.1$ értéken, a légkör CO_2 szintjét pedig a jelenlegi kb. 400 ppm-en beszámítva - a 10 mm betonfedésű acélbetétek karbonátosodás okozta korrózió kezdete ezen egyszerűsített számolások szerint kb. $t=2.066 \text{ év}$ múlva várható.

Ha a számolást végigvisszük ugyanezen kötőanyaggal és környezeti feltételekkel, de $x=0.4$ víz-kötőanyag tényezővel, akkor a 10 mm-es betonfedésű vasalás potenciális korróziója kezdetére $t=5.7 \text{ évet}$ kapunk. Ilyen kötőanyag ($\text{CaO}_{\text{reakcióképes}}=39\%$) és a szokásos (pl. $x=0.4$) víz-cement tényező esetére az acélbetétek karbonátosodási korróziójával szembeni esélyt kizárólag a betonfedés növelése adhatja. Az $x=0.4$ v/c-tényező esetén a karbonátosodási együttható átlagértékére $k=3.8 \text{ mm}/\sqrt{\text{év}}$ becsülhető (mivel $y=8.3 \times 40/39 - 4.7 = 3.8$), ami egy idén elkészülő CEN/TR ajánlás szerint várhatóan az XRC 5 karbonátosodási ellenállási osztálynak felel



6. ábra: Csurgai Ferenc szobrászművész egyik szobra ($x=0.24$) és a székesfehérvári Bory-várban található II. Endre és lánya Szent Erzsébet szobor újraöntése ($x=0.26$) Gánton

meg. A már megjelent MSZ EN 1992-1-1:2024 szabvánnyal való ismerkedés miatt javasolom ennek 6.3 táblázatában megkeresni az XC4 környezeti hatásosztály oszlopa és az XRC 5 ellenállási osztály sora keresztezésében található, 50 és 100 év tervezési élettartamhoz előírt betonfedést ($c_{min}=30$ és 45 mm értéket fogunk találni). Ha ezután összehasonlítjuk e tervezési élettartamokat az „idő-négyzetgyökös” összefüggésből számolt acélkorrózió várható kezdetével, akkor meglepően hasonló időtartamokat kapunk. A szabvány 6.3 táblázatában 5 mm-re kerekített c_{min} betonfedés értékei a szokásos 50 és 100 év tervezési élettartamra vonatkoznak, míg fenti, egyszerűsített számításokkal rendre 50.2 év, ill. 112.9 év adódik.

Ha pedig – bármilyen ok miatt – igazodni kell egy adott betonfedéshez, akkor visszaszámolható az „idő-négyzetgyökös” függvényből az elérendő karbonátosodási együttható. Adott karbonátosodási együttható annál nagyobb v/c-tényezővel érhető el, minél nagyobb a kötőanyag reakcióképes mértartalma. Ha ez a mértartalom bármilyen ok miatt kevés, akkor a Leemann-féle becslőképletből számolt $w/\text{CaO}_{\text{reakcióképes}}$ arány alapján szükségessé válhat az igen kis v/c tényező; tehát a statikailag szükséges nyomószilárdságnak akár a többszöröse.

Ebből is érzékelhető, hogy a nyomószilárdsági és a tartóssági jellemzők eltérő gyökөрűek. Míg a nyomószilárdság inkább a beton makrostruktúrájának, a tartóssági jellemzők inkább a beton mezo- és a cementkő mikrostruktúrájának következményei.

Nem véletlen, hogy az újonnan bevezetett környezeti ellenállási osztályok és a régóta ismert nyomószilárdsági osztályok



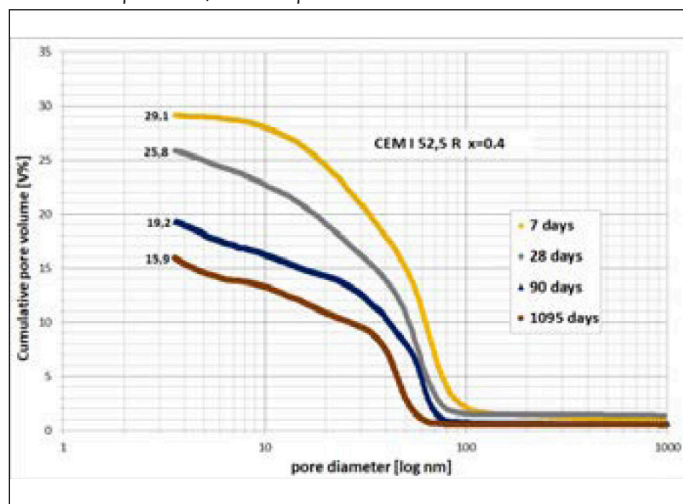
7. ábra: 2 cm vastag textilbeton elemek

közötti összefüggések erőltetése miatt az EU tagországok nemzeti képviselői nehezen jutnak közös nevezőre. Ezért sajnos nem EN szabványban, hanem több tucat NDP (nemzetileg meghatározott) jellemzőt tartalmazó CEN/TR dokumentumban kerülnek majd rögzítésre az anyagoldali ellenállási osztályok jellemzői. Jó volna, ha az egymással összefogó Észak-Európai tagállamok gyakorlatának mintájára, a klimatikus körülmények hasonlósága miatt, itt Közép-Európában is össze tudnánk fogni a környezeti ellenállási osztályok jellemzőinek közös számszerűsítésében (pl. V4-országok betonos és mérnökszerkezetei).

E kis kitérő után visszatérve az UHPC betonokhoz; a szegedi víztoronynál beválthoz hasonló reológiai viselkedésű beton és a nagy acélszál-tartalom ($125 \text{ kg/m}^3 = 1.6 \text{ V}\%$) kombinációját találtam gazdaságos megoldásnak a vasalatlan, főleg nyírásra, átszűrődásra és dinamikai igénybevételeknek kitett betonelemek gyártásához. A laboratóriumi alapvizsgálatokat (MSZ EN 14651 szerinti CMOD vizsgálat) a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék laboratóriumában Balázs L. György és Súlyom Sándor végezte. A gerenda-próbatesteken mért $0.05/0.5/1.5/2.5/3.5 \text{ mm}$ repedésmegnyíláshoz rendre kb. $8/15/13/12/11 \text{ N/mm}^2$ maradó hajlító-húzószilárdság társult. Az első repedést követően „felkeményedő” viselkedésű betonból gyártott „betongallér” termékünk koncentrált terheléses vizsgálatát 550 kN értéknél állították le az ÉMI szentendrei laboratóriumában, mert a gallérba helyezett öntvényfedlap meghajlott. Az UHPFRC betongalléron ekkor még nem mutatkozott károsodás. Több száz „betongallért” gyártottunk ebből a szálerősített betonból a csatornázási aknaelemek öntvényfedlapjai köré.

Egy folyamatban lévő fejlesztés során biztató eredményeket értünk el a textilbetonok (TRC) kezdeti félüzemi gyártásában (7. ábra).

8. ábra: Jó porozítás, de rossz pórusméret-eloszlás



6. VASBETON SZERKEZETEK TARTÓSSÁGA, TERVEZÉSI ÉLET-TARTAMA

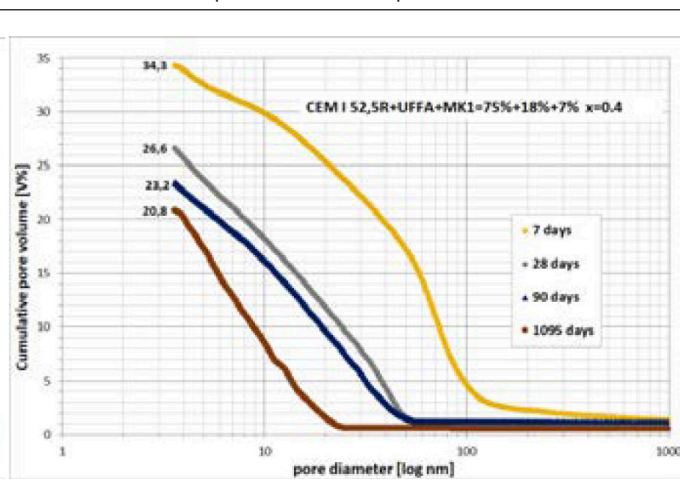
A díjátadást megelőző ünnepi vacsorán kérdezte Palotás professzor, hogy melyik munkámat tartom a legnagyobb jelentőségűnek. Azt válaszoltam, hogy legnagyobb jelentőségűnek egy olyan munkában való részvételem eredményét tartom, amely eredmény keresésének ötlete mástól származik. Az ötlet egy *fib* konferencián előadó svájci professzoré (Hunkeler, 2023); a vele folytatott hosszas levelezést követően láttam be, hogy csak részigazság az a meggyőződése, miszerint a vasbetonok kloridállóságát kizárólagosan határozza meg a cementkő pórusméret-eloszlása, vagyis a természeti-fizikai törvényeken (pl. Fick II. módosított diffúziós törvényén) alapuló transzport-folyamatok számára átjárható pórusok matematikai-geometriai értelmezése (lásd 8-9. ábrák).

Ez a szakmai meggyőződése az alapult, hogy jó összefüggést találtunk a pórusstruktúra időben változó geometriai jellemzői és az időben szintén változó kloridmigráció sebessége között. A svájci professzor elismerően nyilatkozott a bemutatott pórusméret-eloszlási és gyakorisági görbéinkről, a pórusstruktúra újfajta jellemzőiként meghatározott egyenértékű pórusméretek fogalmának bevezetéséről, ill. e görbéknek a kloridmigrációval, sőt még a kor-tényezővel is bizonyított összefüggéseiről, de arra hívta fel a figyelmemet, hogy: „Ezek igen elegáns és jól oktatható anyagtani magyarázatok, doktori fokozat megszerzésére is alkalmasak; csak sajnos nem sokat segítenek a gyakorlatban. Ugyanannyi idő szükséges ezek méréséhez, mint a szabványos kloridmigráció/diffúzió méréséhez, ráadásul a higanyporozimetriai mérések jóval bonyolultabbak és költségesebbek.” Majd küldött egy tanulmányt, amely arról szólt, hogy a cementfajták kémiai összetétele döntően meghatározza a karbonátosodási együtthatót: „Valami ilyesmi kellene a kloridállóság gyors becsléséhez is”.

Igaza volt; a pórusstruktúra kétségkívül jó lenyomata a cementkő áteresztőképességének, de ez már valaminek az okozata. Az igazi ok pedig a cement „genetikai adottsága”.

A kötőanyag kémiai összetétele, a cementkő szövetszerkezete és a kloridionok vándorlási sebessége közötti szoros kapcsolat feltárásával új eredményeket értünk el (Kopeckó, 2022 és Laczkó, 2024), amely hasonló jelentőségű lehet, mint a karbonátosodási együttható és a kötőanyag kémiai összetétele közötti összefüggés feltárása.

9. ábra: Rosszabb porozítás, de kiváló pórusméret-eloszlás



A kötőanyag reakcióképes kémiai összetevőinek ismerete azért **nagy gyakorlati jelentőségű**, mert porozimetriai vagy kloridmigrációs/diffúziós mérések nélkül is (pl. már a cementgyártás során) jól becsülhetővé válnak a kloridállóság jellemzői.

A pórusszerkezet morfológiájának definiálása azért **nagy elméleti jelentőségű**, mert a cementkő átjárható porusrendszerének számszerűsítése logikus magyarázatot adhat a különböző transzportfolyamatok nagyban eltérő sebességére.

Bevallottam Palotás professzornak, hogy igazából tévedtem, amikor szakmai meggyőződésemet kizárólag a fizikai-matematikai törvényszerűségekre alapoztam, ez esetben a gyakorlati jelentősége miatt el kell fogadjam a kémiai („genetikai”) adottságok elsődlegességét. Mentségemre szóljon, hogy a gimnázium matek-fizika szakos csoportjába jártam, az osztály másik fele volt a kémiás.

Mivel e társszerzős munkámat tartom a legnagyobb jelentőségűnek, ezért úgy tekintem, hogy rajtam kívül a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, valamint a Szikktlabor Kft. kutatói (Kopecskó Katalin, Laczkó László és Balázs L. György professzor), továbbá az ötletadó (Fritz Hunkeler professzor) is részese a megtisztelő díjnak.

7. JAVASLATOK AZ EURÓPAI ÉS HAZAI SZABVÁNYOSÍTÁSHOZ

Gondolataimat a Palotás László-díj kapcsán, az építőmérnöki szakterületen megújuló tervezési, betonos és cementszabványokat érintő javaslataim ismertetésével zárom. A CEN/TC 104 betonos műszaki bizottságban az alábbi elemekkel javasoltam kiegészíteni az új EN 206-hoz kapcsolódó CEN/TR dokumentumot:

- a betonok környezeti ellenállási osztályait függetlenítsük a nyomószilárdsági osztályoktól, mert az anyagtani/tartóssági jellemzők kevésbé szilárdságfüggőek, valamint
- az új (tartóssági) szemléletű betonszabványokhoz már nem igazodó, tehát elavult EN 197-1:2011 cementszabványt célszerű volna frissíteni a CEN/TC 51 (cementes) bizottsággal közösen azért, hogy a szilárdságon túl a potenciális tartóssági jellemzők tanúsítására is legyen lehetősége a cementgyártóknak. (Megj.: Az a vélemény, hogy: „*A cement egy önálló termék és semmi köze a betonhoz*”, azért nem fogadható el, mert beton nélkül nincs értelme a cementnek.)

A cementfajtákban rejlő potenciális tartósság közlésére azért volna szükség, mert:

- a legtöbb cement esetében törvényszerű, hogy amelyikben sok a reakcióképes CaO, abban kevés a $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ (ilyenek a CEM I portlandcementek), ill. fordítva;
- minthogy a karbonátosodással szemben a reakcióképes CaO, a kloridbehatolással szemben pedig a $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$

eredményes, következik, hogy a CEM I fajták a legjobbak a karbonátosodással szemben, de csekély reakcióképes $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ tartalmuk miatt védtelenek a kloridokkal szemben;

- a „nem tiszta”, hanem „többösszetevős” cementek sokkal nagyobb kloridállóságúak, de a levegőben lévő CO_2 okozta karbonátosodással szemben szinte teljesen védtelenek;
- többfajta környezeti hatás (pl. karbonátosodás + kloridtámadás) és gazdaságos betonfedés esetére bonyolultabb a jó kötőanyag megválasztása, ezért
- szükséges, hogy az egyes EU tagállamokban elérhető cementfajták kémiai összetételére vagy akár a szabványhabarcsban mért potenciális tartóssági jellemzőkre (XRC, XRDS ellenállási osztályok) információt kapjanak a tervezők, a betontechnológusok és a betongyártók. Egy új cementszabvány ebben sokat segíthetne.

Köszönöm az előadásra felkérést a fib Magyar Tagozatától!
Köszönöm a PALOTÁS LÁSZLÓ-DÍJ kuratóriumának a díjat!

*Köszönöm a lehetőséget a munkahelyeimtől, családomtól!
Köszönöm a figyelmüket!*

8. HIVATKOZÁSOK

- Spránitz F. (2022), Betontechnológiai ismeretek jelentősége a digitalizáció és a 3D betonmarás területén, Vasbetonépítés 2022/2 pp. 34-41, http://www.fib.bme.hu/folyoirat/vb/vb2022_2/vb2022_2_1.pdf
- Kausay T. (1998-), <https://betonopus.hu/>
- Spránitz F., Laczkó L., Wojnárovitsné Hrapka I. (2023) Cementtípusok, kiegészítőanyagok és folyósítószer hatása a cementpépek reológiai tulajdonságaira – 2/2. rész, Beton Újság 2023. április pp. 10-13, <https://www.betonujsg.hu/lapszamok/cikk/2629/cementtipusok-kiegeszitoanyagok-es-folyositoszerek-hatasa-a-cementpepek-reologiai-tulajdonsagaira-2/2-resz>
- H. Li, D. Sun, Z. Wang, F. Huang, Z. Yi, Z. Yang and Y. Zhang (2020), A Review on the Pumping Behavior of Modern Concrete, Journal of Advanced Concrete Technology - Japan Concrete Institute, June 2020/Vol. 18, pp. 352-363, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jact/18/6/18_352/_pdf
- Hunkeler F. (2023), Performance based concrete design: Actual and future situation in Switzerland with a focus on carbonation, fib Hungarian Group, 12-10-2023, BME, Budapest, http://www.fib.bme.hu/2023-10-12%20Swiss/Performance%20based%20concrete%20design_Hunkeler_BME_12.10.2023_mod.pdf
- Kopecskó K., Laczkó L., Spránitz F., Szilágyi T., Wojnárovitsné Hrapka I., Balázs L. Gy. (2022), Használati élettartam becslési lehetősége kloridionok behatolása esetén Vasbetonépítés 2022/3 pp. 71-85, http://www.fib.bme.hu/folyoirat/vb/vb2022_3/vb2022_3_2.pdf, pp. 71-85
- Laczkó L. (2024), Kiegészítőanyagok hatása a cementek és habarcsok tulajdonságaira Építőanyag 2024/különszám pp. 10-14 https://epitoanyag.org.hu/wp-content/uploads/2024/12/ePA_2024_Kulonszam_WEB_jav.pdf