

**TÖRPEFENYŐ HATÁSA A KÖZETEK OLDÓDÁSÁRA
(LIMESTON OLDÓDÁS VIZSGÁLATOK)**

**EFFECT OF PINUS MUGO VEGETATION ON ROCKS
DISSOLUTION (SOLUTION RATE OF LIMESTON)**

SKRIBANEK ANNA¹ – VERESS MÁRTON²

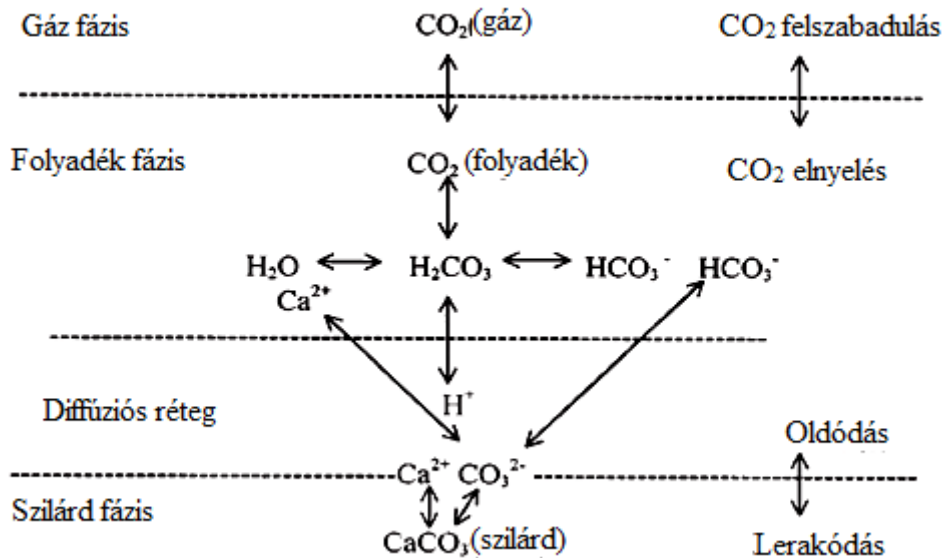
¹NYME-SEK TTK Biológiai Intézet, Növénytani Tanszék, Szombathely,
Károlyi G. tér 4.

²NYME-SEK TTK Földrajz és környezettudományi intézet,
Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, Károlyi G. tér 4.

Abstract: The most intensive karstification on high mountain areas was shown by the bare slope part under a slope with Pinus mugo patches. In order to find an explanation for this statement, we modelled the effect of the vegetation, the water, the water movement and of the bare surface without vegetation on dissolution. For the experiment, marble and limestone tablets were used. In all experiments the dissolution of the marble tablets had a well-repeatable characteristic. The dissolution changed seasonally: it was more intensive during the period between June and October, but it was significantly influenced by precipitation. The dissolution was more temperate in the drier periods than in the wet period. The dissolution was stagnant in the winter-spring (between October and May) period when the temperature was lower. The presence of the water basically increased the intensity of dissolution, but there was no significant difference between the tablets under Pinus mugo in constant water and the tablets without Pinus mugo in constant water. The vegetation (Pinus mugo) had a significantly greater dissolution effect on the marble tablets, if the tablets were placed into its soil. The soil was irrigated by rainwater, in this case the weight loss was more than three times larger. The effect of the Pinus mugo on the karren formation can be presented in a model experiment. The degree of the dissolution was also increased by the rising of the temperature, the precipitation, but mainly the flowing water, this latter phenomenon is given on the slopes with Pinus mugo.

Bevezetés

A mészkőfelszínek pusztulásában a korróziós folyamatok a meghatározók. Az oldódás folyamatáért jelentős részben a vízbe oldódó CO₂ a felelős (1. ábra). Az oldódás intenzitását befolyásoló tényezők a tengerszint feletti magasság, a lejtőszög, a növényzet és a talaj (GINÉS 1996, VERESS 2010). De függ a felszíni formák (ahol az oldódás végbemegy) felületétől, növényzettel fedettségének mértékétől (SMART – WHITAKER 1996).



1. ábra Karszt rendszerek CO₂ forgalmának modellje (ZHONGCHENG ÉS DAOXIAN, 1999)
 Fig. 1. Conceptual model of the CO₂ transport of karst systems (ZHONGCHENG & DAOXIAN 1999)

Magashegységi környezetben is hozzájárul az oldóképességhez a biogén eredetű CO₂, amely azonban csak részben talaj eredetű. Törpefenyőfoltokat fedő hóban ugyanis felhalmozódhat a disszimilációs eredetű (a törpefenyőből származó) CO₂, amely az olvadákvízbe kerülve növeli a csupasz lejtőrészen végigfolyó víz oldóképességét (VERESS 2010).

A mészkő oldódása és az ebből származó felszín lepusztulás vizsgálata az alábbi módszerekkel történik:

- A karrasztalok magasságának mérésével.

Ilyen vizsgálatot BÖGLI (1961) végzett ismerve karrasztal magasságát, és annak kialakulási korát számította a lepusztulás sebességét. Erre fedetlen mészkövön 0,015mm/év értéket kapott.

- A karrformákban lévő víz oldott anyag tartalmának meghatározásával változatos lerakódási sebességeket mértek. A Hochschwab fennsík északi lejtőjén az Alpokban az oldódási sebesség 13- 40 nm/a között változott (PLAN 2005), kiugróan magas volt (48 nm/a) egy tóbör közelében, és közel nulla egy szivárgó forrásvíz közelében. Karros formákban (rinnekekben) tőzeg alatt 2500 mm/év csapadék mellett a lepusztulás 6,3-11,5 mm/évnek adódott (SWEETING 1966). 1500-2000 mm/év csapadék esetén, talaj alatt 0,4-0,5 mm/év sebességet mértek (NEWSON 1970). ZÁMBÓ – TELBISZ (2000)

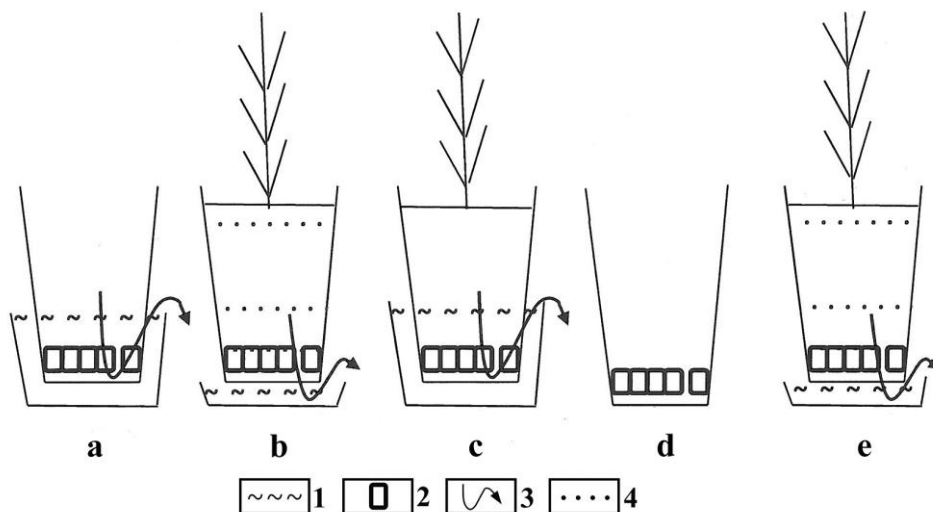
szerint a talaj alatti hasadékok 0,04 mm-t, a fedetlenek 0,0013 mm-t mélyülnek évente.

- Az úgynevezett tablettás módszer alkalmazásánál ismert tömegű mészkő (vagy más anyagból készült pl. márvány, gipsz...) kockát tesznek ki oldódásnak. A tömeg visszamérésével számítható a korróziós eredetű tömegveszteség. Így *LIU et al.* (1999) a szabad levegőn elhelyezett tablettáknál 3,8 – 4,7 mg/cm²/év, talaj felületen elhelyezettekénél 3,2-5,1mg/cm²/év, 20 cm mélyen a talajban 3,8-10,2mg/cm²/év, és 50 cm mélyen a talajban 4,7-11,5mg/cm²/év tömegcsökkenést mért. *ZHANG* (2011) különböző talajmélységben elhelyezett mészkő tabletták tömegmérésével az oldódás mértékére erdő alatt 5 cm mélyen 88,1 t km⁻² a⁻¹; 20 cm mélyen 68,7 t km⁻² a⁻¹; 50 cm mélyen 18,7 t km⁻² a⁻¹ értékeket kapott. Különböző fedettség esetén az oldódás átlagosan, szabad felszínen 10,38 t km⁻² a⁻¹, gyepek alatt 40,00 t km⁻² a⁻¹, erdő alatt 20,00 t km⁻² a⁻¹ volt (ahol t km⁻² a⁻¹ = éves oldódási ráta cm² felületegységre). Saját korábbi vizsgálati eredményeink alapján az oldódás a Totes Gebirge hegységben 2011-ben 1 éves vizsgálati periódusban 3 különböző mintaterületet összehasonlítva a legerőteljesebb az oldódás a gyepek felületén: 0,52% a kiindulási tömeghez viszonyítva. A szabad sziklafelszínen: 0,40% és a törpefenyős lejtők karrformáinak felületén: 0,23% (*SKRIBANEK et al.* 2012).

Anyag és módszer

Oldódás vizsgálatára először *TRUDGILL* (1975, 1985) alkalmazott mészkő tablettákat. Kísérletünkben az oldódás mértékének mérésére 5 kísérleti modellt hoztunk létre, amelyek elvét a 2. ábrán mutatjuk be. A növényzet alatti oldódás vizsgálatához minden esetben törpefenyőt használtunk cserépbe ültetve. Az első kísérlet (Víz) a csupasz felszínnek madáritatóinak oldás viszonyait szimulálja. A tabletták cserépbe kerültek, majd egy nagyobb méretű edénybe, így a csapadékvíz a kövek felületén maradt, amíg el nem párologott. A második kísérletben (Víz↓Növény) a törpefenyő alatti oldódási viszonyokat modellezzük. E modellben a víz elvezetés biztosított, a törpefenyős lejtőknek megfelelően. A tablettákat a növénynevelő cserép aljában a talajban helyeztük el, melyet a gyökerek a kísérlet előrehaladtával körbevettek. A harmadik kísérlet (Növény+Víz) a folyamatos vízborítás alatti mintáknál modellezi a növényzet alatt kialakuló oldás viszonyokat állandónak tekinthető vízborítás mellett. Ebben az esetben a cserép aljába tett tablettákra ültettük a növényt majd egy nagyobb méretű edénybe helyeztük, hogy meggátoljuk a víz elfolyását a rendszerből. A negyedik

kísérlet (Szabad) a szabad sziklafelszínen létrejövő „levegő alatti” oldódást modellezi. Az ötödik kísérlet (Csurgat) pedig a törpefenyő alatt a vízáramlás melletti oldódást modellezi, a növényvel beültetett talajfelszínt napi egy óra folyamatos esővízzel öntöztük.



2. ábra A tablettá modell kísérletei

Jelmagyarázat: **a:** Víz - csapadékvíz megtartásával; **b:** Víz\Növény- törpefenyő alatt a csapadékvíz szabad elfolyásával; **c:** Növény+Víz - Növény alatt a csapadékvíz megtartásával; **d:** Szabad - a tabletták vízborítás nélküli felszínen **e:** Csurgat - Törpefenyő + napi 1 óra folyamatos vízáramlás akváriumi szivattyúval a talaj felületre; 1: A vízborítás lehetséges maximális szintje; 2: Tablettá; 3: Vízmozgás iránya; 4: Talaj

Fig. 2. The arranged limestone tablets in model.

Legends: **a:** Water - the tablets in constant water; **b:** Water\Plant - the tablets under *Pinus mugo* free water drainage; **c:** Plant+Water - the tablets under *Pinus mugo* in constant water; **d:** Free - the tablets on the free surface; **e:** Flowing - the tablets under *Pinus mugo* + 1 hour irrigation with aquarium pump; 1: Maximum water cover; 2: Tablet; 3: Water movement; 4: Soil

A mintákat Szombathelyen szabadban helyzetük el 2010. október 8-án félárnyékban (tengerszint feletti magasság 220 m, középhőmérséklet: 10,54 °C, csapadékösszeg: 633mm). Az egyes kísérleteknél 4 különböző kémiai összetételű anyagot helyeztünk el úgy, mint márványkocka, mészkő – a mész agresszív CO₂ kimutatására, szeg (Fe- a fémagresszív CO₂ kimutatására), fémlap (korrózióálló bádoglemez – az oldóképesség összehasonlítására). A márványból kísérletenként 3-3 db 2cm oldalhosszúságú kockákat helyeztünk ki, melyek átlagos tömege 20,96±1,03g volt.

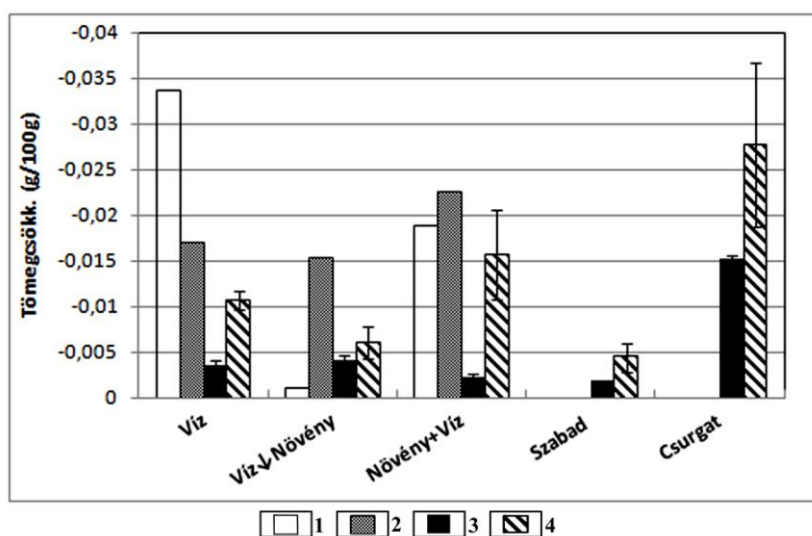
A Totes-Gebirge hegységből származó mészkőből szabályos kockákat nem tudtunk kialakítani a kőzet töredezettsége, morzsalékossága miatt, ezért 5-5 db, átlagosan 5,02±0,45 g tömegű mészkődarabot

helyeztünk el a 4. kísérlet kivételével. A Szabad felszínen elhelyezett mészkő esetében a felületnagyságtól függő oldódás mértékére különböző tömegű köveket helyeztünk ki összesen 18 db-ot melyek tömege 0,79g-8,78g között változott. A kövek tömegének átlaga 4,91g volt. A vas korrozív oldódásának vizsgálatára 1-1 szeg került az első 3 modellrendszerbe, illetve a korrózióknak ellenálló bádoglemezből 9,85±0,05 g tömegű, 3*3cm-es négyzet alakú fémlapból is 1-1 db.

Az oldódás mértékét 20-30 naponta mértük, 2013. május 29-ig. A tömegcsökkenés méréshez a mintákat folyó vízzel leöblítettük, szobahőmérsékleten 12 óráig előszárítottuk, majd 60 °C-on szárítószekrényben súlyállandóságig tovább szárítottuk (kb. 6 óra) és analitikai pontossággal mértük (Sartorius H51). Az eredményeket varianciaanalízissel és Paerson-féle korreláció analízissel értékeltük.

Eredmények

A különböző anyagok, szeg, fémlap, márvány és mészkő oldódása, jelentős eltérést mutatott a kísérleti időszakban (3. ábra). A legkisebb tömegvesztés a szabad felszínen elhelyezett „tablettáknál” volt, míg a törpefenő alatt intenzív oldódást tapasztaltunk. A víz minden esetben növelte a tömegcsökkenést, különösen akkor, ha áramlott.



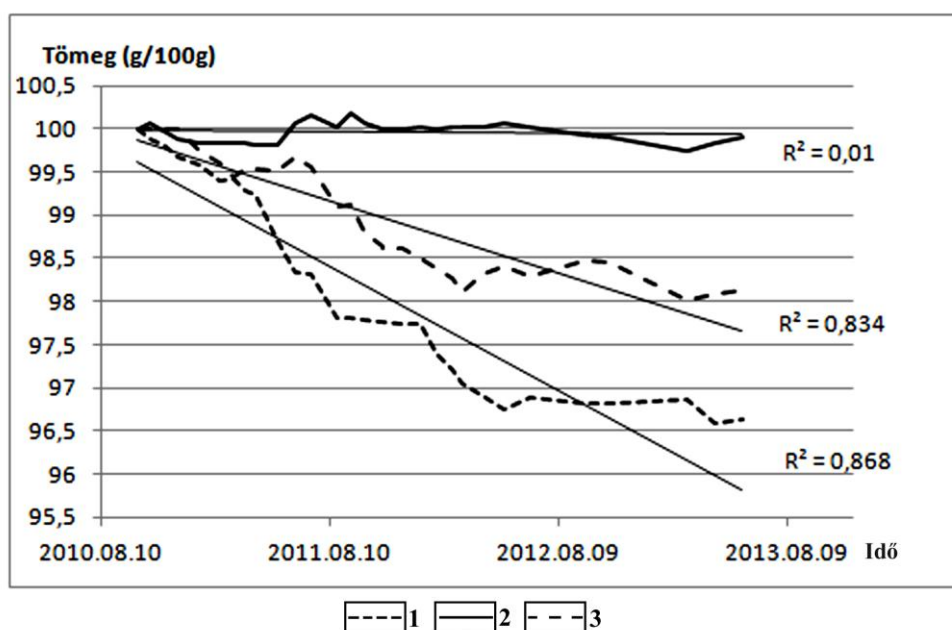
3. ábra Tömegcsökkenés mértéke a kísérleti időszakban (2,5 év)

Jelmagyarázat: 1: szeg; 2: fémlap; 3: márvány; 4: mészkő

Fig. 3. Weight loss of the limestone tablets during the experimental period

Legends: 1: nail; 2: metal; 3: marble; 4: limestone

A vas tömegének csökkenése elsősorban a folyamatos vízborításnál ment végbe (4. ábra). A folyamatosan vízzel borított szeg éves tömegcsökkenése 13,5 mg/100g, míg a víz elvezetését biztosító Víz↓Növény rendszer esetében ez az érték 0,42 mg/100g. Tehát a tömegcsökkenés mértéke 30-szoros volt a törpefenyő alatt elhelyezett mintában a víz szabad mozgását biztosító rendszerhez képest. A törpefenyő alatt a vízáramlás korlátozása mellett (Növény+Víz), is csak közel kétszeres volt a szeg tömegcsökkenése a Víz↓Növény kísérlethez képest. A hatás elsősorban a folyamatosan jelen lévő víz, és a benne oldott CO₂ korrozív hatásának volt köszönhető.



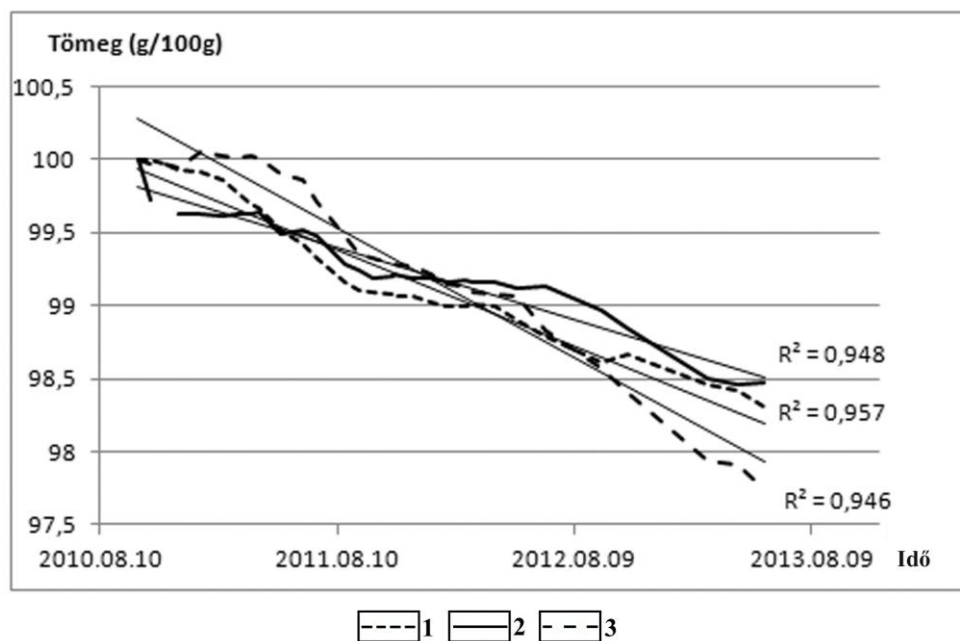
4. ábra A vas tömegváltozása a kísérleti időszakban

Jelmagyarázat: 1: Víz - csapadékvíz megtartásával; 2: Víz↓Növény- törpefenyő alatt a csapadékvíz szabad elfolyásával; 3: Növény+Víz - Növény alatt a csapadékvíz megtartásával

Fig. 4. Weight change of the iron during the experimental period

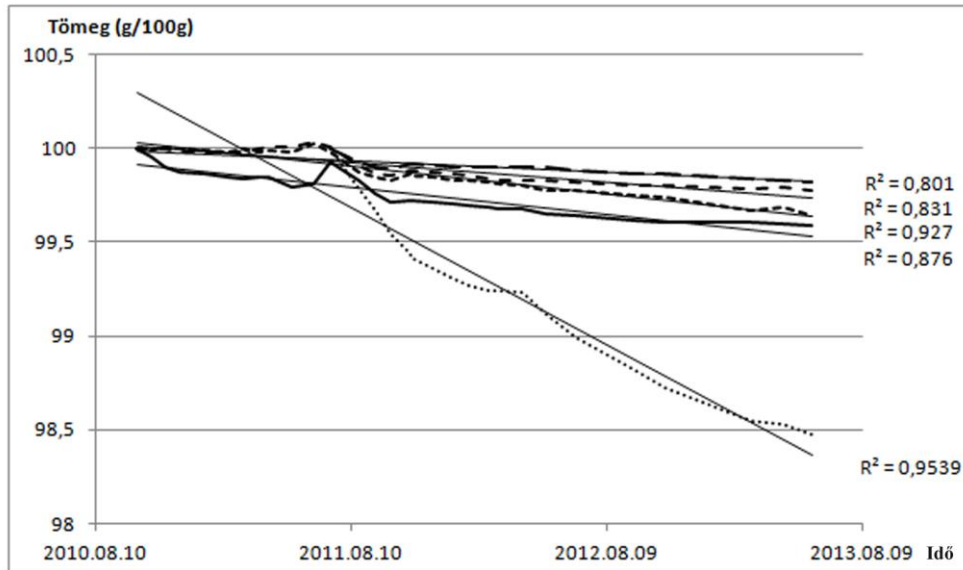
Legends: 1: Water - the tablets in constant water; 2: Water↓Plant - the tablets under Pinus mugo free water drainage; 3: Plant+Water - the tablets under Pinus mugo in constant water

A korrózióálló fémlap tömeg csökkenésének mértéke nem tért el jelentősen a különböző modellrendszerekben (5. ábra). Makroszkóposan vizsgálva a lemez nem sérült a két és fél éves vizsgálati periódus alatt, annak ellenére sem, hogy a tömege átlagosan 2%-al csökkent.



5. ábra A fémlap tömegváltozása a kísérleti időszakban
 Jelmagyarázat: 1: Víz - csapadékvíz megtartásával; 2: Víz↓Növény- törpefenyő alatt a csapadékvíz szabad elfolyásával; 3: Növény+Víz - Növény alatt a csapadékvíz megtartásával
 Fig. 5. Weight change of the metal plate during the experimental period
 Legends: 1: Water - the tablets in constant water; 2: Water↓Plant - the tablets under Pinus mugo free water drainage; 3: Plant+Water - the tablets under Pinus mugo in constant water

A kísérletekben klasszikusan alkalmazott márványkocka oldódása nagyon kismértékű volt. Az esetek többségében nem érte el a 0,5%-ot (6. ábra). A márványkocka felülete láthatóan nem változott (1. kép). Az oldódásban természetesen itt is a víz elborítás időtartama az egyik legfontosabb tényező, hiszen a szabadon elhelyezett, csak csapadékot kapó, tehát vízzel időszakosan érintkező kockák tömegcsökkenése volt a legkisebb, és ehhez képeset a folyamatos vízborítás a közel kétszeresére növelte az oldódást. A növényzet jelenléte minden esetben hozzájárult az oldó hatás növekedéséhez. Azonban az oldódás intenzitás növekedéséhez a vízáramlás is hozzájárul: szabad vízáramlás (Víz↓Növény) esetén 1,83-szoros tömegcsökkenést tapasztaltunk, a víz áramlásának a gátlásával (Növény+Víz) kialakított rendszerhez képest, mivel itt a kockákhoz friss oldóképes víz érkezik. Ez egyben azt is jelenti, hogy a lejtős területeken a törpefenyő alatt intenzívebb oldó hatás várható, mint a vízszintes területeken.



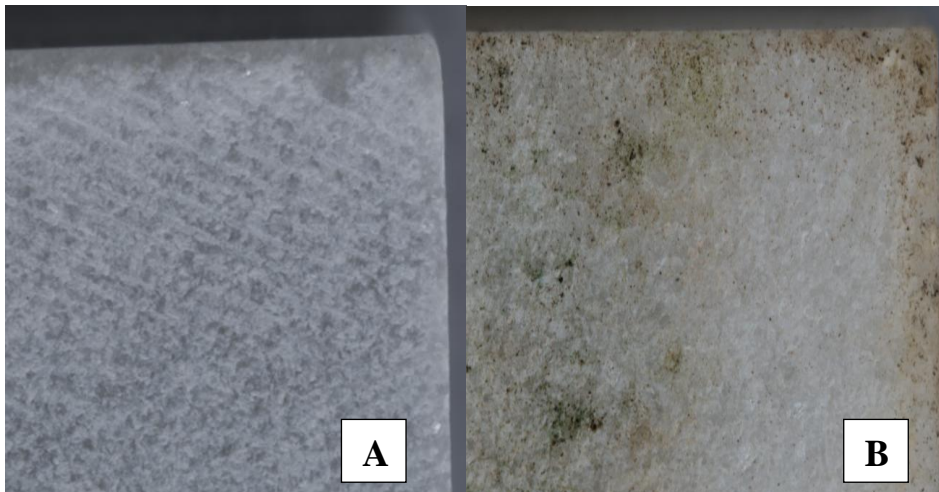
---1 —2 -.-3 -.-45

6. ábra A márvány tömegváltozása a kísérleti időszakban

Jelmagyarázat: 1: Víz - csapadékvíz megtartásával; 2: Víz\Növény- törpefenyő alatt a csapadékvíz szabad elfolyásával; 3: Növény+Víz - Növény alatt a csapadékvíz megtartásával; 4: Szabad - a tabletták vízelborítás nélküli felszínén 5: Csurgat - Törpefenyő + napi 1 óra folyamatos vízáramlás akváriumi szivattyúval a talaj felületre

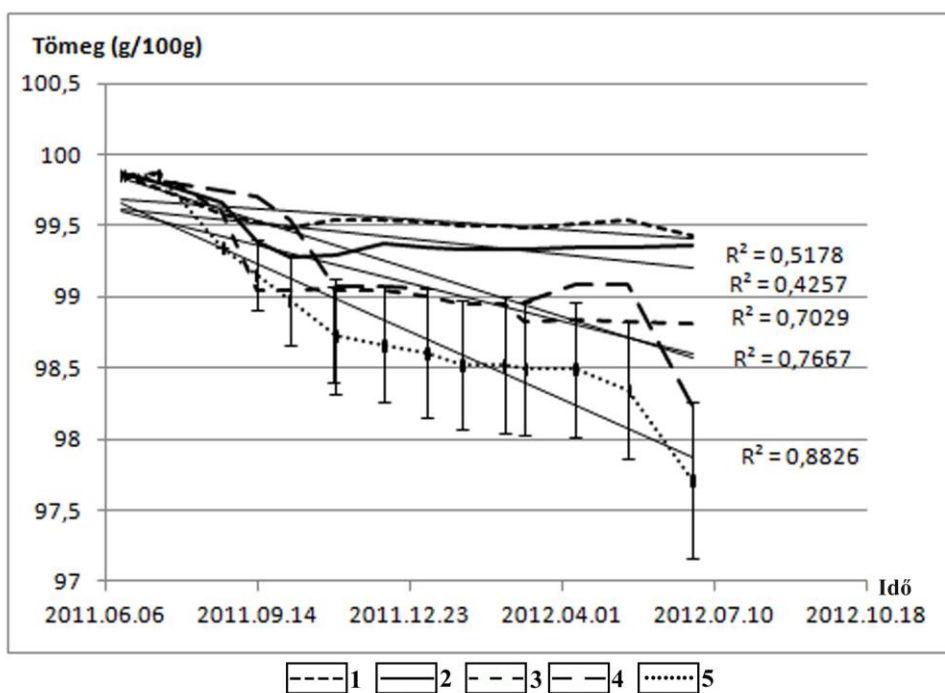
Fig 6. Weight change of the marble during the experimental period

Legends: 1: Water - the tablets in constant water; 2: Water\Plant - the tablets under Pinus mugo free water drainage; 3: Plant+Water - the tablets under Pinus mugo in constant water; 4: Free - the tablets on the free surface; 5: Flowing - the tablets under Pinus mugo + 1 hour irrigation with aquarium pump



1. kép Márványkocka felülete kihelyezéskor (A) és 12 hónap után (B) Víz\Növény kísérletben
Picture 1: the surface of the marble tablet at the beginning of the experiment (A) and after 12 months (B) in a Water\Plant experiment

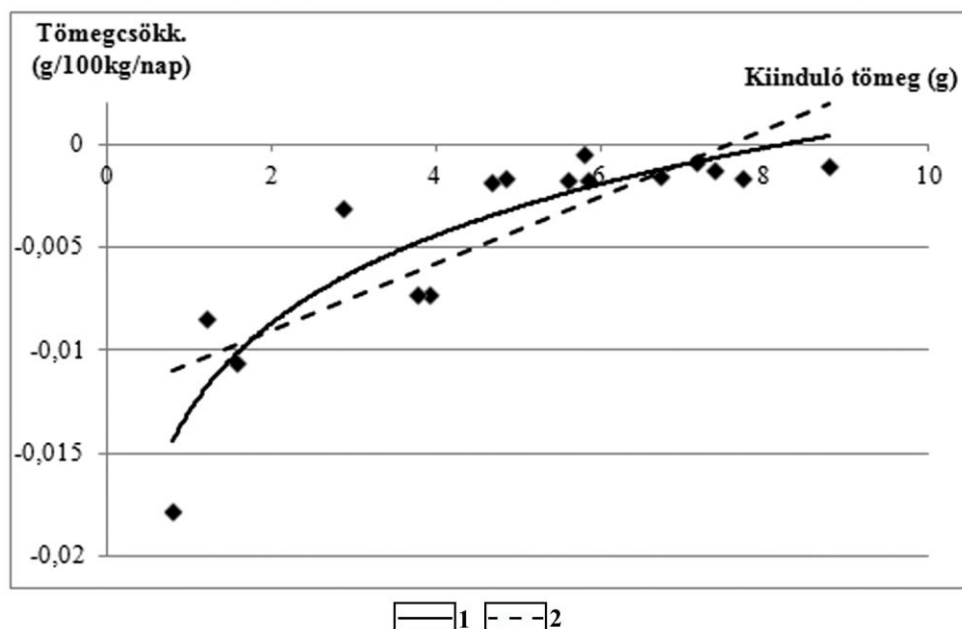
A mészkő „tabletták” oldódása hasonló a márványéhoz azonban jelentősen nagyobb mértékű, ezért rövidebb vizsgálati periódusok is mérhető különbségeket mutathatnak. A mészkő darabok már 1 év után néhány esetben töredezték vagy nagyobb darabok leválása volt megfigyelhető. Az 7. ábrán bemutatott 1 éves vizsgálati időszak alatt 0,6-2,2% közötti tömegcsökkenést kaptunk, ami a márvány kockáknál 2,5 év alatt alakult ki. A mészkő alkalmazása a tabletták módszer esetében azonban metodikai problémákat vet fel. A kristályszerkezet, a mészkő gyors aprózódása és az ennek következtében fellépő felület növekedés következtében az oldódás mértéke jelentős eltéréseket mutat a különböző tablettákon, ahogy ez az 7. ábra Csurgat kezelésben látható. A szórás értékek meghaladják az általánosan elfogadható 10%-os mértéket.



7. ábra A mészkő tömegváltozása a 1 éves kísérleti időszakban
 Jelmagyarázat: 1: Víz - csapadékvíz megtartásával; 2: Víz\Növény- törpefenyő alatt a csapadékvíz szabad elfolyásával; 3: Növény+Víz - Növény alatt a csapadékvíz megtartásával; 4: Szabad - a tabletták vízelborítás nélküli felszínén 5: Csurgat - Törpefenyő + napi 1 óra folyamatos vízáramlás akváriumi szivattyúval a talaj felületre

Fig 7. Weight change of the limestone during the one-year experimental period
 Legends: 1: Water - the tablets in constant water; 2: Water\Plant - the tablets under Pinus mugo free water drainage; 3: Plant+Water - the tablets under Pinus mugo in constant water; 4: Free - the tablets on the free surface; 5: Flowing - the tablets under Pinus mugo + 1 hour irrigation with aquarium pump

Az oldódás mértéke függ felszíni formák alakjától, a kialakuló felület nagyságától (SMART-WHITAKER 1996). A nem szabályos négyzet alakú mészkő „tabletták” tömegének csökkenése egyúttal a felület növekedését is jelentette. Az oldódás mértéke szoros exponenciális összefüggést mutatott a tabletták tömegének változásával (8. ábra) a 2,5 éves Szabad felszínen végzett vizsgálati rendszerben. A kisebb kiindulási tömeg szignifikánsan nagyobb tömegvesztést okozott.



8. ábra. A mészkő tömegváltozásának függése a kiindulási mérettől

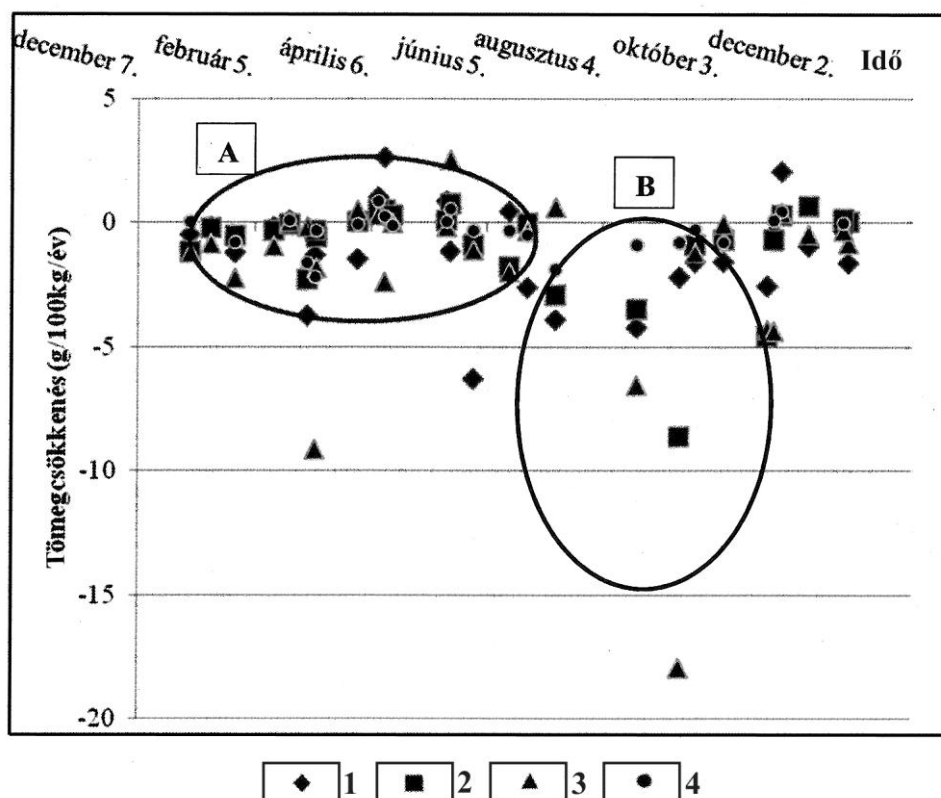
Jelmagyarázat: 1: Log (g/100kg/nap), $y=0,0061\ln(x)-0,0129$, $R^2=0,8223$; 2: Lin. (g/100kg/nap), $y=0,0016x-0,0123$, $R^2=0,673$

Fig. 8. Change in the weight of the limestone depending on the initial mass

Legends: 1: Log (g/100kg/day), $y=0,0061\ln(x)-0,0129$, $R^2=0,8223$; 2: Lin. (g/100kg/day), $y=0,0016x-0,0123$, $R^2=0,673$

A mészkő tabletták tömegcsökkenésének évszakos változását a 9. ábra szemlélteti. A hőmérséklet növekedése közvetlenül nem okozhatta a beoldott anyag mennyiségének és így súlyvesztésnek a növekedését. Magasabb hőmérsékleten az oldódás intenzitása ugyan nő, viszont az oldatban tarthatóság csökken, miután az oldat egyensúlyi CO₂ hiánya nő. Az oldatban tarthatósághoz az agresszív CO₂ az egyensúlyi CO₂ mennyiségét növeli, ami az oldóképesség csökkenésével jár. A nyári hőmérséklet növekedése inkább a növényzet életműködéseit befolyásolta, intenzív hajtás és gyökérvégződés volt megfigyelhető. Ezért lehetett a rövid nyári

vegetációs időszakban időjárástól függően május/júniustól októberig intenzív az oldódás (9. ábra), melynek intenzitását a növényzet anyagcsere termékei (pl. szerves savak, cseranyagok) is növelik (SKRIBANEK *et al.* 2012). A téli (október–május) időszakban gyakorlatilag stagnált a mészkő tabletták tömege, esetenként akár növekedett is. DREYBROT *et al.* (1992) szerint a tabletták átmeneti vagy tartós tömegnövekedésének oka kísérletükben a kicsapódó kalcit lehet.



9. ábra A mészkő tömegcsökkenésének évszakos változása

Jelmagyarázat: 1: $Víz$ - csapadékvíz megtartásával; 2: $Víz \setminus Növény$ - törpefenyő alatt a csapadékvíz szabad elfolyásával; 3: $Növény + Víz$ - Növény alatt a csapadékvíz megtartásával; 4: Szabad - a tabletták vízelborítás nélküli felszínén; A: Téli időszak; B: Nyári időszak

Fig. 9. Change in the weight loss of the limestone tablet depending on the season

Legends: 1: Water - the tablets in constant water; 2: Water \setminus Plant - the tablets under Pinus mugo free water drainage; 3: Plant + Water - the tablets under Pinus mugo in constant water; 4: Free - the tablets on the free surface; A: Winter period ; B: Summer period

A különböző modellrendszerekben kapott eredmények alapján végzett összefüggés vizsgálat, azt mutatja, hogy a márvány és mészkő „tabletták” oldódás viszonyai gyenge/közepes korrelációt mutatnak

egymással, ezért a két különböző anyag alkalmazása egyaránt megfelelő eredményeket adhat, míg a vas és bádoglemez alkalmazása nem adott elegendő információt a karros oldódás vizsgálatához (I. táblázat).

I. táblázat
Table 1.

A modell hatások korreláció vizsgálata
The correlation analysis of the model influences

	márvány VÍZ	márvány VÍZ↓NÖVÉNY	márvány NÖVÉNY+VÍZ	mészke VÍZ	mészke VÍZ↓NÖVÉNY	mészke NÖVÉNY+VÍZ	mészke SZABAD
márvány VÍZ	1,00						
márvány VÍZ↓NÖVÉNY	0,39	1,00					
márvány NÖVÉNY+VÍZ	0,75	0,53	1,00				
mészke VÍZ	0,75	0,42	0,70	1,00			
mészke VÍZ↓NÖVÉNY	0,46	0,51	0,58	0,45	1,00		
mészke NÖVÉNY+VÍZ	0,11	0,32	0,51	0,18	0,77	1,00	
mészke SZABAD	0,51	0,36	0,63	0,58	0,45	0,37	1,00
mészke CSURGAT	0,32	0,30	0,30	0,32	0,36	0,13	0,37

Jelmagyarázat: Összefüggés szorossága $P=1\%$ ha $r>0,64$; $P=5\%$ ha $r>0,51$; Víz: csapadékvíz megtartásával; Víz↓Növény: törpefenyő alatt a csapadékvíz szabad elfolyásával; Növény+Víz: Növény alatt a csapadékvíz megtartásával; Szabad: csapadékvíz szabad elfolyással; Csurgat: Törpefenyő + napi 1 óra folyamatos vízáramlás
Legends: Correlation $P=1\%$ if $r>0,64$; $P=5\%$ if $r>0,51$; Water: the tablets in constant water; Water↓Plant: the tablets under *Pinus mugo* free water drainage; Plant+Water: the tablets under *Pinus mugo* in constant water; Free: the tablets on the free surface; Flowing: the tablets under *Pinus mugo* + 1 hour irrigation with aquarium pump;

Következtetések

A márvány tabletták oldódása minden kísérletben nagyon jó ismételtelőséggel volt vizsgálható. A különböző anyagi minőségű „tabletták” oldódása között nem volt kimutatható korreláció, kivétel a márvány és mészke esetében. A márvány tabletták alkalmazása metodikai előnyt jelent, mivel nem áll fenn az aprózódás veszélye, még hosszabb időszak alatt sem, ami rontja a kísérlet pontosságát. A mészke tabletták alkalmazása azonban jelentősen csökkentheti a mérési időszak hosszát,

mivel jelentősen intenzívebb az oldódás, de a nagy szórás miatt nagyobb mintaszám alkalmazása indokolt. Az oldódás intenzitása szezonális volt, a nyári: június és október hónapok között intenzívebb, a növényzet hatásainak következtében (pl.: szerves savak, légzési CO₂ a talajban), azonban a csapadék és hőmérsékleti viszonyok jelentősen befolyásolták, azaz a szárazabb időszakokban mérsékeltebb, mint a nedves időszakban. Az alacsonyabb hőmérsékletű téli-tavaszi (október-május között) időszakban az oldódás stagnált.

A vízelborítás időtartama alapvetően növelte az oldódás intenzitását, azonban a törpefenyő alatt vízben álló kövek és a törpefenyő nélkül vízben álló kövek között nem volt szignifikáns különbség kimutatható a márvány tabletták tömegcsökkenésében. A törpefenyő alatt a víz áramlásának biztosításával azonban nőtt az oldódás, a vízáramlás nélküli rendszerhez képest, ami alátámasztja a törpefenyős lejtők alatt tapasztalt intenzívebb oldódást (VERESS 2012). Jelentősen nagyobb oldó hatást fejtett ki a márványkockákra a növényzet, ha még rendszeresen és intenzíven öntöztük csapadékvízzel ezt a rendszert, így a tömegcsökkenés akár 30-szorosára is növekedett.

IRODALOM

- BÖGLI, A. (1961): Karrentische, ein Beitrag zur Karstmorphologie – Zeit. f. Geomorph. 5. p. 185-193.
- DREYBRODT, W.- BUHMANN, D.- MICHAELIS, J.- USDOWSKI, E. (1992): Geochemically controlled calcite precipitation by CO₂ outgassing: Field measurements of precipitation rates in comparison to theoretical predictions, – Chemical Geology, 97, (3–4), pp 285–294.
- GINÉS, A. (1996): An Enviromental approach to the typology of karren landform assemblages in a Mediterranean mid-mountain karst: the Serra de Tramuntana, Mallorca, Spain – In: FORNÓS, J. J. - GINÉS Á. (szerk): Karren Landforms, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca pp. 163-176.
- LIU Z. – YUAN D. – HE S. (1999): Contribution of Carbonate Rock Weathering to the to Atmospheric CO₂ Sink – Environmental Geology, 39 (9) pp. 1053-1058.
- NEWSON, M. D. (1970): Studies in chemical and mechanical erosion by streams in limestone terrains – PhD thesis, University of Bristol
- PLAN, L. (2005): Factors controlling carbonate dissolution rates quantified in a field test in the Austrian alps, Geomorphology, 68 (3–4) pp. 201–212.

- SKRIBANEK, A. – DEÁK, GY. – VERESS, M.* (2012): Effect of *Pinus mugo* vegetation on karren dissolution – *Zeitschrift für Geomorphologie*, 56, (2) pp. 143–157.
- SMART, P. L. – WHITAKER, F. F.* (1996): Development of karren landform assemblages - a case study from Son Marc, Mallorca – In: *FORNÓS, J. J. – GINÉS, Á.* (szerk.): *Karren Landforms* Universitat de les Belears, Palma de Mallorca pp. 111-122.,
- SWEETING, M. M.* (1966): The weathering of limestones – In: *DURY, G. H.* (editor): *Essays in Geomorphology*, Heineman, London pp. 177-210.
- TRUDGILL, S. T.* (1975): Measurement of erosional weight – loss of rock tablets – British Geomorphological Research Group, Technical Bulletin, 17. pp. 13-19.
- TRUDGILL, S. T.* (1985): *Limestone geomorphology* - Longman, New York 196. p.
- URUSHIBARA, K. – YOSHINO, F. – MIOTKE D.* (1999) Solution Rate of Limestone in Japan – *Phys. Chem. Earth*, 24, (10) pp. 899-903
- VERESS M.* (2010): *Karst Environments – Karren Formation in High Mountains* – Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 230 p.
- VERESS, M.* (2012): Morphology and Solution Relationships of three Karren Slopes in different Environments (Totes Gebirge, Eastern Alps) – *Zeitschrift für Geomorphologie*, 56, (2) pp. 47-62
- ZÁMBÓ L. – TELBISZ T.* (2000): A mikrobiális befolyásoltágú karsztkorrózió vizsgálata magyarországi karsztok talajaiból származó kismintákon – *Karsztfelődés V.* pp. 21-39.
- ZHANG C.* (2011): Carbonate rock dissolution rates in different landuses and their carbon sink effect – *Chinese Science Bulletin*, 56 (35) pp. 3759-3765
- ZHONGCHENG, J. – DAOXIAN, Y.* (1999): CO₂ source-sink in karst processes in karst areas of China – *Episodes*, 22. (1) pp. 33-35.