

# Betonkeverékek egyszerűsített alapmodellje és alkalmazása

## 6. rész: Anyagmérleg egyenletek, összetételek tervezése

PEKÁR GYULA  
gypekar@emi.hu

**A betonösszetélteli (strukturális) állapotjelzők bevezetése hasznos lehet a friss (és megszilárdult) betonkeverékek összetételének tervezése során is, amennyiben ismerjük, vagy kísérleti úton meghatározzuk a betonösszetélteli állapotjelzők és a friss és megszilárdult beton tulajdonságai közötti összefüggéseket, és alkalmazzuk a betonkeverékek anyagmérleg egyenleteit. A cikksorozat befejező részében a kérdéskörre fordítjuk a figyelmet.**

### 1. A betonkeverékek anyagmérleg egyenletei

A beton a szabványos definíció szerint „cementből, durva és finom adalékanyagból, valamint vízből készített anyag, amely adalékszerket és kiegészítő anyagokat tartalmaz vagy nem tartalmaz, s amelynek tulajdonságai a cement hidratációja révén fejlődnek ki.” [1] A betonkeverékek egyszerűsített alapmodellje ezen túlmenően – figyelembe véve a beton-technológia terén történt fejlődést – a betont friss állapotában szilárd adalékanyagvázból, kvázifolyadék pépből és gáznemű levegőből álló, makroheterogén összetett rendszernek tekinti, ahol a kvázifolyadék pép maga is heterogén rendszer, amely szintén három különböző fázisból áll, nevezetesen:

- *szilárd fázisú péppor* (cement, mint hidraulikus kötőanyag, mellette esetleg finom szemméretű – inert vagy puccolános / rejtett hidraulikus / stb. tulajdonságú – kiegészítőanyag[-keverék]),
- *folyadékfázisú víz* (amely esetleg oldott betonadalékszer(ek)e)t is tartalmaz) és
- *légnemű fázisú levegő* (amely lehet tudatosan bevitt légbuborék, vagy csak véletlenszerűen benmaradó zárvány)

keveréke.

Egy  $V_{\text{beton}}$  [m<sup>3</sup>] térfogatú betonke-

verék általános esetben öt fő betonalkotó komponensből áll, miközben egyes betonalkotók maguk is lehetnek részalkotók (ismert arányú) keverékei:

$K_{\text{virt}}^*$  [kg] az összes kiegészítőanyag;  $K_{\text{virt}} = \sum(\alpha_{M,K_{\text{virt},i}} K_{\text{virt},i})$ , ahol  $\alpha_{M,K_{\text{virt},i}}$  az  $i$ -edik  $K_{\text{virt},i}$  [kg] kiegészítőanyag-komponens tömegaránya, és ahol  $0 \leq \alpha_{M,K_{\text{virt},i}} \leq 1$  és  $\sum \alpha_{M,K_{\text{virt},i}} = 1$ ,

$c$  [kg] a bemért cement,

$AG_{\text{virt}}^*$  [kg] az összes (nedves) adalékanyag;  $AG_{\text{virt}} = \sum(\alpha_{M,AG_{\text{virt},j}} AG_{\text{virt},j})$ , ahol  $\alpha_{M,AG_{\text{virt},j}}$  a  $j$ -edik  $AG_{\text{virt},j}$  [kg] adalékanyag-komponens tömegaránya, és ahol  $0 \leq \alpha_{M,AG_{\text{virt},j}} \leq 1$  és  $\sum \alpha_{M,AG_{\text{virt},j}} = 1$ ,

$W_{\text{virt}}^*$  [kg] a hozzáadott víz,

$AD$  [kg] az összes adalékszer;  $AD = \sum(\alpha_{M,AD,k} AD_k)$ , ahol  $\alpha_{M,AD,k}$  a  $k$ -edik  $AD_k$  [kg] adalékszer-komponens tömegaránya, és ahol  $0 \leq \alpha_{M,AD,k} \leq 1$  és  $\sum \alpha_{M,AD,k} = 1$ .

\*Megjegyzés: az indexbe tett „virt” (virtuális) jel azt fejezi ki, hogy a betonalkotó komponensekben jelen vannak (lehetnek) a beton különböző fázisaiba tartozó részek. A kiegészítőanyag 0,063 mm feletti részét például az adalékanyag szilárd fázisába, az adalékanyag 0,063 mm alatti részét pedig – pépporként – a kvázifolyadék pépbe számítjuk. Az adalékanyagok felületére tapadó, sok esetben nem elhanyagolható mennyiségű víz – folyadékként – szintén a pépbe számítandó, tehát a  $W_{\text{virt}}$  hozzáadott víz mellett ez is figyelembe veendő a beton folyadékfázisában.

A fentiek szerinti tömegadatokkal jellemzett betonkeverék strukturális összetétele is alapvetően 5, azaz öt dimenzió nélküli viszonyzámmal jellemezhető, ezek:

$p$  a pép térfogataránya a betonban ( $0 < p \leq 1$ ),

$x$  a pépben levő (szabad) folyadék és a péppor térfogataránya ( $x > 0$ , de a gyakorlatban általában:  $\sim 0,6 \leq x \leq \sim 3,6$ ),

$l$  a betonban levő levegő térfogataránya ( $0 \leq l < 1$ , a gyakorlatban általában:  $\sim 0,010 \leq l \leq \sim 0,060 \dots 0,120$ ),

$\chi_c$  a pépporban levő cement térfogataránya ( $0 < \chi_c \leq 1$ , tiszta cementpép esetén  $\chi_c = 1$ ),

$\lambda_{AD}$  az adalékszeres együttes térfogataránya a pépporhoz képest (ahol az egyes – különböző hatású – adalékszerkomponensek  $\lambda_{AD,k}$  arányaira  $\lambda_{AD,k} \geq 0$ , adalékszer nélküli keverékek esetében  $\lambda_{AD,k} = 0$ ; általában pedig  $\lambda_{AD,k} = \sim 0,005 \dots 0,050$ , tehát kicsi érték).

A betonösszetélteli állapotjelzők és a mindenkor adott, ismert fizikai tulajdonságú betonalkotók mennyiségei közötti összefüggést a (40) mátrixos alakban felírt lineáris egyenletrendszer határozza meg, ahol:

$\phi_{K,i}$  az  $i$ -edik kiegészítőanyag-komponens 0,063 mm alatti része tömegarányban,

$\rho_{K,i}$  [kg/m<sup>3</sup>] az  $i$ -edik kiegészítőanyag-komponens száraz állapotú anyagsűrűsége,

$\rho_c$  [kg/m<sup>3</sup>] a cement (száraz állapotú) anyagsűrűsége,

$\phi_{AG,j}$  a  $j$ -edik adalékanyag-komponens 0,063 mm alatti része tömegarányban,

$w_{AG,j}$  a  $j$ -edik adalékanyag-komponens nedvességtartalma tömegarányban

$\rho_{AG,j, \text{fine}}$  [kg/m<sup>3</sup>] a  $j$ -edik adalékanyag-komponens 0,063 mm alatti részének száraz állapotú anyagsűrűsége,

$\rho_{AD,k}$  [kg/m<sup>3</sup>] a  $k$ -edik adalékszer-komponens anyagsűrűsége,

$s_{\chi,k}$  a  $k$ -edik adalékszer-komponens szárazanyag-tartalma tömegarányban,

$\rho_w$  [kg/m<sup>3</sup>] a víz sűrűsége,

$sm_{K,i}$  az  $i$ -edik kiegészítőanyag-komponens (rövid idejű) vízfelvetele

$$\begin{pmatrix}
\sum_{i=1}^{nk} \alpha_{M, Kvirt, i} \cdot \frac{\varphi_{K, i}}{\rho_{K, i}} & \frac{1}{\rho_c} & \sum_{j=1}^{nAG} \frac{\alpha_{M, AGvirt, j} \cdot \varphi_{AG, j}}{1 + W_{AG, j} \cdot \rho_{AG, fine, j}} & 0 & \sum_{k=1}^{nAD} \alpha_{M, AD, k} \cdot \left( \frac{1}{\rho_{AD, k}} - \frac{1 - Sz_k}{\rho_w} \right) \\
\frac{\sum_{i=1}^{nk} \alpha_{M, Kvirt, i} \cdot SW_{K, i}}{\rho_w} & -\frac{SW_c}{\rho_w} & \sum_{j=1}^{nAG} \frac{\alpha_{M, AGvirt, j} \cdot W_{AG, j} - SW_{AG, j}}{1 + W_{AG, j}} & \frac{1}{\rho_w} & \sum_{k=1}^{nAD} \alpha_{M, AD, k} \cdot \frac{1 - Sz_k}{\rho_w} \\
\sum_{i=1}^{nk} \alpha_{M, Kvirt, i} \cdot \frac{1 - \varphi_{K, i}}{\rho_{K, i}} & 0 & \sum_{j=1}^{nAG} \frac{\alpha_{M, AGvirt, j} \cdot \frac{1 - \varphi_{AG, j}}{\rho_{AG, coarse, j}}}{1 + W_{AG, j}} & 0 & 0 \\
0 & \frac{1}{\rho_c} & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & \sum_{k=1}^{nAD} \frac{\alpha_{M, AD, k}}{\rho_{AD, k}}
\end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} K_{virt} \\ c \\ AG_{virt} \\ W_{virt} - \Delta W_{ev} \\ AD \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{p}{1+x} \cdot V_{beton} \\ \frac{p}{1+x} \cdot x \cdot V_{beton} \\ (1-p-I) \cdot V_{beton} \\ x^c \cdot \frac{p}{1+x} \cdot V_{beton} \\ \sum_{k=1}^{nAD} \lambda_{AD, k} \cdot \frac{p}{1+x} \cdot V_{beton} \end{pmatrix} \quad (40)$$

tömegarányban,  
 $sw_c$  a cement (rövid idejű) vízfelvétele tömegarányban,  
 $sw_{AG, j}$  a j-edik kiegészítőanyag-komponens (rövid idejű) vízfelvétele tömegarányban,  
 $\rho_{AG, j, coarse}$  [kg/m<sup>3</sup>] a j-edik adalékanyag-komponens 0,063 mm feletti részének száraz állapotú anyagsűrűsége,  
 $\Delta W_{ev}$  [kg] a  $V_{beton}$  [m<sup>3</sup>] térfogatú betonkeverékből a bedolgozásig **szórán** elpárolgott víz,  
 $\lambda_{AD, k}$  a k-adik adalékszer-komponens térfogataránya a péppor térfogathoz képest,  
a többi jelölés megegyezik az előzőkben már ismertekkel.

A mátrixos alakban felírt (40) lineáris egyenletrendszer alapvető jelentőséggel bír a betonkeverékek összetételének meghatározásában. Az egyenletrendszer azt fejezi ki, hogy a (friss)betonkeverék a komponensek alkotófázisainak lineáris kombinációjából áll össze. Az egyenlet baloldalán lévő szorzat - ismertnek tekinthető - mátrix-tényezője a betonalkotó anyagok fizikai jellemzőit és komponensarányait (pl. frakcióarányok) tartalmazza, míg a szorzat vektor-tényezője (*keverékösszetétel-vektor*) a bemérendő betonalkotók – tervezéskor ismeretlennek tekinthető – tömegeit fejezi ki. Az egyenlet jobboldalán lévő ún. *strukturális vektor* rendre az adott térfogatú tervezett betonban lévő péppor, pépfolyadék és adalékanyag térfogatait, továbbá a cement térfogatát és

az adalékszer(ek) térfogatát tartalmazza. A strukturális vektor közvetlenül a tervezett beton összetételi állapotjelzőitől függ, amelyeket a tervezési folyamat során vagy eleve ismerünk, vagy pedig – bizonyos összefüggések előzetes ismerete alapján – meghatározunk.

A keverékösszetétel-vektor és a strukturális vektor kölcsönösen egyértelműen meghatározza egymást, így a betonkeverékek összetételének tervezése visszavezethető a (40) lineáris egyenletrendszer megoldására. Amikor egy adott  $V_{beton}$  térfogatú keverék összetételét tervezzük, akkor első lépésben a betonösszetételi állapotjelzőket határozzuk meg, amikből megkapjuk a (40) lineáris egyenletrendszer jobboldalán lévő strukturális vektort, majd – az anyagjellemzőket és bizonyos kötött komponens-arányokat tartalmazó mátrix ismeretében – felállítjuk a (40) lineáris egyenletrendszert. A lineáris egyenletrendszer megoldása révén kapjuk meg a keverékösszetétel-vektort, amely már közvetlenül a  $V_{beton}$  térfogatú tervezett keverékhez bemérendő betonalkotók tömegeit adja eredményül.

Vegyük észre, hogy a (40) lineáris egyenletrendszer (azaz maga a betonkeverék is) akkor és csak akkor egyértelműen meghatározott, ha összes betonösszetételi állapotjelzője ismert. Ebből az is következik, hogy a betonkeverékekre vonatkozó megfigyelésekből elvileg csak akkor vonhatók le teljesség igényével következtetések,

ha a betonösszetételi állapotjelzők mindegyikének hatását figyelembe vették és értékelték.

## 2. Adott kritériumoknak megfelelő betonkeverékek összetételének tervezése az egyszerűsített alapmodell alkalmazásával

Előre megadott kritériumoknak eleget tevő betonösszetételek tervezésére számos módszer ismert. Az összetétel-tervezési módszerek közös alapelve, hogy a tervezési kritériumokból (pl. szilárdságból és konzisztencia-mérőszámból) visszaszámolva keresi meg az adott kritériumoknak megfelelő összetételeket, aminek alapfeltétele, hogy álljanak rendelkezésre elfogadott összefüggések, mint pl. az *adalékszer nélküli* betonok összetételének tervezésére hazánkban elterjedt Palotás-Bolomey szerinti [2], [3] és Ujhelyi szerinti eljárás [4] esetén.

Az *adalékszeres* betonkeverékek összetételének tervezése során új összefüggések alkalmazása is szükséges, amire lehetőséget kínál a betonkeverékek egyszerűsített alapmodelljén alapuló tervezés, amelyben már megjelenik az anyagmérleg-egyenletek alkalmazása is, és amely ezen kívül nagyobb teret enged a kísérletileg feltárt, a betonok egyes tulajdonságait befolyásoló tényezők hatásaira vonatkozó korlátozott érvényességi tartományú összefüggések alkalmazásának is. A hosszas kifejtés helyett a módszer lényegét konkrét példán mutatom be, amely a következő oldalon kezdődik.

**Példa: Tervezzük meg egy C30/37-XC3-16-F4-MSZ 4798-1:2004 jelű betonkeverék összetételét!**

**1. lépés: Követelmények azonosítása és meghatározása**

**Nyomószilárdság:** A példa szerinti beton MSZ EN 206-1 szerinti  $f_{ck,cube}$  jellemző nyomószilárdsága a C30/37 és C35/45 nyomószilárdsági osztályokra előírt legkisebb jellemző nyomószilárdsági értékei közé kell eszen:  $37 \text{ N/mm}^2 \leq f_{ck,cube} < 45 \text{ N/mm}^2$ . Folyamatos gyártás esetén a jellemző nyomószilárdság biztosított, ha a beton átlagos nyomószilárdságára az  $f_{cm} \geq f_{ck,cube} + 1,48 \times \sigma$  feltétel teljesül, ahol esetünkben  $\sigma \geq 3 \text{ N/mm}^2$  lehet. Példánkban a  $\sigma$  szórás értékét rögzítsük a beton várható átlagos nyomószilárdságának 10%-án, és a biztonság javára szűkítsük le a jellemző nyomószilárdsági értékek tartományát az alsó és felső korlátoknál 10-10%-kal (tehát legyen  $37,8 \text{ N/mm}^2 \leq f_{ck,cube} < 44,2 \text{ N/mm}^2$ ). Arra az eredményre jutunk, hogy a beton biztonsággal kielégíti az adott nyomószilárdsági feltételeket, ha átlagos nyomószilárdsága  $44,4 \text{ N/mm}^2 \leq f_{cm} < 51,9 \text{ N/mm}^2$  kritériumtartományba esik.

**Konzisztencia:** Az MSZ EN 206-1 szerinti F4 konzisztencia-osztályra előírt  $T_{er}$  [mm] területi mérték a  $490 \text{ mm} \leq T_{er} \leq 550 \text{ mm}$  közé esik. Tekintettel a

konzisztencia becslési bizonytalanságára, a tartomány középértékét,  $T_{er}=520 \text{ mm}$ -t jelöljük meg kritériumként.

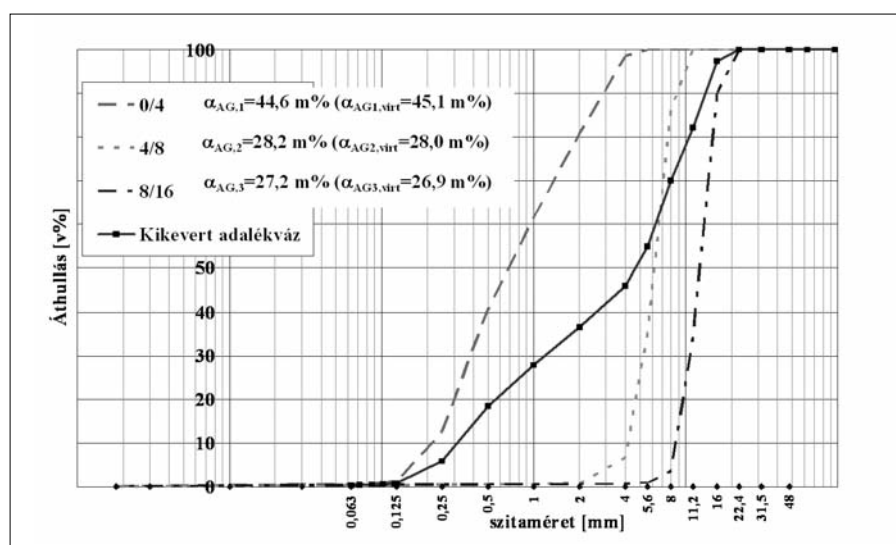
**Összetélteli kritériumok:** Az XC3 kitéti osztályra az MSZ EN 206-1 által tett – Magyarországon kötelező – ajánlások:  $v/c \leq 0,55$ , a  $c$  cementtartalomra:  $c \geq 280 \text{ kg/m}^3$ . Magyarországon előírás még a  $2380 \text{ kg/m}^3$  friss testsűrűség és  $2310 \text{ kg/m}^3$  kiszáritott állapotú testsűrűség is.

**2. lépés: Betonalkotó anyagok azonosítása, tulajdonságainak meghatározása**

Példánkban az elpárolgó víz mennyiségét nem vesszük figyelembe, azaz  $\Delta W_{ev}=0$ , egyebekben a rendelkezésre álló anyagokat, azok tulajdonságait a 13. táblázat és a 33. ábra sorolja fel és mutatja.

**3. lépés: Tervezési kritériumokra, mint célparaméterekre vonatkozó összefüggések azonosítása**

A betonkeverékek egyszerűsített alapmodellje a „globálisan érvényes” összefüggések mellett támaszkodik a helyszíni, kísérletileg is ellenőrzött adatokból nyert tapasztalati össze-



33. ábra A példa szerint tervezendő C30/37-XC3-16-F4-MSZ 4798-1:2004 jelű betonhoz rendelkezésre álló adalékanyagok szemmegoszlási adatai

A betonalkotó jele		komponens-arányok	térfogati fajlagos felületek	finomrész-tartalom (0,063 mm alatti rész)	sűrűségek (száraz állapotban)	nedvességtartalmak	vízfelszívóképesség				
jele	megnevezése	jele	értéke	[m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ]	jele	[m%]	jele				
				[m%]	jele	[kg/m <sup>3</sup> ]	jele				
							[m%]				
<b>W<sub>virt</sub></b>	vezetékes víz				$\rho_w =$	999					
<b>AD</b>	„Erős” víz-csökkentő szer	$\alpha_{M,AD,1} =$			$\rho_{AD,1} =$	1070	1-sz <sub>1</sub> = 70,00%				
<b>c</b>	CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N		$f_c =$	1 208 000	$\rho_c =$	3000	$sw_c =$ 1,51%				
<b>K<sub>virt</sub></b>	inert kőliszt (bazaltpor)	$\alpha_{M,Kvirt,1} =$	$f_k =$	1 456 000	$\phi_{K,1} =$	88,0%	$\rho_{K,1} =$ 2763				
							$sw_{K,1} =$ 0,50%				
<b>AG<sub>virt</sub></b>	0/4 virt	$\alpha_{M,AGvirt,1} =$	9859	$f_a =$ 5034	$\phi_{AG,1} =$	0,4%	$\rho_{AG,1} =$ 2640	$w_{AG,1} =$	3,49%	$sw_{AG,1} =$	0,20%
	4/8 virt	$\alpha_{M,AGvirt,2} =$	1365		$\phi_{AG,2} =$	0,3%		$w_{AG,2} =$	1,71%	$sw_{AG,2} =$	0,95%
	8/16 virt	$\alpha_{M,AGvirt,3} =$	926		$\phi_{AG,3} =$	0,2%		$w_{AG,3} =$	1,21%	$sw_{AG,3} =$	0,95%

13. táblázat A példa szerint tervezendő C30/37-XC3-16-F4-MSZ 4798-1:2004 jelű betonhoz rendelkezésre álló betonalkotók adatai

függésekre, amelyek érvénye az adott kísérlet által érintett anyagokra és értelmezési tartományra korlátozódik. Ilyen tapasztalati összefüggések minden keverőtelepen nyerhetők, ahol felkészült betontechnológusi szakmai felügyelet mellett folyik üzemi gyártási ellenőrzés.

Esetünkben a nyomószilárdságra és konzisztenciára vonatkozó tapasztalati összefüggéseket fogunk használni, amelyek érvénye a 2. lépésben azonosított betonalkotókra terjed ki; CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N cementből készült keverékek nyomószilárdságára 46 megfigyelés, az ún. „Erős adalékszer”-es keverékek konzisztenciájára pedig 10 megfigyelés áll rendelkezésre (lásd 14. és 15. táblázat).

A nyomószilárdságra felhasznált tapasztalati összefüggés:

$$f_{cm,28nap} = A \cdot \frac{\chi_c^{n_x} \cdot p^{n_p}}{(1+x)^{n_x}} \cdot (1-l)^{n_l} \quad (41)$$

ahol:

$f_{cm,28nap}$  [N/mm<sup>2</sup>] a 28 napos szabványos érlelésű próbakockán mért nyomószilárdság várható értéke,

$A$  kísérleti állandó, CEM II/A-M (V-LL) esetén  $A=342,302$ ,

$\chi_c$  a cement térfogataránya a pépporban,  $n_x$  a  $\chi_c$  kitevője, CEM II/A-M (V-LL) esetén  $n_x=1,711$ ,

$p$  a pép térfogataránya a betonban,  $n_p$

a  $p$  kitevője, CEM II/A-M (V-LL)

esetén  $n_p=-0,240$ ,

$x$  a folyadék-por térfogati tényező a pépben,  $n_x$  az  $(1+x)$  kitevője, CEM II/A-M (V-LL) esetén  $n_x=2,355$

$l$  a levegő térfogataránya a betonban,  $n_l$  az  $l$  kitevője, CEM II/A-M (V-LL) esetén  $n_l=3,75$ .

A konzisztenciára vonatkozó tapasztalati összefüggés:

$$Ter[\text{mm}] = (1 + f_{1,AD} \cdot \lambda_{AD}) \cdot f_{2,AD} \cdot A \cdot$$

$$\frac{\left(\frac{x}{f_z}\right)^{n_x}}{\left(1 + \frac{a \cdot f_a}{z \cdot f_z}\right)^{n_f} \cdot \left(1 + \frac{a}{z}\right)^{n_a}} \quad (42)$$

ahol:

$Ter$  a betonkeverék területének becsült várható értéke [mm],

$\lambda_{AD}$  az adalékszer adagolása (dózisa) a péppor térfogatarányában (betonösszetéti állapotjelző),

$f_{1,AD}$  az adalékszer „dózisfaktora” („Erős adalékszer”-re vett konkrét értékeit lásd 15. sz. táblázatban),

$f_{2,AD}$  az adalékszer anyagára jellemző faktor („Erős adalékszer”-re vett konkrét értékeit lásd 15. táblázatban),

$A$  kísérleti állandó, esetünkben

$A=39386,8$ ,

$n_x$ ,  $n_f$  és  $n_a$  kitevők, amelyek értékei a megfigyelések során a következők:

$n_x=0,288$ ,  $n_f=1,208$  és  $n_a=0,319$ ,

$f_z$  a péppor térfogati fajlagos felülete [m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>] esetünkben  $f_z \approx \chi_c f_c + (1-\chi_c) f_{Kc}$ , ( $f_c$  és  $f_{Kc}$  a 13. táblázat szerint),

$f_a$  az adalékanyag térfogati fajlagos felülete [m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>], esetünkben  $f_a$  a 13. táblázat szerint,

$z$  a péppor térfogataránya a betonban ( $z=p/[1+x]$ ),

$a$  az adalékanyag térfogataránya a betonban ( $a=1-l-p$ )

a többi jelölés megegyezik az 1. pontban közölt jelölésekkel.

Végül a  $v/c \leq 0,55$  korlátozás miatt figyelembe veendő összefüggés:

$$x \approx \chi_c \cdot \left(\frac{v}{c} - sw_c\right) \cdot \frac{\rho_c}{\rho_f} \quad (43)$$

A (43) összefüggésbe behelyettesítve a 13. táblázatból vett  $\rho_c$  és  $sw_c$  adatokat, továbbá  $\rho_f=1000$  kg/m<sup>3</sup>-t:

$$x \leq \chi_c \cdot (0,55 - sw_c) \cdot \frac{\rho_c}{\rho_f} = \chi_c \cdot (0,55 - 0,0151) \cdot \frac{3000}{1000} = 1,6047 \cdot \chi_c \quad (44)$$

**4. lépés: A kritériumok biztosításához szükséges betonösszetéti állapotjelzők meghatározása, és a lehetséges keverékösszetételek meghatározása az anyagmérleg-egyenlet rendszer megoldásából**

A kiértékelésbe vont cementfajta: CEM II A-M (V-LL) 42,5 N		Betonösszetéti (strukturális) állapotjelzők					Egyéb technológiai adatok, információk		
		$p$	$x$	$\chi_c$	$\lambda_{AD}$	$l$	hagyományos v/c	$a^*$	$D_{max}$ (mm)
Gyártóüzemi megfigyelések 2008-2010. 46 megfigyelés	min.	0,204	1,294	0,750	0,010	0,000	0,484	0,686	8
	max.	0,302	2,327	0,974	0,026	0,041	1,048	0,756	32
	átlag	0,261	1,753	0,822	0,019	0,012	0,729	0,727	24,5
	szórás	0,016	0,243	0,055	0,006	0,007	0,138	0,014	8,3

14. táblázat Az üzemi megfigyelések során értékelésbe vont CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N keverékek betonösszetéti állapotjelzői és néhány más adata. ( $a^*$ : a betonkeverékben lévő adalékanyag térfogataránya.)

Adalékszer neve	Megfigyelések száma	$p$ - pép tf-arány		$x$ - folyadék-por tf-tényező		$\lambda$ - adalékszer dózis a péppor térfogatarányában			Mért területek [mm]		Faktorok a becsülő-képletbe	
		$p_{min}$	$p_{max}$	$x_{min}$	$x_{max}$	$\lambda_{min}$	$\lambda_{átlag}$	$\lambda_{max}$	$Ter_{min}$	$Ter_{max}$	$f_{1,AD}$	$f_{2,AD}$
„Erős”	10	0,212	0,314	0,924	1,872	0,008	0,016	0,030	340	590	8,868	1,012

15. táblázat Az „Erős adalékszer”-rel megvalósult keverékek betonösszetéti állapotjelzőinek és konzisztencia mértékszámainak adatai, valamint a konzisztenciabecsülő (42) képlet  $f_{1,AD}$  és  $f_{2,AD}$  faktorai

ssz.	Tervezési alapadatok							Receptura kg/m <sup>3</sup>					Keverési utasítás kg/1000 liter						Ellenőrzés			
	$f_{cm}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$Ter$ [mm]	$p$	$\chi_c$	$l$	$x$	$\lambda_{AD}$	K	CEM II/A-M 42,5	AG	W	AD1(F)	Kő- liszt	CEM II/A-M 42,5	0/4 homok	4/8	8/16	W <sub>virt</sub>	AD1(F)	v/c	R kg/m <sup>3</sup>	kítési osztály
1	44,4	520	0,280	0,850	0,020	1,333	0,034	46	306	1849	173	4,32	46	306	853	530	509	129	4,32	0,54	2379	XC3
2	44,4	520	0,280	0,972	0,020	1,560	0,030	0	319	1854	184	3,54	0	319	856	532	510	140	3,54	0,55	2361	XC2
3	44,4	520	0,300	0,850	0,020	1,317	0,030	51	330	1795	184	4,11	51	330	829	515	494	141	4,11	0,53	2365	XC2
4	44,4	520	0,300	0,975	0,020	1,559	0,026	0	343	1801	197	3,27	0	343	831	517	496	154	3,27	0,55	2344	X0
5	51,9	520	0,280	0,850	0,020	1,183	0,036	50	327	1848	165	4,91	50	327	853	530	509	121	4,91	0,48	2395	XC4
6	51,9	520	0,280	0,973	0,020	1,408	0,032	0	339	1854	177	3,96	0	339	856	532	510	133	3,96	0,50	2375	XC3
7	51,9	520	0,300	0,850	0,020	1,168	0,032	55	353	1795	175	4,72	55	353	828	515	494	133	4,72	0,47	2382	XC3
8	51,9	520	0,300	0,976	0,020	1,396	0,028	0	366	1801	189	3,72	0	366	831	517	496	146	3,72	0,49	2360	XC2

16. táblázat A példa szerinti kritériumok alapján végzett összetétel-számítások, ahol az  $f_{cm}$ ,  $Ter$  felvett tervezési kritériumok (célparaméterek), a  $p$ ,  $\chi_c$  és  $l$  szabadon választott, az  $x$ ,  $\lambda_{AD}$  pedig ezektől függő számított állapotjelzők. A táblázat tartalmazza a (40) egyenletrendszer megoldásából kapott receptúrákat, keverési utasításokat (nedves adalékanyag-komponensekre) és egy ellenőrző blokkot a kítési követelményekre

A betonkeverékeket öt lineárisan független állapotjelző határozza meg, ugyanakkor van két becslőképletünk, (41) és (42), továbbá az egyik állapotjelzőt  $l=0,020$  értéken (tehát 20 liter/m<sup>3</sup> levegőtartalom mellett) vesszük figyelembe, ezzel a szabadon választható betonösszetélteli állapotjelzők száma máris kettőre csökkent és még az  $x$  és  $\chi_c$  között is fennáll a (44) szerinti korlátozás. Célszerűnek tűnik szabadon választani a  $p$  és  $\chi_c$  értékeket, és – a (41), (42) és (44) összefüggésekből – kiszámolni a lehetséges  $x$  és  $\lambda_{AD}$  állapotjelzőket. Miután így már adott mind az öt állapotjelző, ezekből megkapjuk a (40) lineáris egyenletrendszer jobboldalán lévő *strukturális vektort* is, amiből a (40) lineáris egyenletrendszer megoldható a *keverékösszetétel-vektorra*. A példa szerinti számításokat 280 és 300 l/m<sup>3</sup> péptartalmakra ( $p=0,280$  ill.  $p=0,300$ ) és kvázi-zérus illetve 15 tf% kiegészítőanyag-tartalmakra ( $\chi_c=0,850$  ill.  $\chi_c=0,972\dots0,976$ ) vezettük végig és a számítások eredményeit a 16. táblázatban közöljük.

### 5. lépés: Diskusszió

A 16. táblázatban közölt keverék-összetételek közül az 1. 6. és 7. sorszámú keverékek teljesítik az összes követelményt, beleértve a – véleményem szerint túl szigorú – testsűrűségi követelményeket is. (A szabvány revíziójakor ajánlatos volna az összetélteli kritériumokat átgondol-

ni és az esetleg inkonzisztens követelményeket korrigálni.)

Látható a táblázat adataiból, hogy nem sokat nyerünk, ha az adott beton esetében növeljük a péptartalmat és a szilárdsági osztályon belül a felső határt célozzuk meg, ugyanis ez a cementadagolás növelésével jár, ráadásul még a folyósítószer adagolását is növelni kell. Számomra a követelményekhez legjobban igazodónak az 1. sorszámú keverék tűnik, igaz ennek is van „szépséghibája”, amennyiben a 15. sz. táblázat szerint csak  $\lambda_{AD} < 0,030$  tartományban vannak üzemi megfigyelések, márpedig itt  $\lambda_{AD} = 0,034$  szerepel, tehát egy extrapolált érték. Lehetne „variálni” a terület kritériumának módosításával, azonban nem érdemes; már  $\lambda_{AD} = 0,030$  esetén is a becsült területi mérték ~508 mm, ami csekély mértékben tér el a tervezett 520 mm-től.

Sok más következtetés is levonható, sok egyéb számítás is elvégezhető volna, amelyek azonban nem férnek e cikk szűk terjedelmi kereteibe.

### 3. Jelenlegi és jövőbeli feladatok a betontechnológiában

A betontechnológiában az elmúlt évtizedekben újabb és újabb cement-fajták, adalékszerkelet jelentek meg, amelyek hatásainak leírására vonatkozóan a technikai fejlődéssel óhatatlanul is mindig késedelemben lévő szabványos módszerek nem tarthattak

lépést. Éppen ezért is volna szükséges a betonalkotók hatásainak további szisztematikus és összehangolt vizsgálata abból a célból, hogy hatásaikat még alaposabban megismerjük. Mindez egyáltalán nem csupán a cementgyártók, vagy adalékszer-kereskedelmi cégek érdeke, hanem a betonkeverőtelepeké is. A kutatások öröndetes módon máris folynak számos intézetben. Az ÉMI Nonprofit Kft. elkötelezettségét illetően nincsenek kétségeim: tudományos intézetekkel, kis és „nagy” betonkeverőtelepekkel együttműködve kész folytatni a megkezdett munkát, amelynek célja a betonösszetételek optimalizálása, a betonkeverőtelepek műszaki kultúrájának további szolgálata.

### 4. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom az Augusztin Betongyártó Kft. és az ÉMI Nonprofit Kft. vezetőségének a munka feltételeinek biztosításáért, a DDC Kft.-nek és BASF Magyarország Kft.-nek egyes vizsgálati anyagok biztosításáért. Köszönetemet fejezem ki személy szerint is Dr. Bánky Tamásnak, Dr. Kovács Károlynak, Dr. Matolcsy Károlynak, Törökné Horváth Évának, Boros Sándornak a támogatásért és számos segítő szándékú észrevételeikért. Megköszönöm Spránitz Ferencnek a sok útbaigazítást és köszönöm ifj. Augusztin Bálintnak, Bohák Attilának a vizsgálatok lefolytatásában, a „betonvizsgálati protokoll” kialakí-

tásában nyújtott kimagaslóan értékes és lelkiismeretes munkájukat. Hálával és tisztelettel gondolok egykori tanárainra, Dr. Ujhelyi Jánosra, Dr. Balázs Györgyre, Dr. Erdélyi Attilára, Dr. Szalai Kálmánra, Dr. Kausay Tiborra és sok más kiváló személyiségre, akiknek életművei magasra állították a mércét a jövő mérnökmenzedékei előtt.

#### Felhasznált irodalom

- [1] MSZ EN 206-1:2002, MSZ EN 206-1:2000/A1:2004, MSZ EN 206-1:2000/A2:2005 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés
- [2] Palotás L. – Balázs L.: Mérnöki szerkezetek anyagtana III. Akadémiai Kiadó, Budapest 1980.
- [3] Arany P. - S. G. Nehme - Fehérvári S.: Építőanyagok I. (Bsc-BMEEOMAT12) Laboratóriumi gyakorlati segédlet. Betontervezés. BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, 2008. április 7.
- [4] Ujhelyi J.: A beton struktúrájának és nyomószilárdságának tervezése. Doktori értekezés. Magyar Tudományos Akadémia 1989. augusztus

## KÖNYVJELZŐ

### Építésügyi iratmintatár

A szerződésminták használatának és alkalmazásának egyik indoka, hogy számos esetben írásba kell foglalni a megkötendő szerződést. A másik indokot az a tapasztalat szolgáltatja, amely szerint a felek gyakran jogi szaksegítség nélkül, e költségek megtakarításával próbálnak szerződést kötni. Ezért sok esetben nem a jogszabályoknak megfelelően kerül a szerződés megszövegezésre, ez pedig a későbbiekben vitás, és nehezen rendezhető helyzeteket idéz elő.

Az építésügyi és építésfelügyeleti hatósági intézkedések/döntések körébe tartozó minták segítenek az ügyintézőknek, az Építési napló, a különböző műszaki átadás-átvételi jegyzőkönyv minták pedig az építetőknek, kivitelezőknek a jogszabályi előírásoknak megfelelő anyagok elkészítésében.

Forrás: [www.complex.hu](http://www.complex.hu)

◇ ◇ ◇

Dr. Papp Ferenc professzor születésének 110. évfordulójára 200 oldalas emlékkönyv készült el Dr. Gálos Miklós és Kürti István szerkesztésében **Papp Ferenc élete és munkássága, „Feri bácsi” a Műegyetem legendás professzora** címmel. A könyv a Műegyetem neves professzorának állít emléket, akit már életében nagyra becsültek tanítványai, munkatársai, tisztelői, valamint a munkásságát folytató hidroteológusok, mérnökgeológusok, barlangkutatók.

1924-től haláláig a Műegyetemen oktatott és kutatott. 1960-tól az egyetem Ásvány- és Földtani Tanszék tanszékvezetője, 1959-60 években a Mérnöki Kar dékánja volt. Több tudományos szakegyesületben viselt magas tisztséget, így a Magyarhoni Földtani Társulatnál, a Mérnökgeológiai Szakcsoportnál, a Magyar Hidrológiai Társaságnál, a Magyar Karszt- és Barlangkutató Társulatnál.

A könyv kiadásához kérik mindazok támogatását, akik szeretnék, hogy Feri bácsi emlékének ápolása e könyvön keresztül is maradandó legyen.

További információ: Magyarhoni Földtani Társulat, 1015 Budapest, Csalogány u. 12. Tel./fax: 06-1/201-9129 • E-mail: [mft@mft-t-online.hu](mailto:mft@mft-t-online.hu)



## 45 éve az építés minőségének szolgálatában

Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft.



Nyilvántartási szám:  
503/0933.



A NAT által NAT-6-0031/2008 számon akkreditált terméktanúsító szervezet.  
A NAT által NAT-1-1110/2006 számon akkreditált vizsgálólaboratórium.  
A NAT által NAT-3-0012/2010 számon akkreditált ellenőrző szervezet.  
A 4/1999. (II.24) GM rendelet alapján 138/2009 számon kijelölt szervezet.  
Az Európai Unióban 1415 azonosító számon bejelentett szervezet.



- Terméktanúsítás, üzem és üzemi gyártásellenőrzés tanúsítása
- Építőipari műszaki engedélyek kiadása
- Vizsgálati tevékenység az alábbi területeken:
  - :: épületszerkezet és épületfizika
  - :: mechanikai vizsgálatok (beton és betontermékek, mész, cement, habarcsok, adalékanyagok, adalékszerek, durva- és finomkerámia, építési üveg termékek, hőszigetelő anyagok, betonacél, acéltérmekek és rögzítőelemek vizsgálatai)
  - :: tartószerkezet és mélyépítés
  - :: aktív és passzív tűzvédelem, nukleáris létesítmények
  - :: vegyészet és alkalmazástechnika
  - :: gépészet és energetika

- Szakértői tevékenység, kutatás-fejlesztés
- Építési-bontási hulladékok hasznosításának felügyelete
- Egyéb tevékenységek:

- :: bauxitbetonos épületek vizsgálata, nyilvántartása
- :: felvonók és mozgólépcsők felügyelete
- :: mérőeszközök kalibrálása
- :: építési vállalkozások minősítése
- :: minősített felhasználók tanúsítása
- :: tanácsadás
- :: ÉMI minőséggel használatának engedélyezése

1113 Budapest, Diószegi út 37.  
Levél cím: 1518 Budapest, Pf. 69  
Tel: +36 1 372 6100 :: Fax: +36 1 386 87 94  
[info@emi.hu](mailto:info@emi.hu) :: [www.emi.hu](http://www.emi.hu)

**Építésügyi Minőségellenőrző Innovációs Nonprofit Kft.**