

Betonok roncsolásmentes vizsgálata

Non-destructive Testing of Concrete

Analiza indestructibilă a betoanelor

Dr. KÁSZONYI Gábor, PhD¹, LECZOVICS Péter²

SZIE-Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Műszaki Alaptárgyi Tanszék
¹főiskolai tanár, ²tanszéki mérnök

ABSTRACT

In one of our previous articles the results of investigation on strength of gypsum concrete was reported [1]. During the test both destructive and non-destructive methods were applied. In the case of non-destructive evaluation difficulties were raised to determine the early strength (in the age of 2 days and 7 days) of the concrete. Also this case confirmed that Schmidt rebound hammer and ultrasonic concrete tester are not suitable to evaluate relatively small strength values [2].

ÖSSZEFOGLALÓ

Egy korábbi cikkben [1] beszámoltunk a dermesztett homokbeton roncsolásmentes és roncsolásos szilárdsági vizsgálatairól, amelynél roncsolásmentes és roncsolásos eljárásokat alkalmaztunk. A roncsolásmentes, szilárdságbecslő vizsgálatok során nehézségek merültek fel a beton korai – 2 és 7 napos – szilárdsági értékeinek meghatározásakor [2].

A társadalomtudományokat „hívtuk” segítségül, és így találtunk rá a duroszkópos vizsgálatra, amelyet hazánkban viszonylag szűkörűen, elsősorban közetani vizsgálatoknál alkalmaznak [3].

Jelen cikkünkben a kidolgozott többlépcsős vizsgálati program első lépéseiről számolunk be, amely az első mérések (több, mint száz mérési sorozat) alapján reményekre jogosít fel, hogy nemcsak homokbeton esetében, hanem vékony héjszerkezetek, valamint fiatal beton – 2 és 7 napos – szilárdsági értékeinek meghatározására is alkalmas.

1. RÖVID TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

A roncsolásmentes szilárdságbecslő vizsgálatok a felületi keménység mérésén alapulnak. A vizsgálati eljárások összessége több száz éves múltra tekint vissza. A francia fizikus, Reaumur már 1722-ben megalkotta a szilárdságbecslési módszert, amely a karcolási keménységen, illetve a szűrőszilárdság vizsgálatán alapult. Az ásványtanban a mai napig is használatos a Mohs-féle alapskála (1812.) [4].

Az építőiparban az anyagvizsgálatoknál a felületi keménység mérésén alapuló eljárások két nagy csoportja különböztethető meg:

- a rugalmas visszapattanás elvén működő vizsgálatok,
- a szűrőkeménység (képlékeny benyomódás mértéke) mérése.

Terjedelmi okok miatt jelen cikkben a vizsgálati eljárások ismertetésétől eltekintünk, és a rugalmas visszapattanás elvén alapuló, legelterjedtebb szilárdságbecslő vizsgálatról foglalkozunk. A Schmidt-kalapácsos vizsgálatot Ernst Schmidt, svájci mérnök-feltaláló dolgozta ki és szabadalmaztatta (1948-1950) az elődök (Frank, J. F. Williams, Einbeck) munkássága alapján.

Az építőipari anyagok szilárdságbecslő vizsgálatára a tudomány és technika fejlődésével számos, további módszert dolgoztak ki (az ultrahang terjedési sebességének mérése – transzmissziós, illetve reflexiós eljárások –, röntgensugárzásos vizsgálatok, stb.)

A kutatások során az alábbi befolyásoló tényezőket (betontechnológiai paramétereket) vizsgálták [5] beton, illetve betonszerkezet esetében: víz/cement tényező, az adalékanyag fajtája és szemmegoszlása, a cementtartalom, a cement fajtája, a beton sűrűsége, a beton nedvességtartalma, a beton karbonátosodása, a beton kora, a beton porozitása, a felület érdessége, a vasalás hatása, az ütés iránya (Schmidt-kalapács).

2. SZILÁRDSÁGBECSLÉS A RUGALMAS VISSZAPATTANÁS ELVÉN (SCHMIDT-KALAPÁCS)

A rugalmas visszapattanás elvét alkalmazó vizsgálatokra az eltelt időszakban a gyártó cég több típust (P, N és M) is kifejlesztett: kisebb, normál és nagy szilárdságú betonok vizsgálatára.

A **P-típusú Schmidt-kalapács** kisebb szilárdságú építőanyagok anyagvizsgálatára alkalmas. Az ütési energiája 0,883 Nm, betonkocka esetében 5-25 N/mm² nyomószilárdsági intervallumban alkalmazható. Az ütőfej nagy felületű, így jobban kiküszöböli a felszín közelében lévő különböző keménységű anyag (kavics, cementkő) hatását a visszapattanás nagyságára.

Az **M-típusú Schmidt-kalapács** méretében és ütési energiájában (29,43 Nm) jóval meghaladja a kisebb méretű Schmidt-kalapácsokat, de belső felépítése megegyezik azokéval.

Az **N-típusú Schmidt-kalapácsot** a gyártó 100 mm-nél vastagabb, $d_{max}=32$ mm szemnagyságú, 14-56 napos, 10-70 N/mm² nyomószilárdságú betonokhoz ajánlja, +10°C-50°C hőmérsékleten, ekkor ugyanis a rugóállandó változása még nem számottevő. Az ütési energia 2,207 Nm.

A Schmidt-kalapácsos vizsgálatok értelmezésére, kiértékelésére, a függvénykapcsolat kidolgozására 1960-tól jelentek meg javaslatok, és ezután került sor a nemzetközi és hazai szabványok kidolgozására, amelyek pontosítása szinte a mai napig tart [4, 5]. Néhány függvénykapcsolatot az 1. táblázat mutat be, melyek a 150 mm-es kockaszilárdságokra vonatkoznak.

Nehme/1 (2004)	$F_{cm,150,cube}=0,0005 R^3$
Nehme/2 (2004)	$F_{cm,150,cube}=2,68 e^{(0,06R)}$
Fabbrocino et al (2005)	$F_{cm,150,cube}=0,0725 R^{2,359}$
Nash't et al (2005)	$F_{cm,150,cube}=0,788 R^{1,03}$
Hobbs, Kebir (2006)	$F_{cm,150,cube}=2,1683 R-27,747$
Soshiroda et al (2006)	$F_{cm,150,cube}=1,623 R-27,747$
Proceq (saját)	$F_{cm,150,cube}=0,0131 R^2+0,7522 R-14,884$

1. táblázat: Szilárdságbecslő függvények 2004-től

A visszapattanási értékek és a nyomószilárdság összefüggésére számos függvényt dolgoztak ki. A kizárólag roncsolásmentes mérési eredmények kiértékelésére vonatkozó függvény:

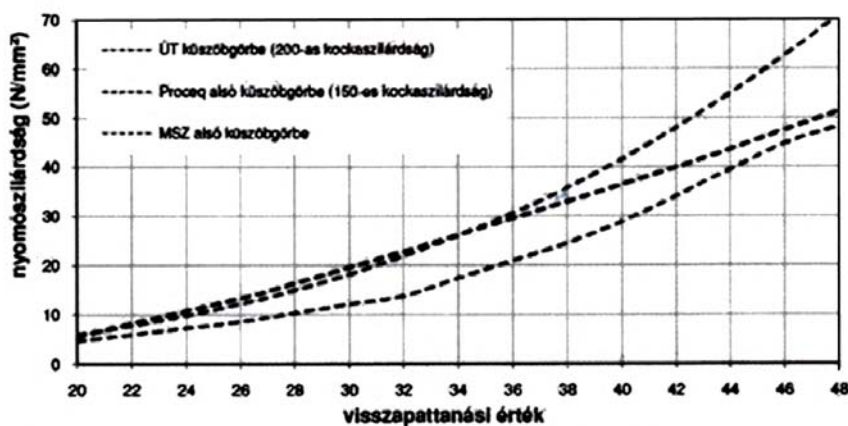
$$\lg K = -2,159 + 1,805 \lg R + 0,345 (\lg R)^2$$

ahol K – a kocka becsült nyomószilárdsága (MPa),
R – a vízszintes irányban mért visszapattanási értékek átlaga.

Magyarországon is hasonló a helyzet, a hazánkban alkalmazott függvénykapcsolatok (6) küszöbgörbéit az 1. ábra mutatja.

A magyarországi szabványok, előírások a következők:

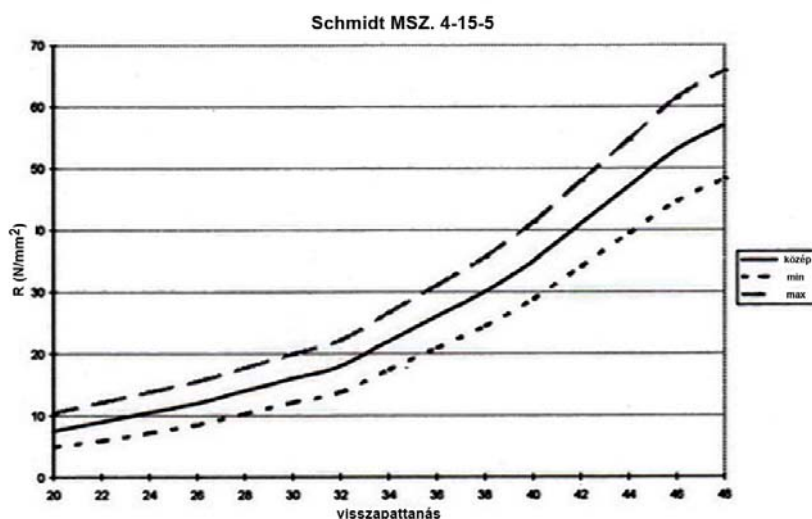
- MSZ 4715/5-1972 Megszilárdult beton vizsgálatai – Roncsolásmentes vizsgálatok (ma már érvénytelen, nem kötelező jellegű)
- MSZ EN 12504-2-2001 A beton vizsgálata szerkezetekben, 2. rész: Roncsolásmentes vizsgálat. A visszapattanási érték meghatározása
- ÚT 2-2.204:1999 Közúti betonburkolatok és műtárgyak roncsolásmentes vizsgálata Schmidt-kalapáccsal és ultrahanggal



1. ábra

A hazai küszöbgörbék összehasonlítása

Az egyszerűség kedvéért, kiemelve a magyar szabványban található táblázatos értékeket – a konfiden-
cia intervallumokkal – a 2. ábrán ismertetjük, mivel a vizsgálatok során is ezt az előírást vettük figyelembe.
(Megjegyzés: Az MSZ 4715-5 számú szabvány nem kötelezően érvényes!)



2. ábra

*A visszapattanási érték és a nyomószilárdság összefüggése
az MSZ 4715/5-1972 alapján*

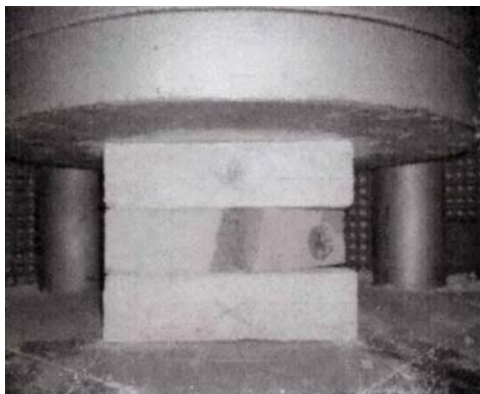
3. KÍSÉRLETI RÉSZ

3.1. Problémafelvetés

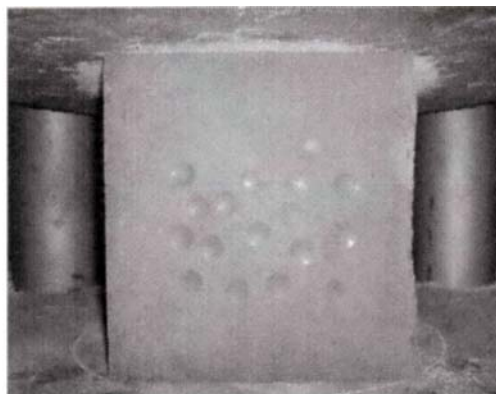
A „gipszbeton” panelelemek összvastagsága $50 \text{ mm} \pm 3 \text{ mm}$, ebből a homokbeton vastagsága cca. 25-30 mm. Ez a tény már önmagában is megnehezíti a roncsolásmentes vizsgálatok alkalmazhatóságát. Az ultrahangos vizsgálatnál elsősorban a dermesztés hatására kialakuló finomszemcsés felülettel vannak gondok, míg a Schmidt-kalapácsos vizsgálatnál az ütőerővel akadtak nehézségek.

A probléma az időfüggvényes vizsgálatoknál igazából a 2 és 7 napos vizsgálatoknál jelentkezett, mivel a Schmidt-kalapácsos szilárdságbecslő vizsgálat során a próbatest tönkrement (1., 2. fotó), azaz nem mérhető a kívánt paraméter. A már kész szerkezeteknél pedig a probléma a héjszerkezetből adódik, azaz a mérés során – bár károsodás nem mindig következik be, de kellő megtámasztás (merevség) hiányában – a mérési eredmény nem a valós visszapattanási – szilárdsági – értéket tükrözi.

A fenti nehézségek kiküszöbölése érdekében a társtudományokhoz fordultunk, és így akadtunk rá a geológusok által használt, és a visszapattanás, azaz a felületi keménység mérésére szolgáló eszközökre.



1. fotó
Hasábvizsgálat eredménye



2. fotó
Ütésnyomok a betonkockán

3.2. A vizsgálatok kiterjesztése

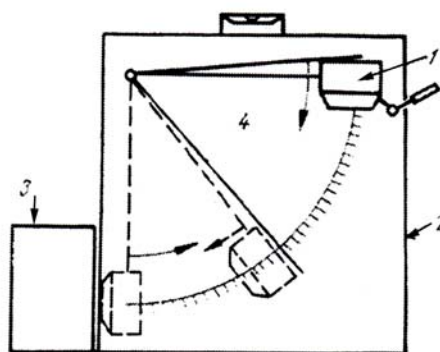
A dinamikus keménységmérési eljárások (a gyors, lökésszerű erőhatással végzett méréseket nevezzük dinamikus eljárásnak) egyik csoportja a rugalmas visszapattanás elvén alapul, ilyen mérőeszközök a szkleroszkóp, szklerográf, valamint a duroszkóp is.

Az egyik alkalmazott mérőeszköz a *szkleroszkóp*, amelynek alkalmazása során egy lekerekített gyémántcsúcsos, adott tömegű (2,5g; 20g) ejtőkalapácsot meghatározott h magasságból ($10'' = 256$ mm-ről; $4,5'' = 112$ mm-re) pontosan függőlegesen a mérendő tárgyra ejtenek egy függőleges csőben. A cső falán látható skálán mérhető, leolvasható a darabról visszapattant ejtőkalapács pozíciója.

Megjegyzés: A mérendő tárgy tömege jelentősen befolyásolja a mérési eredményt, minél kisebb a vizsgálandó darab tömege, annál nagyobb esély van arra, hogy a leeső szerszám rezgést keltsen a munkadarabban, csökkentve a visszapattanás energiáját. Ezért alapvetően nagytömegű tárgyak vizsgálatára alkalmazzák.

A *duroszkóp* (3. ábra) esetében a golyó alakú gyémántbetét egy ingakalapács fejére van erősítve.

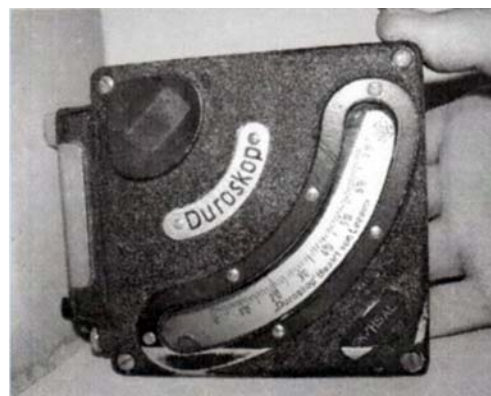
A vizsgálat kezdetén a felső pozícióban helyezkedik el a mérőkalapács, adott helyzeti energiával rendelkezve. Az ejtőkalapács meghatározott magasságból a mérendő darab felületére ejtve visszapattan. Az anyag keménységét a visszapattanás szöge, illetve mértéke jelzi. A pótdarab tömege és a vizsgált felület érdessége befolyásolja a mérési eredményt.



1. mérőkalapács, 2. doboz,
3 tárgy, 4. mutató

3. ábra

A duroszkóp felépítése



3. fotó
Mérés duroszkóppal

3.3 Vizsgálatok

Tekintettel arra, hogy a beton duroszkópos vizsgálatára (3. fotó) vonatkozóan nem találtunk szakirodalmi utalást – kőzetekre vonatkozóan nem találtunk szakirodalmi utalást –, lényegében a vizsgálati metodikát nekünk kellett összeállítani. Érdekességgént megemlítjük, hogy az irodalomkutatás során találtunk két német cikket, amelyekben a fémeket vizsgálták duroszkóppal [7, 8]. A bevezetőben már említettük, a vizsgálati tervben három lépcsőt jelöltünk ki.

Az első fázisban elvégzett vizsgálatoknál az elsődleges szempont, hogy van-e – és ha van, milyen – összefüggés a 150 mm élhosszúságú betonkockán a Schmidt-kalapáccsal, illetve a duroszkóppal mért visszapattanási értékek között.

A 150 mm élhosszúságú betonkockákat először duroszkópos vizsgálatnak vetettük alá, mivel az ütési energiája jóval kisebb, azaz a felületi keménység mérése során nem következik be felületi tömörödés, ezáltal a további felületi keménység vizsgálatot nem befolyásolja. Egy oldalon 15 mérési pontot vizsgáltunk.

Második lépésként az N típusú Schmidt-kalapácsos visszapattanási értékeket mértük 10 ponton, végül a vizsgált betonkockát roncsolásos vizsgálatnak vetettük alá, mintegy ellenőrizve a becsült értékek megfelelőségét, illetve a duroszkópos vizsgálatnál a tapasztalati görbe felállítására érdekében.

A több, mint 100 darab, 150 mm élhosszúságú betonkockákat három csoportba osztottuk. Az első csoportba az ismeretlen eredetű és korú, de rendelkezésre álló betonkockákat helyeztük, a második csoportba az egy éve készített betonkockák, míg a harmadik csoportba az ismert összetételű és korú (6 hónap) betonkockák kerültek. Ez utóbbinál a jellemzők:

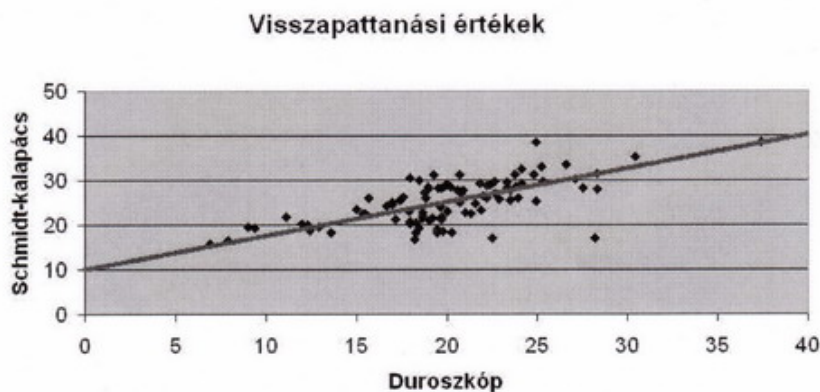
- adalékanyag, $d_{\max} = 24$ mm; $m = 6,25$
- felhasznált cement, CEM II/B-M(V-L) 32,5N
- v/c 0,58

Ez utóbbi receptúrát alkalmazva, és a kedvező összehasonlító vizsgálati eredmények alapján, duroszkóppal vizsgáltuk a fiatal beton visszapattanási értékeit, valamint a nyomószilárdságát az idő függvényében. A visszapattanási értékek mellett a frissbeton nyomószilárdságát roncsolásos vizsgálattal ellenőriztük.

4. EREDMÉNYEK

4.1. Visszapattanási értékek összevetése

Az azonos felületen a duroszkóppal, illetve a Schmidt-kalapáccsal mért visszapattanási értékeket összehasonlítottuk, és a mért értékek ábrázolása alapján egy közelítő egyenest húztunk, az általános tapasztalatok, gyakorlat szerint (4. ábra).



4. ábra

A mérési eredmények alapján készített közelítő egyenes

Az illesztett egyenes általános egyenlete:

$$y = ax + b$$

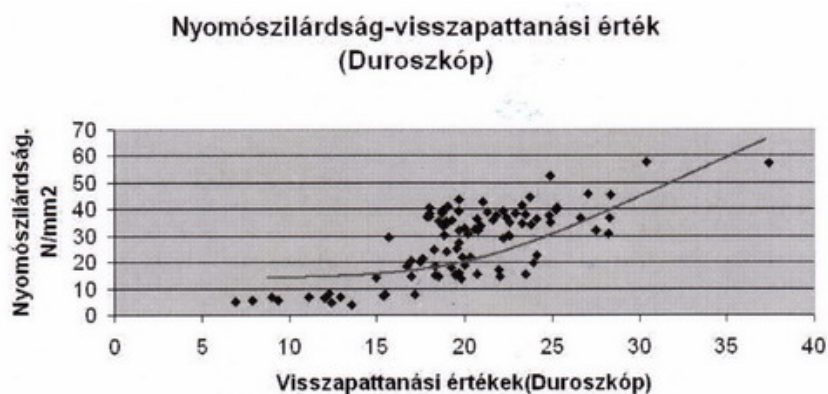
ahol x – a duroszkóppal mért visszapattanási érték,
 y – a Schmidt-kalapáccsal mért visszapattanási érték,
 a – az egyenest jellemző iránytangens értéke (jelen esetben 0,77).

Az összevetés alapján megállapítható, hogy lineáris összefüggés van a duroszkóp, illetve a Schmidt-kalapácsos visszapattanási értékek között. Egyben az is jól kivehető, hogy a visszapattanási értékre vonatkozó információ alacsonyabb nyomószilárdsági értékeknél lehet értékes ahol, a gyártói ajánlás szerint a Schmidt-

kalapács által mért értékek nem vehetők figyelembe, illetve a visszapattanás mértéke Schmidt-kalapáccsal nem mérhető – a duroszkóp visszapattanási értékekre vonatkozó információk működnek.

4.2. Duroszkóppal végzett vizsgálatok értékelése

A betonkockákon elvégzett elsődleges duroszkópos vizsgálat visszapattanási értékei, valamint a hozzá tartozó nyomószilárdsági értékek, és a mérési pontok alapján az 5. ábra szerinti közelítő görbét húztuk be. A vizsgálati értékekből jól látható, hogy a kis nyomószilárdsági értékek is jól mérhetők a duroszkóppal.



5. ábra

A mérési eredményeket értelmező görbe

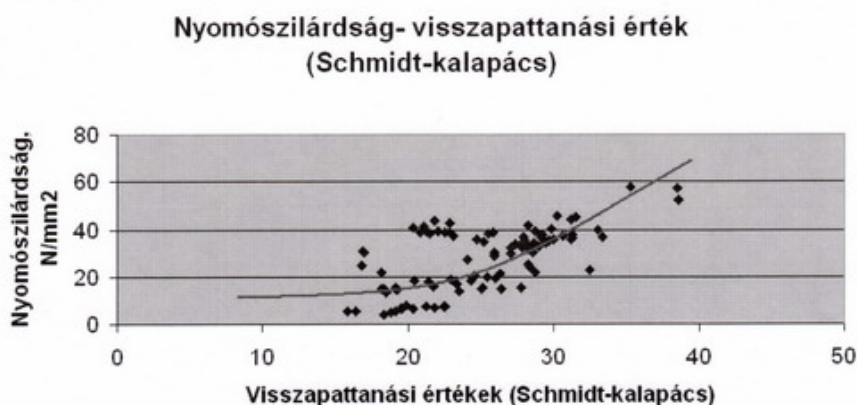
A mérési eredmények, a görbe kiértékelése, valamint a függvénykapcsolat meghatározása jelenleg is tart, de az eddigi eredmények alapján kijelenthető, hogy biztató eredményeket kaptunk a duroszkópos felületi keménység vizsgálat során. A görbe lefutása hasonló, mint a korábban ismertetett, ide vonatkozó Schmidt-kalapácsos diagramok (2. ábra).

A duroszkópos visszapattanási értékeknek elsősorban a beton nyomószilárdság alakulásának kezdeti időszakában (fiatal beton) van jelentősége a roncsolásmentes vizsgálatok vonatkozásában.

4.3. Schmidt-kalapáccsal végzett vizsgálatok értékelése

A Schmidt-kalapáccsal mért visszapattanási értékek és a roncsolásmentes vizsgálattal megállapított nyomószilárdsági értékek összefüggését is ábrázoltuk egy diagramban, és a mérési eredményekhez egy közelítő görbét illesztettünk, amelynek jellege hasonlít a már korábban említett – bár nem kötelezően érvényes – szabvány görbéjéhez (2. ábra), illetve a szilárdságbecslő függvények alapján szerkesztett görbék egy részéhez (Nehme, 2004.; Nehme 2, 2004.).

A mérési eredmények kiértékelése jelenleg is tart, a függvénykapcsolat megállapításához a matematikai statisztika értékelő módszereit vesszük figyelembe, illetve alkalmazzuk.

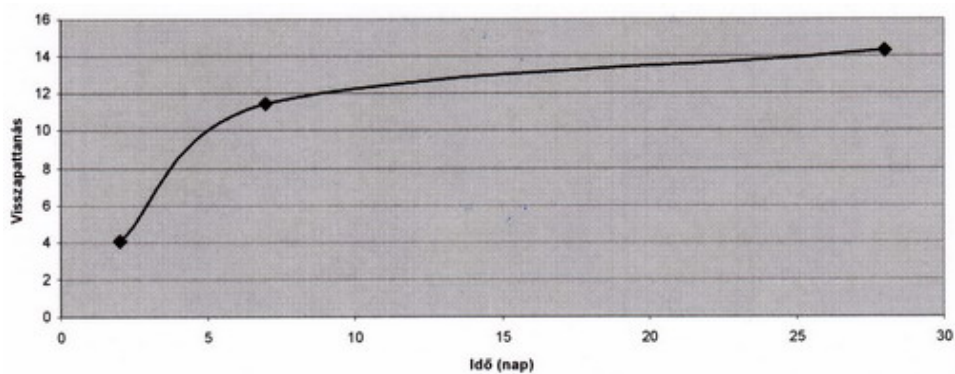


6. ábra

A mérési eredményeket értelmező görbe

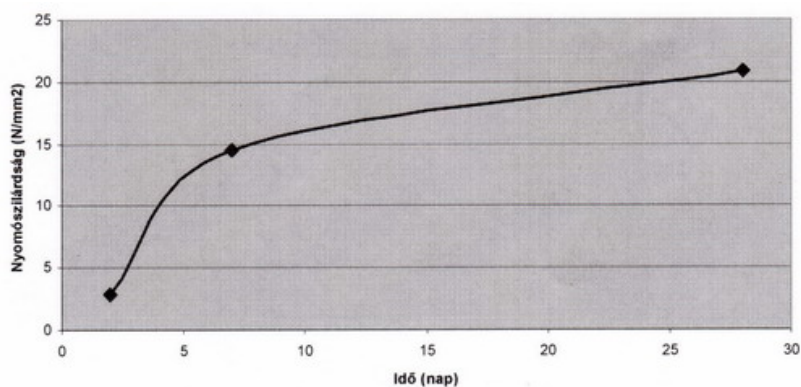
4.4. Fiatal beton vizsgálat duroszkóppal

Az előzőekben ismertetett receptúra alapján elkészített friss betonból 150 mm élhosszúságú betonkockákat (etalon) készítettünk, és vizsgáltuk a fiatal beton szilárdsági tulajdonságainak változását roncsolásmentes és roncsolásos vizsgálattal. A roncsolásmentes (duroszkópos), valamint a roncsolásos vizsgálatok eredményeit az idő függvényében a 7. és 8. ábra mutatja be. Ugyanakkor a vizsgálati eredményeket a már „szokásos” nyomószilárdság-visszapattanási érték összefüggésében is ábrázoltuk (9. ábra), majd visszatérve a korábbi vizsgálatok diagramjához – a korábbi eredményeket immár rendezett mintaként kezelve – beillesztetük a fiatal beton hasonló értékeit (10. ábra).



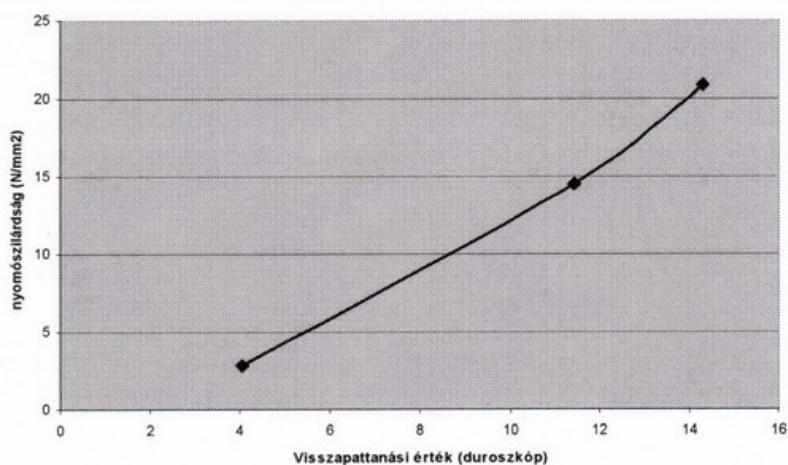
7. ábra

Visszapattanási értékek (duroszkóp) az idő függvényében



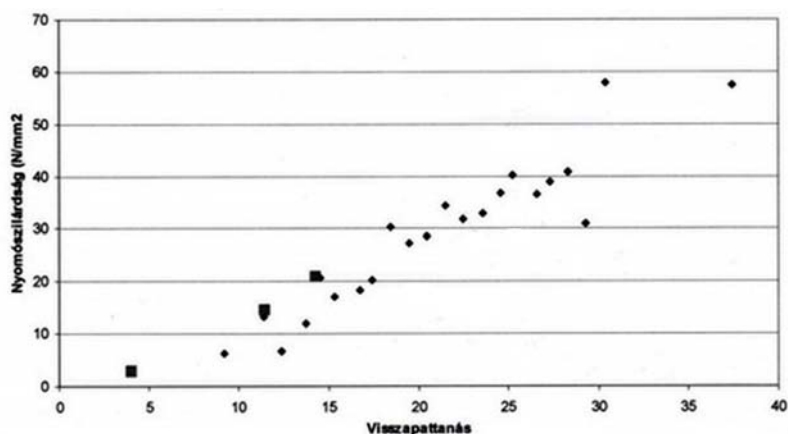
8. ábra

Nyomószilárdsági értékek az idő függvényében



9. ábra

A nyomószilárdság és visszapattanási érték összefüggése



10. ábra

Fiatal beton értékeinek [■] beillesztése a korábbi duroszkópos viesszapattanási (rendezett) értékekhez

Megállapítható, hogy

- a duroszkópos vizsgálati módszerrel jól követhető a fiatal beton szilárdulási folyamata,
- a fiatal beton viesszapattanási értékei mind nyomószilárdsági, mind pedig viesszapattanási értékek vonatkozásában jól illeszkednek a korábban vizsgált beton próbatestek megfelelő értékeihez.

ÖSSZEFOGLALÁS

A bevezetőben ismertetett nehézségek kiküszöbölése érdekében – a beton szilárdsági tulajdonságainak 2 és 7 napos korban történő, valamint vékony, héjszerkezetek roncsolásmentes vizsgálata – végzett irodalomkutatás eredményeképpen találtunk rá a duroszkópos vizsgálati eljárásra. A módszer elsősorban a közetek vizsgálatánál alkalmazott, szintén a felületi keménység mérésén – azaz a viesszapattanási érték megállapításán – alapul.

A többlépcsős kutatási feladat első fázisában több mint 100 darab, 150 mm-es élhosszúságú betonkocán elvégzett (Schmidt-kalapácsos vizsgálat esetében több, mint 1000, duroszkópos vizsgálat esetében több, mint 1500 mérési pontot jelent) vizsgálat alapján kijelenthető, hogy a két roncsolásmentes vizsgálati módszer értékei között lineáris összefüggés van.

Az eredmények alapján megkezdjük a fiatal beton roncsolásmentes vizsgálatát – duroszkóppal –, és a mért értékek alapján jól követhető a fiatal beton szilárdulási folyamata, valamint a duroszkópos – roncsolásmentes vizsgálat – kiterjeszthető nemcsak a fiatal beton szilárdulási folyamatának vizsgálatára, de a vékony, lényegében héjszerkezetek szilárdsági vizsgálatára.

Célunk egy olyan roncsolásmentes vizsgálati módszer kidolgozása, amely a gyakorlatban elterjedt Schmidt-kalapácsos vizsgálati eljárást kiegészíti, egyrészt vékony szerkezetek esetében, másrészt a fiatal beton szilárdsági vizsgálatánál megbízható eredményeket ad.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Leczovics Péter: A gipszbeton szilárdsági tulajdonságainak vizsgálata, Magyar Építőipar, 2010.5. p. 187-189
- [2] Polyák Ágnes: Dermesztett teherhordó homokbeton szerkezetek vizsgálata roncsolásos és roncsolásmentes eljárásokkal, OTDK, Miskolc, 2008. (Konz.: Dr. Kászonyi Gábor, Leczovics Péter)
- [3] Mucsi Zsuzsanna: A riolitufa anyagtani tulajdonságainak vizsgálata..., SZIE-YMÉK TDK 2009. (Konz.: Dr. Kászonyi Gábor, Leczovics Péter SZIE-YMÉK, Dr. Gálos Miklós BME)
- [4] Szilágyi Katalin – Borosnyói Adorján: A Schmidt-kalapács 50 éve: múlt, jelen, jövő, I. rész, Vasbetonépítés, 2008/1 p. 10-17
- [5] Borján József: Roncsolásmentes betonvizsgálatok, Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1981.
- [6] Pozsonyi Norbert: A beton Schmidt-kalapáccsal végzett szilárdságvizsgálatának megbízhatósága, XXIX. OTDK Konferencia, Miskolc, 2009.
- [7] Werkstoffprüfung im Betrieb „Duroskep“
- [8] „Stahl und Eisen“ 80 (1960.) Heft 19, Seite 1289/92 (Emil von Lassen)
- [9] Dr. Kászonyi Gábor: Dermesztett teherhordó homokbeton szerkezetek roncsolásmentes szilárdságbecslő vizsgálatai, Nemzetközi Építéstudományi Konferencia kiadványa, p. 219-224
- [10] Polyák Ágnes – Leczovics Péter: Gipszbeton szerkezetek szilárdságbecslő vizsgálatai, Technika, 2011.3. p. 20-21
- [11] Leczovics Péter: Betonok roncsolásmentes vizsgálata duroszkóppal, Magyar Építőipar, 2011.1. p. 22-26