Dr. Kausay Tibor* – Dr. Simon Tamás Károly**

CSISZOLÁS HATÁSA A BETON PRÓBATESTEK MÉRHETŐ NYOMÓSZILÁRDSÁGÁRA

KIVONAT/HU
A beton próbatestek nyomószilárdság vizsgálati módszerének, beleértve a próbatestek előkészítését is, összhangban kell lennie a nyomószilárdság követelményének számértékével. Ezért az MSZ 4798:2016 [19] betonszabványban kihangsúlyozzák, hogy a csiszolt felületű próbahengerek nyomószilárdság vizsgálata – a mért törési eredmény korrigálása nélkül – nem ad elfogadható eredményt, az MSZE 15612:2014 [20] csatornázási beton-aknaelem előszabvány szerint pedig a próbahenger nyomott felületeit csiszolni nem szabad. A kérdéskör tanulmányozásának célja az – MSZ 4798-1:2004 betonszabványt a közel múltban felváltó – MSZ 4798:2016 [19] betonszabvány nyomószilárdság vizsgálattal foglalkozó fejezetének kiterjesztése a próbatestek felületelőkészítésére és a felületelőkészítésre vonatkozó szabályozási ellentmondások MSZ 4798:2016 [19] szabványbeli feloldása volt [1].
Kulcsszavak: beton, nyomószilárdság vizsgálat, próbahengerek felületelőkészítése, csiszolás

ABSTRACT/ENG
The compressive strength testing methodology of concrete samples, including their preparation, are to be in harmony with the numerical value of the required compressive strength. Accordingly is emphasized in MSZ 4798:2016 [19] that, the compressive strength test of polished cylinders without correction does not give acceptable result. The MSZE 15612:2014 [20] about duct manhole elements pre-standard prohibits the polishing of concrete test cylinders. The aim of the present study is to expand the topic of the lately revised MSZ 4798-1:2004 to MSZ 4798-1:2016 [19] standard, dealing with compressive strength testing to the preparation of their compressed surfaces and to resolve the contradictions within the concerning regulations in MSZ 4798-1:2016 (Balázs – Kausay, 2018) [1].
Keywords: concrete, compressive strength testing, surface preparation of test cylinders, polishing

Lektorált tartalom

1. | IRODALMI ELŐZMÉNYEK

A beton anyagtanának kutatói már évtizedekkel ezelőtt felfigyeltek arra, hogy a beton nyomószilárdságát jelentősen befolyásolja a vizsgálat során alkalmazott nyomólap, illetve alátétlemez és a próbatest nyomott felülete között fellépő súrlódás.

Palotás és *Balázs* [10] szerint a beton nyomószilárdsága vizsgálatának pontosságát, illetve a vizsgálat eredményének megbízhatóságát befolyásoló főbb tényezők a következők:

- a próbatest mérete, alakja és víztartalma;
- a beton legnagyobb szemnagysága;
- a próbatest utókezelésének módja;
- a nyomószilárdság vizsgáló berendezés rendszere és pontossága;
- a próbatest elhelyezkedése a szilárdság vizsgáló gépben;
- a terhelő erő növekedésének sebessége;
- *a próbatest nyomott felülete és a vizsgálóberendezés nyomólapjai vagy az alátétlemezek közötti súrlódás;*
- a gömbcsukló kialakítása;
- a beton kora.

A próbatest nyomott felülete és a vizsgálóberendezés nyomólapjai vagy az alátétlemezek között fellépő súrlódás kialaku-

* címzetes egyetemi tanár, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék
** egyetemi adjunktus, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

lására a nyomóerő átadásának módja és eszköze jelentős hatással van.

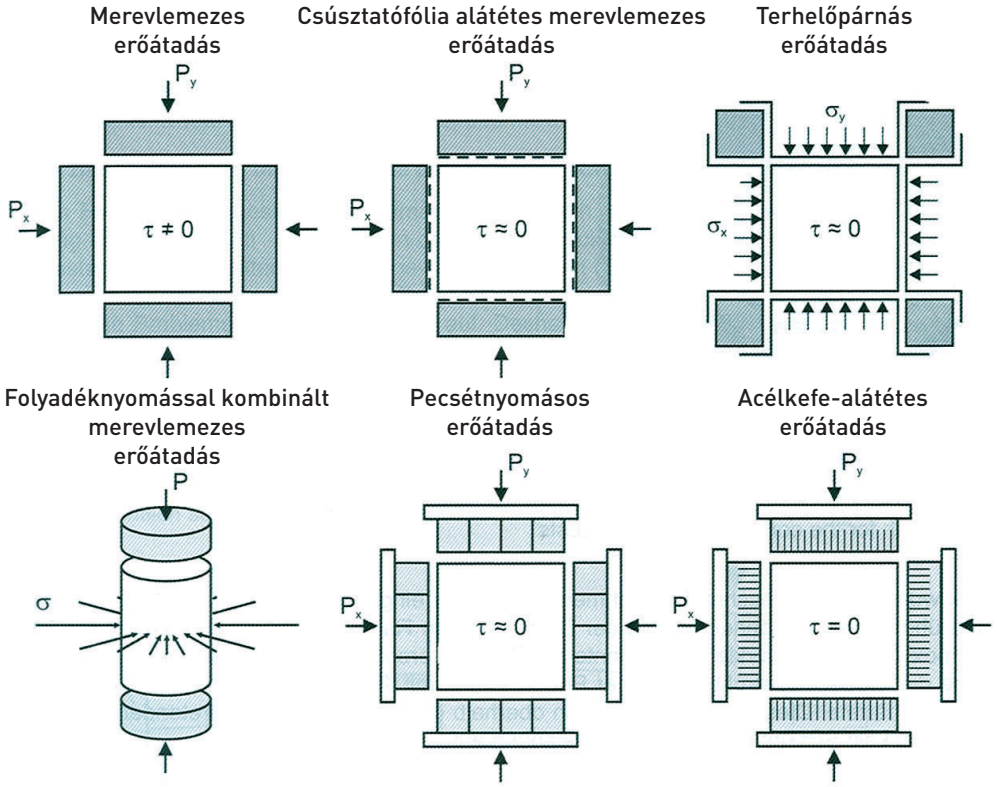
Curbach et al. [2] a nagyszilárdságú betonok többtengelyű nyomószilárdságvizsgálatáról szólva, és *Gerstle* et al. [4] közleményére hivatkozva, az erőátadás módjának hatféle leginkább alkalmazott változatát különböztetik meg, úgymint a merevlemezes, a csúsztatófólia alátétes merevlemezes, a terhelőpárnás, a vízszintes folyadéknyomással kombinált merevlemezes, a pecsétnyomásos, az acélkefe-alátétes erőátadás módját **(1. ábra)**.

Lewandowski [9] hivatkozással *Rüsch* [11] tanulmányára és a DIN 1048:1957 [14] szabványra, megállapította, hogy a vizsgálóberendezés nyomólapjainak kialakítása hatással van a próbatestek alakváltozására. Az erősen képlékeny nyomólapok alakváltozása az erő hatására jelentős, és ezért kevésbé akadályozzák a próbatestek keresztirányú alakváltozását mint a merev nyomólapok. Hasonló hatása van annak, ha a nyomólapok és a próbatest közötti súrlódást a próbatestek felület-kialakításával csökkentjük. *Weigler* et al [12] szerint a fúrásmagból kivágott próbahengerek nyomószilárdsága a felület-kialakítás módjától függően akár 30%-kal is csökkenhet. *Henzel* et al. [6] kísérletekkel azt tapasztalták, hogy a 100 mm élhosszúságú, 12 N/mm^2, 25 N/mm^2, 45 N/mm^2 nyomószilárdságú zsaluzat-sík felületű próbakockák nyomószilárdságához képest a csiszolt felületű próbakockák nyomószilárdsága rendre 89%, 93%, 105%, az ASTM C39/C39M:2018 [13] szabványnak megfelelő kénhabarcsos felületű próbakockáké rendre 110%, 104%, 107%, a cementhabarcsos felületű próbakockáké rendre 99%, 94%, 94%.

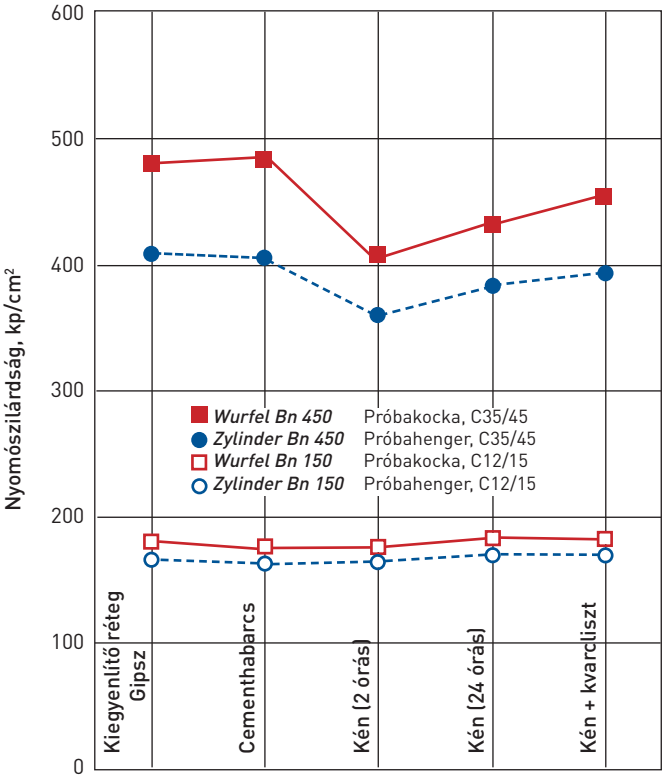
Dahms és *Rendchen* [3] Bn 150 (mai C12/15, mért átlagértéke $f_{cm,cyl,test}$ = 16,7 N/mm^2 és $f_{cm,cube,test}$ = 17,9 N/mm^2) és Bn 450 (mai C35/45, mért átlagértéke $f_{cm,cyl,test}$ = 39,0 N/mm^2 és $f_{cm,cube,test}$ = 45,8 N/mm^2) nyomószilárdsági osztályú Ø150×300 mm méretű próbahengerekkel és 200 mm élhosszúságú próbakockákkal kísérletezett, amelyek nyomott felületét csiszolták, cementhabarccsal, gipszpéppel, kénnel vagy kénhabarccsal vonták be. Megállapították, hogy a nagyobb szilárdságok tartományában minél vastagabb volt gipsz és a kénhabarcs felület-kiegyenlítő réteg és minél egyenetlenebb a próbatest felülete, annál kisebb nyomószilárdság adódott; kisebb mértékben a próbahengerek esetén és nagyobb mértékben a próbakockák esetén. A különböző anyagú kiegyenlítő rétegek hatása a nyomószilárdságra a **2. ábrán** látható.

Hilsdorf [7] a DAfStb-Heft 173:1965 kiadványban arról számolt be, hogy a Müncheni Műszaki Főiskola Építésügyi Anyagvizsgáló Intézetében (Materialprüfungsamt für das Bauwesen der Technischen Hochschule München) B 225 (mai C12/15) nyomószilárdsági osztályú betonnal egy- és kéttengelyű igénybevétellel betonszilárdság kísérleteket végzett, és a nyomószilárdság vizsgálat során a tiszta egy- és kéttengelyű feszültségi állapot előállításának nehézségét a nyomott próbatest és a terhelésátadó elem érintkezési felületén ébredő – a próbatest terhelt peremfelületi alakváltozását akadályozó – súrlódásban látta, amelynek csökkentésére nem csak teflon-réteggel kísérletezett, hanem terhelésátadó, ún. acélkefe-alátétet is kifejlesztett és alkalmazott.

Ha az elasztoplasztikus acél nyomólapok és az elasztoviszkózus beton próbatest között fellépő tapadási súrlódást, azaz a külső erő normálisra merőleges komponensét sztearin (stearin) kenőanyaggal minimálisra csökkentjük, akkor a nyomótra-

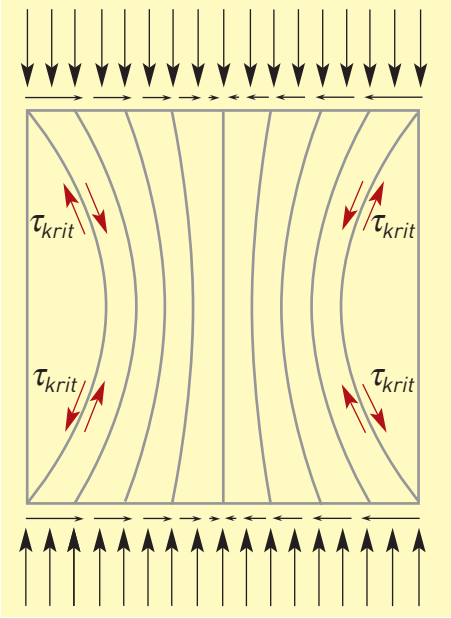


1. ÁBRA: Az erőátadás különböző módjai Gerstle et al. [4] és Curbach et al. [2] szerint

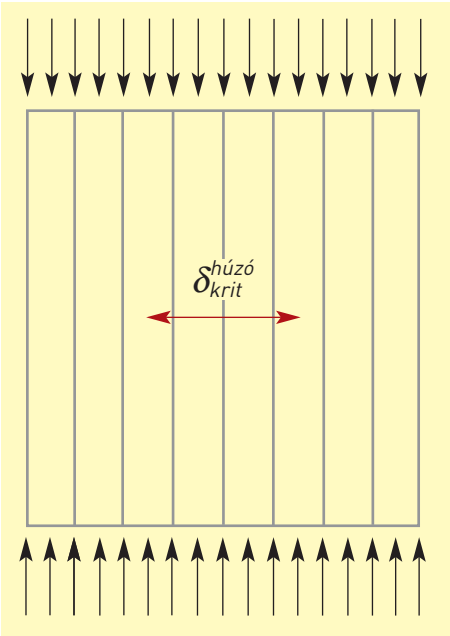


2. ÁBRA: Különböző anyagú kiegyenlítő rétegek hatása a nyomószilárdságra [3]

jektóriák gyakorlatilag hengert alkotnak. Ezekhez a hengerfelületekhez már nem nyírófeszültségek, hanem a nyomóerő következtében kihajolni kívánó elemi szálakra merőleges irányú húzófeszültségek tartoznak, amelyek kritikus értéke a próbatest ún. szakadótörését okozza **(4. ábra)**. A szakadótörés **(4. ábra)** kritikus húzófeszültsége lényegesen kisebb nyomóerő hatására



3. ÁBRA: Csúszótörés



4. ÁBRA: Szakadótörés

jön létre, mint amekkora nyomóerő a csúszótörés **(3. ábra)** kritikus nyírófeszültségének kialakulásához szükséges [10].

Kausay [8] szerint a sztearinnal bevont felületű nyomólapok (alátétlemezek) esetén például a zúzottkőbeton nyomószilárdsága a szabványos felületű nyomólapok alkalmazásával meghatározott nyomószilárdságának a 65%-ára is leeshet

2. | CSISZOLT FELÜLETŰ PRÓBAHENGEREK NYOMÓSZILÁRDSÁGA

A nyomószilárdság vizsgálati szabványok sokszor és régóta hivatkoznak arra, hogy a hibás alakú próbatestek felületét csiszolni kell, de az újkori szabványok megfeledkeznek arról, hogy az egykori szabványok megírásának korára jellemző csiszolási technika az utóbbi 20 évben jelentősen fejlődött – dörzsvászonos lassú fordulatú csiszolástól a gyémánt szemcsés gyors fordulatú csiszolásig –, és ez a fejlődés nagy változást hozott a csiszolt felület minőségében. Az 1970–1980-as évekbeli laboratóriumi csiszológépek forgótárcsájának fordulatszáma általában 150–300 ford/perc, átépítve legfeljebb 1200 ford/perc volt, és a forgótárcsára dörzsvásznat erősítettek. A próbatestet csiszolás közben általában kézzel nyomták a forgótárcsához **(5. ábra)**. A mai csiszológépek ezzel szemben legalább 3400 ford/perc fordulatszámú gyémánt-szemcsés tárcsával csiszolnak, mechanikájuk magasfokon szabályozott **(6. ábra)**, következésképpen hatékonyságuk és pontosságuk messze meghaladja a mintegy ötven évvel ezelőtt gyártott gépekét, voltaképpen nem is csiszolnak, hanem políroznak.

A próbatestek nyomott felületének mai technológiával való csiszolásával épp ellenkező hatás érhető el, mint amilyenre például *Hilsdorf* [7] vagy *Hampel* [5] az acélkefe-alátét alkalmazásával törekedett: szilárdságot többtengelyű igénybevétel esetén a peremfelületi súrlódás csökkentése mellett kívánták meghatározni.

5. ÁBRA: Laboratóriumi betonpróbatest-csiszológép és dörzsvászon az 1970–1980-as évekből (http://riad.usk.pk.edu.pl és https://www.struers.com/zh-CN)

6. ÁBRA: Példa napjaink gyémánttárcsás laboratóriumi betonpróbatest-csiszológépére (https://www.formtest.de)

Az MSZ EN 12390-3:2009 [15], MSZ EN 12504-1:2009 [16], MSZ EN 13791:2007 [18] és MSZ EN 13369:2013 [17] szabványban javasolt csiszolás csak arra az esetre vonatkozik, ha a próbatest alak- vagy mérethibás. Például az MSZ EN 12390-3:2009 [15] szabvány

- **A** melléklete szerint „Ha szükség van a próbatestek méretének a csökkentésére, akkor csiszolni vagy fűrészelni kell. A teherviselésre szánt felületeket csiszolással vagy habarcsozással kell előkészíteni.";
- **B** melléklete szerint „Ha bármelyik méret 0,2%-kal nagyobb vagy kisebb, mint a kijelölt méret, akkor a próbatestet kihagyjuk vagy kiigazítjuk.";
- A mellékletének következő előírása pedig nem értelmezhető: „Vita esetén a csiszolás legyen a referenciamódszer. MEGJEGYZÉS: A kiigazítás más módszereit is szabad alkalmazni, ha azok helyességét a csiszoláshoz viszonyítva igazolták."

Komoly hiányosság, hogy ezek a szabványok a csiszolásnak a nyomószilárdság növelő hatásáról és az így mért nyomószilárdság átszámításának szükségességéről nem szólnak. A csiszolással a nyomószilárdság csak látszólag növekszik meg, hiszen általa nem a beton struktúrája javul, hanem csak a vizsgálat körülményei változnak meg.

Tapasztalatunk szerint a nyomott oldalak csiszolása a fúrt próbahengeren mért nyomószilárdságot a vágott, de nem csiszolt, vagy a sablonban készített próbahengeren mért nyomószilárdságot a natúr vagy habarccsal simított véglapokkal rendelkező próbahengeren mért nyomószilárdsághoz képest megnöveli, akkor is, ha a próbahengerek véglapjai a csiszolás előtt is tökéletesen párhuzamosak voltak **(1. táblázat)**. Mennél simábbra csiszoljuk a próbatest nyomott felületét, az a nyomószilárdság vizsgálat során egyre inkább közelebb kerül a nyomólap felületéhez, a felületek közül a levegő teljesen kiszorul, és érvényesül a felületek részecskéi közötti adhézió. A tapadási súrlódási erő tiszta és nagyon sima, csiszolt felület esetén megnő, és ezáltal a mért nyomószilárdság is nagyobb lesz. Ha a próbatest lecsiszolt véglapja nedves, akkor a szárazhoz képest a súrlódás és a nyomószilárdság valamelyest csökkenhet, mert a vékony vízfilm csúszóréteget képezhet.

Az **1. táblázat** szerint a csiszolt felületű Ø150×300 mm méretű próbahenger

- nyomószilárdságának átlag értéke (52,7 N/mm^2) akár 20%-kal is meghaladhatja a habarcsolt felületű Ø150×300 mm méretű próbahenger nyomószilárdságának átlag értékét (42,8 N/mm^2);
- nyomószilárdsági osztálya (C40/50) akár két fokozattal is nagyobb lehet, mint a habarcsolt felületű Ø150×300 mm méretű próbahenger nyomószilárdsági osztálya (C30/37);
- nyomószilárdságának jellemző értéke (40 N/mm^2) elérheti a sablon formálta felületű 150 mm élhosszúságú próbakocka nyomószilárdságának jellemző értékét (37 N/mm^2).

Ezért például az MSZE 15612:2014 [20] magyar előszabvány szerint az előregyártott beton csatornázási aknaelemekből kifúrt magmintából kialakított próbahenger nyomószilárdságának meghatározása során a próbahenger nyomott felületeit csiszolni nem szabad. Az MSZ 4798:2016 [19] magyar betonszabványban pedig az áll, hogy a próbatestek csiszolással történő kiigazítása nem javasolt, mert a nyomószilárdság korrekciós tényezőjének jelenleg nincs közmegegyezéssel elfogadott értéke.

1. TÁBLÁZAT: Sablonban készített, 28 napos korú, végig víz alatt tárolt, Ø150×300 mm méretű, különböző módon előkészített nyomott felületű próbahengerek **(7. ábra)** nyomószilárdsága

Nyomott felület kialakítása	Felső lap cementhabarccsal simított, alsó lap natúr	Felső lap csiszolt, alsó lap natúr	Mind a két lap csiszolt
Végig víz alatt tárolt, 28 napos korú Ø150×300 mm méretű próbahengerek	Töréskor nem robbantak	Töréskor robbantak	Töréskor robbantak
Átlagos nyomószilárdság, N/mm²	42,8	51,4	52,7
Nyomószilárdság, %	100,0	120,0	123,1
Szórás, N/mm²	1,68	0,67	1,64
Szórás a terjedelemből ($T_{n=3}$) számítva, $s = T_3/3{,}31$ N/mm² (MSZ 4798-1:2004.)	1,95	0,71	1,89
Mértékadó szórás, N/mm²	3,00	3,00	3,00
Student-tényező, $n = 3$	2,92	2,92	2,92
Jellemző érték, N/mm²	34,06	42,63	43,94
Nyomószilárdsági osztály	C30/37	C40/50	C40/50

7. ÁBRA: Sablonban készített, 28 napos korú, végig víz alatt tárolt, Ø150×300 mm méretű, cementhabarccsal simított és csiszolt felső nyomott felületű nyomószilárdság vizsgálati próbahengerek

3. | ÖSSZEFOGLALÁS

Az építmények biztonsága csak a méretezési modellben megkövetelt anyagminőségekkel biztosítható. Az anyagminőségre vonatkozó követelmény a vizsgálati módszertől nem választható el, a vizsgálati módszer megváltoztatásával a követelményérték érvényét veszti. Ezért helytelen a beton- vagy vasbetonszerkezetbe olyan betont beépíteni, amelynek nyomószilárdságát a vizsgálati módszer megváltoztatásával – csiszolt felületű próbatestek vizsgálati eredményével – igazolták. ■

HIVATKOZÁSOK

[1] Balázs L. György – Kausay Tibor: Betontípusok, fogalmak, jelölések, újdonságok. Az MSZ 4798:2016, MSZ 4798:216/1M:2017 és MSZ 4798:2016/2M:2018 betonszabvány néhány fejezetének értelmezése. 1. rész: Szabványosítás, a betonszabványok változása 2014 és 2018 között. Vasbetonépítés. 2018. XX. évfolyam. 1 szám. pp. 16–22.

[2] Curbach, M. – Scheerer, S. – Speck, K. – Hampel, T.: Experimentelle Analyse des Tragverhaltens von Hochleistungsbeton unter mehraxialer Beanspruchung. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton. Heft 578. Beuth. Berlin, 2011.

[3] Dahms, J. – Rendchen, K.: Über das Abgleichen der Druckflächen von Würfeln und Zylindern aus Beton. vdz. Betontechnische Berichte. 1975.

[4] Gerstle, K. H. – Aschl, H. – Bellotti, R. – Bertacchi, P. – Kotsovos, M. D. – Ko, H.-Y. – Linse, D. – Newman, J. B. – Rossi, P. – Schickert G. – Taylor, M. A. – Triana, L. A. – Winkler, A. – Zimmerman, R. M.: Strength of concrete under multiaxial stress states. Douglas Mc. Henry International Symposium on Concrete and Concrete Structures, Publication Sp 55-5, pp. 103–131, 1978, ACI, Detroit.

[5] Hampel, T.: Experimentelle Analyse des Tragverhaltens von Hochleistungsbeton unter mehraxialer Beanspruchung. Dissertation. Fakultät Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden, 2006.

[6] Henzel, J. – Spitzner, J. Freitag, W.: Einflüsse auf die Ergennisse bei Druckfestigkeitsprüfungen an Beton. beton. 1967. Heft 4. Seite 135–138.

[7] Hilsdorf, H.: Die Bestimmung der zweiachsigen Festigkeit des Betons. DAfStb-Heft 173. Verlag Ernst & Sohn. Berlin, 1965.

[8] Kausay T.: A szemcsealak statikai szerepe a betonban. Építőanyag. XIX. évf. 1967. 3. szám, pp. 110–115.

[9] Lewandowski, R.: Beurteilung von Bauwerksfestigkeiten an Hand von Betonwürfeln und -bohrproben. Dissertation. Fakultät für Bauwesen der Technischen Hochschule Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig. 1970.

[10] Palotás L. – Balázs Gy.: Mérnöki szerkezetek anyagtana 3. kötet. Beton – Habarcs – Kerámia – Műanyag. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1980.

[11] Rüsch, H.: Specimen size and apparent compressive strength. Proc A. C.I. 50 (1954) S. 803.

[12] Weigler, H. – Siemers, H. – Spitzner, J.: Zur nachträglichen Bestimming der Betondruckfestigkeit. Betonstein-Zeitung. 1966. Heft 3. Seite 150–158.

[13] ASTM C39/C39M: 2018 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens

[14] DIN 1048:1957 Bestimmungen für Betonprüfungen bei Ausführung von Bauwerken aus Beton und Stahlbeton

[15] MSZ EN 12390-3:2009 A megszilárdult beton vizsgálata. 3. rész: A próbatestek nyomószilárdsága

[16] MSZ EN 12504-1:2009 A beton vizsgálata szerkezetekben. 1. rész: Fúrt próbatestek. Mintavétel, vizsgálat és a nyomószilárdság meghatározása

[17] MSZ EN 13369:2013 Előre gyártott betontermékek általános szabályai

[18] MSZ EN 13791:2007 Betonszerkezetek és előre gyártott betonelemek helyszíni nyomószilárdságának becslése

[19] MSZ 4798:2016 Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelőség, valamint az MSZ EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon

[20] MSZE 15612:2014 Előre gyártott beton csatornázási aknaelemek

Utóirat

A betonpróbahenger (akár sablonban készült, akár kifúrt magminta) nyomott felületét csiszolni nem szabad, mert

- a csiszolt felületű betonpróbahengeren mért nyomószilárdsági érték szabványosnak nem tekinthető,
- csiszolt felületű betonpróbahengerek esetén a szabványos próbahenger/próbakocka nyomószilárdság átszámítási arány érvénytelen,
- csiszolt felületű betonpróbahengerek nyomószilárdsága alapján a beton nyomószilárdsági osztályba nem sorolható.

Az MSZ 4798:2016 betonszabvány 5.5.1.2. szakasza szerint:

„*A nyomószilárdságot az MSZ EN 12390-3 szerint kell meghatározni, azzal a kiegészítéssel, hogy azoknak a próbatesteknek a teherviselésre szánt felületét, amelyek mérete vagy alakja az MSZ EN 12390-1 előírásainak, illetve az MSZ EN 12390-3 szabvány B melléklete előírásainak megfelel, az MSZ EN 12390-3 szabvány 5. fejezete, illetve A melléklete szerint kiigazítani indokolatlan. Az MSZ EN 12390-1 előírásainak, illetve az MSZ EN 12390-3 szabvány B melléklete előírásainak meg nem felelő méretű vagy alakú próbatestek csiszolással történő kiigazítása e szabvány szerint nem javasolt, mert a korrekciós tényezőnek jelenleg nincs közmegegyezéssel elfogadott értéke.*

Az MSZ EN 12390-3 szabvány 5.2. szakasz első mondata úgy értelmezendő, hogy a nyomószilárdság vizsgálati próbatestek méretét az MSZ EN 12390-3 szabvány B melléklete szerint meg kell vizsgálni, és ha a próbatest mérete az MSZ EN 12390-1 szerinti méretekre előírt mérettűréseken kívül esik, akkor a próbatestet nyomószilárdság vizsgálat előtt vagy kalcium-aluminát cementhabarccsal vagy kénkeverékkel vagy homokdoboz módszerrel ki kell igazítani, vagy a nyomószilárdság vizsgálatból ki kell hagyni.”

Továbbá ugyan itt olvasható: „*Ha a nyomószilárdságot szerkezetből vagy szerkezeti elemből kifúrt magmintából kimunkált próbahengerek vizsgálatával határozzák meg, akkor a próbahengerek véglapjai párhuzamosra vágottak legyenek, azokat csiszolni nem javasolt (lásd a szabvány 5.5.1.2. szakaszának (1) bekezdését). A 28 naposnál idősebb magminta próbahengerek nyomószilárdságából a 28 napos korú beton nyomószilárdságára következtetni nem szabad.*”

Budapest, 2022. június 16.