

Beton-nyomószilárdság értékelésének alulmaradási tényezője

Acceptance constant of concrete compressive strength evaluation

Dr. KAUSAY Tibor

okl. vasbetonépítési szakmérnök, címzetes egyetemi tanár
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék
H-1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3.
Telefon/fax: (36-1) 217-4165 e-mail: betonopu@t-online.hu <http://www.betonopus.hu>

Megjelent az EMT Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (Kolozsvár) által Csíksomlyón, 2010. június 3-6. között rendezett XIV. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia, az „ÉPKO 2010” konferencia-kiadványában. pp. 152-160.

ABSTRACT

New concrete codes give methods how to check the concrete strength that was required by the designer of the reinforced concrete structure. The acceptance of concrete strength is also function of the test method as well as the evaluation method. Present paper gives examples to indicate the role of acceptance probability and acceptance constant in the evaluation and their importance in the process of acceptance.

ÖSSZEFOGLALÓ

Az új betonszabványok módszert adnak annak ellenőrzésére, hogy a beton a vasbetonszerkezet tervezése során előírt nyomószilárdsági osztálynak megfelel-e. A megfelelőség elfogadása vagy elvetése a nyomószilárdság vizsgálati módszernek és a vizsgálati eredmények értékelésének is függvénye. A cikkben számpéldákon keresztül mutatjuk be az elfogadási valószínűség és az alulmaradási tényező szerepét a vizsgálati eredmények értékelésében, és jelentőségét a megfelelőség igazolási eljárásban.

Kulcsszavak: beton, nyomószilárdsági osztály, megfelelőség, elfogadási valószínűség, alulmaradási tényező, szabvány

1. A FOLYAMATOS GYÁRTÁS ÉS VIZSGÁLAT

Az MSZ EN 206-1:2002 európai, illetve annak nemzeti alkalmazási dokumentuma, az MSZ 4798-1:2004 magyar betonszabvány megkülönbözteti a kezdeti és a folyamatos betongyártást. A kezdeti gyártás a legalább 35 (egymás utáni, kihagyás nélküli) vizsgálati eredmény meghatározásáig tartó termelési időszak. A folyamatos gyártás akkor kezdődik, amikor legalább 35 vizsgálati eredményt meghatároztak, 12 hónapnál nem hosszabb idő alatt. A beton akkor megfelelő, ha mind a kezdeti, mind a folyamatos gyártás alatt végzett vizsgálatok eredménye kielégíti az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 szabvány 14. táblázatában lévő követelményeket (1. táblázat). Folyamatos gyártás során a vizsgálati eredmények száma legalább $n = 15$.

1. táblázat: Részlet az MSZ 4798-1:2004 szabvány 14. táblázatából

Gyártás	1. feltétel	2. feltétel
	A beton nyomószilárdságának	
	tapasztalati átlag értéke N/mm ²	tapasztalati egyes értékei N/mm ²
Kezdeti	$f_{cm,test} \geq f_{cm} = f_{ck} + 4$ ^{b)}	$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$ ^{c)}
Folyamatos	$f_{cm,test} \geq f_{cm} = f_{ck} + 1,48 \cdot \sigma$ ^{a) e)}	$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$ ^{d)}
^{a)} $\sigma = \sigma_{c,cube,H} \geq 3 \text{ N/mm}^2$, illetve $\geq \text{C55/67}$ nyomószilárdsági osztály esetén: $\sigma_{c,cube,H} \geq 5 \text{ N/mm}^2$ ^{b)} $\geq \text{C55/67}$ osztály esetén: $f_{cm,test} \geq f_{ck} + 5$ (lásd DIN 1045-2:2001.07) ^{c)} $\geq \text{C55/67}$ osztály esetén: $f_{ci} \geq f_{ck} - 5$ (lásd DIN 1045-2:2001.07) ^{d)} $\geq \text{C55/67}$ osztály esetén: $f_{ci} \geq 0,90 \cdot f_{ck}$ (lásd DIN 1045-2:2001.07) ^{e)} $f_{ck,test} = f_{cm,test} - 1,48 \cdot s_{n,c,cube,H}$		

A szórást (σ), amely az elméleti szórás jó közelítését adja, és amely bizonyos feltételek mellett a folyamatos gyártás vizsgálati eredményeinek értékelésénél figyelembe veendő, a kezdeti gyártásból meg kell határozni:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm,test})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}^2 - n \cdot f_{cm,test}^2}{n-1}} \quad \text{ahol } n \geq 35$$

A folyamatos gyártás eredményének értékeléséhez értelemszerűen ugyan ezzel a képlettel kell kiszámítani a legalább 15 vizsgálati eredmény tapasztalati szórását, amelynek jele s_n , ahol $n \geq 15$.

Az MSZ EN 1992-1-1:2010 és az MSZ EN 206-1:2002 szabványok a beton nyomószilárdságának megfelelését a 150 mm átmérőjű, 300 mm magas, végig víz alatt tárolt próbahengerek nyomószilárdsága alapján ítélik meg, következésképpen a megfelelési feltételek is ezekre a szabványos próbahengerekre vonatkoznak. Ugyanakkor a megengedett legkisebb szórás értékeit az MSZ 4798-1:2004 szabvány határozta meg a 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakockákra gondolva. Mindezek figyelembevételével a 150 mm élhosszúságú, vegyesen (vagy végig víz alatt) tárolt próbakockákon mért nyomószilárdsági eredmények értékelése során akkor járunk el helyesen, ha az egyes mérési eredményeket a 150 mm átmérőjű, 300 mm magas, végig víz alatt tárolt próbahenger nyomószilárdságára átszámítjuk, és ezeket az átszámított nyomószilárdságokat értékeljük a megfelelési feltételek figyelembevételével.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány 5.5.1.2. szakasza és N2. fejezete értelmében a 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakocka és a 150 mm átmérőjű, 300 mm magas, végig víz alatt tárolt próbahenger nyomószilárdságának hányadosa a C50/60 nyomószilárdsági osztályig bezárólag $f_{c,cube,H}/f_{c,cyl} \sim 1,387 \sim 1,4$. Ugyanis ha:

$$f_{c,cube}/f_{c,cyl} = 0,97/0,76 \text{ a végig víz alatt tárolt, 150 mm élhosszúságú közönséges beton próbakocka és 150 mm átmérőjű, 300 mm magas próbahenger nyomószilárdságának hányadosa, és}$$

$$f_{c,cube}/f_{c,cube,H} = 0,92 \text{ a végig víz alatt tárolt és a vegyesen tárolt, 150 mm élhosszúságú közönséges beton próbakocka nyomószilárdságának hányadosa (ez az átszámítás az új DIN 1045-2:2008 szabvány 5.5.1.2 szakaszába is bekerült),}$$

akkor a vegyesen tárolt, 150 mm élhosszúságú közönséges beton próbakocka nyomószilárdságának ($f_{c,cube,H}$) és a végig víz alatt tárolt, 150 mm átmérőjű, 300 mm magas közönséges beton próbahenger nyomószilárdságának ($f_{c,cyl}$) kapcsolata:

$$f_{c,cube,H} = (0,97/0,76/0,92) \cdot f_{c,cyl} \sim 1,387 \cdot f_{c,cyl} \sim 1,4 \cdot f_{c,cyl} \quad (1)$$

Értelemszerűen alkalmazva az (1) összefüggés szerinti átszámítást, a 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakockán mért nyomószilárdságot az 1,387 értékkel elosztva jutunk a 150 mm átmérőjű, 300 mm magas, végig víz alatt tárolt próbahenger nyomószilárdságára, mint az a 2. és 3. táblázatban bemutatott számpéldákban látható.

2. ALULMARADÁSI TÉNYEZŐ

Az 1. táblázatban a folyamatos gyártás nyomószilárdsági megfelelőségének 1. feltételében a nyomószilárdság vizsgálati eredmények s_n , illetve σ szórásának szorozója az alulmaradási tényező (λ_n). A $\lambda_n \cdot s_n$, illetve $\lambda_n \cdot \sigma$ szorzatot alulmaradási tágasságnak nevezzük, és azt a nyomószilárdság f_{cm} átlag értékéből kivonva az f_{ck} jellemző értékre jutunk. Az alulmaradási tényező jele a t -eloszlás (*Student-eloszlás*) esetén: t_n

Ha a nyomószilárdság átlaga (f_{cm}), szórása (s_n) és az MSZ EN 206-1:2002, illetve az MSZ 4798-1:2004 betonszabvány szerint alulmaradási tényezője ($\lambda_{n=15} = 1,48$) adott, akkor a nyomószilárdság jellemző értéke (f_{ck}) a következő összefüggés szerint kiszámítható:

$$f_{ck} = f_{cm} - \lambda_n \cdot s_n \quad (2)$$

A folyamatos gyártás nyomószilárdság vizsgálati eredményeinek értékelésére a betonszabványok szerinti $\lambda_{n=15} = 1,48$ alulmaradási tényezővel a 2. táblázat tartalmaz számpéldát.

2. táblázat: Számpélda a folyamatos gyártás nyomószilárdság vizsgálati eredményeinek értékelésére

Minta jele (1 minta = 1 próbatest)	Próba- kocka $f_{ci,cube,test,H}$	Próba- henger $f_{ci,cyl,test}$	2. feltétel $f_{ci,cyl,test} \geq f_{ck,cyl} - 4$
1.	46,1	33,2	33,2 > 21,0
2.	44,4	32,0	32,0 > 21,0
3.	43,3	31,2	31,2 > 21,0
4.	46,9	33,8	33,8 > 21,0
5.	48,3	34,8	34,8 > 21,0
6.	43,8	31,6	31,6 > 21,0
7.	44,0	31,7	31,7 > 21,0
8.	45,9	33,1	33,1 > 21,0
9.	47,8	34,5	34,5 > 21,0
10.	43,9	31,7	31,7 > 21,0
11.	45,7	32,9	32,9 > 21,0
12.	43,5	31,4	31,4 > 21,0
13.	43,0	31,0	31,0 > 21,0
14.	45,2	32,6	32,6 > 21,0
15.	43,8	31,6	31,6 > 21,0
$f_{cm,cyl,test} =$		32,5	átlag
$s_{15} =$		1,21	szórás
$s_{min} = s_{n,cube,H}/1,387 = 3/1,387 =$		2,16	szórás legalább
$\sigma_{35} =$		1,77 \rightarrow 2,16	= σ_{min} kezdeti gyártásból
$0,63 \cdot \sigma_{min} = 1,36 < s_{min} = 2,16 < 2,96 = 1,37 \cdot \sigma_{min}$			
$f_{ck,cyl,test} = f_{cm,cyl,test} - \lambda_{n=15} \cdot \sigma_{min} = 32,5 - 1,48 \cdot 2,16 = 32,5 - 3,2 = 29,3$			
1. feltétel			
$f_{ck,cyl,test} =$		29,3 > 25 = $f_{ck,cyl}$	
$f_{cm,cyl,test} =$		32,5 > 28,2 = $f_{cm,cyl} = f_{ck,cyl} + 1,48 \cdot \sigma_{min} = 25,0 + 3,2$	
Nyomószilárdsági osztály: C25/30		Mértékegység: N/mm ²	

Az új betonszabványokban (MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004) a folyamatos gyártás nyomószilárdsági megfelelőségének 1. feltételében szereplő, az $n = 15$ mintaszámhoz tartozó $\lambda_{n=15} = 1,48$ értékű ún. *Taerwe*-féle alulmaradási, tényező lényegében a korábbi betonszabványban (MSZ 4720-2:1980) szereplő *Student*-tényező szerepét tölti be. E *Student*-tényező értéke a mintaszámtól függött, értéke a korábbi betonszabványban minden esetben legalább 1,645, de kis elemszámú minta esetén ennél lényegesen nagyobb volt. A szabványváltozás – ezen a ponton legalábbis – egyértelműen a gyártónak kedvez, hiszen minél kisebb az 1. feltételbeli szorzó, annál könnyebb a feltételt kielégíteni. Ahhoz, hogy megértsük a *Taerwe*-féle alulmaradási tényező

$\lambda_{n=15} = 1,48$ értékét magyarázó (illetve a korábbi szabványban szereplő szorzókat értelmező) indokokat, célszerű átgondolnunk a nyomószilárdsági osztályba sorolás alapelveit. Előre kell bocsátanunk, hogy mind a korábbi szabványban szereplő alulmaradási tényezők, mint az 1,48-os érték statisztikailag korrekt, de – és ez a különbség igazi oka – teljességgel eltérő körülmények között. A következőkben döntően *Taerwe* (1986) és *Zäschke* (1994) dolgozataira támaszkodunk.

A beton nyomószilárdsági osztályokba sorolásának alapja az a követelmény, hogy amennyiben a beépítésre kerülő teljes mennyiségét meg tudnánk vizsgálni nyomószilárdság szempontjából (és így teljesen meg tudnánk határozni a nyomószilárdság eloszlását), az így kapott eredmények 95%-ának el kell érnie az előre meghatározott, előírt f_{ck} szilárdsági küszöböt, amit előírt jellemző értéknek hívunk. Ugyanezt mondhatjuk úgy is, hogy a nyomószilárdság eloszlásának 5%-os kvantilise ($f_{ck,test}$) nagyobb, vagy egyenlő, mint f_{ck} , azaz $f_{ck} \leq f_{ck,test}$.

A beton nyomószilárdságának jellemző értékéhez a teljes mintának az a hányada tartozik, amely nem éri el az f_{ck} nyomószilárdsági küszöböt. Az alulmaradási hányad szokásos jelölése p , amely értelemszerűen egy 0 és 1 közötti szám (gyakran százalékos formában kifejezve). Az $f_{ck} \leq f_{ck,test}$ követelményt az alulmaradási hányad segítségével $p \leq 5\%$ formában írhatjuk le.

Ha a p értékét ismernénk, akkor a dolog rendkívül egyszerű volna, hiszen $p \leq 5\%$ esetén elfogadjuk a mintát, ellenkező esetben elutasítjuk. Természetesen a p értékét sohasem ismerjük (hiszen ehhez a teljes betonmennyiséget meg kellene vizsgálni), így különböző statisztikai eljárásokra van szükség. Valamennyi alkalmazott eljárás közös jellemzője, hogy feltételezi a beton nyomószilárdsága során kapott eredmények normális (*Gauss*-féle) eloszlását. A továbbiak során feltételezzük, hogy a vizsgálati eredmények egy általunk nem ismert μ várható értékű és σ szórású normális eloszlást követnek: ez esetben az eloszlás 5%-os kvantilise az $f_{ck,test} = \mu - 1,645 \cdot \sigma$ formulával számolható.

A korábbi MSZ 4720-2:1980 szabványban szereplő *Student*-tényezőket elemi matematikai statisztikai tények magyarázzák. Ha ismerjük a nyomószilárdság σ szórását, akkor a vizsgálati eredmények $f_{cm,test}$ átlaga a μ várható érték torzítatlan becslését adja, és így $f_{cm,test} - 1,645 \cdot \sigma$ az 5%-os kvantilise egy természetes becslése. A szabványban szereplő $f_{ck} \leq f_{cm,test} - 1,645 \cdot \sigma$ feltétel pontosan azt fejezi ki, hogy az 5%-os kvantilise becslött értékének ($f_{ck,test}$) az előírt szilárdsági küszöb (f_{ck}) felett kell maradnia.

Ha nem ismerjük a szórást, akkor a helyzet némileg bonyolultabb, hiszen a szórást is becsülni kell. Ez esetben a

$$\frac{f_{cm} - \mu}{\sigma_n} \sqrt{\frac{n}{n-1}}$$

mennyiség ún. $n - 1$ szabadságfokú *Student*-féle t -eloszlást követ, és az 5%-os kvantilise értéke a t -eloszlás táblázatból vett értékének segítségével becsülhető.

A régi MSZ 4720-2:1980 szabványban szereplő eljárások mind ismert, mind ismeretlen szórás esetén a rendelkezésre álló adatok alapján becsülték az $f_{ck,test}$ tapasztalati jellemző értéket, majd az így kapott becslést összehasonlították az f_{ck} kritikus, előírt jellemző értékkel. Az alapul szolgáló valószínűségi eloszlások szimmetrikussága miatt az így kapott eljárás jellemzője, hogy ha a gyártó éppen „kritikusan jó” betont gyártott (azaz $p = 5\%$), akkor a beton körülbelül 50% valószínűséggel került elfogadásra. Ha bevezetjük az adott p jellemző értékű beton $A(p)$ elfogadási valószínűségét, – amely azt mondja meg, hogy a p alulmaradási hányadú betont milyen valószínűséggel fogjuk elfogadni, – akkor ez azt jelenti, hogy $A(0,05) \approx 0,5$.

Az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szabvány a beépítésre kerülő beton nyomószilárdsági megfelelőségét olyan módon kívánja biztosítani, amely egy tágabb kontextusban értelmezendő minőségbiztosítási rendszer része.

Bármely megfelelőségi feltételrendszer esetén értelmezhető az adott p jellemző értékű betonhoz tartozó $A(p)$ elfogadási valószínűség. Ha az $A(p)$ mennyiséget a p függvényében ábrázoljuk, akkor az elfogadási görbét kapjuk (*1. ábra*).

Az új betonszabványok (MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004) megfelelőségi döntése alapjául a következő gondolatmenet szolgál (*Taerwe*, 1986; *Zäschke*, 1994), bár ez a szabványokban így nem olvasható, azokban csak az áll (szabványok 3.1.32. szakasza), hogy a jellemző szilárdsági

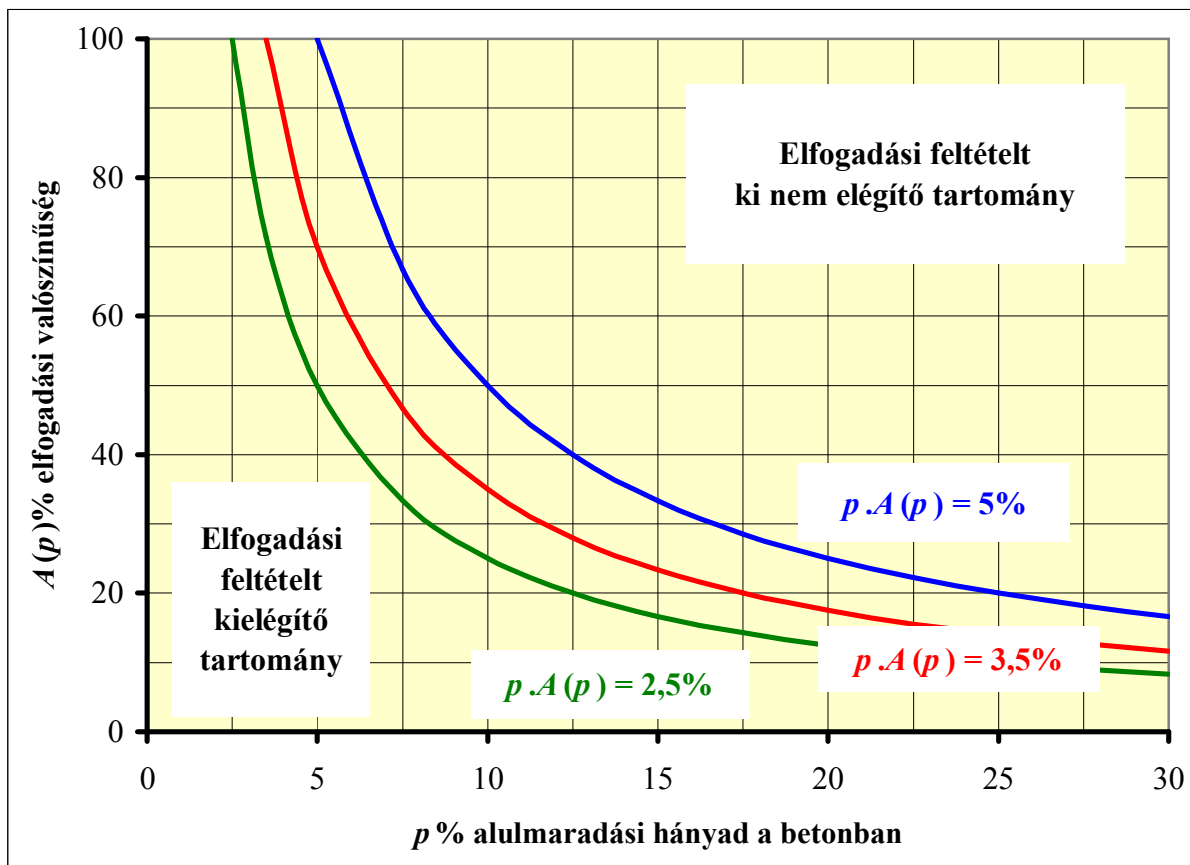
érték alá a vizsgálati eredményeknek legfeljebb ($p =$) 5 %-a eshet. Tehát a gondolatmenet szerint olyan minőségbiztosítási rendszert szeretnénk, amely minden p jellemző érték esetén teljesíti a

$$p \cdot A(p) \leq 5\%$$

feltételt (1. ábra felső görbéje). Bocsássuk előre, hogy az új betonszabványokban szereplő feltételrendszer ezt valóban teljesíti is. Például:

ha	$p = 0,05$	akkor	$A(p) \leq 1,0$	és	$p \cdot A(p) = 0,05$
ha	$p = 0,07$	akkor	$A(p) \leq 0,7$	és	$p \cdot A(p) = 0,05$
ha	$p = 0,10$	akkor	$A(p) \leq 0,5$	és	$p \cdot A(p) = 0,05$
ha	$p = 0,25$	akkor	$A(p) \leq 0,2$	és	$p \cdot A(p) = 0,05$

Bármiféle megfeleléségi feltétel felfogható egyfajta szűrőnek is: a megfelelőnek talált mintákat átengedi, a nem-megfelelőnek találtakat pedig visszatartja. Tétélezzük fel, hogy olyan anyagot vizsgálunk – pl. betonacélt – amelynek megfelelése még a beépítés előtt ellenőrizhető, és a beépítés előtt a minőséget folyamatosan ellenőrizzük is, a megfelelőnek találtakat beépítjük, a nem-megfelelőket pedig tökéletes minőségüekkel helyettesítjük. Ekkor a megfeleléségi feltétel által megszárt sokaság minősége nyilván jobb lesz, és a $p \cdot A(p) \leq 5\%$ feltétel biztosítja, hogy a megszárt sokaság p értéke már 5% alatt maradjon. Fontos kiemelni, hogy még ebben az esetben is, *folyamatos* (és nem szűrőpróbaszerű!) *ellenőrzést* kell feltételeznünk.



1. ábra: Elfogadási görbe

Beton esetében a nem-megfelelőnek ítélt szállítmányokat nyilván nem lehet tökéletes minőségüekkel helyettesíteni, hiszen mire a nem-megfelelőség kiderül, addigra már rég beépítésre került az anyag. A $p \cdot A(p) \leq 5\%$ feltétel akkor lesz értelmes, ha azt feltételezzük, hogy folyamatosan nyomon követjük, melyik beton szállítmány hová került beépítésre, és ahová olyan beton szállítmányt építettünk be, amely a vizsgálat során nem bizonyult megfelelőnek, azt a részt utólagosan megerősítjük, vagy más módon elérjük, hogy gyakorlati szempontból tökéletes legyen. (Azaz a nem-megfelelő szállítmányokat utólagosan „tökéletessé” tesszük.)

Ha a beépítésre kerülő beton szállítmányokat *folyamatosan* vizsgáljuk, és a nem megfelelőeket utólagosan „tökéletessé” tesszük, akkor a $p \cdot A(p) \leq 5\%$ feltétel valóban biztosítja, hogy a kész szerkezetben az f_{ck} szilárdsági küszöb (előírt jellemző érték) alatti nyomószilárdságú beton mennyisége 5% alatt maradjon.

Az új betonszabványok (MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004) 14. táblázatában a folyamatos gyártás nyomószilárdsági megfelelőségének 1. feltételében szereplő, az $n = 15$ mintaszámhoz tartozó $\lambda_{n=15} = 1,48$ értékű alulmaradási tényező egy ilyen, *folyamatos vizsgálatot és utólagos megerősítést feltételező* minőségbiztosítási rendszer részeként került meghatározásra. A kapott rendszer a $p \cdot A(p) \leq 5\%$ feltételt valójában ki is fogja elégíteni, jelentős biztonsági ráhagyással (Zäschke, 1994). Például megengedi, hogy amennyiben a gyártó „kritikusan jó”, azaz $p = 5\%$ alulmaradási hányadú betont készít, akkor az elfogadás $A(0,05)$ valószínűsége 1,0 legyen (1. ábra felső görbéje, ahol $A(0,05) = 1,0$). A $\lambda_{n=15} = 1,48$ által szolgáltatott feltételrendszerrel $A(0,05) \approx 0,7$, azaz ha a gyártó „kritikusan jó” betont készít, akkor azt a feltételrendszer 0,7 körüli valószínűséggel fogja megfelelőnek minősíteni (1. ábra középső görbéje, ahol $A(0,05) \approx 0,7$). Ez lényegesen kisebb, mint a $p \cdot A(p) \leq 5\%$ alapfeltétel által megkövetelt 1,0, de lényegesen több, mint az MSZ 4720-2:1980 által biztosított 0,5 (1. ábra alsó görbéje, ahol $A(0,05) = 0,5$). A biztonsági ráhagyás oka többek között, hogy a $\lambda_{n=15} = 1,48$ alulmaradási tényező egy olyan modellben számolódik, amely az egyes vizsgálati eredmények között némi gyenge összefüggőséget is megenged. (Ha sokat mérünk, akkor az időben közeli mérések között lesz némi korreláció.) Ha feltételeznénk, hogy a mérési eredmények függetlenek, akkor $\lambda_{n=15} = 1,48$ helyett 1,318 jönne ki. A λ_n alulmaradási tényezők egy ajánlott OC-görbéhez¹ tartozó értékek, amelyeket numerikus szimulációval határoztak meg, a véletlen számok révén (Taerwe, 1986). A λ_n alulmaradási tényezők értékei a 4. táblázatban találhatóak.

Összehasonlítva tehát a régi MSZ 4720-2:1980 és az új MSZ EN 206-1:2002, ill. MSZ 4798-1:2004 szabványokat, a korábbi szabvány a beépített beton nyomószilárdságát egy szűrőpróbaszerűen is alkalmazható megfelelőségi feltétellel, az új szabványok pedig egy folyamatos nyomon követést és utólagos javítást feltételező minőségbiztosítási rendszer részeként alkalmazható megfelelőségi feltétellel kívánja biztosítani. Az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szabványnak az a komoly hiányossága, hogy a szabványokba csak megfelelőségi feltétel került be, a folyamatos nyomon követés és utólagos javítás kötelezettsége nélkül.

Az előzőek során az új szabványoknak (MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004) csak az 1. nyomószilárdsági feltételével foglalkoztunk: ezt azért tehettük meg, mert gyakorlati tapasztalatok és szimulációs vizsgálatok szerint is a 2. feltétel szinte semmit nem élesít a feltételrendszeren (Zäschke, 1994).

3. A NYOMÓSZILÁRDSÁG VIZSGÁLATA AZ ÁTADÁS-ÁTVÉTELI ELJÁRÁS SORÁN

Az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 betonszabványok a beton átadás-átvételi eljárásáról nem ejtenek szót, a témakör tárgyalása a beton megfelelőségének gyártói értékeléséig, illetve annak ellenőrzéséig terjed. Véleményünk szerint az átadás-átvételi eljárás alapja az átadás-átvételi vizsgálat, amely egyfajta azonosító vizsgálatnak fogható fel. A beton nyomószilárdság azonosító vizsgálatát – az MSZ 4798-1:2004 szabvány B melléklete szerint – akkor kell végezni, ha meg akarunk győződni arról, hogy

- a kérdéses friss beton ugyanahhoz az alapsokasághoz tartozik-e, amelyre a gyártó a jellemző szilárdság megfelelőségét igazolta;
- a kérdéses friss beton a gyártó által szavatolt szilárdsági jelnek és esetleg egyéb szavatolt tulajdonságnak megfelel-e, ha a megfelelőség igazolása érdekében a gyártó nem végzett vizsgálatokat;
- a szerkezetbe már bedolgozott szilárd beton a gyártó által szavatolt szilárdsági jelnek megfelel-e.

¹ Az OC-görbéről itt lehet olvasni: <http://www.betonopus.hu/notesz/oc-gorbe.pdf>

Értelmezésünk szerint *azonosító vizsgálatot* végez a *független laboratórium*, ha nem a kezdeti vagy a folyamatos gyártás megfelelőségének vizsgálatával bízták meg (azt a gyártó vagy más laboratórium végezte), hanem — akár a gyártó, akár a megrendelő (építető, felhasználó, előíró) megbízásából — csak annak megállapítása a feladata, hogy a szóban forgó beton a gyártó által megadott nyomószilárdsági osztálynak megfelel-e. Ugyanilyen *azonosító vizsgálatot* végezhet a megrendelő, ill. a kivitelező is saját laboratóriumában. Az *azonosító vizsgálat* feltételeiben célszerű a gyártóval megegyezni, és a vizsgálatot a gyártó bevonásával végezni. Kezdeti és folyamatos vizsgálatot csak a gyártó vagy megbízottja végezhet, amelynek eredménye alapján a gyártó – ha szükséges, tanúsító szervezet bevonásával – megfelelőségi nyilatkozatot tesz. A megfelelőségi nyilatkozat megbízhatóságát a beton megrendelője (vevő = kivitelező, előregyártó) vagy megbízottja *azonosító vizsgálat*tal (átadás-átvételi vizsgálat) ellenőrzi.

A beton átadás-átvételi eljárásának kimenetele, a tétel elfogadása vagy elutasítása az *azonosító vizsgálat* eredményétől függ. Szerkezeink biztonsága szempontjából is méltányolható, ha ebben az eljárásban az új betonszabványok alapelvétől eltérően az átadó és az átvevő kockázata azonos, más szóval, ha a $p = 5\%$ alulmaradási hányadú beton elfogadási valószínűsége $A = 50\%$, és a nyomószilárdság vizsgálat mérési eredményeit ennek az elfogadási feltételnek ($p \cdot A(p) = 2,5\%$) megfelelően értékeljük. Javaslatunk az új betonszabványokkal nem ellentétes, az azokban foglaltaknál szigorúbb, a beton és vasbeton szerkezetek biztonságát fokozó megfelelőségi feltételekre vezet, amelyek alkalmazása során a meg nem felelő nyomószilárdságú beton nyomon követésére, megerősítésére stb. nincs szükség. A módszert az érdekelt felek külön megállapodás alapján alkalmazhatják.

Az *azonosító vizsgálat* javasolt megfelelőségi feltételeinek matematikai statisztikai alapja nem idegen sem az új (MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004), sem a régi (MSZ 4719:1982 és MSZ 4720-2:1980) betonszabványoktól, és a következőkben foglalható össze:

- nem teszünk különbséget a gyártásközi ellenőrzés tanusításával vagy tanusítása nélkül készült beton *azonosító vizsgálat*a között;
- a beton megfelelőségét a vizsgált minták nyomószilárdságának átlaga, szórása és a mintaszám alapján határozzuk meg;
- feltételezzük, hogy a vizsgálati eredmények követik a *Gauss* eloszlást;
- a jellemző értéket a *Gauss* eloszlás alapján az 5 %-os alulmaradási szinthez rendeljük oly módon, hogy az átadás-átvételi eljárásban az elfogadási valószínűség a kritikusan megfelelő betonra nézve közelítőleg 50-50 %, az elfogadási feltétel $p \cdot A(p) = 2,5\%$ legyen, szemben az MSZ EN 206-1:2002 és MSZ 4798-1:2004 szabvány rendelkezésével, amely szerint a folyamatos gyártás során az átadás-visszautasítás valószínűsége kritikusan megfelelő betonnál közelítőleg 70-30 %, és az elfogadási feltétel $p \cdot A(p) = 3,5\%$ (*Taerwe*, 1986);
- a jellemző értéket több mint 40 minta esetén az $f_{ck} = f_{cm} - 1,645 \cdot \sigma$ összefüggésből, ennél kevesebb minta (n) esetén az $f_{ck} = f_{cm} - t_n \cdot s_n$ összefüggésből határozzuk meg, ahol σ az elméleti szórás, s_n a tapasztalati szórás, t_n a *Student*-tényező (*Stange* et al., 1966) értéke az n mintaszám függvényében. A *Student*-féle $t_n; s_n$ alulmaradási tágasság – bár a *Taerwe*-féle $\lambda_{n=15} \cdot s_n$ értéknél nagyobb – mégis általában szerény mértékű, hiszen az MSZ EN 1992-1-1:2010 (Eurocode 2) szabvány konstans 8,0 N/mm² értéket ad meg az $f_{cm,cyl}$ számításához;
- feltételezzük, hogy a C50/60 nyomószilárdsági osztályig bezárólag a 150 mm élhosszúságú, vegyesen tárolt próbakocka és a 150 mm átmérőjű, 300 mm magas, végig víz alatt tárolt próbahenger nyomószilárdságának összefüggése ($f_{ci,cube,H} = 1,387 \cdot f_{ci,cyl}$), ami a szórások előírt értékére is fennáll, azaz $\sigma_{cube,H} = 1,387 \cdot \sigma_{cyl}$ illetve $s_{cube,H} = 1,387 \cdot s_{cyl}$;
- a minta egy próbatestből is állhat;
- a kidolgozott eljárás értelemszerűen a végig víz alatt tárolt szabványos próbakockák és próbahengerek vizsgálatára is alkalmazható.

A beton javasolt megfelelőségi feltételek szerinti minősítésére 9 minta (9 próbakocka) *azonosító vizsgálati* eredménye alapján a 3. táblázatban mutatunk be példát.

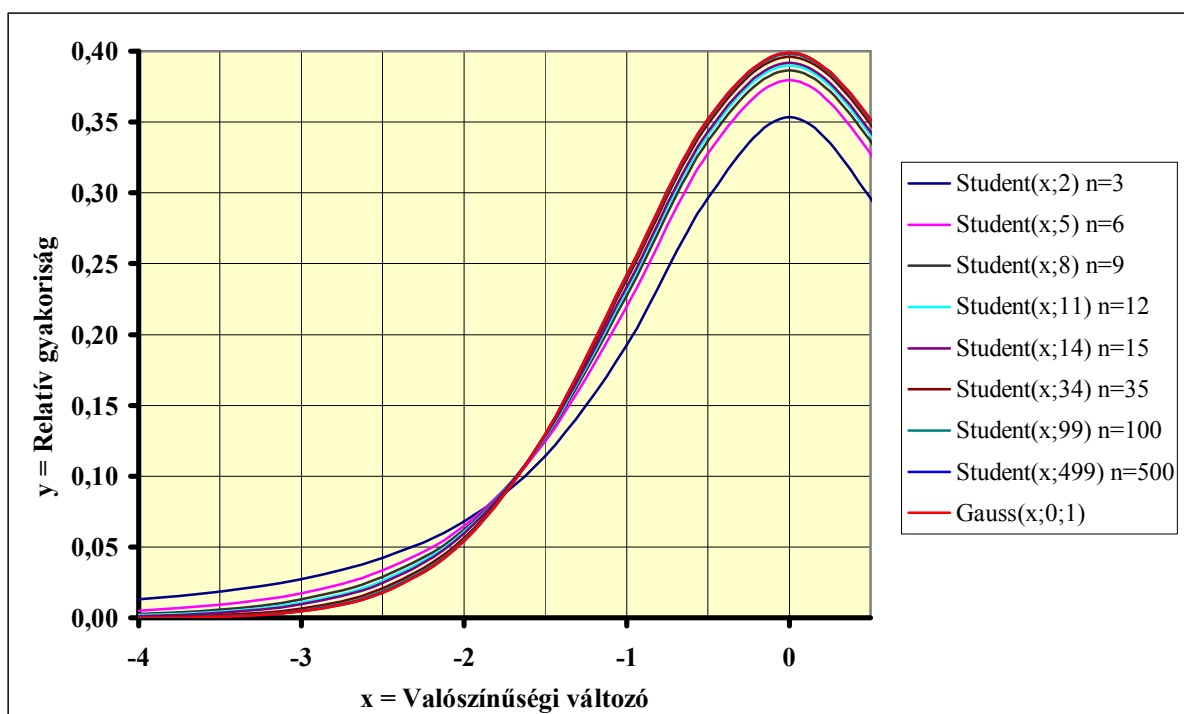
3. táblázat: Számpélda a nyomószilárdság vizsgálati eredmények értékelésére azonosító vizsgálat esetén, a Student-tényező alkalmazásával

Minta jele (1 minta = 1 próbatest)	Próba- kocka $f_{ci,cube,test,H}$	Próba- henger $f_{ci,cyl,test}$	2. feltétel $f_{ci,cyl,test} \geq f_{ck,cyl} - 4$
1.	48,7	35,1	$35,1 > 21,0$
2.	47,7	34,4	$34,4 > 21,0$
3.	44,5	32,1	$32,1 > 21,0$
4.	46,6	33,6	$33,6 > 21,0$
5.	45,8	33,0	$33,0 > 21,0$
6.	47,6	34,3	$34,3 > 21,0$
7.	43,1	31,1	$31,1 > 21,0$
8.	43,8	31,6	$31,6 > 21,0$
9.	46,2	33,3	$33,3 > 21,0$
$f_{cm,cyl,test} =$		33,2	átlag
$s_9 =$		1,37	szórás
$s_{min} = s_{n,cube,H}/1,387 = 3/1,387 =$		2,16	szórás legalább
$t_9 =$		1,86	Student-tényező
$f_{ck,cyl,test} = f_{cm,cyl,test} - t_9 \cdot s_{min} =$		$33,2 - 1,86 \cdot 2,16 = 33,2 - 4,0 = 29,2$	
1. feltétel			
		$f_{ck,cyl,test} = 29,2 > 25,0 = f_{ck,cyl}$	
$f_{cm,cyl,test} = 33,2 > 29,0 = f_{cm,cyl} = f_{ck,cyl} + t_9 \cdot s_{min} =$		$25,0 + 1,86 \cdot 2,16 = 25,0 + 4,0$	
Nyomószilárdsági osztály: C25/30		Mértékegység: N/mm ²	

A 4. táblázatban a Taerwe-tényezők (1986) mellett az egyoldali 5 %-os alulmaradási hányadhoz tartozó Student-tényező értékeit adtuk meg, 50 %-os elfogadási valószínűség mellett (Stange et al., 1966). A 4. táblázatban szereplő Student-tényező az $N(0,1)$ eloszlású t -eloszlás — egyoldali 5 %-os alulmaradási hányadához tartozó — $t_{95\%,f}$ valószínűségi változója ($p = 0,05$ értékhez tartozó kvantilise, küszöb értéke, ha n a mintaszám, és $n - 1$ a t -eloszlás szabadságfoka). Ha $n \rightarrow \infty$, akkor a Student-féle t -eloszlás a Gauss-féle normális eloszláshoz tart (2. ábra).

4. táblázat: Alulmaradási tényezők

Minta-szám n	Student-tényező, t_n (Stange et al., 1966)	Taerwe-tényező, λ_n (Taerwe, 1986)
3	2,920	2,67
4	2,353	2,20
5	2,132	1,99
6	2,015	1,87
7	1,943	1,77
8	1,895	1,72
9	1,860	1,67
10	1,833	1,62
11	1,812	1,58
12	1,796	1,55
13	1,782	1,52
14	1,771	1,50
15	1,761	1,48
20	1,729	
30	1,699	
∞	1,645	



2. ábra: Gauss- és Student-eloszlások standardizált sűrűségfüggvénye

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Az új betonszabványok szerint a gyártó a folyamatosan gyártott beton vizsgálati eredményeiből 70-30 %-os átadás-visszautasítási valószínűsége meghatározott jellemző érték alapján megfelelőségi nyilatkozatot tesz. A vizsgálatok eredményének értékelését jelentősen befolyásolja a jellemző érték kiszámításának módszere. Szerkezeteink biztonsága szempontjából – különösen 100-150 év tervezett használati élettartam esetén – több mint méltányolható lenne az olyan átadás-átvételi vizsgálati módszer alkalmazása, amelyben az átadó és az átvevő kockázata 50-50 %.

6. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- | | |
|------------------------------|---|
| MSZ 4719:1982 | Betonok |
| MSZ 4720-2:1980 | A beton minőségének ellenőrzése. Általános tulajdonságok ellenőrzése |
| MSZ 4798-1:2004 | Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon |
| MSZ EN 206-1:2002 | Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés. Módosítva: MSZ EN 206-1:2000/A1:2004 és MSZ EN 206-1:2000/A2:2005 |
| MSZ EN 1992-1-1:2010 | Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok |
| Kausay T.: | A beton nyomószilárdságának elfogadása. Vasbetonépítés, VIII. évfolyam, 2006/2 szám, pp. 35-44. |
| Stange, K. – Henning, H.-J.: | Formeln und Tabellen der mathematischen Statistik. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg/New York, 1966 |
| Taerwe, L.: | A General Basis for the Selection of Compliance Criteria. IABSE Proceedings P-102/86, pp. 113-127, ETH-Hönggerberg, Zürich, 1986 |
| Zäschke, W.: | Conformity Criteria for Compressive Strength of Concrete. Concrete Precasting Plant and Technology, 9/1994, pp. 94-100, Bauverlag GmbH, Wiesbaden, 1994 |