

# A prágai Károly-híd homokköveinek laboratóriumi vizsgálata: vízfelvételi tulajdonságok és a hőtágulás változásának elemzése

Turi Norbert

BME Építőmérnöki Kar, [anglnor@gmail.com](mailto:anglnor@gmail.com)

Török Ákos

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, [torokakos@mail.bme.hu](mailto:torokakos@mail.bme.hu)

Nemes Rita

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék [nemes.rita@gmail.com](mailto:nemes.rita@gmail.com)

**ÖSSZEFOGLALÁS:** A prágai Károly-híd kréta korú homokkő anyagának hő hatására bekövetkező változásait elemzi a cikk. Három kőfejtőből származó négyféle kvarc homokkő longitudinális ultrahang terjedési sebességét, testsűrűségét és vízfelvételi jellemzőit határoztuk meg laboratóriumi körülmények között. Ezen felül légszáraz és vízzel telített állapotban meghatároztuk a homokkövek lineáris hőtágulási együtthatóit. A hőtágulási együttható változását érzékelendő a hasáb alakú próbatesteket éves, nyári és téli hőciklusoknak kitéve újbóli mérések készültek. A homokkövek lineáris hőtágulási együtthatója ( $\alpha$ ) 11,9-16,9 [ $1/^\circ\text{C}$ ]  $\cdot 10^{-6}$  érték között változott a homokkő típusától és az alkalmazott hőterheléstől függően. A hőingadozásokra legérzékenyebbek az agyagos kötőanyagú, Podhorni Ujezd térségéből származó, finomszemű homokkövek bizonyultak. Ezeken a hőingadozás és a víztelítés hatására repedések jelentkeztek és ultrahang terjedési sebességük is jelentősebben csökkent.

*Kulcsszavak:* homokkő, Károly-híd, hőtágulási együttható, ultrahang terjedési sebesség

## 1 BEVEZETÉS

A homokkövek törmelékes üledékes kőzetek, melyeket 2 mm-nél kisebb átmérőjű szemcsék alkotnak. A szemcseméret, az osztályozódás, a szemcsék alakja, az ásványok, a cementálódás típusa és mértéke, és a közetszövet a legfontosabb jellemzők melyek befolyásolják a homokkövek tulajdonságait és időállóságukat. Aránylag gyorsan aprózódnak, ellenben az alkotó szemcséik, ha kvarc-dúsak, akkor alig mállanak. Sajátos szerkezetük miatt igen rosszul tűrik a hőmérséklet változásaival járó megpróbáltatásokat.

Aprózódásukat, mállásukat nagyrészt az okozza, hogy a szomszédos kőzetalkotó szemcsék és a köztük található cement eltérő hőtágulási együtthatókkal rendelkezhetnek, melyek a kötésekre váltakozó értelmű igénybevételekként jelentkeznek. Ha a hőtágulás miatt felszabadult energia eléri a kötés energiájának értékét, hajszálrepedések, réspórusok alakulnak ki. A kőzetbe jutó víz tovább gyorsítja ezt a folyamatot, mivel a homokköveket alkotó ásványokat összekapcsoló kötések általában alacsonyabb rendűek és a kötési felületek hidratációjával gyengülnek vagy akár fel is bomlanak (Egerer és Kertész 1993).

A homokkövek mind a mai napig kedvelt építő- és főként díszítőkövek, melyet könnyű megmunkálhatóságuk, fejthetőségük, kielégítő szilárdságuk és esztétikus megjelenésük magyaráz. Tartószerkezeti elemként történő felhasználásuk mára már háttérbe szorult, de a 19. század végén és 20. század elején még számos helyen beépítésre kerültek. Ezek a több évtizede vagy évszázada, beépített anyagok nemcsak koruknál fogva, hanem a napjainkat jellemző megváltozott időjárási viszonyok és az épületek, műtárgyak felé támasztott újabb elvárások miatt is különösen veszélyeztetettek. Ezért a beépítést megelőzően a legtöbb esetben szükséges a felhasználni kívánt anyagok pontos ismerete. Különösen fontos ez, nagy volumenű beruházások esetében, műemlékek rekonstrukciós munkálatainál.

Annak ellenére, hogy csekély az ismeretanyag a homokkövek hőtágulási együtthatóinak kapcsán, a hőterheléses vizsgálatuk nem előzmény nélküli és napjainkban egyre nagyobb gyakorlati jelentőségűnek tekinthető. A korábbi tanulmányok legtöbbjének létrejöttét műemlék felújítások,

váratlan kárestek ösztönözték (Hajpál és Török 2004, Török és Hajpál 2005), de az utóbbi években a homokkőbe vajt alagutak tűzvédelme is jelentős szerepet kapott elemzésükben.

A cikk a Károly-híd rekonstrukciós munkálatait megelőző laboratóriumi vizsgálatok eredményeit közli, elsősorban a homokkő próbatetek hőtágulási együtthatóinak megváltozására koncentrálva. Ezen felül részletesen bemutatja a hőterhelések (téli-, nyári- és éves hőingadozások) hatásra bekövetkező testsűrűség, ultrahang terjedési sebesség változásokat is.

## 2 MÓDSZERTAN

A kísérletek megkezdése előtt meghatároztuk a homokkövek kezdeti hőtágulási együtthatóját. Ezt követően a rendelkezésre álló 21 hasáb közül 8 hasábot normál légköri nyomáson víztelítettünk (Turi 2007). A légszárak és a víztelített minták közül három-három darab nem esett át a terhelési kísérleteken, így ezen minták szolgáltak referenciaként alapállapotú mintákként.

A hőterhelésekkel az évszakos hőingások okozta változásokat kívántuk modellezni, három hőmérsékleti tartományban:

- éves ciklus:	-15 → +40 °C
- téli ciklus:	-15 → +5 °C
- nyári ciklus:	+5 → +50 °C

A ciklusok 8 órás időtartamúak voltak és egyenként két-két 4 órás szakaszból álltak, az első 4 órás szakasz a felfűtési a második a hűtési szakaszt foglalta magába. A megváltozott hőtágulási együtthatók meghatározására csak minden 10 ciklus lefutását követően került sor (Turi 2007). A ciklusok által megkívánt körülményeket programozható klímasekrény segítségével lehetett megteremteni.

A kezdeti ciklusoknál a klímasekrény a 4 órás szakaszok kezdetén a lehető leggyorsabban átállt a megkívánt hőmérsékletre, majd a fennmaradó időben tartotta azt. A nyári ciklus esetében 80, a téli ciklusnál 60, míg az éves ciklusnál 40 lefutott ciklust követően módosított ciklusokkal folytak a mérések. A 4 órás időtartam alatt egy előre meghatározott értékkel minden percben, folyamatosan változott a hőmérséklet a kívánt értékre. Az új hőmérsékleti modell alkalmazása miatt a 80 órás ciklus időtartamok is változtak (1. táblázat).

Ciklus	$\Delta T$ [°C]	$\Delta t$ [min]	$\Delta T$ (°C) / $\Delta t$ (min)	teljes ciklus lefutásához szükséges idő [h: min]
nyári 5-50°C	45	240		80: 00
téli -15-5°C	20	240		80: 00
éves -15-40°C	55	240		80: 00
módosított nyári 5-50°C	45	240	0, 19	78: 57
módosított téli -15-5°C	20	240	0, 08	83: 20
módosított éves -15-40°C	55	240	0, 23	79: 43

1. táblázat. Az eredeti és módosított ciklusok időtartama

A száraz próbatetek esetében hat (-30, +21, +35, +50, +65, +80°C), a telítettek esetében öt (+21, +35, +50, +65, +80°C) különböző hőmérsékletre tartozó relatív hosszváltozási érték került rögzítésre Huggenberger-elven működő Demec-típusú deforméterrel (200mm-es módosított alaphosszon) (1. ábra).

Az így kapott értékek alapján a lineáris hőtágulási együtthatókat, a következő képletbe való helyettesítéssel lehetett meghatározni (1):

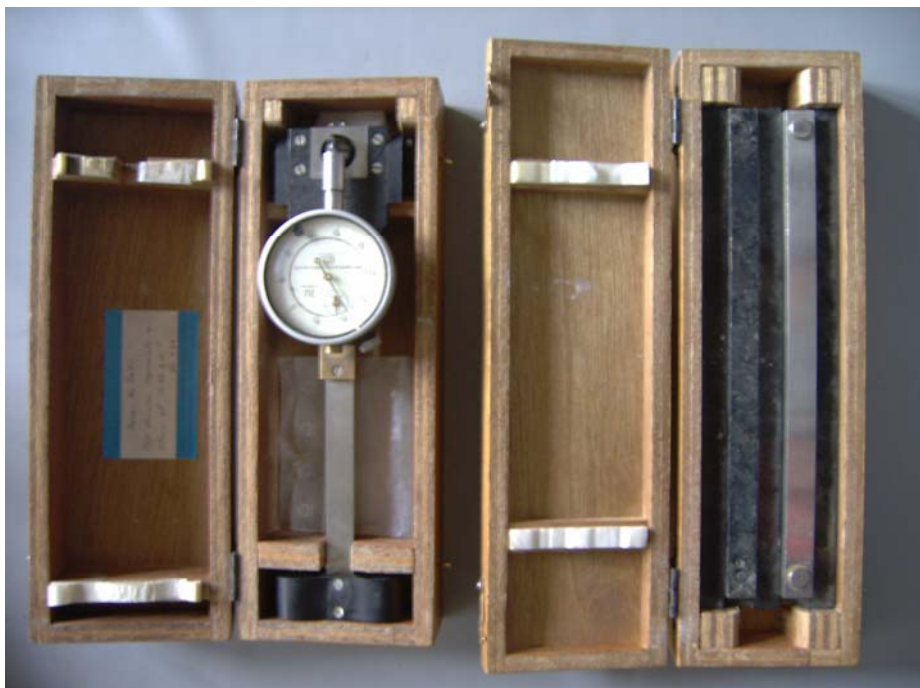
$$\alpha = \Delta L / \Delta T \quad (1)$$

$\alpha$  – lineáris-hőtágulási együttható [ $10^{-6} \cdot 1/^\circ\text{C}$ ]

$\Delta L$  – deforméteren leolvasott alakváltozások különbsége [0,1%]

$\Delta T$  – az alakváltozás-különbségekhez tartozó hőmérsékletkülönbségek [ $^\circ\text{C}$ ]

A méréssorozat végén a próbatetek tömegét újból rögzítettük, ezen kívül a mintákat jellemző longitudinális ultrahang terjedési sebességeket és a sűrűségi értékeket is megmértük. A mérés pontosságának növelése érdekében hasábonként 3 metszetben detektáltuk az ultrahang átjutásához szükséges időt / $\mu$ s/.



**1. ábra.** Huggenberger deforméter és az alaphosszt biztosító etalonok fényképe

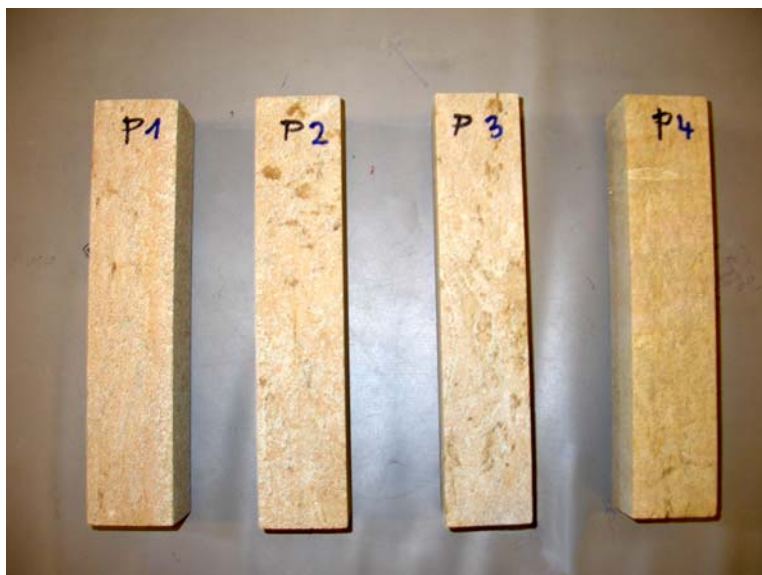
### 3 A VIZSGÁLT KÖZETEK JELLEMZÉSE

A *P* és *PU* homokkövek úgynevezett Hořice típusúak, a Prágától 100 km-re keletre fekvő Hořice városa mellett bányásszák őket (2. ábra). A *P* típusú homokkövek kissé limonitosak halvány sárgák. A kréta korban keletkeztek és a jelenleg fő előfordulásuk a Bohémiai-medencében található (Pavlik et al 2008). A Bohémiai masszívum területén a felső-kréta korban egy nagyméretű üledékgyűjtő alakult ki, amely törmelékes üledékképződéssel volt jellemezhető. A terület számos litológiai és rétegtani szempontból különböző kőzetet foglal magába, de az üledékeken belül a kvarchomokkövek dominálnak (Chlupác et al. 2002).

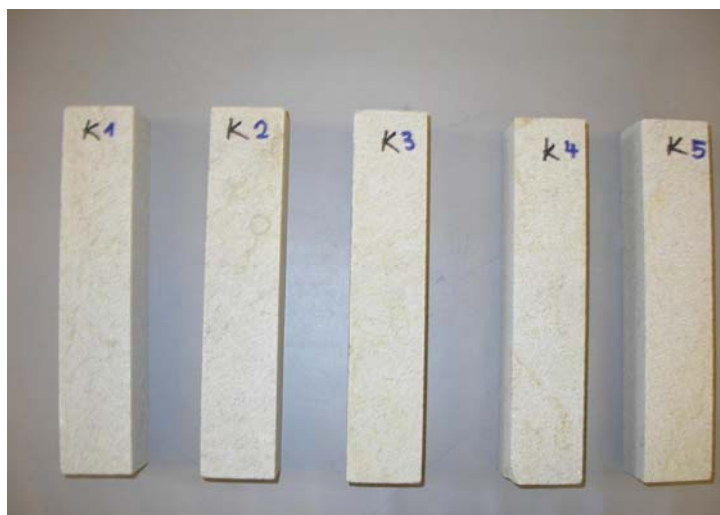
A *K* és *Z*-jelű homokkövek szintén a Bohémiai masszívum területéről valók a kocberei bányából származnak. A *K*-jelű változat uralkodóan szürke színű karbonátos kötőanyagú (3. ábra), míg a *Z*-jelű változat agyagos kötőanyagával és limonitnak köszönhető barnás-sárga színével tűnik ki (4. ábra). A fő kőzetalkotó ásvány mindhárom homokkő esetében a kvarc. A Podhorni Ujezd mellett fejtett kőzet finomszemű homokkő, további eltérés a cementáló anyag típusában mutatkozik. Az alábbi táblázat összefoglalóan közli a vizsgált homokkövek jellemző tulajdonságait (2. táblázat).

próbatetest jele	származási hely	fő kőzetalkotó, kőzetszövet típusa	kötőanyag típusa
<b>P, PU</b>	Podhorni Ujezd (Hořice)	Kvarc (finom szemcsés)	agyagos
<b>K</b>	Kocbere (szürke változat)	Kvarc	részben karbonátos
<b>Z</b>	Kocbere (sárgás változat)	Kvarc	nagyobb hányadban agyagos

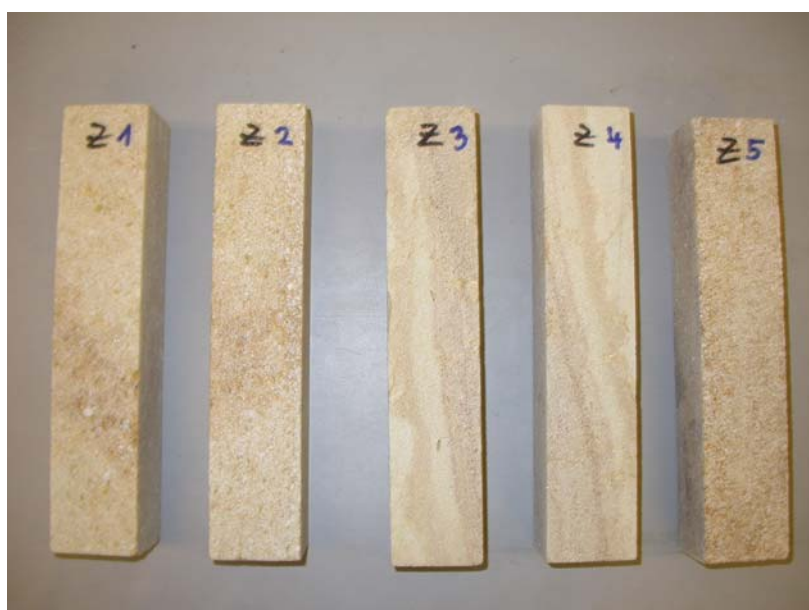
**2. táblázat.** A próbatetek osztályozása, a származási hely-, kőzetalkotók- és kötőanyag típusa szerint



2. ábra. A P-jelű próbatetek a méréssorozat kezdetén



3. ábra. A K-jelű próbatetek a méréssorozat kezdetén



4. ábra. A Z-jelű próbatetek a méréssorozat kezdetén

## 4 EREDMÉNYEK

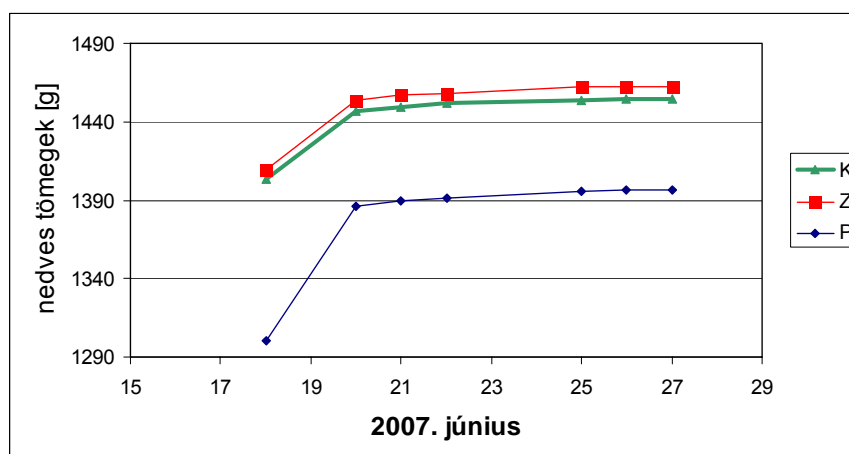
## 4.1 Tömegváltozás

Az utólagos vízfelvételi értékeket is figyelembe véve a tömegváltozás azon hányada melyért a próbatestek tönkremenetele felelős, 0,6% és 2,3% közé tehető. Mindkét szélsőérték, a P jelű köveken mérhető. A 0,6%-os változás az évszakos ciklusnál, míg a 2,3%-os változás a téli ciklusnál jelentkezett (ld. részletesebben Turi 2007).

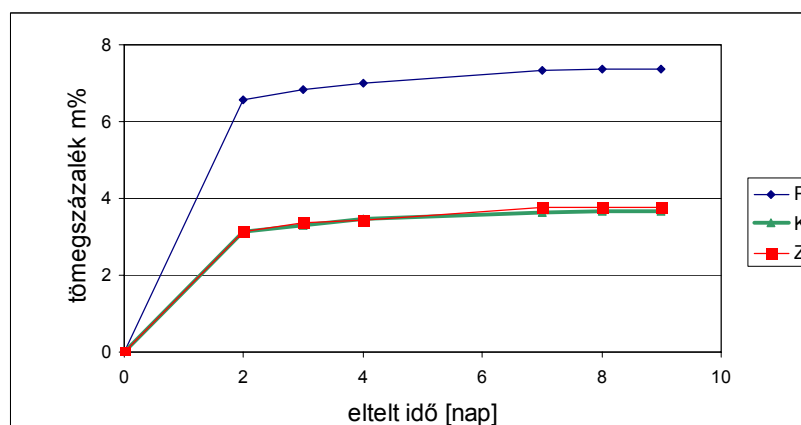
## 4.2 Vízfelvétel és a próbatestek sűrűségi értékei

Az eredményeket tekintve a K-, és Z-jelű hasábok által felvett vízmennyiségi értékek minden esetben azonosan változtak. A vízfelvétel lejátszódásának jellegét tekintve a Podhorni-típusú homokkövek is hasonló viselkedéssel jellemezhetők. A legnagyobb eltérés a kísérlet kezdetén felvett víz mennyiségében tapasztalható, az első két nap során (5. ábra). Az azt követő vízfelvétel közel azonos sebességgel játszódik le, és mennyiségileg sem tapasztalható lényeges különbség. A kocsbéri homokkövek (K, Z) által az első két napban felvett vízmennyiségek tömegszázalékos értékei közül a legmagasabb érték az 3,265 m%, míg a podhorni ujezdi homokkövek (P, PU) ennek közel a duplája mennyiségű vizet vettek fel, 6,851 m% (6. és 7. ábra).

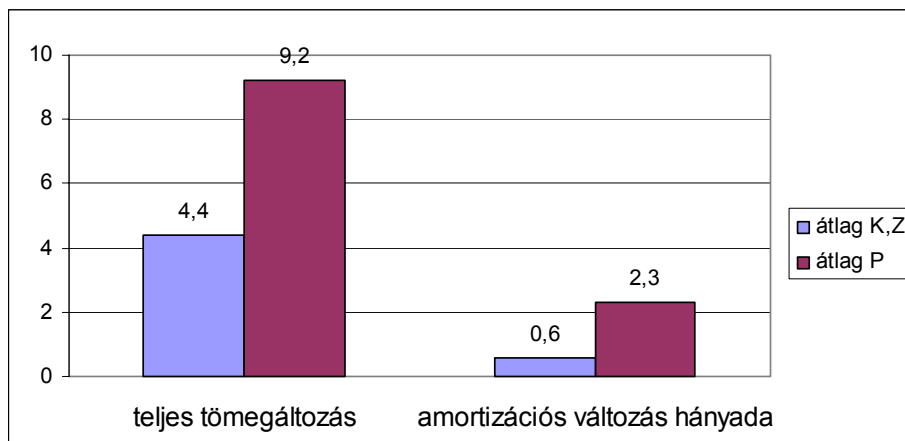
A K-jelű homokkövek átlagos sűrűsége  $2,206 \text{ g/cm}^3$ , a P-jelűeké  $2,015 \text{ g/cm}^3$ , míg a Z-jelűeké  $2,213 \text{ g/cm}^3$ -nek adódott (Turi 2007).



5. ábra. Próbatestek nedves tömegeinek időbeni változása a víztelítés során



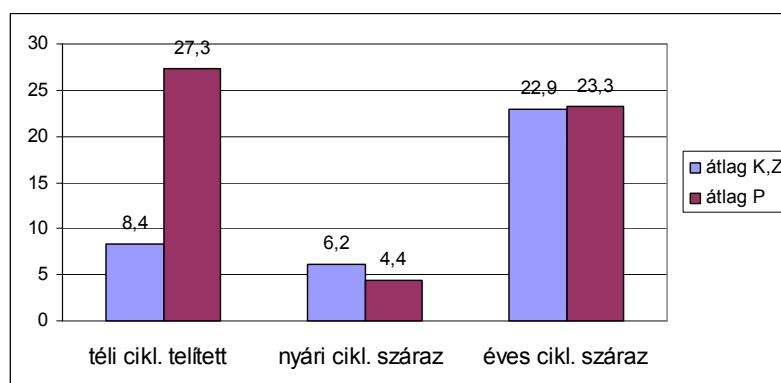
6. ábra. Próbatestek nedves tömegeinek változása a víztelítés során tömegszázalékban kifejezve



7. ábra. Tömegek változása [%]

#### 4.3 A longitudinális ultrahang terjedési sebességek változása

A legnagyobb változás a telített minták értékein tapasztalható: a téli cikluson vizsgált P-jelű homokkövek esetében az etalonokon mérhető értékektől való eltérés átlagosan 27,3%. A K- és Z-jelű hasábok már csak 7,8% és 8,9%-os eltéréseket mutattak. A P-jelű próbatetek légszáraz állapotban történő vizsgálatok során már nem mutattak ilyen rossz tulajdonságokat; kivéve az évszakos ciklushoz tartozók, melyekben átlagosan 23,3%-al növekedett a terjedési sebesség a kiindulási értékekhez képest. A víztelített mintákhoz képest, nem csak a P-jelzésűek produkáltak kimagaslóan rossz értékeket, száraz állapotban került ki a legnagyobb eltérést mutató ciklus próbateste is. Ez az érték az évszakos cikluson tesztelt Z-jelű hasáboknál tapasztalt, átlagosan 33,3%-os eltérést jelentett (8. ábra).



8. ábra. Longitudinális ultrahang terjedési sebességek megváltozása [%]

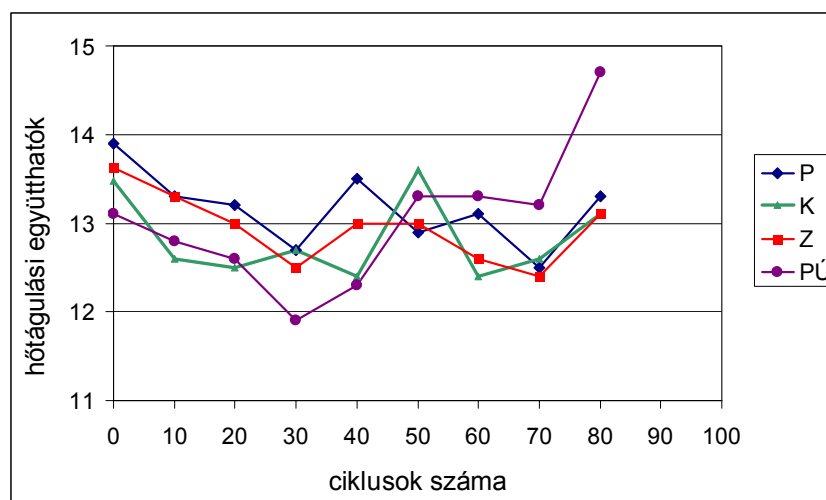
#### 4.4 A hőtágulási együtthatók változása

##### 4.4.1. Téli ciklus

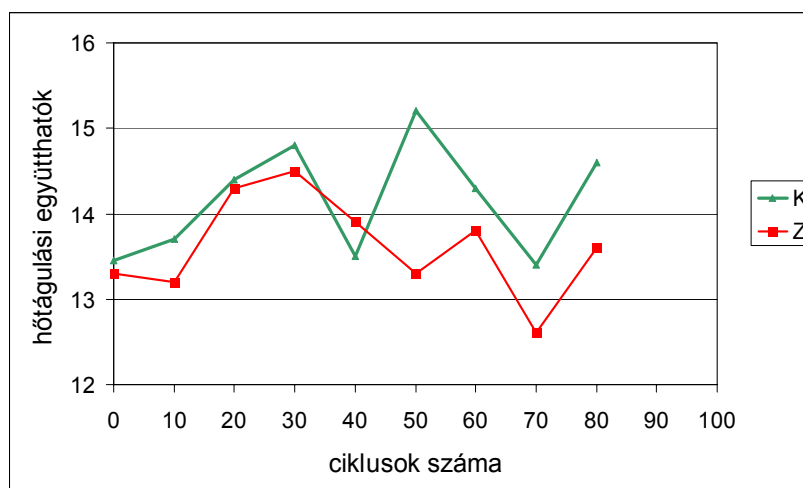
A száraz próbatetek görbéi hasonlóan mozognak az egész mérésorozat alatt, 11,9 és 14,7-es értékek között. A kezdeti hőtágulási együtthatók is mind a négy típusnál (P, K, Z, PU) közel azonosnak vehetők, 13,1 és 13,9 között változnak. Az első 30 ciklus alatt minden próbatest azonos tendenciát követett: csökkentek a hőtágulási együtthatók; kivétel ez alól a K-jelű minta, mivel itt a jellemző együtthatók már a 20. ciklust követően emelkedésbe kezdtek. A PU és az imént említett K-jelű homokkövek nem csak a változások irányát tekintve mutatnak azonos viselkedést, hanem az értékeket tanulmányozva is megállapítható, hogy azok majdnem azonosak az egyes ciklusokat követően. Ettől eltérés, a már említett 30. ciklusnál tapasztalható. Ez az 50. ciklusig igaz, onnantól kezdve már nagyobb eltérések mutatkoznak, de a változások jellege továbbra is megegyezik (9. ábra).

A fent említett jelenségek a P és Z kövek párosára is igaz, szintén az 50. ciklusig. A 70. ciklust követően pedig újfent érvényesnek mutatkozik minden egyes mintára. A felfűtés időtartamának megváltoztatására a 60. ciklust követően került sor. Ettől kezdve a telített és a légszáraz minták hőtágulási együtthatói is növekedtek (Turi 2007).

A telített próbatetek esetében a hőtágulási együtthatók az első 40 ciklus lefutásáig azonos módon és közel azonos értékekkel emelkedtek, kirívó különbség az 50. ciklust jellemezi majd a 60. ciklustól újra együtt mozognak a hasábokat jellemző értékek. A telített próbatetek hőtágulási együtthatóit jellemző szélsőértékek: 12,6 és 15,2 (10. ábra).



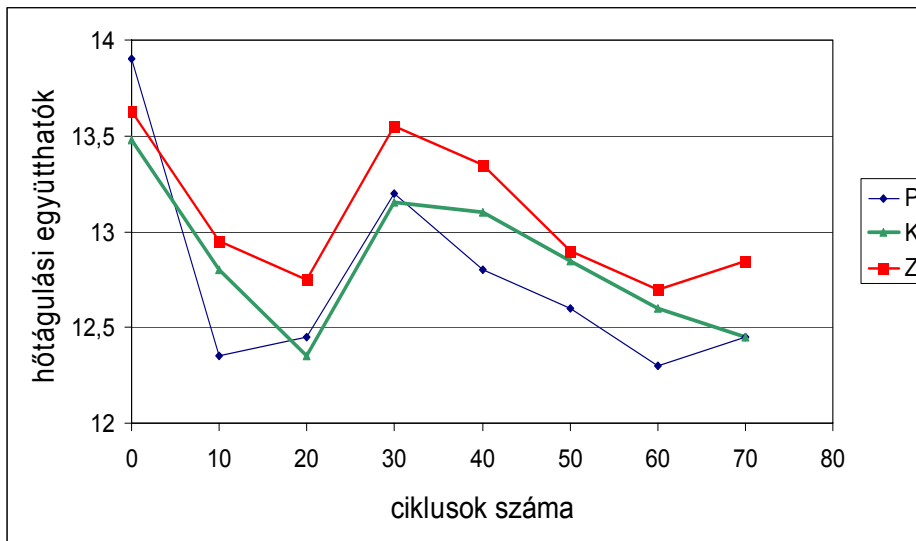
9. ábra. Lineáris hőtágulási együtthatók változása a téli cikluson tesztelt száraz próbatetek esetében



10. ábra. Lineáris hőtágulási együtthatók változása a téli cikluson tesztelt telített próbatetek esetében

#### 4.4.2. Évszakos ciklus

A száraz próbatetek kezdetben 13,5 és 13,9- es értékek közötti hőtágulási együtthatókkal rendelkeztek. A hőterhelést követően 12,3- es minimum és 13,9- es maximum értékeket produkáltak (11. ábra). A telített homokkövet jellemző értékek közül a legkisebb 12,1 volt, a legmagasabb pedig 14,3. Az évszakos terhelés hatásait vizsgálva nem csak a kezdeti együtthatókban találunk különbséget, a telített és légszáraz minták a kísérlet valamennyi fázisában ellentétes tendenciákat mutattak. Az egyetlen hasonlóság abban fedezhető fel, hogy mindig azonos ciklusszámok után történt változás a görbék irányában. A változásokat jellemző pontok a 20., 30. és a 60. ciklust követően rajzolódnak ki. A felfűtési mód változtatására a 40. ciklust követően került sor, ez az értékekben is megmutatkozik, az ingások ezek után még inkább csillapodtak, a görbék lankásabbá váltak.

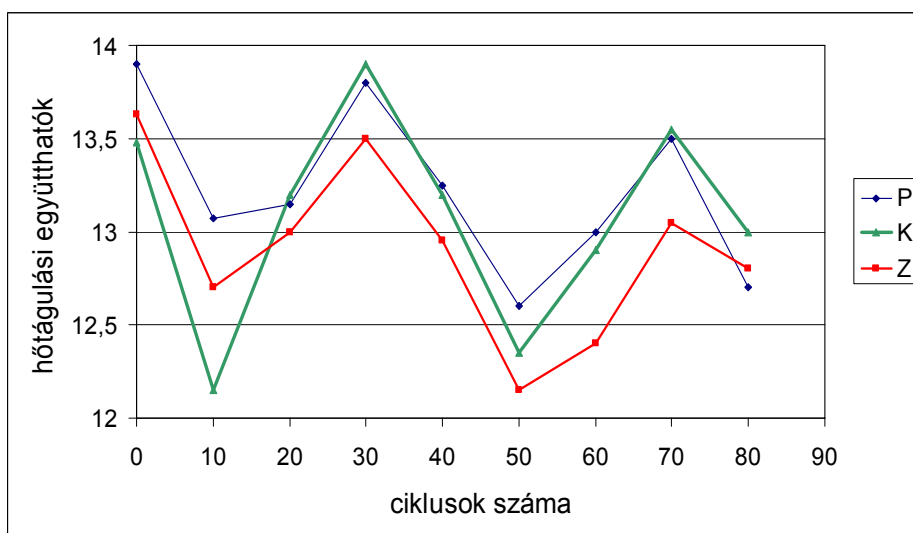


**11. ábra.** Lineáris hőtágulási együtthatók változása az évszakos cikluson tesztelt száraz próbatetek esetében

#### 4.4.3. Nyári ciklus

A felfűtés módjának megváltoztatására csak a 70. ciklust követően került sor. Ezt követően, mind a száraz, mind a telített értékeket ábrázoló grafikonok módosultak. A görbék mind együtt mozognak a ciklusok során, 12,2 és 13,9-es értékek között.

A száraz minták értékeiből összeállított grafikonon négy jellemző pont különíthető el: a 10., 30., 50. és 70. ciklusnál. A 30. és 70. ciklusszámoknál maximuma van a görbéknek, de míg az első esetben ez 13,9-es értéket jelent, addig a 70. ciklusnál már csak 13,6-ot. A többi próbatest értékei is hasonló mértékben csökkentek. A telített homokkő esetében csak két jellemző pont figyelhető meg, az egyik 40. a másik a 60. ciklusnál. A 40. ciklusig közel lineárisan növekednek a hőtágulási értékek, majd 60.-nál minimuma van, és egészen a 80.-ig emelkedik. A 70 ciklust követő módosítás hatása a görbe meredekségének csökkenésében fedezhető fel. Az utolsó szakaszon az első lineáris szakasz meredekségével közel azonos meredekséggel változik a hőtágulási együttható, és az elért maximum érték is azonos az első szakasz végének maximumával. Tehát a telített próbateteknél a 40. ciklus után már a szárazakhoz hasonló módon két-ciklusonként módosul a hőtágulási együtthatók változásának iránya (12. ábra). Hasonló szabályosság a többi ciklusnál nem figyelhető meg.



**12. ábra.** Lineáris hőtágulási együtthatók változása a nyári cikluson tesztelt száraz próbatetek esetében



## 5 KÖVETKEZTETÉSEK

### 5.1 Tömegváltozás

A rögzített eredmények szerint a száraz próbatetek tömegeinek változása elhanyagolható, a tapasztalt eltérések mérési hibákra utalnak.

A telített hasábok esetében már jelentős tömegkülönbségek figyelhetők meg, a víztöbblet mely a tömegállandóság beálltát követően jutott a kövekbe részben az utólagos vízfelvétellel magyarázható. Ezt alátámasztja az a tény, hogy átlagosan a tömegnövekmények 70-80%-a az etalonoknál is megjelent, melyek állandó hőmérsékleten és szabad légköri nyomáson álltak a kísérletek végeztéig.

Másfelől a ciklusokon tesztelt köveknél tapasztalt eltérés a hőtágulás hatására keletkezett repedések és az azok által megnyitott korábban zárt pórusoknak tudhatók be.

Az értékeket vizsgálva arra a következtetésre juthatunk, hogy a vizsgált homokkő típusok számára telített állapotban a legnagyobb terhelést a téli ciklus jelenti, a közettípusok szempontjából, pedig a P-jelzésű hasábok érzékenyek leginkább.

### 5.2 Pórusrendszer, vízfelvétel

A pórusszerkezetre a vízfelvétel lejátszódása és a minták sűrűségi értékei engednek következtetni. Az adatokat és vízfelvételi görbéket tekintve a K- és Z-jelzésű minták kisebb vízmennyiséget képesek felvenni, mint a P-jelzésű kőzetek, mivel pórustérfogatuk is kisebb. A tömegszázalékos értékeket vizsgálva kétszeres eltérés mutatkozik a felvett vízmennyiségben, ez is a Podhorni-típusú hasábok javára. A tapasztalt jelenségek fontosak a kísérletek értékelésének szempontjából, mivel eszerint mindhárom típusú kőzet az első két nap után majdnem eléri a maximális telítettséget. Ez az állapot gyakorlatilag egy nagy esőzést követően is beállhat. Ez a gyors vízfelszívási érték veszélyes lehet, ugyanis egy erőteljes lehülés következtében a víz jéggé alakulhat minek kapcsán hatalmas feszítőerőt gyakorol az ásványokat összekapcsoló kötésekre. A kőzet pedig aprózódni, mállani kezd, a szerkezet meggyengül.

### 5.3 A longitudinális ultrahang terjedési sebességek változása

A vizsgálatok eredményei a várt értékeket mutatták: az ultrahang terjedési sebessége növekedett a próbatetekben, mely a szöveti szerkezet gyengülésével és a repedések megjelenésével magyarázható. Tehát az ultrahangos vizsgálat is a korábbi eredményeket bizonyítja, miszerint a P jelű homokkövek kevésbé bizonyultak ellenállónak telített állapotban a téli ciklus hatásaival szemben, mint a K és Z jelűek. Az ultrahangos vizsgálat nyert adatok természetesen nem szolgálnak egzakt eredményekkel a kövek állapotát illetően, de az így rendelkezésre álló adatok is jó képet adnak a kövek ellenállóságáról, és az egyes ciklusok hatásáról.

### 5.4 A hőtágulási együtthatók változása

A *téli ciklus* szolgáltatta eredményeket vizsgálva megállapítható, hogy a száraz és a telített minták esetében is egy közel azonos szélességű, a telítetteknél 2,6; a szárazaknál 2,8- es ingást megengedő sávról beszélhetünk, melyen belül a hőtágulási együtthatók értékei mozognak.

Az *évszakos ciklus* telített próbatestei a téli ciklushoz viszonyítva kiegyensúlyozottabb értékeket mutatnak, hiszen az ingás az ott tapasztalt 2,6- es intervallumnál jóval kisebb: 1,6. A száraz minták is hasonlóan kiegyensúlyozottabb értékeket mutatnak, de tartomány szélessége növekszik, értéke: 2,2.

Lényeges különbség még a téli ciklussal szemben, hogy a grafikonok hullámozása ellenére a homokkövek végig azonos viselkedést produkálnak, nincsenek gyors ugrásszerű ingadozások. Ez valószínűleg a téli ciklus hőmérséklettartományának szűk mivoltából fakadt, mely állítást a nyári ciklusnál szerzett tapasztalatok is alátámasztják. A téli ciklus által a mintákra mért 20 °C- os ingás, jóval elmarad a nyári 45 °C- os és az éves 55 °C- os értékektől. Ezek szerint a téli ciklus terhelése túl kicsi volt, ezzel szemben a másik két ciklus hőmérsékleti ugrásai elegendőnek bizonyultak a hőtágulási együtthatók biztos és folyamatos megváltoztatásához valamennyi minta esetében.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk készítéséhez a Cseh-Magyar Kormányközi Tudományos és Technológiai Kutatási Program (TÉT) nyújtott segítséget. Dr. Richard Přikryl (Károly Egyetem, Prága) a kísérletekhez szükséges kőzetanyagot biztosította, a BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék dolgozói pedig a kísérletek összeállításában segítettek.

## IRODALOMJEGYZÉK

- Chlupác, I. Brzobohaty, R., Kovanda, J., Stránil, Z., 2002. *Geologická Minulost České Republiky*, Academia, Prága, 1-436p.
- Egerer F., Kertész P. 1993. *Bevezetés a kőzetfizikába*. Akadémia Kiadó, Budapest 1-424.
- Pavlik, Z., Michálek P., Pavlíková, M., Kopecká, I. Maxová, I., Černý, R. 2008. Water and salt transport and storage properties of Mšené sandstone. *Construction and Building Materials* **22**, 1736-1748.
- Hajpál M., Török Á., 2004. Mineralogical and colour changes of quartz sandstones by heat. *Environmental Geology* **46**, 311-322.
- Török Á., Hajpál M. 2005. Effects of temperature changes on mineralogical and physical properties of sandstones. A laboratory study. *Restoration of Buildings and Monuments Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege* **11/ 4**, 211-218.
- Turi N. 2007. *Homokkövek hőtágulási együtthatóinak változása ciklikus hőterhelés hatására*. BME Építőmérnöki kar, TDK Konferencia 2007, Építőanyagok és geotechnika szekció, Budapest, 1-117.