



**Majorosné Lubláy Éva, Nemes Rita**

## **AZ ADALÉKANYAG VÍZFELVÉTELÉNEK HATÁSA HŐTERHELÉS UTÁN A MARADÓ NYOMÓSZILÁRDSÁGRA**

### **Absztrakt**

Hagyományos kvarckavics adalékanyagú betonok esetén a beton nedvességtartalma befolyásolja a beton szilárdságának alakulását, különösen alacsonyabb hőmérsékleti tartományokon, mintegy 300 °C-ig. A könnyű adalékanyagok ellentétben a hagyományos kvarckavics adalékanyagú betonokkal a keverés során nedvességet (vizet) vesznek fel. Könnyű betonok esetén lényeges kérdés, hogy különböző hőmérséklet tartományokban, hogyan változik a beton maradó nyomószilárdsága, és ezt milyen mértékben befolyásolja az adalékanyag vízfelvevő képessége. Kísérleteink során kvarckavics és két különböző vízfelvevő képességű duzzasztott agyagkavics adalékanyagból készült beton szilárdság-változását vizsgáltuk (16, 30 és 90 napos korban) hőterhelés (20 °C, 50 °C, 105 °C, 150 °C és 300 °C) hatására.

**Kulcsszavak:** vízfelvétel, adalékanyag, hőterhelés, beton kora

## **EFFECT OF WATER ABSORPTION ON THE COMPRESSION STRENGTH AFTER HEAT LOAD**

### **Abstract**

In case of concretes with conventional quartz gravel, the moisture content of the concrete influences the development of the strength of the concrete, especially in lower temperature ranges, up to about 300 ° C. Lightweight aggregate, in contrast to quartz gravel aggregate, absorb moisture (water) during mixing. In case of lightweight concretes, an important



question is how the residual compressive strength of the concrete changes in different temperature ranges and to what extent this is influenced by the water absorption capacity of the aggregate. In our experiments, we investigated the change in strength (at 16, 30 and 90 days of age) of concrete made of quartz gravel and two expanded clay aggregate with different water absorption capacities under thermal stress (20 ° C, 50 ° C, 105 ° C, 150 ° C and 300 ° C).

Keywords: water uptake, admixture, heat load, concrete age

## 1. BEVEZETÉS

A kvarckavics adalékanyagú beton nedvességtartalmának szerepe van a hőterhelés utáni nyomószilárdság alakulásában (Budelmann, 1987). A kvarckavics és duzzasztott agyagkavics adalékanyag porozitása és vízfelvétele lényegesen eltérő egymástól. Ez felveti azt a problémát, hogy a könnyűadalékanyagból készült betonok kvarckavics adalékanyagú betonoktól eltérően fognak viselkedni hőterhelés hatására, sőt még a különböző könnyű adalékanyagok között is eltérés várható.

A különböző adalékanyaggal készült beton nedvességtartalma más-más lehet, hiszen az adalékanyagok eltérő pórusstruktúrával rendelkeznek.

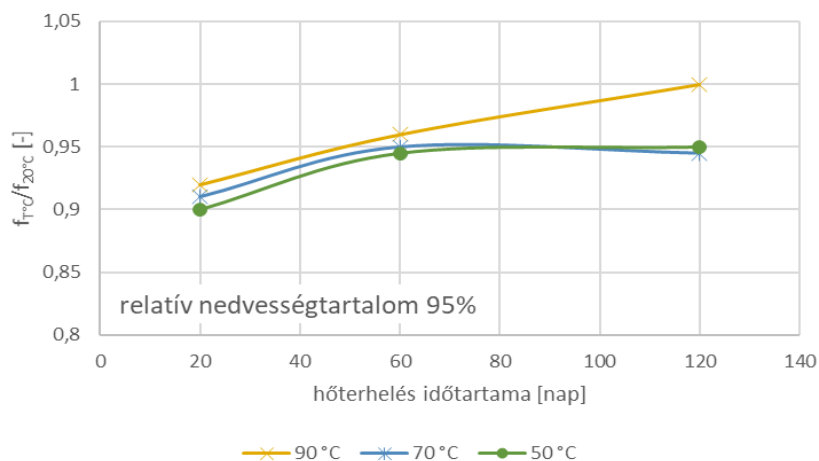
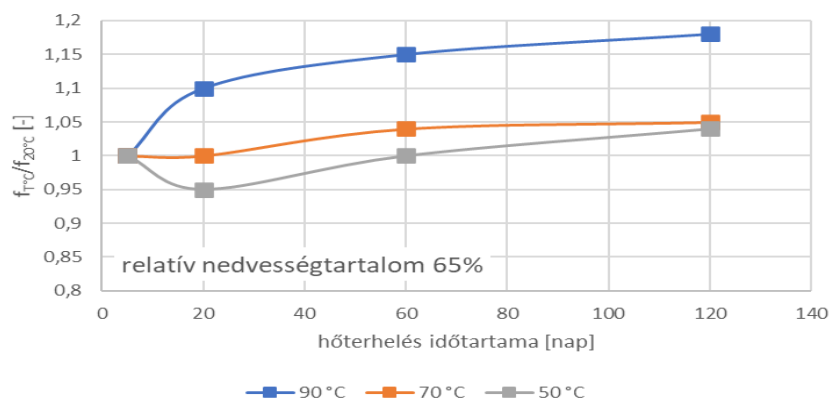
A könnyű betonok számos tulajdonságát befolyásolja az adalékanyag nedvességfelvevő-képessége, mint például a keverés alatti vízfelvevő képességet, az utószilárdulás mértékét és a fagyállóságot.

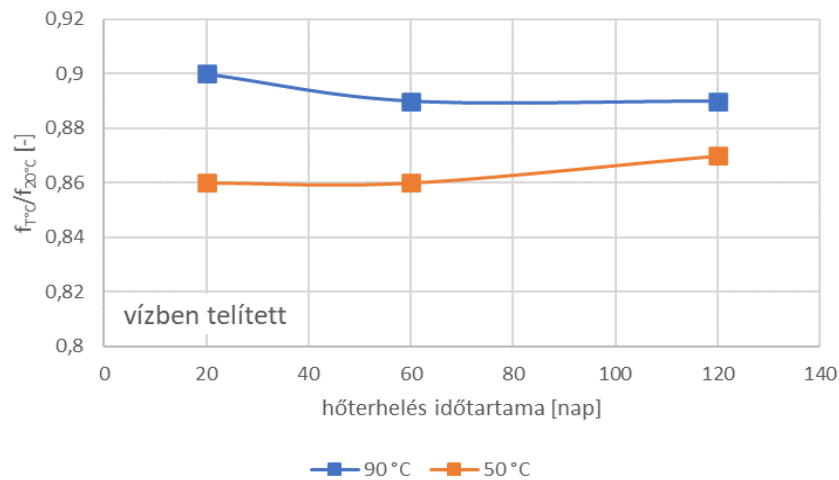
### 1.1 A beton nedvességtartalmának hatása a hőterhelés utáni maradó nyomószilárdságra

Budelmann (1987) hengerekkel végzett kísérlete igazolta, hogy a beton nedvességtartalmának, kiszáradásának időtartamának és hőmérsékletének döntő szerepe van a beton számos paraméterének alakulására, köztük a nyomószilárdságéra is. A kísérleteihez kvarckavics és mészkő adalékanyagú betont használt. A kísérlet során a próbatesteket a kizsaluzás után 150 napig tárolták 65, illetve 95% relatív nedvességtartalmon, különböző



hőmérsékleten (50, 70, illetve 90 °C). A próbatestek nyomószilárdsága 56 N/mm<sup>2</sup> volt 150 napos korban. Az 50, 70, illetve 90 °C inkább a hőérlelés tartománya jelenti, mint a magas hőmérsékletét, de 100 °C-nál magasabb hőmérsékleten a relatív páratartalom gyakorlatilag 0. Az 1. ábrán jól látható, hogy a beton mind 65, mint 95% relatív nedvességtartalom mellett 20 napos temperálás után 10%-os szilárdságsökkenést mutat. A temperálás időtartamának növekedésével a szilárdságsökkenés mértéke visszaesik. Az ábrán látható, hogy a vízzel telített próbatesteknél egyértelmű szilárdságsökkenést tapasztalhatunk, ami a hőterhelés hőmérsékletétől függ, de a hőterhelés időtartamától nem. A beton nyomószilárdságának alakulását, tehát a beton nedvességtartalma, a hőterhelés hőmérséklete és időtartama nagymértékben befolyásolja. A szilárdságnövekedés mértéke, annál nagyobb, minél magasabb a hőmérséklet és minél alacsonyabb a beton nedvességtartalma. A mészkő adalékanyaggal készült betonok viselkedése hasonló, de a kezdeti szilárdságsökkenés értéke, mintegy 10%-kal magasabb.





1. ábra: A betonszilárdság változása a hőterhelés időtartama, hőmérsékletét és a relatív nedvesség tartalom függvényében (Budelmann, 1987)

A próbatestek porozitásának alakulását higanyos poroziméterrel mérték és a különböző tárolási módok után megállapították, a 20 °C-on tárolt próbatestek esetén a 0,02-0,03  $\mu\text{m}$  méretű pórusok a leggyakoribbak, a 90 °C-os hőterhelés hatására pórusok mérete nő a 0,05-0,1  $\mu\text{m}$  méretű pórusok fordulnak elő a leggyakrabban. 65% nedveségtartalom melletti hőterhelés esetén a pórusok mérete nagyobb, mint a 95% nedveségtartalom melletti hőterhelteké.

## 1.2 A cementkő változása a hőmérséklet emelkedésének hatására

A beton nyomószilárdságát nagymértékben befolyásolja a cementkő felépítése, porozitása és víztartalma.

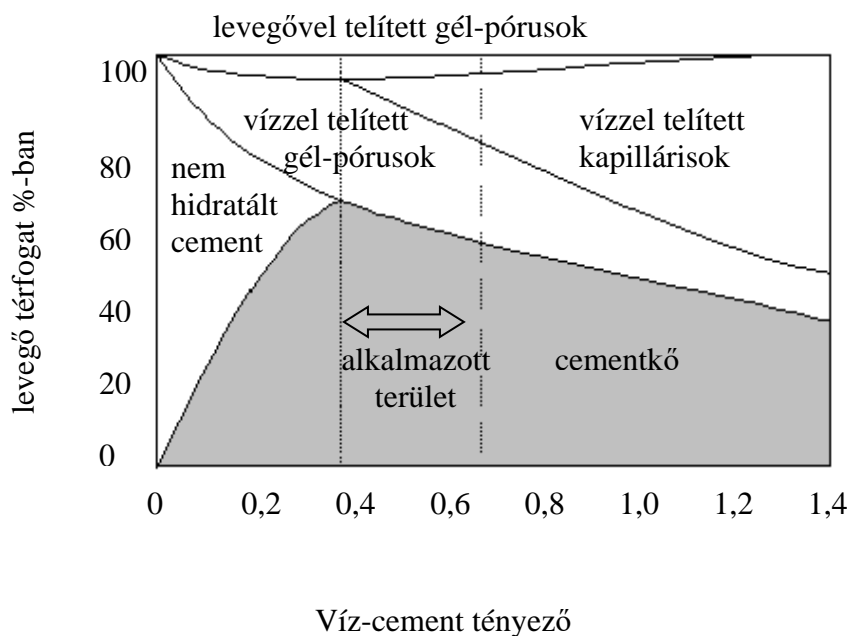
A cementkőben megkülönböztethetünk Powers szerint (1946):

- gél-pórusokat ( $10^{-9}$  mm)
- kapilláris pórusokat ( $10^{-8}$  mm- $10^{-7}$  mm)
- légpórusokat és a tömörítésből szárazó pórusokat (mm).

A pórusok térfogatszázalékos megoszlása nagymértékben függ a beton víz-cement tényezőjétől (2. ábra).



A hőmérséklet emelkedésével a cementkő és a beton pórusszerkezete megváltozik. Seeberger (1985) kísérleteivel igazolta, hogy 65 °C-os temperálás esetén a cementkő specifikus felülete nő, tehát a gél pórusok szerkezete megváltozik. 100 °C körül a tömegvesztés a makropórusokból távozó víz okozza. Az ettringit ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ) bomlása 50-110 °C között következik be (Khoury, Graiver, Sullivan, 1985). 200 °C körül további dehidratációs folyamatok zajlanak, ami a tömegvesztés újabb, kismértékű növekedéséhez vezet. A különböző kiinduló nedvességtartalmú próbatestek tömegvesztése eltérő lesz egészen addig, amíg a pórusvíz és a kémiai kötött víz eltávozik. A kiinduló nedvességtartalom függvényében a tömegvesztés eltérése különösen a könnyűbetonok esetén jelentős. A kiinduló nedvességtartalomtól függő további tömegvesztés 250-300 °C között már nem érzékelhető.



2. ábra: A tökéletesen hidratált cement térfogat százalékos megoszlása (Czernin, 1977)

A könnyűbetonok esetén azonban az adalékanyagban (3. ábra) is vannak pórusok, tehát a cementkő porozitása mellett az adalékanyag porozitásával is kell számolnunk.



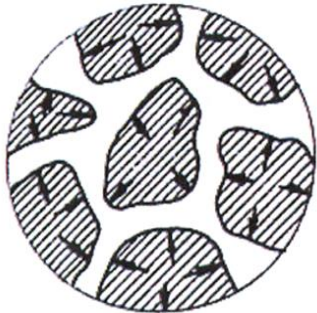
3. ábra: A duzzasztott agyagkavics adalékanyag (www.liabau.hu)

150 °C-os hőterhelés hatására a cementkő felülete az eredeti érték 70%-ra csökken. A kvarckavics adalékanyagú betonoknál a cementkő porozitása, valamint az adalékanyag és a cementkő közötti kontakt zóna porozitása nő. A kontakt zónában 150 °C felett repedések keletkezhetnek, amit az adalékanyag és a cementkő különböző hőtágulásával magyarázhatunk.

Teljesen más a helyzet, ha a hőterhelés hosszú ideig tart, mert akkor még további 50% csökkenéssel kell számolnunk. Seeberger (1985) megállapította, hagyományos kvarckavics adalékanyagú betonokra, hogy nincs jelentősége a próbatestek relatív nedvességtartalmának 180 °C-os hőterhelés felett. 180 °C felett a pórusok száma jelentősen lecsökken.

### **1.3 A cementkő szerepe a kvarckavics és a duzzasztott agyagkavics adalékanyagú beton esetén**

A könnyű és a normál beton viselkedése lényegesen eltér egymástól, mivel a teherátadási rendszerük más (4.a.,b. ábra). A cementkő-váz szerepe és viselkedésének jelentősége megmutatkozik a magas hőmérsékleten való viselkedésükben is. A teherátadási rendszer a beton egyes alkotóelemeinek az egymáshoz viszonyított szilárdsági és merevségi viszonyaitól függ.



4.a ábra: A belső teherátadás módja kvarckavics adalékanyag esetén [Romič, Lazič, 1985]  
[Romič, Lazič, 1985]

4.b ábra: A belső teherátadás könnyűbetonok esetén

A nyomásból származó igénybevételek a nagyobb merevségű összetevőn keresztül adódnak át. A teherátadás módja lényegesen különböző a kvarckavics adalékanyagos és a könnyű-adalékanyagos betonok esetén, hiszen általában a könnyű adalékanyagok jelentősen kisebb merevséggel rendelkeznek, mint a kvarckavics. A kvarckavics adalékanyagú betonnál: habarcs rétegnek kell közvetíteni az adalékanyag szemcsék között a terhelés nagy részét. A cementkő és a könnyű adalékanyagok rugalmassági modulusa jóval közelebb van egymáshoz, mint a kvarckavics és a cementkő rugalmassági modulusa, ezért a könnyűbetonban az adalékanyag könnyebben összenyomható a teherviselés a habarcsváz feladata. Az adalékanyag szemcsék csak kis mértékben vesznek részt a teherviselésben [Ujhelyi 1995, Faust 2000].

## 2. LABORATÓRIUMI KÍSÉRLETEK

Laboratóriumi kísérleteink során az adalékanyag vízfelvételeinek és a beton korának hatását vizsgáltuk a hőterhelés után.



## 2. 1. Alkalmazott anyagok

A kísérletekhez három adalékanyagot használtunk, melyeknek vízfelvétele különböző volt, amit az *1. táblázatban* foglaltunk össze. A cementtípus (CEM I 42,5 N) és a víz-cement tényező (0,43) minden esetben azonos volt. A könnyű betonokhoz az adalékanyag vízfelvételének megfelelő mennyiségű többlet vizet adtunk. Az alkalmazott betonösszetételeket a *2. táblázatban* adjuk meg.

1. táblázat: Az adalékanyagok vízfelvétele

vízfelvétel	1 napos	5 napos
kvarckavics (2392 kg/m <sup>3</sup> )	0,0 m%	0,0 m%
duzzasztott agyagkavics 1 (1780 kg/m <sup>3</sup> )	10,5 m%	16,5 m%
duzzasztott agyagkavics 2 (1873 kg/m <sup>3</sup> )	13,8 m%	18,9 m%





2. táblázat: Az alkalmazott betonösszetétel

Alkalmazott anyag	Anyag típusa	M1 (kvarckavics) kg/m <sup>3</sup>	M2 (duzz. agyagkavics 1) kg/m <sup>3</sup>	M3 (duzz. agyagkavics 2) kg/m <sup>3</sup>
cement	CEM I 42,5 N	350	386	386
víz		151	166	166
homok	0/4	912	1024	1015
kvarckavics	4/8	485	-	-
	8/16	544		
duzzasztott agyagkavics 1	4/16		302	
duzzasztott agyagkavics 2	4/16			390
adalékszer	folyósítószer	1,4	1,2	1,2

## 2.2. A kísérlet elvégzésének módja

A nyomószilárdság vizsgálatot szabványos 150 mm élhosszúságú kockákon végeztük el. A próbakockákat vegyes tárolással tároltuk (7 napos korig vízben majd laborlevegőn). A kísérlet változó paramétere a próbakockák kora (16, 30, 90 napos) és a hőterhelés hőmérséklete (20 °C, 50 °C, 105 °C, 150 °C és 300 °C) volt. A próbatesteinket kétórás hőterhelés után szobahőmérsékletre visszahűtött állapotban törtük. A betonkockákat az erővezérelten működő ALPHA 3-3000 S típusú törőgépen, 11,25 kN/s-os terhelési sebességgel törtük.



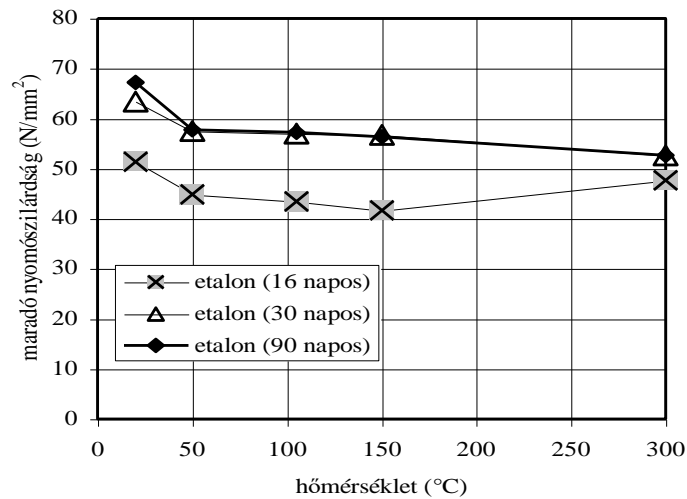
### 3. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEINK ÉS ÉRTÉKELÉS

A vizsgálataink során különböző korú és különböző összetételű próbatestek hőterhelését végeztük el 300 °C-ig. A kísérletek során hagyományos betonok és könnyű adalékanyagú betonok hőterhelését végeztük el 16, 30 és 90 napos korban. A hagyományos betonok esetén a beton kora nem befolyásolta jelentősen a szilárdság alakulását (5. ábra). A kvarckavics adalékanyagú betonnál szilárdság csökkenést figyelhetünk meg, ugyanebben a hőmérsékleti tartományban.

A könnyű adalékanyagú betonok esetén (5. ábra) azonban az adalékanyag vízfelvételenek nagy jelentősége van 150 °C-ig, ennél magasabb hőmérsékletek felett az adalékanyag víztartalmának a nyomószilárdságra való hatása csökken. 50 és 150 °C között a könnyűbetonoknál 16 és 28 napos korban szilárdságnövekedést figyelhetünk meg, ami az adalékanyag nedvességtartalmával magyarázható meg. A 28 és 90 napos korban mért szilárdság növekedést nem befolyásolta az adalékanyag vízfelvétele.

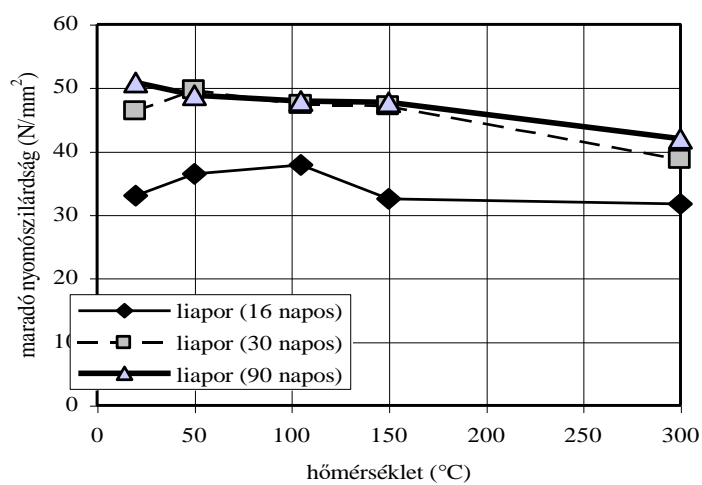
A kvarckavics adalékanyagú betonok esetén tehető megállapítások (4. ábra):

- A 30 napos és a 90 napos korban mért betonszilárdság értékei csak szobahőmérsékleten tértek el egymástól mintegy 4%-kal.
- 20 °C és 150 °C között a görbék párhuzamosnak tekinthetők.
- 300 °C-os hőterhelésnek kitett beton szilárdság értékei, kevésbé függenek a beton korától.



5. ábra: A kvarckavics adalékanyagú beton szilárdságának alakulása a beton korától és hőterhelés hőmérsékletétől függően (3 próbatest átlaga)

A duzzasztott agyagkavics 1 (1 napos vízfelvétel 13,8%) adalékanyagú betonok esetén tehető megállapítások (6. ábra):



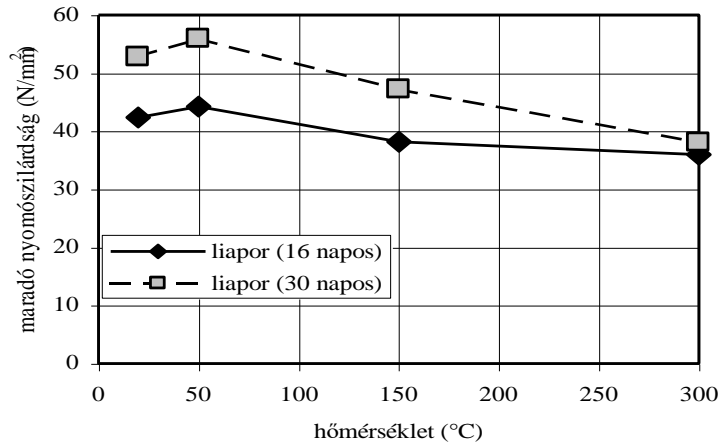
6. ábra: A duzzasztott agyagkavics (1) adalékanyagú beton szilárdságának alakulása a beton korától és hőterhelés hőmérsékletétől függően (3 próbatest átlaga)



- Jelentősebb szilárdságnövekedés volt megfigyelhető 16 és 30 napos kor között, mint a kvarckavics adalékanyagú beton esetén (mintegy 50% az agyagkavicsnál és 20% a kvarckavics esetén).
- A 30 napos és a 90 napos korban mért betonszilárdság értékei csak szobahőmérsékleten tértek el egymástól mintegy 4%-kal.
- A jelleggörbe megváltozott 50 és 150 °C között a görbe ellaposodott, ami az adalékanyag és a beton kezdeti víztartalmának távozásával magyarázható.
- A 16 és 30 napos korban 50 °C és 150 °C mért szilárdsági érték magasabbak lettek, mint a laborhőmérsékleten mért értékek, ennek magyarázata lehet az adalékanyag többlet víztartalmának távozása.
- 300 °C-os hőterhelésnek kietet beton szilárdság értékei, egy jobban függenek a betonkorától, mint a kvarckavicsos betonnál.

*A duzzasztott agyagkavics 2 (1 napos vízfelvétel 10,5%) adalékanyagú betonok esetén tehető megállapítások (7. ábra):*

- Jelentősebb szilárdságnövekedés volt megfigyelhető 16 és 30 napos kor között, mint a kvarckavics adalékanyagú beton esetén (mintegy 22% az agyagkavicsnál és 20% a kvarckavics esetén), de kisebb mértékű, mint az agyagkavics 1-nél (50%).
- A 16 és 30 napos korban 50 °C-os hőterhelés után mért szilárdsági értékek magasabbak lettek, mint a laborhőmérsékleten mért értékek. Ennél az adalékanyag típusnál 150 °C-os hőterhelés után azonban nem volt szilárdságnövekedés megfigyelhető. 50 °C és 150 °C közötti tartományban tehát jelentős szerepe van az adalékanyag vízfelvevő képességének.
- 300 °C-os hőterhelésnek kitett beton szilárdság értékei, kevésbé függenek a beton korától (a szilárdsági eltérés csupán 4%), mint a duzzasztott agyagkavics 1-nél, Vagyis az adalékanyag vízfelvételeének csökkenésével a 300 °C-os hőterhelés után csökken a beton korának hatása.



6. ábra A duzzasztott agyagkavics (2) adalékanyagú beton szilárdságának alakulása a beton korától és hőterhelés hőmérsékletétől függően (3 próbatest átlaga)

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Kísérleteink során az adalékanyag vízfelvételek hatását vizsgáltuk a maradó nyomószilárdságra 300 °C-os hőterhelésig. Nem szabad megfeledkeznünk a felületek réteges leválásának az esélyéről sem, ami a könnyűbetonoknál megnő, és itt is jelentős szerepet játszhat az adalékanyag vízfelvétele.

A kísérleteink alapján levonható következtetések:

- Az adalékanyag vízfelvételevel együtt nő a 16 napos és a 28 napos korban mért szilárdság különbsége, ezért a könnyűbetonok előzetes, nem 28 napos korban történő, szilárdság becslésénél óvatosan kell eljárunk.
- A 28 és 90 napos korban mért szilárdság növekedést nem befolyásolta az adalékanyag vízfelvétele.
- Az adalékanyag vízfelvételek nagy jelentősége van 150 °C-ig, ennél magasabb hőmérséklet felett az adalékanyag víztartalmának a nyomószilárdságra való hatása csökken.



- 50 és 150 °C között a könnyűbetonoknál 16 és 28 napos korban szilárdságnövekedést figyelhetünk meg, ami az adalékanyag nedvességtartalmával magyarázható meg. A kvarckavics adalékanyagú betonnál szilárdság csökkenést figyelhetünk meg, ugyanebben a hőmérsékleti tartományban. A 90 napos korban egyik adalékanyag fajtánál sem volt szilárdságnövekedés megfigyelhető.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Az ebben a cikkben közölt kutatást az Emberi Erőforrások Minisztériumának Felsőoktatási Kiválósági Programja támogatta a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Vízstudományok és katasztrófa megelőzés kutatási területe (BME TKP2020-VÍZ) keretében.

A szerzők köszönetet mondanak a GINOP-2.1.2-8-1-4-16 kutatási alap támogatásáért.

## HIVATKOZÁSOK

Budelmann, H., (1987), „Zum Einfluss erhöhter Temperatur auf Festigkeit und Verformung von Beton mit unterschiedlichen Feuchtegehalten”, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz der Technischen Universität Braunschweig, Heft 76 ISBN.:389288-016-6

Czernin, W., (1977), „Zementchemie für Bauingenieure” Bauverlag, 3.Auflage

Faust, T. (2000) „Herstellung, Tragverhalten und Bemessung von konstruktivem Leichtbeton – Dissertation“, Universität Leipzig 2000

Khoury, G. A., Grainger, B. N, Sullivan P. J. E (1985): Transient thermal strain of concrete: literature review, conditions within specimen and behaviour of individual constituents, Magazine of Concrete Research, Vol 37, No. 132

Powers, T.C., Brownard, T. L., (1946), „Studies of the physical properties of hardened Portland Cement paste” Part 3: Theoretical interpretation of adsorption data ACI Journal, Nr, 18-4, pp.:469-504



Romić, S – Lazić M. (1985) „Armirani lakoagregatni beton“, IRO Gradevinskanjiga, Beograd

Ujhelyi J. (1960) „A könnyűadalékos beton fajtái összetételének tervezése és a beton készítése”, (Mérnöki Továbbképző Intézet 3797), Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Budapest, 1960

## **Dr. Lublós Éva PhD**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Budapest University of Technology and Economics, Department of Construction Materials  
and Technologies, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp 3.

[lubloy.eva@emk.bme.hu](mailto:lubloy.eva@emk.bme.hu)

ORCID: 0000-0001-9628-1318

## **Dr. Nemes Rita PhD**

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Budapest University of Technology and Economics, Department of Construction Materials  
and Technologies, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp 3.

[nemes.rita@emk.bme.hu](mailto:nemes.rita@emk.bme.hu)

ORCID: [0000-0001-5587-3835](https://orcid.org/0000-0001-5587-3835)