

Betonkeverékek egyszerűsített alapmodellje és alkalmazása

3. rész: Nyomószilárdságot befolyásoló tényezők

PEKÁR GYULA
gypekar@emi.hu

A cikksorozat első része a betonkeverékek egyszerűsített alapmodelljét vázolta fel. A dimenzió nélküli betonösszetéti állapotjelzők bevezetésével a betonkeverékek strukturális összetétele szemléletesen leírható, lehetőséget kínálva a friss és megszilárdult betonkeverékek teljesítményjellemzőit befolyásoló hatások eddigiektől kissé eltérő megközelítésű elemzésére. A cikksorozat második része egy gyártóüzemi megfigyelés első szakaszáról számolt be. E harmadik részben a folytatásról és az eredmények értékeléséről lesz szó. Az előzetes tervekkel ellentétben ebbe a részbe csak a nyomószilárdságot befolyásoló tényezők elemzése tömöríthető bele. Az elemzés révén közelebb juthatunk az első rész bevezetőjében említett két, eddig nem értelmezett probléma magyarázatához.

1. A gyártóüzemi megfigyelések folytatása, laboratóriumi kísérletsorozat indítása

A második részben ismertetett üzemi megfigyelés-sorozat tovább folytatódott 2010. év folyamán is. Az ÉMI Nonprofit Kft. továbbra is támogatta az együttműködést, miközben 2010-ben egy belső laboratóriumi kísérletsorozatot is elindított, amelynek célja a betonösszetéti állapotjelzők hatásainak további vizsgálata volt. Az értékelésbe vonható megfigyelések száma jelenleg az üzemi megfigyeléseknél 220, a laboratóriumi keverékek esetén

53. A megfigyelt betonösszetéti állapotjelzőket az 5. táblázat mutatja. Értékelésbe vonhatónak akkor tekinthetünk egy adott megfigyelést vagy kísérletet, ha ismert a betonkeverék összetétele, és ezzel együtt ismertek a betonösszetéti állapotjelzők is (p – pép térfogataránya a betonban, x – szabad folyadék és a péppor térfogataránya a pépben, χ_c – a cement térfogataránya a pépporban, λ_{AD} – adalékszer térfogataránya a pépporhoz képest, l – levegő térfogataránya a betonban), továbbá a friss és vagy a megszilárdult betonkeveréknek leg-

alább egy teljesítményjellemzőjét mérték vagy vizsgálták.

Az üzemi megfigyelések során mért / vizsgált teljesítményjellemzők:

- konzisztencia a frissbeton-keverékeken (területi mértékszám),
- nyomószilárdság a szabványosan (tehát 28 napig víz alatt) érlelt próbatesteken.

A laboratóriumi kísérletsorozatban (ÉMI Nonprofit Kft.) a fentiekén kívül vizsgáltuk a száradási zsugorodást is, amely a minták legalább egy éves koráig tartani fog, addig is értékeljük a részeredményeket

2. Szilárdsági eredmények értékelése

A szakirodalomban ismert nyomószilárdság-becslési eljárásokat ismertnek tételezzük fel, azok részletes kritikai elemzése nem feladatunk, fő célunk a saját eredmények elemzéséből nyerhető következtetések levonása volt. A legismertebb eljárások a víz-cement tényező (mint egyetlen változó) hatásának matematikai képletformába öntésén alapulnak. A „v/c-alapú” szilárdságbecslési módszerek kapcsán Ujhelyi és Popovics igazolták, hogy a v/c tényező mellett más, egyéb változó (pl. cementtartalom vagy víztartalom) figyelembe vételével a becslések statisztikai jellemzői javíthatók [1]. Ugyanakkor a változatlan víz-cement tényezőjű, azonos cementtartalmú betonkeverékek kiegészítőanyag-tartalom növelése után

	Betonösszetéti (strukturális) állapotjelzők					Egyéb technológiai adatok, információk				
	p	x	χ_c	λ_{AD}	l	A kiértékelésbe vont cementfajták	hagyományos v/c	a^*	D_{max} (mm)	
ÉMI-kísérletek 2010. 53 megfigyelés	min.	0,098	0,565	0,084	0,000	0,000	CEM I 42,5 N, CEM III/B 32,5 N-S	0,202	0,495	4
	max.	1,000	2,633	0,990	0,055	0,202		3,758	0,769	8
	átlag	0,303	1,432	0,715	0,015	0,040		0,912	0,666	8
	szórás	0,110	0,566	0,275	0,019	0,028		0,757	0,064	1
Augusztin Betongyártó Kft. üzemi megfigyelések 2008-2010. 220 megfigyelés	min.	0,153	1,041	0,552	0,000	0,000	CEM I 42,5 N, CEM II A-M (V-LL) 42,5 N, CEM III/A 32,5	0,384	0,652	4
	max.	0,346	3,378	0,985	0,030	0,081		1,218	0,790	32
	átlag	0,254	1,683	0,834	0,009	0,018		0,685	0,728	24
	szórás	0,023	0,305	0,082	0,010	0,011		0,145	0,019	9

5. táblázat Az üzemi megfigyelések és kísérleti keverékek során értékelésbe vont keverékek betonösszetéti állapotjelzői és néhány egyéb adatai (a^* : a betonkeverékben lévő adalékanyag térfogataránya)

tapasztalt szilárdságnövekedéséről [2] – amit az első rész felvezetőjében is említettünk [3] – még ezek a javított becslési módszerek sem adnak számot, ami azt sejteti, hogy lehetnek eddig még figyelembe nem vett további tényezők is, amelyek hatnak a nyomószilárdságra.

Mielőtt a saját megfigyelések elemzésére térnénk, érdemes konkrétan megemlíteni a több mint száz éves múlttal rendelkező, de hazánkban nem gyakran alkalmazott Feret-módszert. A Feret-módszer Ujhelyi által közzétett [4] matematikai formája a (29) képlet.

$$\sigma_{28} = A \cdot \left(\frac{c}{1-a} \right)^2, \text{ ahol } a \leq a_{\max} \quad (29)$$

ahol σ_{28} a 28 napos szabványos érlelésű próbakockán mért nyomószilárdság [N/mm²] várható értéke,

A kísérleti állandó,

c - a cement térfogata a betonban,

a - az adalékanyag térfogata a betonban,

a_{\max} - a betonba tömöríthető maximális mennyiségű adalékanyag térfogata.

A (29) alakú Feret-képlet térfogatos szemléleten alapul, így illeszkedik a betonkeverékek egyszerűsített modelljébe is, amit az is igazol, hogy a képletet behelyettesítésekkel és átrendezéssel a (30) szerinti alakra hozva megjelennek az e cikksorozatban sokat tárgyalt betonösszetéti állapotjelzők:

$$\sigma_{28} = A \cdot \left(\frac{\chi_c}{(1+x) \cdot \left(\frac{l}{p} + 1 \right)} \right)^2 \quad (30)$$

A Feret-képlet (30) szerinti alakja elemezhetővé teszi az egyes betonösszetéti állapotjelzők szilárdságra gyakorolt hatását, és alkalmazható még a telítetlen betonok szilárdságbecslésére is, bár extrém magas levegőtartalmakra már a valóságosnál magasabb szilárdságokat jósol. Megjegyzés: telítetlen a beton, ha $p + a_{\max} < 1$. Ekkor $l = 1 - a - p$, ahol $a \leq a_{\max}$ (31)

A Feret-képlet mindenképpen jó ötletadó lehet tágabb határok között is értelmezhető összefüggések kereséséhez.

2.1. Nyomószilárdság függése a betonösszetéti állapotjelzőktől

Az üzemi megfigyelésekből példaképpen kiragadva azt a 98 keveréket, amely CEM I 42,5 N cementtel készült, és mészkőliszt kiegészítőanyagot is tartalmazott, statisztikai számításokkal is igazolható volt, hogy a nyomószilárdság és v/c-tényező közötti kapcsolat igen erős (korrelációs együttható $R^2=0,8219$), a nyomószilárdság és az x állapotjelző között közepesen erős ($R^2=0,5455$). A nyomószilárdság és a többi betonösszetéti állapotjelző között – legalábbis, ha csak „önmagukban” vizsgáljuk hatásaikat – már gyenge a korreláció, azonban, ha az állapotjelzőket együttesen vesszük figyelembe, akkor a gyengén korreláló tényezők is szignifikánsá válhatnak.

A rendelkezésre álló megfigyelésekre és kísérleti keverékekre elvégezve a számításokat a (32) összefüggéshez jutunk:

$$\ln \sigma_{28} = n_\chi \cdot \ln \chi_c + n_p \cdot \ln p - n_x \cdot \ln(1+x) + n_l \cdot \ln(1-l) + \ln A \quad (32)$$

Ugyanennek az összefüggésnek a szorzótényező-hatványkitevős formája a (33) képlet:

$$\sigma_{28} = A \cdot \frac{\chi_c^{n_\chi} \cdot p^{n_p}}{(1+x)^{n_x}} \cdot (1-l)^{n_l} \quad (33)$$

ahol σ_{28} a 28 napos szabványos érlelésű próbakockán mért nyomószilárdság [N/mm²] várható értéke,

A kísérleti állandó,

χ_c - a cement térfogataránya a pépporban, n_χ a χ_c együtthatója / kitevője,

p - a pép térfogataránya a betonban, n_p - a p együtthatója / kitevője,

x - a folyadék-por térfogati tényező a pépben, n_x az $(1+x)$ együtthatója / kitevője,

l - a levegő térfogataránya a betonban, n_l - az l együtthatója / kitevője.

A 6. táblázatban összefoglaljuk a (33) képlet paramétereit az eddigi megfigyelések, kísérletek alapján a különböző cementfajtákra, az 5. táblázat szerinti értelmezési tartományokban.

A 2.1. pontban hivatkozott CEM I 42,5 N cementtel készült, mészkőlisztet is tartalmazó 98 keverékre a (32), vagy az ezzel egyenértékű (33) képlet szerinti szilárdságbecslés korrelációs együtthatója már $R^2=0,8689$, a betonösszetéti állapotjelzők egyenkénti szignifikanciája pedig t -próbával igazolható. A (33) képlet emlékeztet a Feret-képlet (30) alakjára, csak itt a szorzótényezők önálló kitevőkkel bírnak, és az l/p hányados szétválik önálló p és $(1-l)$ tényezőkre. A (33) képlet a magasabb levegőtartalmakra már a tapasztalattal jobban egyező eredményeket ad a megfigyelés alá vont értelmezési tartományon belül. Extrapolálni mindig csak hipotézis jelleggel érdemes!

2.2. Nyomószilárdság függése a v/c tényezőtől és a cementtartalomtól

Ujhelyi és Popovics igazolták, hogy ha a v/c mellé egy másik változót is (például a c cementtartalmat) bevezetnek, akkor javulnak a v/c-alapú becslések statisztikai jellemzői [1]. E megfontolásból kiindulva a saját eredményeket is átszámoltuk, amelynek során a hagyományos v/c tényező mellett új változóként bevezettük a

	A	n_χ	n_p	n_x	n_l	Megjegyzés
CEM I 42,5 N	295,371	0,434	0,275	1,665	3,0	ÉMI, 2010
CEM III/B 32,5 N-S	360,055	1,027	0,334	2,084	3,0	
CEM I 42,5 N	585,666	1,190	0,272	2,033	4,0	AUGUSZTIN, 2008-2010
CEM II A-M (V-LL) 42,5 N	342,302	1,711	-0,240	2,355	3,75	
CEM III/A 32,5	862,337	1,289	0,961	1,860	3,0	

6. táblázat A (32) illetve (33) becslőképlet paramétereit a vizsgált különféle cementfajták esetében az ÉMI 2010. évi vizsgálatait és az Augustin Betongyártó Kft. 2008-2010. közötti megfigyelései során

	A	n_c	n_v	n_l	Megjegyzés
CEM I 42,5 N	54,645	0,236	0,587	3,0	ÉMI, 2010
CEM III/B 32,5 N-S	33,630	0,274	0,922	3,0	
CEM I 42,5 N	43,924	0,197	1,104	4,0	
CEM II A-M (V-LL) 42,5 N	12,135	-0,173	1,667	4,6	AUGUSZTIN, 2008-2010
CEM III/A 32,5	238,516	0,996	0,521	2,4	

7. táblázat A (34) becslőképlet paraméterei a vizsgált különféle cementfajták esetében az ÉMI 2010. évi vizsgálatait és az Augusztin Betongyártó Kft. 2008-2010. közötti megfigyelései során

cementtartalmat tömegarányban (c/R), a levegőtartalmat pedig továbbra is térfogatarányban számoltuk. A megfigyelések és kísérletek eredményeire a (34) alakú összefüggést találtuk jól illeszkedőnek:

$$\ln \sigma_{28} = n_c \cdot \ln \left(\frac{c}{R} \right) - n_v \cdot \ln \left(\frac{v}{c} \right) + n_l \cdot \ln (1-l) + \ln A \quad (34)$$

ahol σ_{28} a 28 napos szabványos érlelésű próbakockán mért nyomószilárdság [N/mm²] várható értéke, A kísérleti állandó, c/R a cement tömegaránya a betonban, n_c a c/R együtthatója, v/c a hagyományos víz-cement tényező, n_v a v/c együtthatója, l a levegő térfogataránya a betonban, n_l az l együtthatója.

A (34) képlet is kifejezhető szorzatos-kitevős formában. A 2.1. pontban hivatkozott CEM I 42,5 N cementtel készült, mészkőlisztet is tartalmazó 98 keverékre vonatkoztatva a becslés korrelációs együtthatója $R^2=0,8668$, emellett a c/R és v/c és $(1-l)$ hatótényezők szignifikanciája külön-külön is igazolható t -próbával.

A 7. táblázatban összefoglaljuk a (34) képlet paramétereit az eddigi megfigyelések illetve kísérletek alapján a különböző cementfajtákra, az 5. táblázat szerinti értelmezési tartományokban.

2.3. A kétféle szilárdságbecslés összehasonlítása

A 2.1.pontban hivatkozott CEM I 42,5 N cementtel készült, mészkő-

lisztet is tartalmazó 98 keverékre vonatkozóan elvégzett két becslési módszer a 11. sz. ábrán hasonlítható össze. A két módszer első ránézésre gyakorlatilag egyenértékűnek tűnik a megfigyelt tartományban.

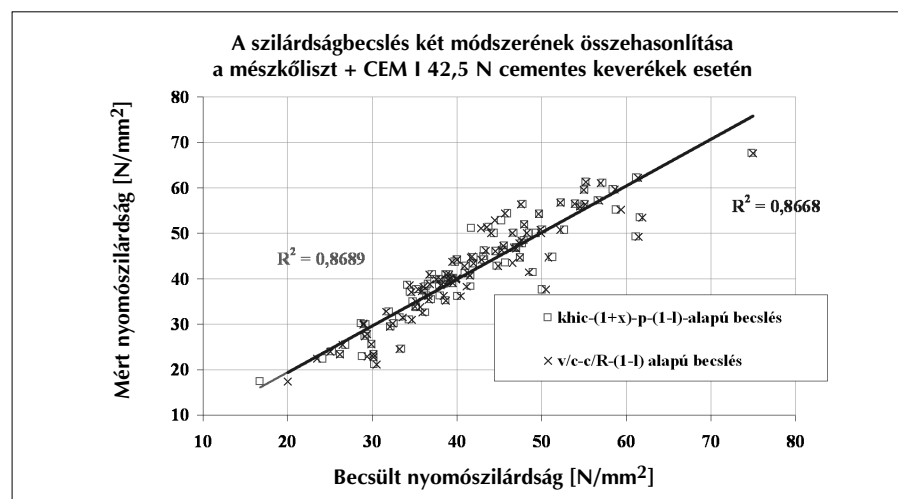
A két nyomószilárdság-becslési módszert összehasonlíthatjuk a 12. és 13. ábrák, illetve a 14. és 15. ábrák nomogram-párjainak összevetéseivel is. A nomogramok a 2010. évi ÉMI kísérletek során vizsgált kétfajta cement eredményeinek feldolgozásából készültek úgy, hogy a (32) illetve a (34) képletekbe a 6. és 7. táblázatokból vett megfelelő paramétereket helyettesítettük be, és az eredményeket a megfelelő értelmezési tartományokban szintvonalas diagramokra vittük fel. A szintvonalak közötti azonos tónusú sávok a nyomószilárdságok azonos várható értékeit jelölik, a lépések a nomogram-párokban azonosak.

Az első következtetés, hogy a kapott

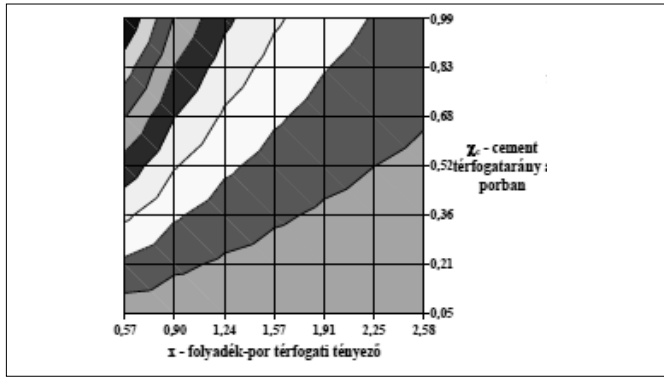
összefüggések megjósolják, hogy a CEM III/B 32,5 N-S-ből készült betonkeverékek várható nyomószilárdságai magas cementtartalmak és alacsony víz-cement tényezők esetén megközelítik, sőt, meg is haladhatják a CEM I 42,5 N cementből készült hasonló keverékekét! Főleg a 14. és 15. ábrák nomogramjai „beszédesek”: $v/c=0,2$, $c/R=0,22$ mellett mindkét cementtel ~ 95 N/mm² várható! Ezzel magyarázatot is adtunk a cikksorozat első részének felvezetőjében idézett [5] forrás szerinti látszólagos ellentmondásra. Az ábrák szemléltetik, hogy a cementek szilárdságra gyakorolt hatásai karakterisztikákkal és nem kitüntetett diszkrét mért jellemzőkkel írhatók le, és e karakterisztikák függenek a mindenkor keverékek betonösszetétele állapotjelzőitől, amit az összetételek tervezésekor nem hagyhatunk figyelmen kívül.

A másik fontos észrevétel, hogy a $v/c-c/R-(1-l)$ -alapú szilárdságbecslés nagy cementtartalmak és alacsony v/c esetén egyre kevésbé „érzékeny” a cementtartalom növelésére, viszont túlzottan is érzékeny a v/c csökkentésére, a jóslt eredmények e tartományokban már instabilak. Az $x-\chi_c-p-l$ -alapú becslésnél ez a hatás sokkal mérsékeltebben jelentkezik a tartomány szélein.

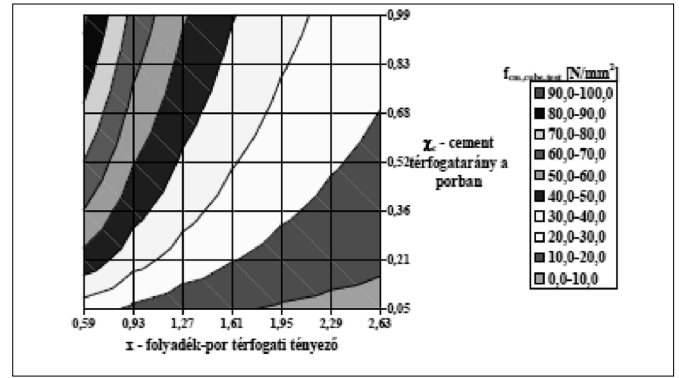
A harmadik megállapítás, hogy a $v/c-c/R-(1-l)$ -alapú szilárdságbecslés azonos v/c és azonos cementtartalom esetén mindig azonos szilárdságot jósol, ami ellentétben áll a cikksorozat első



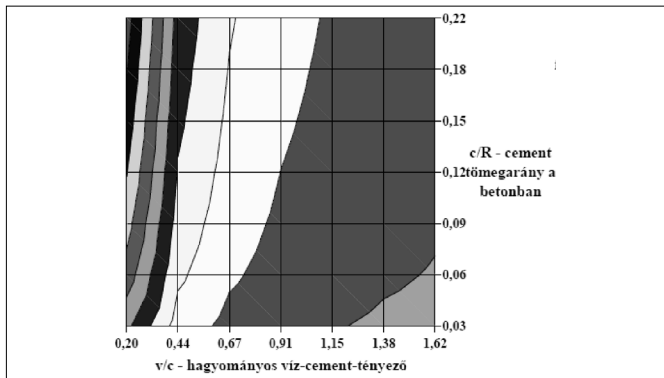
11. ábra A nyomószilárdság (32), illetve (34) képletek becslési hibáinak összehasonlítása



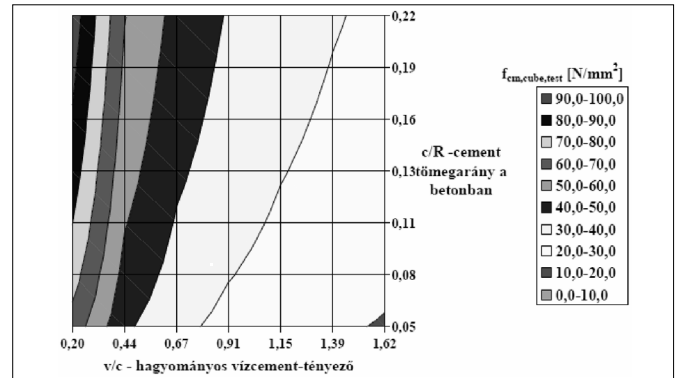
12. ábra x - χ_c - p - l -alapú becslés nomogramja CEM III/B 32,5 N-S cementtel készült kölisztes keverékek esetén, az ÉMI 2010. évi kísérletek feldolgozása alapján, $p=0,280$ és $l=0,010$ esetén



13. ábra x - χ_c - p - l -alapú becslés nomogramja CEM I 42,5 N cementtel készült kölisztes keverékek esetén, az ÉMI 2010. évi kísérletek feldolgozása alapján, $p=0,280$ és $l=0,010$ esetén



14. ábra v/c - c/R - $(1-l)$ -alapú becslés nomogramja CEM III/B 32,5 N-S cementtel készült kölisztes keverékek esetén, az ÉMI 2010. évi kísérletek feldolgozása alapján $l=0,010$ esetén



15. ábra v/c - c/R - $(1-l)$ -alapú becslés nomogramja CEM I 42,5 N cementtel készült kölisztes keverékek esetén, az ÉMI 2010. évi kísérletek feldolgozása alapján $l=0,010$ esetén

részében idézett forrás beszámolójával [2], amely szerint a kiegészítőanyag adagolásának növelése által nőtt a nyomószilárdság. Ugyanakkor az x - χ_c - p - l -alapú becslésekből a kiegészítő-anyagok

szilárdságot befolyásoló hatása megjósolható, amint azt a 3. pontban bizonyítjuk.

Véleményünk szerint az egyváltozós v/c -alapú szilárdságbecslések a modern

betontechnológiában már aggályosak. Egy további változó (pl. cementtartalom) bevezetésével e módszerek jelentősen javíthatók, de – a levegőtartalmat leszámítva – még mindig szükség van egy további változó bevezetésére is (pl. χ_c), a kiegészítőanyag hatásának leírására. Ezzel odajutunk, ahová a betonösszetéti állapotjelzők alkalmazásával már eljutottunk a 2.1. pontban: általános esetben 4 független változó szükséges a szilárdságbecsléshez.

3. Kiegészítőanyagok hatása a szilárdságra

A példa kedvéért állítsunk elő két betonkeveréket amely 350 kg/m³ cementet tartalmaz, víz-cement tényezője 0,5, tartalmazzon 1 tf⁰% levegőt ($l=0,01$)! Az 1. sz. keverék ne tartalmazzon kiegészítőanyagot ($\chi_c=0,99$), a 2. sz. keverék pedig éppen annyit, hogy $\chi_c=0,55$ legyen. Számítsuk ki a két keverék várható szilárdságát a (32) képletből az ÉMI-kísérletek feldolgozásából nyert paraméterek alapján,

ssz.	recept		állapotjelzők					σ_{becs} [N/mm ²]	
	anyag	kg/m ³	p	x	χ_c	λ_{AD}	l	CEM I 42,5 N	CEM III/B 32,5 N
1.	cement	350	0,990	1,485	0,293	0,010	0,057	44,7	34,4
	kiegészítő	3							
	adalék	1840							
	víz	168							
	ad. szer	7							
2.	cement	350	0,550	0,825	0,387	0,010	0,031	62,6	39,3
	kiegészítő	258							
	adalék	1592							
	víz	168							
	ad. szer	7							
szilárdságnövekedés								40%	14%

8. táblázat 350 kg/m³ cementadagolású, 0,5 víz-cement tényezőjű betonkeverék megvalósítása két különböző kiegészítőanyag-adagolás mellett, és azok becsült szilárdságai a betonösszetéti állapotjelzőkből, a (32) képletből és a 6. táblázat paramétereiből (ÉMI kísérletek, 2010. alapján)

amelyek a 6. táblázat első két sorában található! Az eredményeket a 8. táblázatban közöljük.

A táblázatból egyértelmű, hogy az $x\text{-}\chi_c\text{-}p\text{-}l$ -alapú becslés megjósolhatja a kiegészítőanyag-tartalom növelésével járó szilárdságváltozást. Vegyük észre, hogy a 2. sz. keveréknél az x folyadékpor térfogatarány jelentősen lecsökkent ($x=1,485$ -ről $x=0,825$ -re), ami szilárdságnövelő hatást fejt ki. Mindazonáltal vannak olyan cementfajták és betonösszetéti állapotjelző-tartományok, amelyeknél már nem szilárdságnövekedés mutatkozik, hanem stagnálás vagy pedig csökkenés tapasztalható. Ez a példa csak arra hívja fel a figyelmet, hogy mennyire fontos szerep jut a betonalkotók karakterisztikus viselkedésének, ami az anyagminőségen túl a betonösszetéti állapotjelzőktől is függ.

4. Összefoglalás

Ebben a részben a szilárdságra ható tényezőket elemeztük, magyarázatot keresve korábban nem értelmezett tapasztalatokra is. Rámutatunk, hogy a betonösszetéti állapotjelzők felhasználhatók a szilárdság becslésére, egyben a v/c -alapú szilárdság-becslések továbbfejlesztési lehetőségeit is érintettük.

A következő részben a száradási zsugorodás vizsgálata során szerzett tapasztalatainkról és azok elemzéséről szeretnénk beszámolni, remélve, hogy addigra már a 112 napos eredmények feldolgozása is elkészülhet.

Felhasznált irodalom

- [1] Ujhelyi J. - Popovics S.: Improving accuracy of the concrete strength versus water-cement ratio relationship. Concrete Structures, 2007, Vol.7, pp 40-46.

- [2] Zsigovics I.: Öntömörödő beton, a betontechnológia legújabb forradalma. 3. Mészkelet adagolás hatása a friss és megszilárdult betonra. Vasbeton-építés, 2004/3, pp. 72-79.
- [3] Pekár Gy.: Betonkeverékek egyszerűsített alapmodellje és alkalmazása. 1. rész: Betonösszetéti állapotjelzők. Beton XVIII. évf. 10-11. szám, 2010. október-november, pp 3-6.
- [4] Ujhelyi János főszerkesztő: Betonlexikon. Építésügyi Tájékoztató Központ. Budapest, 2006.
- [5] Dr. Szalai Kálmán - Dr. Huszár Zsolt - Spránitz Ferenc: Beton évkönyv, Betonszerkezeti EU szabványok hazai bevezetése, alkalmazása. 6. fejezet: HSC/HPC betonok és hídépítési alkalmazása. Kiadta a Magyar Beton-szövetség, Magyar Betonelemgyártó Szövetség, Magyar Építőanyagipari Szövetség. Budapest, 2005.

Életút

Isten veled Marci!

TÁRCZY LÁSZLÓ

Elekes Márton, élt 57 évet.

Ma hajnalban nem erre készültem, hogy összeszorult szívvel és könnyező szemmel utolsó földi leveletem megírom Neked, de életünk karmestere most másként döntött.

Borzasztóan hiányozni fogsz!

Óriási úr tátong bennem már néhány órával a megváltoztathatatlan hír után is. Mennyi szeretet, mennyi segítőkészség, mennyi kölcsönösen előnyös, nagyívű és briliáns, sikeres megoldás, mennyi jóbarát és tisztelő. Te, aki mindig egy-két lépéssel a legjobbak előtt jártál, számomra és sokak számára Te voltál az ismert hazai mérnök menedzserek legjobbjá.

Hiányozni fogsz.

1973, UVATERV, fiatal műszakiak fóruma, első közös fellépésünk, aztán az ezt követő 37 év, mennyi gazdag közös élmény.

Algéria, ahol csak a legjobb külföldi mérnökök maradhattak olyan

sokáig, mint ahogy azt Te tetted. Itt csillagod már a nemzetközi elismerés felé vezérelt. Micsoda tekintélyt szereztél "musztás", a tiareti polgári repülőtér építésellenőrzésének vezényletével, az addig ismeretlen zord terepen, de ilyenek a kivételes adottságú és képességű emberek. Sokat tanultam tőled.

Hiányozni fogsz.

Emlékszel, két éjszaka megtanultad a francia földművek előírását, mert így tudtál segíteni kollégádon. Ismeretlen embereket mentettél a sivatagból, ha úgy hozta a sors, balesetes emberek sürgős hazaszállítását intézted, a félkész repülőtéren használt autógumik felgyújtásával megvilágítva a leszállópályát, munkaköri kötelességen és munkaidőn túl, ha kellett, éjjel-nappal. Főztél finomakat, nem volt számodra leküzdhetetlen feladat. Micsoda csodálatos emberi kvalitás!

Hiányozni fogsz.

Aztán hazajöve sok-sok szép sikert tudhatsz magadénak, felsorolni sem tudom mindet, de talán a legfontosabbakat. A földalatti felújítása - ismeretlen terület, mégis teljes a sikered. Budapesti villamosvágány felújítási program - újabb közegben is mindenki meglegedésére dolgoztál. Aztán életed legnagyobb teljesítménye következett, a 4-es metró projektirányítási feladatainak sokévi vezénylete, közel 100 fős nemzetközi csapattal. A Metróber felvirágoztatása, saját irodád beindítása, és az utolsó állomás, a Margit híd rekonstrukció vezénylete, ameddig bírtad.

Hiányozni fogsz.

Tudod, nyugodt akkor voltam, ha átnézted írásaimat, mindig volt egy-két olyan meglátásod, amelyet csak tisztelettel lehetett megköszönni, mert így tört az az írás a tökéletes felé.

Köszönöm azt a sok-sok jót, amit nekem adtál. Büszke vagyok, hogy együtt dolgozhattam veled éveken át.

Hiányozni fogsz.

Isten veled Marci.

2010. december 15.