

VÍZTARTALOM HATÁSA A KŐZETEK SZILÁRDSÁGÁRA

Vásárhelyi Balázs

BME, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tsz., vasarhelyib@freemail.hu

Ván Péter

KFKI, Budapest, vpet@eik.bme.hu

Összefoglalás: Jól ismert tény, hogy a víztartalom jelentősen befolyásolja a kőzetek szilárdságát – ezért is kell azok minősítésénél a szilárdsági vizsgálatokat mind száraz, mind vízzel telített állapotban elvégezni. A mérések alapján a kőzetek fizikai állandói minden esetben csökkennek a vízzel való telítés hatására – sok esetben akár 1 %-os víztartalom is jelentős csökkenést eredményezhet. Mind kőzetmechanikai, mind mérnökgeológiai szempontból fontos ezt a folyamatot jól ismerjünk, mivel a kőzet víztartalma hatására bekövetkező szilárdsági változásokat, mivel sok esetben a talajvíz ingadozása miatt az állandóan változhat. Ilyen esetekkel kell számolni pl. felhagyott bányáknál, vagy pincéknél, ahol a talajvíz-emelkedés hatására stabilitási problémákkal kell sokszor számolni.

Kulcsszavak: víztartalom, egytengelyű nyomószilárdság, víztelítés, homokkő

1. Bevezetés

Hawkins és McConnell (1992) 35 különböző helyről származó homokkő szilárdsági vizsgálatát végezte el telített és száraz állapotban. Ezen kőzetek különböző korúak voltak: a prekambriumtól a krétáig. Az egyirányú nyomószilárdság mellett mérték a tangenciális és a másodlagos rugalmassági modulust is mindkét kőzetfizikai állapotban. Vásárhelyi (2003a és b) a publikált eredményeket vizsgálva kimutatta, hogy a száraz és a vízzel telített petrofizikai állandók között minden esetben lineáris kapcsolat írható fel. Egyirányú nyomószilárdság esetén a legkisebb négyzetek módszerét alkalmazva, a legjobb közelítés (lásd 1. ábra):

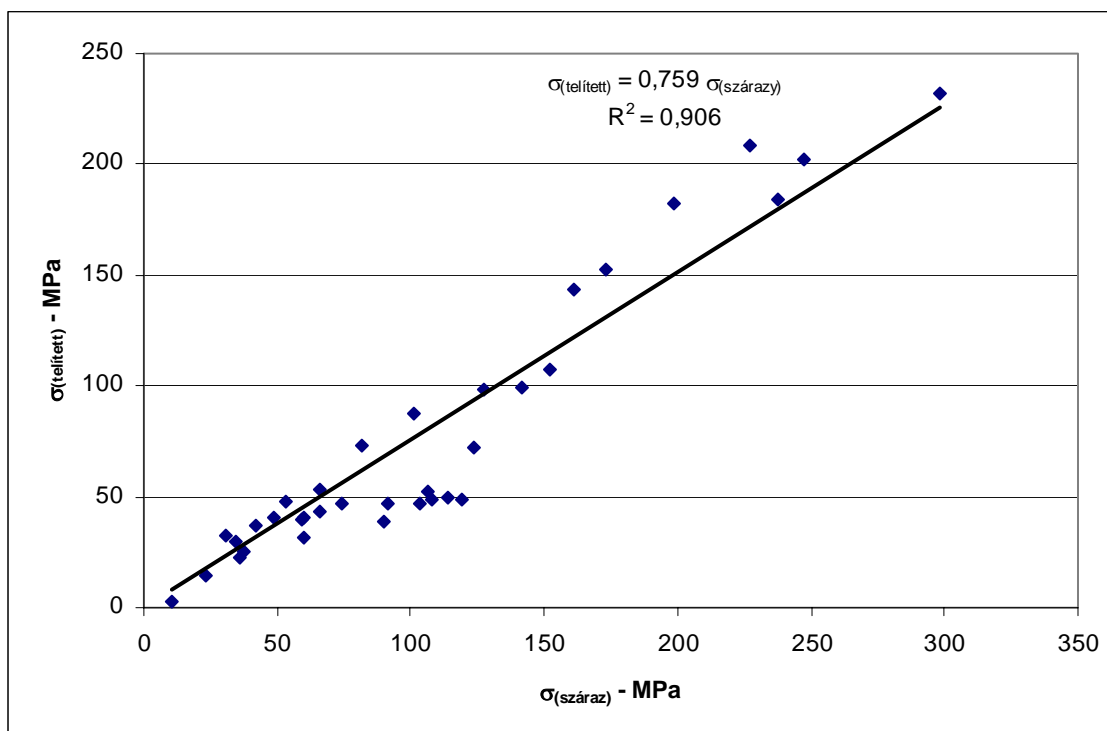
$$\sigma_{\text{ctel}} = 0,759 \sigma_{\text{c0}} \quad (R^2 = 0.906) \quad (1)$$

Hawkins és McConnell (1992) 15 különböző típusú homokkő esetén a méréseiket nem csak teljesen telített állapotban, hanem különböző mértékben való telítésnél is elvégezték. Az egyirányú nyomószilárdság és a víztartalom között az alábbi exponenciális összefüggést határozták meg:

$$\sigma_c(w) = ae^{-bw} + c \quad (2)$$

Ahol $\sigma_c(w)$ az egyirányú nyomószilárdság (MPa), w a víztartalom (%), valamint a , b és c anyagállandók. Egyértelmű, hogy abban az esetben, ha a víztartalom 0 %, $\sigma_{c0} = a + c$, illetve teljesen telített állapotban $\sigma_{\text{ctel}} = c$. A b paraméter dimenzió nélküli állandó és a víz telítésére való érzékenységet mutatja.

A 15 különböző homokkőre meghatározott állandókat az 1. táblázatban foglaltuk össze (Hawkins és McConnell, 1992).



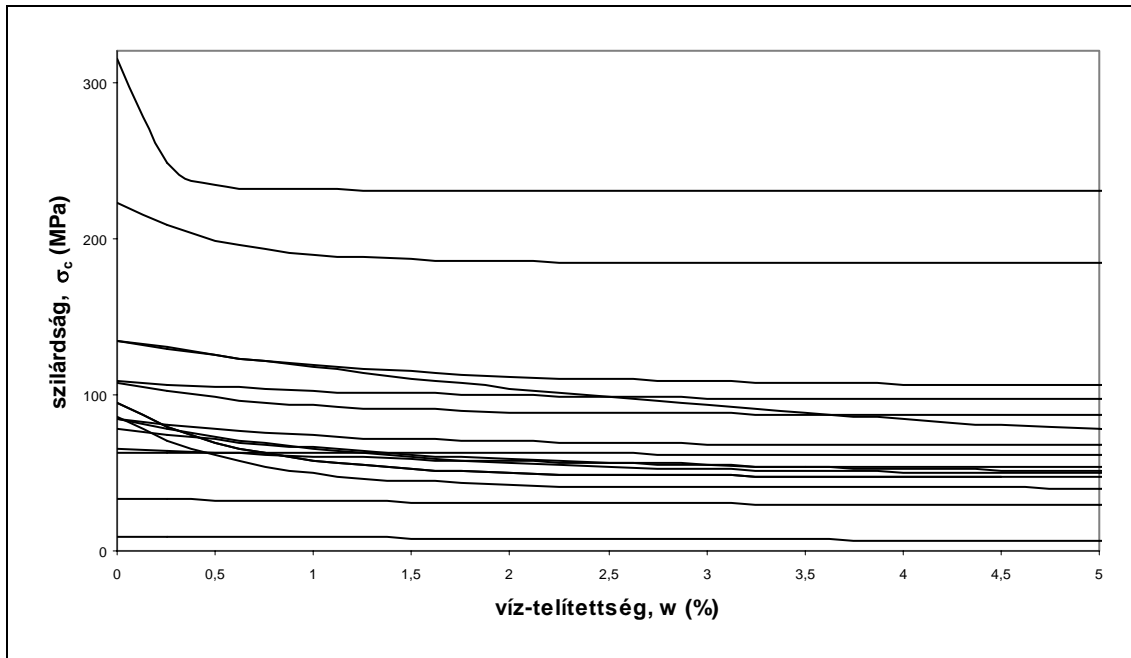
1. ábra: A száraz és telített egytengelyű szilárdság közötti viszony (UCS) 35 brit homokkővek esetén (Vásárhelyi, 2003).

Homokkő	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>R</i> -érték
Donegal Quartzite (DQ)	39,03	1,9601	184,23	0,93
Brownstone (LORS)	29,34	0,7646	105,23	0,78
Millstone Grit – Type D (MGD)	12,30	0,6821	96,27	0,71
Holcombe Brook Grit (HBGB)	36,13	0,7794	48,65	0,88
Thornhill Rock – Type A (TRA)	45,73	1,5942	40,29	0,97
Crackington Formation (CF)	84,01	6,4167	230,98	0,91
Pennant – Type A (PnA)	83,76	0,2306	51,02	0,86
Pennant – Type B (PnB)	28,81	0,5506	49,37	0,62
Pennant – Type C (PnC)	47,12	1,5439	47,65	0,95
Penrith – Type A (PrA)	7,01	0,0752	56,30	0,70
Penrith – Type B (PrB)	4,16	0,4061	28,90	0,87
Penrith – Type C (PrC)	17,27	1,0675	67,75	0,85
Penrith – Type D (PrD)	20,37	1,2629	87,29	0,88
Greensand – Type A (G)	6,14	0,1104	2,97	0,93
Greensand – Type A-Dogger (D)	19,12	0,2567	45,79	0,77

1. táblázat: *a*, *b*, és *c* értékei és a megfelelő *R*-értékek (Hawkins & McConnell, 1992)

A 2. ábra ezen kőzetek víz hatására történő szilárdság-változását mutatja a (2) egyenlet alapján 3 %-os víztartalomig. Az ábrán jól látszik, hogy a kőzet szilárdsága nagyon érzékenyen reagál a víz jelenlétére, már csupán 1 %-os víztartalom esetén is jelentős csökkenést lehet kimérni. A *b* érték mutatja ennek érzékenységét – minél nagyobb ez

az érték, annál érzékenyebb a kőzet a víztartalom változásra. Ebből következik, hogy a b tényező ismerete nagyon fontos a kőzetbeli munkákat tervezők számára, gondoljunk például a felhagyott bányáknál, pincéknél történő talajvíz növekedésre, melynek hatására az állékony üreg instabillá válhat.



2. ábra: Kísérleti adatokra illesztett szilárdság-vízrel való telítettség görbék

2. A víz hatásának modellezése abszolút skála esetén

Hawkins és McConnell (1992) vizsgálatainak nagy hátránya volt, hogy a vízzel való telítettséget minden esetben a kőzethez viszonyítva határozták meg, ami azt eredményezte, hogy a kapott értékek – a homokkövek porozitásának különbözősége miatt – nem voltak összehasonlíthatók. A 100 %-os telítettséget minden esetben más tömeg %-os víztartalomnál érték el, ezért először a publikált értékek átszámolását hajtottuk végre abszolút skálára. Feltételeztük, hogy abban az esetben, ha a kőzet nem tartalmaz vizet, $S = 0 \%$, míg teljesen telített esetben $S = 100 \%$. Ezt a dimenzió nélküli S^* értéket az alábbi egyenlet alapján tudjuk kellő pontossággal meghatározni:

$$b^* = -\ln\left(\frac{0,1}{\sigma_{c0} - \sigma_{ctel}}\right) \quad (3)$$

A (3)-as egyenletnél feltételeztük, hogy a teljesen telített állapotban a közelítés és az elméleti görbe közötti különbség $0,1$ [MPa]. A számított b^* értékeket a 2. táblázatban közöljük. Megfigyelhető, hogy a b^* értékek között kicsi a különbség. Természetesen, az a és c állandók ebben az esetben is megfelelnek a száraz és telített szilárdsággal (σ_{c0} és σ_{ctel}) a fentiekben meghatározottakkal.

Homokkő	b^* (3)	b	Számolt b (7)
DQ	5.967	1.9601	1.8779
LORS	5.682	0.7646	0,7553
MGD	4.812	0.6821	0,7254
HBGB	5.890	0.7794	0,7352
TRA	6.125	1.5942	1.5385
CF	6.734	6.4167	5.9572
PnA	6.731	0.2306	0.2150
PnB	5.663	0.5506	0.5280
PnC	6.155	1.5439	1.4686
PrA	4.250	0.0752	0.0932
PrB	3.728	0.4061	0.6135
PrC	5.152	1.0675	1.4226
PrD	5.317	1.2629	1.5561
G	4.117	0.1104	0.1510
D	5.253	0.2567	0.2749

2. táblázat. A számolt b^* és b a kísérletileg mért b értékekkel együtt (Hawkins & McConnell, 1992).

Mi egy olyan formáját javasoljuk a (2) egyenletben szereplő exponenciális függvénynek, amely figyelembe veszi, hogy a kőzet a telítettséget 100%-os víztartalom mellett éri el. A javasolt (4) egyenletben az exponenciális függés megtartásával az a és c paraméterek jelentése megváltozott.

$$\sigma_c(w) = a^* + c^* e^{-b^*w} = \sigma_{c0} - \frac{(\sigma_{c0} - \sigma_{csat})}{1 - e^{-b^*}} + \frac{(\sigma_{c0} - \sigma_{csat})}{1 - e^{-b^*}} e^{-b^*w}. \quad (4)$$

a^* és c^* közötti viszony változatlan, de $a^* + c^* = \sigma_{c0}$, most c^* értékét az alábbi összefüggés adja

$$c^* = \frac{(\sigma_{c0} - \sigma_{ctel})}{1 - e^{-b^*}} \quad (5)$$

A (4) összefüggés segítségével újraszámolt szilárdság-víztartalom görbéket a 3. ábrán adjuk meg. A megfelelő kőzettípusokat a száraz állapotban mért szilárdságuk alapján azonosíthatjuk. Látható, hogy vannak olyan kőzetfajták, amelyeknél a száraz és nedves állapotban mért szilárdság között jelentős különbség van, akkor is ha a víztartalom csak 30 %-ot változik. Az előzőekben említett kis változás b^* értékében szintén látható a 4. ábrán, ahol a relatív szilárdságot ábrázoltuk a relatív víztartalom függvényében.

A telített állapotban mért víztartalom ismeretében a b állandót b^* ismeretében a következőképpen határozhatjuk meg:

$$b = \frac{b^*}{n_{eff}} \quad (6)$$

ahol n_{eff} a kő effektív porozitása. A b érték és az effektív porozitás (n_{eff}) közötti viszonyt az 5. ábrán láthatjuk, ahol Hawkins és McConnell (1992) eredményeit Bell (1978, 1995) méréseivel és 4 magyarországi homokkővel együtt ábrázoltuk. Ezeket az eredményeket

a 3. és a 4. táblázatban is megadtuk. Az 5. ábrán az illesztett egyenes (7) egyenlete használható a homokkőnek víztartalomra való érzékenységének meghatározására.

$$b = \frac{6.0259}{n_{eff}} \quad (7)$$

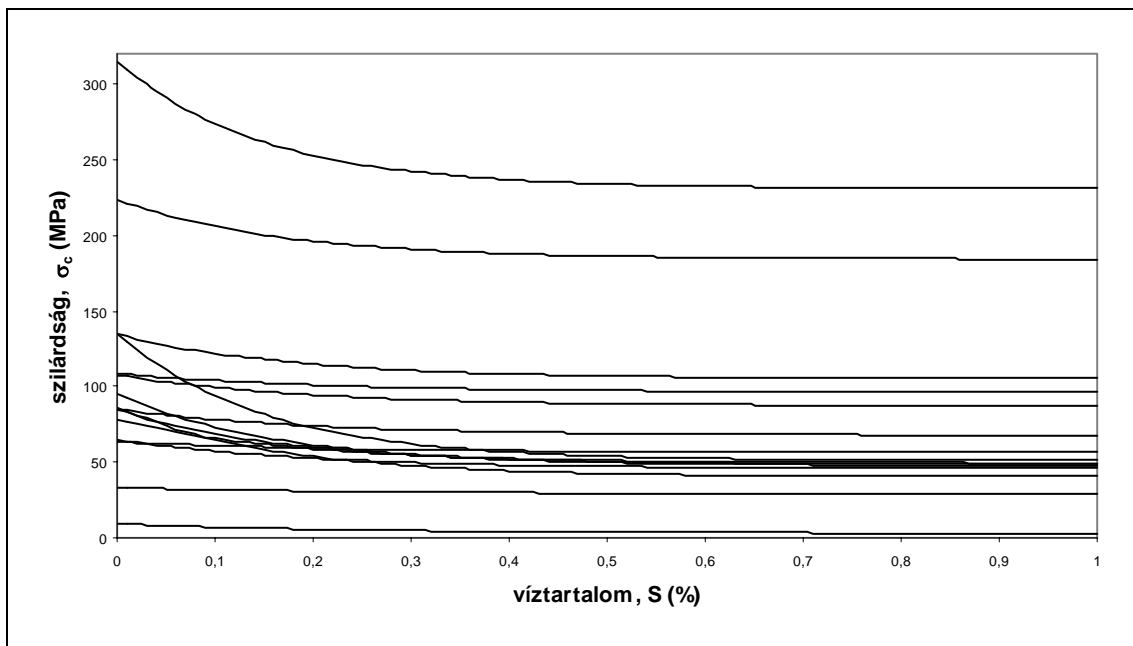
A (7) egyenlet alapján számolt b értékeket a 2. táblázatban is megadtuk. Ilyen módon a mért értékekből meghatározott b értékektől való eltérés azonnal látható. A különbségek a kísérleti hibán belül vannak.

Mélység (m)	$\sigma_{c(0)}$	$\sigma_{c(100)}$	$n_{(eff)}$	b^*	B
felszín	33.2	19.1	11.1	4.9488	0.4458
9.1	51.9	31.0	12.7	5.3423	0.4207
18.3	73.7	43.3	11.5	5.7170	0.4971
21.3	79.1	53.5	11.7	5.5452	0.4740
24.4	38.1	21.6	20.5	5.1059	0.2491
27.5	108.9	98.6	9.6	4.6347	0.4828
30.5	88.7	70.2	9.5	5.2204	0.5495
33.6	90.2	71.2	10.4	5.2470	0.5045
36.6	89.9	63.4	9.5	5.5797	0.5873
39.7	51.1	33.5	9.4	5.1704	0.5501
42.7	59.0	38.2	9.9	5.3375	0.5392
45.8	91.7	62.7	10.1	5.6699	0.5614
48.8	92.4	60.9	9.2	5.7526	0.6253
51.9	112.4	97.2	7.2	5.0239	0.6978
54.9	53.9	29.6	7.1	5.4931	0.7737
58.0	75.2	62.0	7.6	4.8828	0.6425
61.0	60.2	37.3	9.6	5.4337	0.5660
67.1	52.3	30.6	10.1	5.3799	0.5327
70.1	77.2	43.1	9.1	5.8318	0.6409
73.2	55.7	42.7	7.8	4.8675	0.6240
76.2	93.1	43.9	8.1	6.1985	0.7652
82.3	107.2	98.4	6.9	4.4773	0.6489
91.5	95.8	64.9	6.5	5.7333	0.8821
94.5	80.5	50.8	8.7	5.6937	0.6545

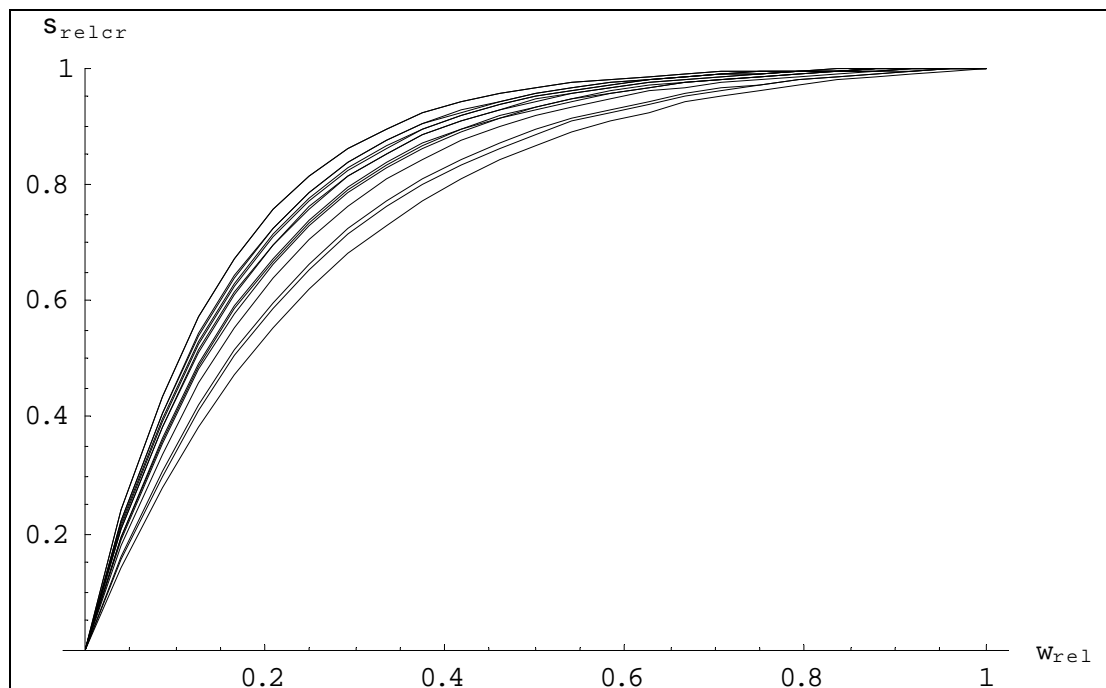
3. táblázat. Számolt b és b^* értékek a Bell (1978) által mért Fell homokkő adataiból

Hely	$\sigma_{c(0)}$	$\sigma_{c(100)}$	$n_{(eff)}$	b^*	b
Chatsworth grit ¹	39.2	24.3	14.6	5.0039	0.3427
Sherwood sandstone ¹	11.6	4.8	25.7	4.2195	0.1642
Keuper watersone ¹	42.0	28.6	10.1	4.8978	0.4849
Bronllwyn Grit ¹	197.5	190.7	1.8	4.2195	2.3442
Balatonrendes ²	45.67	34.99	4.23	4.6710	0.5190
Cserkút ²	78.55	61.43	1.83	5.1428	1.2245
Pilisborosjenő ²	20.41	17.73	13.45	3.2884	0.1462
Vác ²	33.84	25.2	12.07	4.4590	0.1939

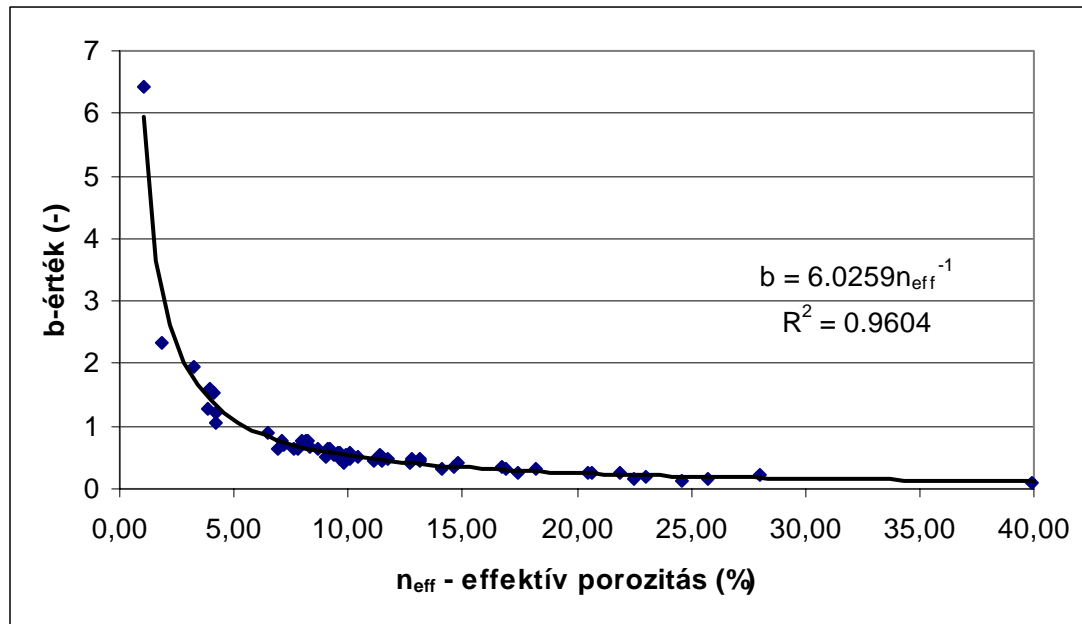
4. táblázat. Mért és számolt értékek (¹): Bell (1995) adataiból és (²): 4 különféle magyarországi homokkőre.



3. ábra: Szilárdság (σ_c) a víztartalom függvényében (S)



4. ábra: Relatív szilárdság, mint a víztartalom függvénye



5. ábra: b az effektív porozitás függvényében

3. Következtetések

A homokkövek szilárdságának víztartalomtól való függésének meghatározására adtunk meg eljárást. Hawkins és McConell (1992) adatainak elemzésével azt találtuk, hogy az effektív porozitás játszik ebben nagy szerepet. Az általunk megadott eljárás egyik előnye, hogy kevesebb mérés is elegendő lehet a víztartalom hatásának meghatározására. A sűrűség és az egytengelyű nyomószilárdságnak száraz és telített körülmények alatti meghatározásával a szilárdság víztartalom függése könnyen meghatározható, mind a relatív (víztartalom a kötőanyag százalékában), mind abszolút (a telített víztartalomhoz képest mért) skálán. Vásárhelyi (2003, 2005) eredményei szerint több más mechanikai állandó (Young modulus, húzószilárdság, stb.) víztartalomtól való függése is hasonló az egytengelyű nyomószilárdsághoz. Tehát a fenti módszer használható lehet ezeknek a mechanikai tulajdonságoknak a víztartalomtól való függésének vizsgálatához is. Magyarországon az egri pincék szilárdságának számításánál lehet a bemutatott elmélet jól felhasználni (Kleb & Vásárhelyi, 2003).

Köszönetnyilvánítás

A szerzők megköszönik a Bolyai Ösztöndíj és az OTKA (D048645, F43291, K60768 és T48489) a cikk megírásában nyújtott támogatását.

Hivatkozások

- Bell, F.G. 1978: The physical and mechanical properties of the fell sandstones, Northumberland, England. *Engng. Geol.* 12:1-29.
- Bell, F.G. (1995): Laboratory testing of rocks. In: Bell FG (ed) Engineering in rock masses. 151-169.
- Hawkins, A.B.; McConnell, B.J. 1992: Sensitivity of sandstone strength and deformability to changes in moisture content. *Q. Engng. Geol.* 25: 115-130.
- Li, Z.; Reddish, D.J. (2004): The effect of groundwater recharge on broken rocks. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. (SINOROCK)*, 41: 1B14.
- Kleb, B.; Vásárhelyi, B. 2003: Test results and empirical formulas of rock mechanical parameters of rhyolitic tuff samples from Eger's cellars. *Acta Geol. Hung.* 46(3): 301-312.
- Vásárhelyi, B. 2003a: Some observation regarding the strength and deformability of sandstones in case of dry and saturated conditions. *Bull. Engng. Geol. & Env.* 62: 245-249.
- Vásárhelyi B. 2003b: Homokkövek szilárdságának víz hatására bekövetkező változásának statisztikus vizsgálata *Mérnökgeológiai jubileumi konf.* (szerk.: Török Á.), 303-311
- Vásárhelyi, B. 2005: Statistical analysis of the influence of water content on the strength of the Miocene limestone *Rock Mech. Rock Engng.* 38: 69-76.