

# Betonkeverékek egyszerűsített alapmodellje és alkalmazása

## 1. rész: Betonösszetéti állapotjelzők

PEKÁR GYULA

gypekar@emi.hu, alba-qualit@hdsnet.hu

*A betontechnológia állandó feladata a betonalkotó anyagok hatásainak vizsgálata. E hatások elemzésének és a tapasztalt összefüggések értelmezése során időről időre érdemes átgondolni – az alapoktól kezdve – azokat a modelleket is, amelyekben a tapasztalt hatásokat értelmezzük. Ha szükséges, akkor finomításokkal is kell élnünk, hogy az új anyagok megjelenésével félművelt fejlődéssel a betontervezés alapjául szolgáló modellek is kellő módon lépést tarthassanak. A cikksorozat első része a betonkeverékek összetételének egy leegyszerűsített alapmodelljét kívánja bemutatni, bevezetve a betonösszetéti egyértelműen meghatározó, dimenzió nélküli állapotjelzőket, amelyekről sejtethető, hogy a betonok teljesítményjellemzőit befolyásolják, így érdemes azokat tovább vizsgálni. A további részekben konkrét üzemi megfigyelésekről és egyéb mérésekről számolunk be, amelyekben a betonösszetéti állapotjelzők és az egyes teljesítményjellemzők közötti összefüggéseket tárgyaljuk és elemezzük, különös tekintettel a betonösszetételek tervezésére.*

### 1. Bevezetés

A betontechnológiában is előfordulnak olyan jelenségek, amelyek nem (vagy nehezen) illeszthetők be az ismert modellekbe, amit illusztrálhat az alábbi három példa is a cementek, a kiegészítők és a vízcsökkentő adalékszer hatásairól:

A 2005. évi Beton évkönyv 6. fejezetében Dr. Szalai Kálmán, Dr. Huszár Zsolt és Spránitz Ferenc leírják, hogy alacsony víz-cement tényező ( $v/c < 0,4$ ) esetén egyes CEM 32,5 cementekkel nagyobb nyomószilárdság számítható, mint a CEM I 42,5 és CEM I 52,5 cementek esetében, ami látszólag ellentmondásban áll az ismert szilárdságbecslő függvényekkel [1]. Ezt saját vizsgálataink is megerősítették:  $v/c = 0,2$  keverékek esetén előfordult, hogy a CEM III/B 32,5 N-S cementből készült próbatest 28 napos korú szilárdsága ( $136,7 \text{ N/mm}^2$ ) meghaladta a vele azonos körülmények között érlelt CEM I 42,5 N típusú cementből készült keverék szilárdságát ( $129,8 \text{ N/mm}^2$ ). Vajon létezik-e szilárdságbecslő eljárás, amely alapján „megjósolhatók” ezek az ellentmondásosnak tűnő eredmények?

A kiegészítők betonkeverékekre gyakorolt hatásait kutatva – hazánk-

ban elsőként – Zsigovics István számolt be egy szintén érdekes megfigyelésről: egy betonkeverék-sorozatnál azonos cementadagolást ( $350 \text{ kg/m}^3$ ), azonos víz-cement tényezőt ( $v/c = 0,5$ ) alkalmaztak, és azonos mennyiségű vízcsökkentő adalékszerrel ( $1,6\%$ ) tettek minden egyes keverékbe, csak a mészköliszt-tartalmat változtatták  $70 \text{ kg/m}^3$  és  $370 \text{ kg/m}^3$  között. A mészköliszt adagolásának felső határra való növelésével a szilárdság  $55\%$ -kal, a konzisztencia területi mértékszám pedig mintegy  $20\%$ -kal növekedett [2]! Vajon mi a magyarázata ennek?

A betonkeverékek konzisztenciájának beállítása akkor is meglehetősen nehéz, ha jó vízcsökkentő adalékszerrel könnyítik e feladatok teljesítését. Érdemes visszalapozni Sulyok Tamás beszámolóinak ide vonatkozó részeit a Metró és az M6 beruházások betonozási munkáiról [3], [4]. Spránitz Ferenc is igen alaposan tárgyalja a különböző adalékszer hatása között mutatkozó eltéréseket, és a kiegészítő-anyagokkal tapasztalt együtthatásait cementes pépeken [5]. A gyakorlati élet és a kutatások egyaránt megerősítik: a vízcsökkentő adalékszer hatása függ a mindenkori betonkeverék összetéti jellemzőitől. Azt, hogy pontosan mikor,

milyen mértékű lesz az elért hatás, az az adalékszer fajtáján kívül például a beton péptartalmától, a pép víztartalmától, illetve az adalékanyag szemeloszlásától (fajlagos felületétől) is függ. Kérdés „csak” az, hogy milyen konkrét összefüggések írják le az adalékszeres vagy anélküli frissbeton-keverékek konzisztenciáját?

Vajon az említett jelenségek, illetve problémák összefüggenek-e egymással? Valószínűleg igen, és végső soron a betonkeverékek összetéti és környezeti jellemzőire (állapotaira) vezethetők vissza. Ha ez valóban így van, akkor viszont léteznie kell egy olyan, a beton összetéti jellemzőin alapuló modellnek is, amelybe a ma még többnyire csak empirikus módon kezelt jelenségek is beilleszthetők. Jelen írás egy ilyen modellnek az alapjait kívánja felvázolni.

### 2. „Pépszemlélet” a betontechnológiában – rövid visszatekintés

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 3.1.1. pontjának meghatározása szerint a beton „cementből, durva és finom adalékanyagból, valamint vízből készített anyag, amely adalékszeres és kiegészítő-anyagokat tartalmaz, vagy nem tartalmaz”. A betonalkotók eme taxatív felsorolása aligha túl szemléletes. Az is elgondolkodtató, hogy a terjedelmes szabvány milyen ritkán (talán csak nyolcszor) említi magát a pép szót is. Ez már azért is furcsa, mert a hazai betontechnológiai kutatásokban úttörő munkásságot végző Ujhelyi János már évtizedek óta nemcsak hogy alkalmazza a pép fogalmát, de rendszerbe foglaltan tárgyalja is annak hatásait a betonkeverékek teljesítményjellemzőire [6]. A „pépszemlélet” a MÉASZ ME 04-19:1995 műszaki irányelvben is megjelent, szintén Ujhelyi János és munkatársai érdeméből [7], és mindmáig nélkülözhetetlen ismeretforrásul szolgál a betontechnológusok számára.

A „pépszemléletet” tehát jelen van, ha egyelőre szabvány által elismert „rangot” nem kapott is, és alkalmazták a gyakorlatban és kutatásban élen járó mérnökök. Spránitz Ferenc egy évvel ezelőtti beszámolójában a betonkeverékek összetételeit már a

péptartalom és levegőtartalom térfogatarányainak megadásával közli, beleértve a pépben lévő víz és poranyag (a 0,125 mm alatti méretű szemcsék) térfogatarányát, a poranyagba beleszámítva a kiegészítő-anyagokat [8]. Megadja a hagyományos víz-cement tényezőt is, így az adatokból a szakember a recepturát könnyen kiszámolhatja.

Azonban itt nem a receptura a lényeg, hanem a szemlélet. Ha azt mondjuk, hogy a betonkeverék 1 m<sup>3</sup>-e 530 liter (x=0,56 víz/finomrész térfogatarányú, v/c=0,24 hagyományos víz-cement tényezőjű) pépet tartalmaz, amelyben a péppor 70 tf%-a cement, és mellette a betonban van 10 liter levegő (amiből az adalékanyag 460 liter térfogata is kiadódik), az sokkal többet árul el a beton struktúrájáról, mint a receptura szakácskönyvszerű felsorolása. A c=792 kg/m<sup>3</sup>, kiegészítőanyag-keverék=298 kg/m<sup>3</sup>, víz+adalékszer=191 kg/m<sup>3</sup>, adalékanyag=1219 kg/m<sup>3</sup> is ugyanezt a betonösszetételt írja le, de amíg az előbbiből rögtön látjuk, hogy egy igen „sűrű” pépes keverékkel lesz dolgunk, amelyet erősen meg kell folyósítani (és bizonyos „kísérőjelenségekre” is számíthatunk a zsaluba helyezéskor), addig a szakácskönyv-szerű közlésből nem látunk igazán semmit, legalábbis, amíg „fejben” nem „rendezzük” struktúrába a betonalkotó komponenseket...

A betonalkotók taxatív felsorolásán alapuló beton-definíció (és szemléleten) tehát érdemes túllépni, és építve a nagy teljesítőképességű betonok kutatása terén eddig összegyűjtött tapasztalatokra, egy olyan leegyszerűsített alapmodellt célszerű alkalmazni, amely nem előzmény nélküli ugyan, de amelynek részletei még kimunkálásra, alakításra szorulnak. E modell elősegítheti a friss és megszilárdult betonok egyes teljesítményjellemzőit befolyásoló hatások azonosítását és az egyes összefüggések jobb megértését, és alapul szolgálhat a betonösszetételek tervezéséhez.

### 3. A betonkeverékek

#### leegyszerűsített alapmodellje

A továbbiakban a frissbeton-

keveréket olyan „makroheterogén” rendszernek tekintjük, amely – legalábbis makroszkopikusan szemlélve – három jól megkülönböztethető fázisból tevődik össze:

- pép, amely maga is heterogén rendszer (mikroheterogén szuszpenzió), és amely a friss betonkeverékben folyadék fázisú diszperziós közeg módjára viselkedik,
- adalékanyag, amely szilárd fázisú (oldhatatlan) makroméretű szemcsék/szemek halmaza, és amely a pépben diszperziós fázisként oszlik el,
- levegő, mint gázfázis, amely általános esetben mint a nem tökéletes bedolgozás miatt visszamaradó zárvány van jelen, jóllehet léteznek tudatos mérnöki eljárások is, amikor a levegőt tervezett módon, diszperziós fázisként viszik a rendszerbe (a pépbe).

Egy adott betonkeverék összetételét – adott pép és adott adalékanyag (keverék) esetén – kettő (megfelelően választott) független adat egyértelműen meghatározza a következő egyenlet szerint:

$$p + a + l = 1 \quad (1)$$

ahol  $p$ ,  $a$ ,  $l$  rendre a pép, az adalékanyag és a levegő térfogataránya a betonban, ahol az adalékanyag  $n_{AG} \geq 1$  számú komponens keveréke is lehet, adagolási mértékére pedig fennáll a következő korlát:

$$a = \sum_{i=1}^{n_{AG}} a_i = 1 - l - p \leq a_{\max} \quad (2)$$

ahol  $a_{\max}$  az adott összetéti állapotban a beton térfogategységébe maximálisan betömöríthető adalékanyag térfogataránya (megfelel az Ujhelyi János által  $V_{a0}$ -al jelölt mennyiségnek, csak itt dimenzió nélküli arányszámban kifejezve),  $a_i$  pedig az  $i$ -edik adalékanyag-komponens térfogataránya a betonban.

Az adalékanyagok ismert vagy rögzített  $\alpha_{AGi}$  térfogatarányainak ismeretében bármelyik  $a_i$  komponens kifejezhető:

$$a_i = \alpha_{AGi} \cdot a, \text{ ahol } \sum_{i=1}^{n_{AG}} \alpha_{AGi} = 1 \quad (3)$$

Ha az  $\alpha_{AGi}$  térfogatarány helyett inkább a gyakorlatban elterjedt  $\alpha_{M,AGi}$  tömegarányokhoz ragaszkodunk, akkor a (3) képletben a térfogatos arányszámot a következő összefüggés szerint lehet behelyettesíteni:

$$\alpha_{AGi} = \frac{\alpha_{M,AGi}}{\rho_{AGi}},$$

$$\sum_{i=1}^{n_{AG}} \alpha_{M,AGi} = 1 \quad (4)$$

ahol  $\rho_{AGi}$  az  $i$ -edik adalékanyag közet-testsűrűsége a bekeveréskori állapotban. (Az egyes adalékanyagfrakciók és -fajták testűrűségei között a gyakorlatban sokszor fordulnak elő különbségek, amelyeket a tervezésnél is figyelembe kell venni.)

### 4. A pép szerepe a betonkeverékek leegyszerűsített

#### alapmodelljében, összefüggések

A betonkeverékek leegyszerűsített alapmodelljében a pépet makroszkopikus jellemzői és hatásai alapján szemléljük, mint a betonkeverék folyadékként viselkedő fázisát, amelyben – lévén maga is szuszpenzió – szintén megkülönböztethetünk különböző fázisokat:

- a folyadékfázist (azaz víz + adalék-szer[oldat] keveréke), amely a péppor diszperziós közege, és
- a szilárd fázist (azaz a pépport), amely a cement + kiegészítők + adalékanyagok finomrész tartalmának a keverékeként diszperziós fázisként oszlik el a folyadékban, továbbá
- a gázfázist (levegő), amely zárványként és vagy diszperziós fázisként egyaránt jelen lehet (a gyakorlatban jelen is van).

A pépporral kapcsolatban érdemes egyértelművé tenni, hogy a pépporba beletartozik mindazon szilárd fázisú halmazos betonalkotók összessége, amelyek szemcsemérete egy küszöbértéknél (0,063 mm-nél) kisebb, függetlenül attól, hogy van-e hidraulikus kötőképességük vagy nincs, illetve, hogy szándékosan adagolták-e, avagy – pl. az adalékanyag részeként – „csak

úgy” került bele a frissbeton-keverékbe. A szemcseméreti küszöbre megjelölt 0,063 mm szemcsehatár ugyan önkényes, de ez a leegyszerűsített alapmodell alapelvét nem érinti. (A péppor és az adalékanyag közötti különbség nem annyira a szemcseméretben, mint inkább a fajlagos felületeik közötti két nagyságrendnyi eltérésben nyilvánul meg.)

A pépek összetételére vonatkozó néhány alapvető összefüggést érdemes sorra venni. Egy adott mennyiségű pép térfogatosságot az alábbi egyenlet fejezi ki:

$$p = f + z = z \cdot (1 + x),$$

$$x = \frac{f}{z}$$

ahol  $f$  és  $z$  rendre a nem abszorbeált (szabad) folyadék (zömében víz) és a péppor térfogataránya a betonban,  $x$  pedig a folyadék és péppor közötti térfogati viszonyszám, ami a hagyományos víz-cement tényezőhöz hasonló jellemző.

A pépporban a cement mellett jelen van (vagy lehet)  $n_K \geq 0$  számú kiegészítő-anyag a következő egyenletek szerint:

$$z = \frac{p}{1+x} = c + \sum_{i=1}^{n_K} k_i = c + k \quad (6)$$

$$k_i = \alpha_{Ki} \cdot k, \text{ ahol } \sum_{i=1}^{n_K} \alpha_{Ki} = 1 \quad (7)$$

ahol  $c$ ,  $k_i$  és  $k$ , rendre a cement, az  $i$ -edik kiegészítő-anyag-komponens és az összes kiegészítő-anyag térfogataránya a betonban,  $\alpha_{Ki}$  pedig az  $i$ -edik komponens térfogataránya a kiegészítő-anyagban. Ha az  $\alpha_{Ki}$  térfogatarány helyett  $\alpha_{M,Ki}$  tömegarányra akarunk áttérni, akkor (ezúttal a kiegészítő-anyagok  $\rho_{Ki}$  közetsűrűségeinek figyelembe vételével) a (4) egyenlet szerinti átszámítást kell alkalmaznunk és behelyettesítenünk  $\alpha_{Ki}$  helyére a (7) egyenletbe.

A pép folyadékfázisában a víz mellett jelen van (vagy lehet)  $m \geq 0$  számú adalék-szer-komponens is, amelyre a (6) egyenlettel teljesen analóg egyenlet írható fel:

$$f = \frac{p}{1+x} \cdot x = w + \sum_{i=1}^m ad_i = w + ad \quad (8)$$

ahol  $w$ ,  $ad_i$  és  $ad$  rendre a nem abszorbeált víz, az  $i$ -edik adalék-szer-komponens és az összes adalék-szer-anyag együttes térfogataránya a betonban.

Ha az  $i$ -edik adalék-szer mennyiségét a péppor térfogatának  $\lambda_{ADi}$  arányában fejezzük ki, akkor fennállnak a következő összefüggések:

$$\lambda_{ADi} = \frac{ad_i}{z} \quad (9)$$

$$ad = \sum_{i=1}^m ad_i = z \cdot \sum_{i=1}^m \lambda_{ADi} = \frac{p}{1+x} \cdot \sum_{i=1}^m \lambda_{ADi} \quad (10)$$

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerinti összetételi kritériumok igazolása miatt fontos víz-cement tényező kiszámításához figyelembe kell venni az adalékszerekben lévő víz együttes mennyiségét is, amely az alábbi egyenlet alapján számítható:

$$w_{AD} = \sum_{i=1}^m \frac{ad_i \cdot \rho_{ADi} \cdot (1 - s_{zi})}{\rho_w} = \frac{p}{1+x} \cdot \sum_{i=1}^m \frac{\lambda_{ADi} \cdot \rho_{ADi} \cdot (1 - s_{zi})}{\rho_w} \quad (11)$$

ahol  $w_{AD}$  az adalékszerekben lévő víz mennyisége a beton térfogatarányában,  $\rho_{ADi}$  és  $\rho_w$  rendre az  $i$ -edik adalékszer és a víz sűrűsége az adott környezeti állapotban,  $s_{zi}$  pedig az  $i$ -edik adalékszer szárazanyag-tartalma tömegarányban kifejezve. (A gyártók tömeg %-ban adják meg.)

Végezetül a péppor-alkotókra is bevezethetünk arányszámokat:

$$\beta_k = \frac{k}{c}, \text{ illetve } \chi_c = \frac{c}{z} = \frac{1}{1 + \beta_k} \quad (12)$$

ahol  $\beta_k$ ,  $\chi_c$  rendre a kiegészítő/cement, a cement/péppor térfogati tényezők.

## 5. A betonkeverékek leegyszerűsített alapmodelljében alkalmazott állapotjelzők

Ha egy betonkeverék nem tartalmaz adalékszer és kiegészítő-anyagot, tehát  $\chi_c = 1$  [azaz  $\beta_k = 0$ ] és  $\lambda_{ad} = 0$ , akkor a  $p$  (pép térfogataránya a betonban), az  $x$  (folyadék-por térfogataránya a pépben) valamint az  $l$  (levegő térfogataránya a betonban) arányszámok –

adott betonalkotó anyagok esetén – egyértelműen meghatározzák a beton összetételét.

Ha a betonkeverék kiegészítő-anyagokat és/vagy adalékszerket is tartalmaz, akkor a betonösszetétel egyértelmű meghatározásához szükséges még két további arányszám ismerete, ezek: a  $\chi_c$  (cementarány a pépporban) és a  $\lambda_{ad}$  (a  $\lambda_{ad_i}$ -k összege, az összes adalék-szer együttes térfogataránya a pépporhoz viszonyítva). A  $\chi_c$  helyett a  $\beta_k$  arányszámot (a  $\beta_k$ -k összege, az összes kiegészítő együttes térfogataránya a cementhez viszonyítva) is választhatjuk, hiszen a kettő egymásból egyértelműen kifejezhető a (12) egyenlet szerint.

A több komponensű betonalkotók (kiegészítő-anyagok, adalékszer, adalékanyagok) rögzített  $\alpha_{Ki}$ ,  $\lambda_{ADi}$  és  $\alpha_{AGi}$  összetételi arányai esetén ez az öt dimenzió nélküli viszonyszám ( $p$ ,  $x$ ,  $l$ ,  $\chi_c$ ,  $\lambda_{AD}$ ) szükséges és elegendő a betonkeverékek összetételének leírására, ezért ezeket a viszonyszámokat betonösszetételi állapotjelzőknek is tekinthetjük. A továbbiakban nem csak a betonösszetételek leírására (összehasonlítására) használjuk ezeket, hanem vizsgáljuk az állapotjelzők és a friss, illetve a megszilárdult betonok egyes teljesítményjellemzői közötti összefüggéseket is. Természetesen a betonok teljesítményjellemzőit nem csak a betonösszetételi állapotjelzők, hanem a betonalkotók mindenkori fizikai jellemzői is befolyásolják. A betonösszetételi állapotjelzőkön alapuló modell azonban egyfajta alaperetet nyújt a betonok tulajdonságainak értelmezéséhez, és támogatja a különböző betonösszetételek hasonlóságának megítélését. (Az öt független állapotjelző gyakorlatilag végtelen variációs lehetőséget biztosít, így a betontechnológiában soha nem kell aggódnia, hogy nem maradnak kutatni való területek.)

Az első részt zárjuk le azzal, hogy – illusztrációként – „összerakunk” egy adott  $p$ ,  $x$ ,  $\chi_c$ ,  $\lambda_{ad_i}$  állapotjelzőjű betonkeveréket, ahol adottak a betonalkotók anyagi jellemzői is. Egy  $V_b = 1 \text{ m}^3$  térfogatú beton összetételének számí-

struktúra	betonalkotók	állapotjelzők, arányszámok	sűrűségek [kg/m <sup>3</sup> ]	képletek	összetétel			
					[kg/m <sup>3</sup> ]	[l/m <sup>3</sup> ]		
pép	víz, <b>w</b>	f p = f+z = 0,348 x = f/z = 1,074	1000	$W \text{ [kg/m}^3\text{]} = \frac{p}{1+x} \cdot \left( x \cdot \rho_w - \sum_{i=1}^m \lambda_{ADi} \cdot \rho_{ADi} \right) \cdot V_b$ (13)	175	175		
	adalékszer, <b>ad</b>		$\lambda_{AD} = ad/z$ , 0,030		1100	$AD_i \text{ [kg/m}^3\text{]} = \lambda_{ADi} \cdot \frac{p}{1+x} \cdot \rho_{ADi} \cdot V_b$ (14)	5,54	5,03
	cement, <b>c</b>		$\chi_c = c/z$ , 0,681		3065	$C \text{ [kg/m}^3\text{]} = \chi_c \cdot \frac{p}{1+x} \cdot \rho_c \cdot V_t$ (15)	350	114
	kiegészítő, <b>k</b>		$\beta_k = k/c$ , 0,468		2710	$K_i \text{ [kg/m}^3\text{]} = \alpha_{ki} \cdot (1 - \chi_c) \cdot \frac{p}{1+x} \cdot \rho_{ki} \cdot V$ (16)	145	54
adalékanyag	0/4, <b>a<sub>1</sub></b>	a = 1-l-p = 0,631	$\alpha_{AG1}$ , 0,50	2640	$AG_i \text{ [kg/m}^3\text{]} = \alpha_{AGi} \cdot (1 - p - l) \cdot \rho_{AGi} \cdot V_b$ (17)	833	316	
	4/8, <b>a<sub>2</sub></b>		$\alpha_{AG2}$ , 0,35	2640		583	221	
	8/16, <b>a<sub>3</sub></b>		$\alpha_{AG3}$ , 0,15	2640		250	95	
levegő	<i>l</i>	<i>l</i> = 0,021	1,29	$L \text{ [kg/m}^3\text{]} = l \cdot \rho_{lev} \cdot V_b$	0	21		

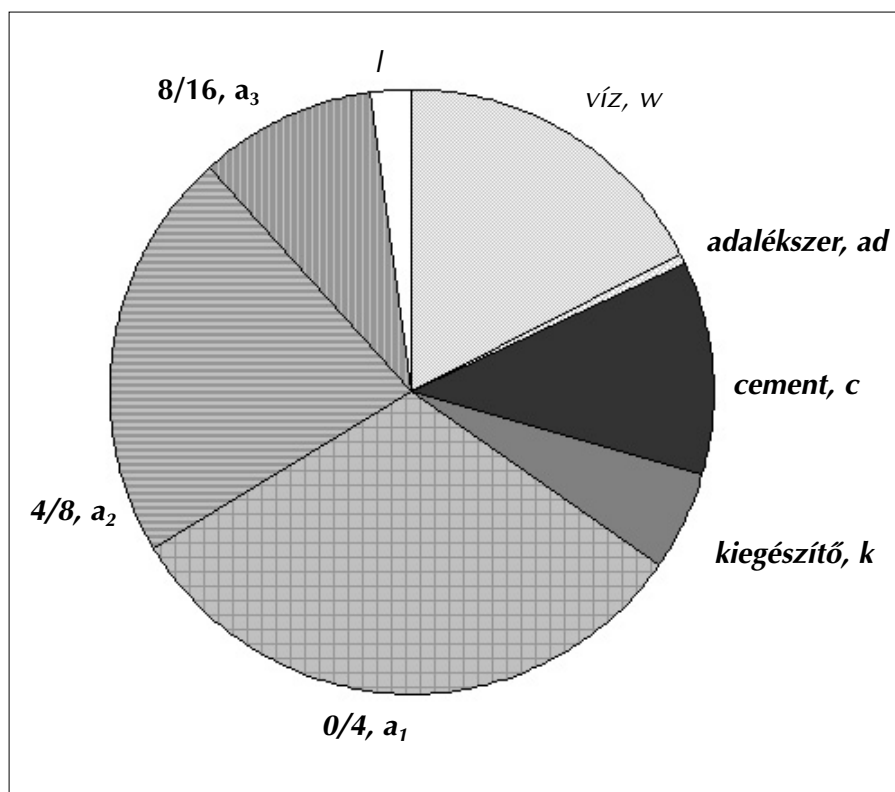
1. táblázat Egy  $p = 0,348$ ,  $x = 1,074$ ,  $l = 0,021$ ,  $\lambda_{ad} = 0,030$ ,  $\chi_c = 0,681$  állapotjelzőjű beton összeállítása a betonalkotókból

tását az állapotjelzőkből az 1. táblázatban mutatjuk be, és az 1. ábra grafikonján szemléltetjük, ahol  $C$ ,  $K$ ,  $W$ ,  $AD_i$ ,  $AG_i$  rendre a betonkeverék 1 m<sup>3</sup>-ébe adagolandó ismert betonalkotók mennyiségei).

A következő részben – Augusztin Bálinttal közösen – egy konkrét üzemi gyártásellenőrzés során tett megfigyelésekről és az eredmények elemzéséről, a levonható következtetésekről számolunk be, különös tekintettel a betonösszetételei állapotjelzők és a frissbeton konzisztenciája, valamint a nyomószilárdság közötti összefüggésekről, amelyek további vizsgálatokat és kutatási irányokat is inspiráltak, amelyek végső célja a betonösszetételek tervezési eljárásainak tökéletesítése.

#### Felhasznált irodalom

- [1] Dr. Szalai K. - Dr. Huszár Zs. - Spránitz F.: Beton évkönyv, Betonszerkezeti EU szabványok hazai bevezetése, alkalmazása. 6. fejezet: HSC/HPC betonok és hidépítési alkalmazása. Kiadta a Magyar Betonszövetség, Magyar Betonelemgyártó Szövetség, Magyar Építőanyagipari Szövetség. Budapest, 2005.
- [2] Zsigovics I.: Öntömörödő beton, a betontechnológia legújabb forradalma. 3. Mészkliszt adagolás hatása a friss és megszilárdult betonra. Vasbeton-építés, 2004/3, pp. 72-79.
- [3] Sulyok T.: Metróállomások építése az



1. ábra A  $p = 0,348$ ,  $x = 1,074$ ,  $l = 0,021$ ,  $\lambda_{ad} = 0,030$ ,  $\chi_c = 0,681$  állapotjelzőjű beton térfogatos összetétele

- Etele téren és a körtéren. Beton, XIV. évf. 10. szám, 2006. október, pp 26-27.
- [4] Sulyok T.: Beszámoló az M6 autópályán épülő alagutakról - betontechnológus szemmel. Beton, XVII. évf. 5. szám, 2009. május, pp 10-13.
- [5] Spránitz F.: Érdemes-e küszködni az NT betonokkal? 4. rész - avagy milyen neműek a nagy teljesítőképességű (NT) betonok? Beton, XVII. évf. 1. szám, 2009. január, pp 3-7.
- [6] Ujhelyi J.: Betonismeretek. Műegyetemi Kiadó. Budapest, 2005.
- [7] MÉASZ ME-04.19:1995 Műszaki előírás beton és vasbeton készítésére. Magyar Építőanyagipari Szövetség, Budapest, 1995.
- [8] Spránitz F.: Magas- és mélyépítési termékek újszerű gyártástechnológiái. Beton, XVI. évf. 2. szám, 2008. február, pp 14-16.