

## SZÉNDIOXID PRODUKCIÓ MÉRÉSE MAGASHEGYSÉGI TERÜLETEKEN

<sup>1</sup>SKRIBANEK ANNA, <sup>2</sup>DEÁK GYÖRGY, <sup>3</sup>VERESS MÁRTON

<sup>1</sup>Nyugat-Magyarországi Egyetem, Természettudományi Kar, Biológiai  
Intézet, 9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.

<sup>3</sup>Nyugat-Magyarországi Egyetem, Természettudományi Kar, Földrajzi és  
Környezetvédelmi Intézet, 9700 Szombathely, Károlyi G. tér 4.

<sup>1</sup>[sanna@tk.nyme.hu](mailto:sanna@tk.nyme.hu),

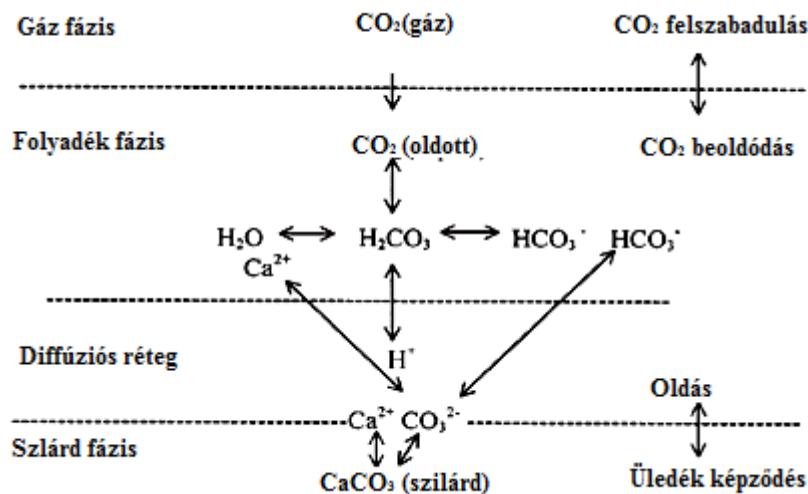
*Abstract: Soil CO<sub>2</sub> content in summer and snow CO<sub>2</sub> content in winter of areas with different vegetation coverings was investigated in alpine terrains (Totes Gebirge). Dissolution of limestone was compared on slopes with vegetation patches (grass or dwarf pine) and on bare slopes. Dissolution intensity was also studied on a model system. CO<sub>2</sub> measurements were performed using an infrared gas analyzer. Amount and role of tannin and organic acids in the dissolution process was also investigated. CO<sub>2</sub> content of the soil was found higher under vegetation patches because of the degradation of organic materials. It was highest under grass patches, followed by dwarf bushes, dwarf pines with grass undergrowth and it was the lowest under dwarf pines. The CO<sub>2</sub> content of the soil with no vegetation was not significantly lower than that under dwarf pines. Dissolution of marble tablets was greater on the free surface, than under the grass slope, the lowest under the slope of dwarf pine. The dissolution rate depends from the vegetation and the presence of flowing water.*

### 1. Bevezetés

A mészkőfelszínek pusztulásában a korróziós folyamatok a meghatározók. Az oldódás folyamatáért jelentős részben a vízben oldódó CO<sub>2</sub> a felelős (1. ábra) a karros térszíneken. Az oldódás intenzitása számos tényezőtől függ, így pl. a tengerszint feletti magasságtól, a lejtőszögtől, a növényzettől és a talajtól (GINES 1996, VERESS 2010).

A karros formákban végbement oldódást SWEETING (1966), THOMAS (1970), HIGH-HANNA (1970), ZÁMBÓ-TELBISZ (2000), HOBLEA et al. (2001) határozták meg a felszín leoldódási sebességének mérésével. BÖGLI (1961) fedetlen mészkövön 0,015mm/év lepusztulást számított, SWEETING (1966) 1500-2500 mm évi csapadék mellett 0,004-0,004 mm/év leoldódást mért. Extrém nagy csapadékú területen a talaj nélküli fedetlen térszíneken is nagyobb lesz az oldódás, ahol a csapadék elérheti a 8000 mm/év mennyiséget, 0,06-0,09 mm/év a sebessége (HOBLEA et al. (2001). Fedett karros formákban (rinnekben) a leoldódás jelentősen nagyobb, tőzeg alatt így 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.



1. ábra. A karros oldódás dinamikus modellje (ZHONGCHENG AND DAOXIAN, 1999)  
 Fig. 1. Conceptual model of karst dynamic system (ZHONGCHENG AND DAOXIAN, 1999)

A talaj hatását a karrosodásra a talaj alatti karrformák jellemzését és osztályozását SZUNYOGH (1999), ZSENI (2004, 2009), SLABE (2009) mutatták be. Megállapították, hogy a talajnak közvetlen hatása van a formák kialakulására. A különböző talajok CO<sub>2</sub> produkcióját és a talaj alatti oldódást WILLIAMS (1966), JONES (1965), CURTIS *et al.* (1976) mérte. Megállapították, hogy az oldódás mértéke függ a talaj nedvesség-tartalmától, a hőmérséklettől és a biológiai aktivitástól.

Az oldódás intenzitásának közvetlen mérésére a mészkőtablettás módszer alkalmas (TRUDGILL, 1975, 1976, 1983). Különböző környezetekben (talajban, talajfelszínen és levegőben) elhelyezett tabletták tömegvesztése alapján a korrózió a levegőben kisebb, mint a talajban ill., a talaj felszínén (JENNINGS, 2000), LIU (2000). A talajban az oldódás mértéke 1,5-5-szöröse a levegőben mérhetőnek (URUSHIBARA *et al.* 1999). A standard tabletták tömegcsökkenése 0,8-1,8% közötti a különböző típusú karszt területeken (KASHIMA, 1996). A növekvő CO<sub>2</sub> koncentráció növeli az oldódást, azonban a tabletták oldódása nem a CO<sub>2</sub> abszolút koncentrációjától, hanem a CO<sub>2</sub> aktivitásától függ. A talajok CO<sub>2</sub>-tartalma szezonális és klimatikus hatásoktól függ, a CO<sub>2</sub> nyáron a talajból a légkörbe és a karbonátos kőzetekbe jut, télen viszont csak a talajból a légkörbe történő diffúziót figyelték meg (LIU, 2000). Japánban örökzöld növényzetű környezetben MARIKO *et al.* (1994) a talajban nyáron és a hóban télen is

mérte a CO<sub>2</sub> effluxot, mindkét időszakban pozitív mérleget tapasztalt, mely télen 20-50, míg nyáron 350-450 mgCO<sub>2</sub>m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> közötti. A talaj levegő CO<sub>2</sub> tartalma évszakos ingadozást mutat, legkisebb februárban és legnagyobb május és november között, augusztusban akár a 10-12 000 mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> értéket is elérheti. A mért adatokkal közvetetten a növényzetnek és a talajnak a karrosodásban betöltött szerepére lehetett következtetni.

A korrózió mértékét 3 különböző típusú karrterületen vizsgáltuk, melyeken a fajlagos leoldódás, az átlagos fajlagos leoldódás, a fajlagos vályúkeresztmetszet-terület, a fajlagos vályúalak és a sűrűség alapján VERESS (2012) következő megállapításokat tette: A lejtők karrosodásának intenzitása, ha van növényfolt, akkor attól távolodva csökken. Ha nincs növényfolt, a lejtő felső peremétől távolodva növekszik. A legintenzívebb karrosodást a törpefenyőfoltos lejtő alatti csupasz lejtőrész mutatta.

Problémafelvetés:

- Az oldódás közvetlen vizsgálata fedetlen és fedett karsztokon (törpefenyős és gyepek), a fenti megállapítások igazolására.
- A növényzet oldódásban betöltött szerepének tisztázása.

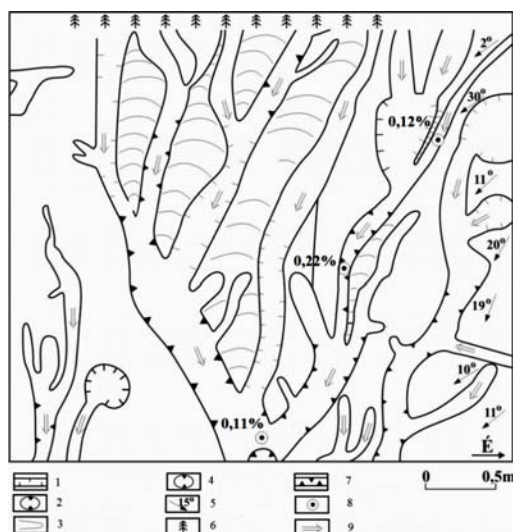
## 2. Anyag és módszer

### 2.1. Vizsgálati helyszínek

A vizsgálati helyszín (1/9/XIX jelű) a Tragl-csúcs alatti gleccservölgy (Totes Gebirge) D-i végénél 1800-1900 m-es magasságok között van a völgytalp a réteglépcsőinek egyik réteglapján (2. a. ábra). A törpefenyővel szegélyezett helyszín 10,41 m<sup>2</sup> kiterjedésű lejtőrész (1/9/XIX/1 jelű) K-i irányba dől 10-20° dőléssel (2. b. ábra). A gyepvel szegélyezett helyszín 35,42 m<sup>2</sup> kiterjedésű lejtőrész (1/9/XIX/2 jelű) DK-re dől, dőlésszöge mintegy 5-20° (2. c. ábra). A csupasz helyszín 17,17m<sup>2</sup> kiterjedésű lejtőrész (1/XIX/3 jelű) D, DK-i irányba dől 10-20°-os dőléssel.

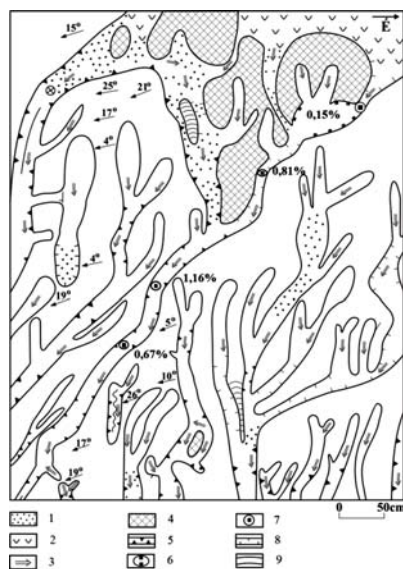
A talaj CO<sub>2</sub> tartalmának mérésére a 3 mintaterületet és a közelében található különböző növényzettel borított területeket választottunk.

A hó CO<sub>2</sub> tartalmának mérését a Rax-Alpokban (47°43'09,71", 15°46'18,67", 1594 m) az előzőekben leírt mintaterületekhez hasonló környezetekben végeztük. (Két különböző típusú helyszínen mértünk: törpefenyővel borított területen közvetlenül a törpefenyő foltban, és szabad sziklafelszínen, a felszíntől lefelé haladva 10-20 cm-enként 5-5 ismétlésben.



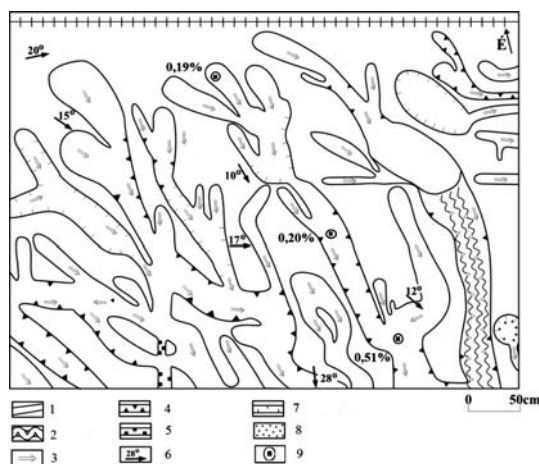
2. a ábra A márvány tabletták relatív tömegcsökkenése a (1/9/XIX/1 jelű) törpefenyős területen  
Jelmagyarázat: 1. B típusú mellékvályú, 2. Talpi madáritató, 3. A típusú vályú, 4. Vályútalpi kürtő, 5. Lejtésirány és lejtőszög, 6. Törpefenyő, 7. B típusú fővályú, 8. Márvány, 9. Vályútalpi dőlésének iránya

Fig. 2a. Relative mass loss of the marble tablets (marked 1/9/XIX/1) on the *Pinus mugo* area  
Legend: 1. type B tributary channel, 2. channel bottom kamenitza, 3. type A channel, 4. vályútalpi kürtő, 5. dip direction and dip angle, 6. *Pinus mugo*, 7. type B channel, 9. the direction of dip of the channel floor,



2.b. ábra A márvány tabletták relatív tömegcsökkenése a (1/9/XIX/2 jelű) gyepes területen  
Jelmagyarázat: 1. Talaj, 2. Növényzet, 3. Vályútalpi dőlésének iránya, 4. Maradvány térszín, 5. B típusú fővályú, 6. Talpi medence, 7. Márvány, 8. B típusú mellékvályú 9. A típusú vályú

Fig. 2b. Relative mass loss of the marble tablets (marked 1/9/XIX/2) on the grass area  
Legend: 1. soil, 2. plants, 3. direction of dip of channel, 4. lag surface, 5. type B channel, 6. floor basin, 7. marble, 8. type B tributary channel, 9. type A channel,



2.c. ábra A márvány tabletták relatív tömegcsökkenése a (1/9/XIX/3 jelű) szabad sziklafelszínen  
 Jelmagyarázat: 1. A típusú vályú, 2. Meanderező belső (talpi) II. típusú vályú 3. Vályútalp dőlésének  
 iránya, 4. B típusú fővályú, 5. Hasadék, 6. Felszín dőlésiránya és dőlésszöge, 7. B típusú mellékvályú 8.  
 Talaj és növényzet, 9. Márvány

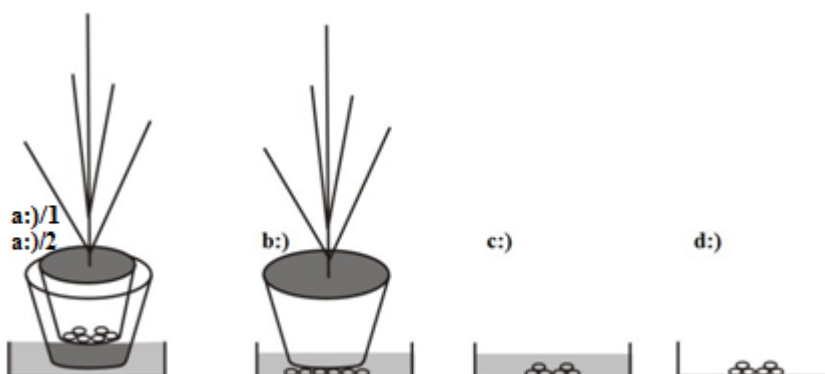
Fig. 2c. Relative mass loss of the marble tablets (marked 1/9/XIX/2) on the free surface  
 Legend: 1. type A channel, 2. meandering internal (floor) type II. channel, 3. the direction of the dip of  
 the channel floor, 4. type B main channel, 5. grike, 6. the direction of the dip of the slope, and dip  
 angle, 7. type B tributary channel, 8. soil and plant, 9. marble

### 3. Vizsgálati módszerek

Márványtabletták segítségével közvetlen korrózióvizsgálatot végeztünk a vizsgált területeken. A tablettákat 2010. 08. 07-én helyeztük ki a karrformákba, talajba, törpefenő ágaira. Minden helyszínre 3-3 márvány mintát helyeztünk ki, melyekből 1-1 db-ot gyűjtöttünk be egy év után 2011.08.06-án. A mintákat kihelyezés előtt és után is 60°C-on súlyállandóságig szárítottuk, majd analitikai pontossággal mértük. A márványkockák mérete 2x2 cm, átlagos kiindulási tömege: 18,94±0,28g volt.

Az oldódás intenzitás évszakos változását modellezett oldódás viszonyok mellett is vizsgáltuk. Mivel alapvetően a csupasz felszín és a törpefenővel fedett karrok oldódás viszonyainak tisztázása volt célunk, ezért a modellrendszerben 3 különböző törpefenős, és 2 szabad sziklafelszíni elrendezést vizsgáltunk (3. ábra). Az első három kezelés a növényzet hatásainak kimutatására szolgál.

a./1 elrendezés: a tablettákat a cserép alján a törpefenő alatt helyeztük el, a csapadékvíz a tablettákon szabadon átáramlik, az elrendezés a természetes környezethez hasonló.



3. ábra Modellkísélet elrendezés a márvány tabletták korróziójának mérésére (a:)/1 törpefenyő alatt víz elvezetésével, a:)/2 törpefenyő alatt víz elvezetésével naponta 07-08 és 19-20 óra között folyamatosan öntözve, b:) törpefenyő alatt vízben áll c:) Vízben áll, d:) szabadban áll a tablettá, a csapadékvíz szabadon távozik  
 Fig. 3. Model experiments to measure the corrosion of marble tablets (a:)/1 in the dwarf pine under water draining, a :)/2 a Pinus mugo under water draining, each day watering 07-08 and 19-20 hours , b :) under the Pinus mugo stands in the water c :) stands in the water, d :) the tablet stands on the free surface, the rain water flows away freely

a./2 elrendezés: az előzőhöz hasonló tablettá elhelyezés, de naponta 2x1 óra folyamatos csapadékvizes öntözést biztosítottunk (7-8 és 19-20 óra között). Az elrendezés a csapadékos illetve csurgalékvizes területekhez hasonló.

b. elrendezés: a tablettákat a cserép alján helyeztük el, azonban a talajon átszivárgó vízben állnak tartósan a tabletták, ez a növény alól a víz elvezetés gátlásával modellezi a növényzet alatt kialakuló oldás viszonyokat állandónak tekinthető vízborítás mellett.

c. elrendezés: növényzet nélkül nyitott edénybe helyeztük a tablettákat, ahol a tabletták folyamatosan vízben állnak. A csupasz felszínnek pl a madáritatók oldás viszonyait modelleztük így.

d. elrendezés: a tablettákat alul lyukas nyitott edénybe helyeztük, így a csapadékvíz gyorsan távozhatott a rendszerből, ezzel modelleztük a csupasz sziklafelszín, ahol csak időszakos a vízborítás.

A fenti elrendezéseket Szombathelyen szabadban helyzetük el félárnyékban (tengerszint feletti magasság 220m, középhőmérséklet: 10,54°C, csapadékösszeg: 633mm). Kezelésenként 3-3 db, átlagosan 20, 97±0,56g tömegű 2\*2cm oldalhosszúságú márvány kockát helyeztünk el és 25-30 naponta mértük vissza tömegállandóságig történő szárítás után.

A CO<sub>2</sub> mérést Viasala CARBOCAP GM70 típusú infravörös hordozható gáz analizátorral végeztük a 2011. 08.05-10. között talajban, és hóban 2012. 02. 23, 03. 22, 05.09-én. A talajból és hóból pumpás mintavevővel vettük a gázmintákat.

A hó tömörödöttségének méréséhez a hó mintákat 1l térfogatú edénybe vettük alkalmanként 5-5 db-ot.

A cseranyag tartalom meghatározását galluszsavra vonatkoztatva Folin and Ciocalteu's reagenssel határoztuk meg *SINGLETON* (1965) és *WELBURN* (1996) módszere alapján.

Protonszám meghatározását a magyar szabvány szerint végeztük (MSZ 3633-81). 5 g növényi mintát homogenizáltuk etil-alkohol/etil-éter 1:1 (v / v) elegyében. A szabad savtartalmat, 0,01 M KOH oldattal semlegesítettük fenolftalein pH indikátor jelenlétében. A sav – azaz a proton számot a következő egyenlet alapján számoltuk

$$S = (56,1 * N * V) / m$$

S = sav szám, N = KOH molaritása (0,01),

V = semlegesítésére szükséges KOH cm<sup>3</sup>-ben,

M = a minta tömege g-ban.

#### 4. Eredmények

A márvány tabletták korróziójának mértéke a felületegységre vonatkoztatott tömegcsökkenés alapján legjelentősebb a szabad sziklafelszínen, majd a gyepel borított karrformáknál és azok vályúrendszerében. Legalacsonyabb a törpefenyős lejtőkön (*I. táblázat*). A nagyobb tömegvesztés a gyep alatt a talajok magasabb CO<sub>2</sub> tartalmával függ össze (*II. táblázat*). A talajok CO<sub>2</sub> termelését jelentős mértékben a rajta kialakuló növényformációk határozzák meg. Méréseink alapján sorrendben a legjelentősebb a gyep, majd a törpecserje, törpefenyő gyep aljnövényzettel, törpefenyő társulások CO<sub>2</sub> termelése. A növényzet nélküli talaj a legalacsonyabb, de szignifikánsan nem kevesebb, mint a csak törpefenyővel borított területeké. Meg kell jegyezni, hogy a törpefenyő aljnövényzete csak nagyméretű sűrű állományok esetében hiányozhat.

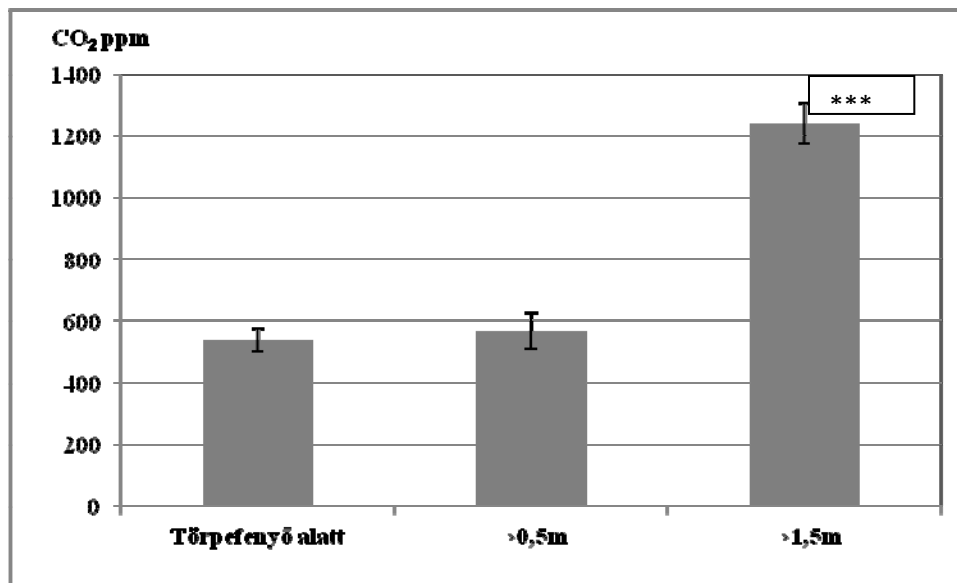
I. táblázat  
Table I.

Márvány tabletták oldódása (Anova egytényezős varianciaanalízis)  
The dissolution the marble tablets (Anova one-way analysis)

	Törpefenyő (mg/cm <sup>2</sup> )	Szabad felszín (mg/cm <sup>2</sup> )	Gyep (mg/cm <sup>2</sup> )
1	0.12	0.15	0.19
2	0.22	0.81	0.20
3	0.11	0.67	0.51
átlag	<b>0.15</b>	<b>0.55</b>	<b>0.30</b>
st. hiba	0.06	0.35	0.18
sd p=5%	SZD <sub>p=0,1%</sub> =0,24		

Különböző növényborítottság hatása a talaj CO<sub>2</sub> tartalmára (2011 augusztusában 10-14 óra között).  
Vegetation effects on the soil CO<sub>2</sub> content (10 to 14 hours in August 2011).

	Gyep (ppm)	Törpecserje (ppm)	Törpefenyő+gyep (ppm)	Törpefenyő (ppm)	Talaj (ppm)	Levegő (ppm)
Talajban (10cm)	3495	1315	1125	555	492	289
Standard hiba	874***	547	165	191	105	19



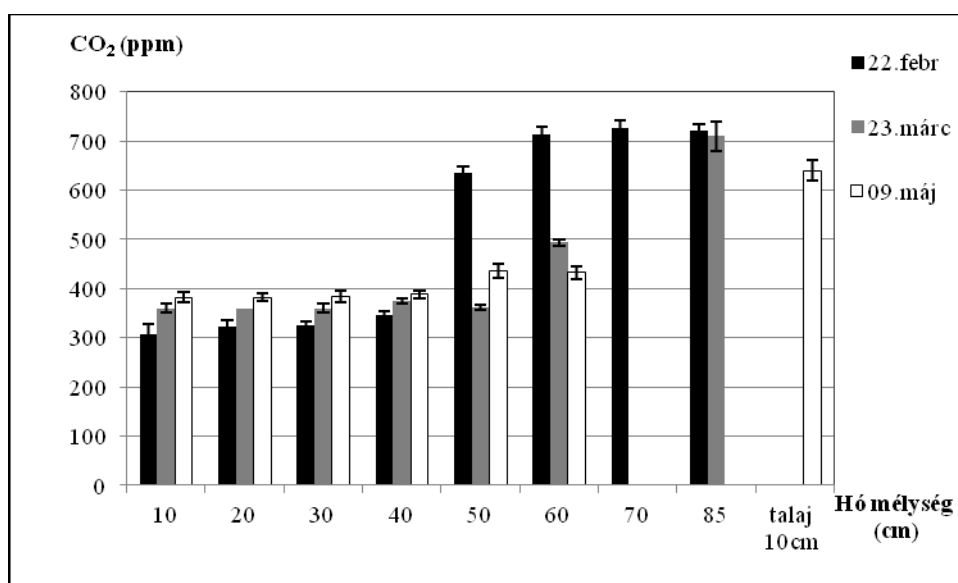
4. ábra CO<sub>2</sub> tartalom változása a talajban a törpefenyőfolttól távolodva (2011 augusztus).  
Jelmagyarázat: \*\*\* P=0,05%

Fig. 4. Changes in the CO<sub>2</sub> content in the soil away from Pinus mugo (August 2011). Legends: \*\*\* P=0,05%

A vizsgált 3 vályúrendszer fajlagos leoldásában mutatott markáns különbségek (VERESS, 2012) csak részben feleltek meg a tabletták relatív tömegcsökkenésével. E szerint a csupasz lejtőket a viszonylag nagy átlagos fajlagos leoldódás, nagy fajlagos vályúkeresztmetszet és nagy vályúsűrűség jellemzi. Törpefenyős lejtőkön a fajlagos leoldódás, de a fajlagos vályúkeresztmetszet is nagyobb, mint gyepfoltos lejtőn. Tehát törpefenyőfoltos lejtőn az oldódás intenzitása is nagyobb, mint gyepfoltos lejtőn. Ez főként a törpefenyős növényfolttól néhány méter távolságra mutatható ki. A tabletták tömegcsökkenése azonban a gyepfolt alatti vályúrendszerben volt szignifikánsan magasabb. Megvizsgáltuk a törpefenyő tövétől távolodva a CO<sub>2</sub> tartalmat a talajban, és megállapítottuk, hogy a CO<sub>2</sub> tartalom a növény tövétől távolodva nő (4. ábra), mely a



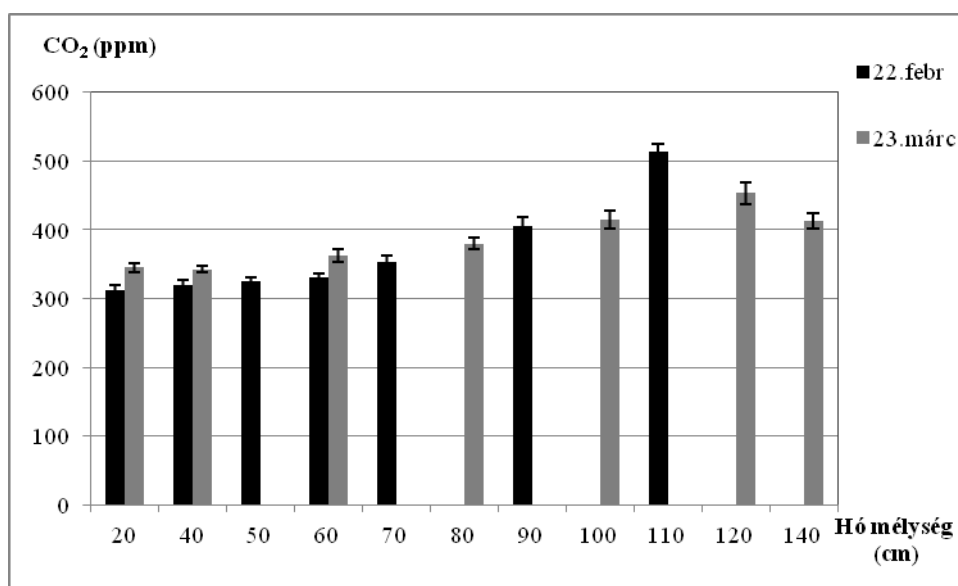
csapadékvízbe beoldódva okozhatja a mészkő oldódását. Az oldó hatást még tovább növelheti a törpefenyőről aláhulló magas cseranyag tartalmú savas hatású növénymaradványok jelenléte is, mely a következő képlet szerint vesz részt az oldásban:  $\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{CO}_3$ . A disszociáló során keletkező  $\text{HCO}_3^-$  további oldó hatást fejt ki (1. ábra). A cseranyag tartalom átlagosan 0,21mg/g nedves tömeg (st.dev.=0,023) a törpefenyő szerves „hulladékában” (toboz, szár és lehullott levelek), a protonszám pedig  $1,08 \cdot 10^{19}$ /g nedves minta (III. táblázat). A törpefenyő éves szervesanyag produkciója 10-140g/m<sup>2</sup>/év (LEIHT-WHITAKKER, 1975). Évente csak 40 g szervesanyag felszínre hullását feltételezve 0,22 g/m<sup>2</sup>/év CaCO<sub>3</sub>-t képes bontani a törpefenyő szabad H<sup>+</sup> tartalma. A reakció során felszabaduló CO<sub>2</sub>, még további korróziót eredményezhet.



5. ábra Hó CO<sub>2</sub> tartalma a törpefenyő foltban (2012)  
Fig. 5. Snow CO<sub>2</sub> content in the Pinus mugo patch (2012)

Az oldódást a téli időszakban a hóban felhalmozódó CO<sub>2</sub> is növelheti. A tél közepén a laza szerkezetű (0,51 g/cm<sup>3</sup>) hóban jól megfigyelhető a CO<sub>2</sub> tartalom mélység szerinti rétegzettség. A talaj közelében törpefenyő alatt jelentősen magasabb koncentrációkat mértünk, mint a felszínen, míg a csupasz sziklafelszín felett ez nem volt megfigyelhető (5 és 6. ábra). A tél végén az olvadás következtében a hó szerkezetének megváltozásával, egyúttal tömörödöttségének (0,74 g/cm<sup>3</sup>)

növekedésével vertikálisan kiegyenlítettebbé válik a CO<sub>2</sub> koncentráció. (A szabad sziklafelszínen már nem volt hó.) A téli időszakban tehát a növényzet oldó hatása a hóban tárolt és beoldódó CO<sub>2</sub> által érvényesülhet, még akkor is ha az alacsony hőmérséklet mellett oldódási reakció sebessége is lassabb, mint magasabb hőmérsékletnél.



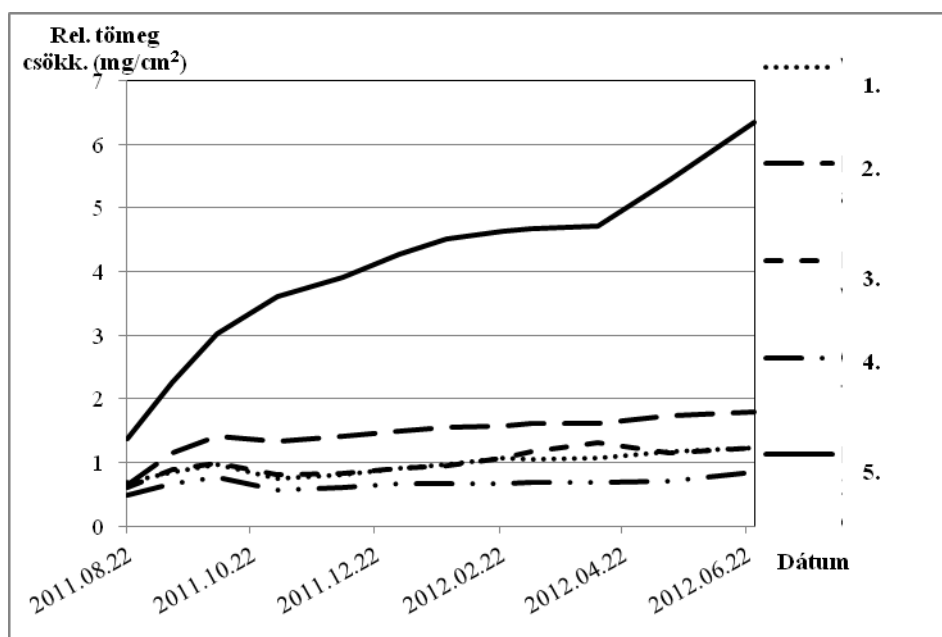
6. ábra Hó CO<sub>2</sub> tartalma szabad sziklafelszín felett (2012)  
Fig. 6. Snow CO<sub>2</sub> content on the free surface (2012)

III. táblázat  
Table III.

A törpefenyő különböző szerveinek sav /H<sup>+</sup> terhelése.  
Acid/H<sup>+</sup> emission of the different organs the Pinus mugo

	Galluszsav (mg/g szit)	Proton 10 <sup>18</sup>
<b>Toboz</b>	<b>0,265</b>	<b>7,5</b>
St. hiba	0,025	1,8
<b>Levél öreg</b>	<b>0,158</b>	<b>9,7</b>
St. hiba	0,020	1,9
<b>Szár</b>		<b>9,7</b>
St. hiba		1,9
<b>Levél zöld</b>	<b>0,786</b>	<b>10,8</b>
St. hiba	0,071	0,6

Az oldódás intenzitásának modellezésére kialakított elrendezésekben a fizikai hatások minimalizálhatók. Az eredmények alapján a téli és nyári időszakban eltérő mértékű oldódásokat tapasztaltunk (7. ábra). A minták tömegcsökkenése alapján egyértelműen megállapítható, hogy a növényzet hatása a korrózióra pozitív, amennyiben a víz jelenléte és cseréje is biztosított az oldódás mértéke szignifikánsan többszörösére nő (kb. háromszorosára).



7. ábra Márvány tabletták tömegcsökkenése modellrendszerben.  
Jelmagyarázat: 1. vízben áll (c:), 2. fenyőn átfolyó (a:), 3. fenyő alatt vízben áll (b:), 4. csupasz felszín (d:), 5. fenyő öntözött (a:)/1

Fig. 7. The weight loss of marble tablets in model system.  
Legends: 1 standing in water (c:), 2. flowing on the pines (a:), 3. standing in water under pine (b:), 4. free surface (d:), 5. irrigated under pine(a:)/1

## 5. Következtetés

Megállapíthatjuk tehát, hogy

- magashegységi környezetben, a talajban a CO<sub>2</sub> koncentráció a növényzet összetételétől függ, legmagasabb a gyepfoltokban és lényegében nem tér el az aljnövényzet nélküli törpefenyő a növényzet nélküli talajtól.
- törpefenyő tövétől távolodva a talaj CO<sub>2</sub> tartalma nő, a fajlagos leoldás a növényfolttól 1-2 m távolságban erőteljesebb

- törpefenyő felett a hó CO<sub>2</sub> tartalma magasabb, mint a csupasz felszínen, ami hozzájárul az oldódás intenzitásának növekedéséhez
- törpefenyő bomló szerves anyagának oldó hatása jelentős, évi 0,22 g/m<sup>2</sup>/év CaCO<sub>3</sub> is lehet

A törpefenyő alatti lejtőkön az oldódás intenzitása a karrformák alapján nagyobb, mint a gyepfoltok alatti lejtőkön, ugyanakkor a talajok CO<sub>2</sub> tartalma alacsonyabb. Feltételezzük, hogy elsősorban a törpefenyő hajtásrészeinek disszimilációjából származó CO<sub>2</sub> okozhatja a törpefenyő folt alatt az intenzív oldódást, melyhez hozzájárulhat még a növénymaradványok magas sav és cseranyag tartalmának oldó hatása is.

A vizsgálatok a TÁMOP-4.2.1.B-09/1KOV program támogatásával készültek.

## IRODALOM

- BÖGLI, A.* (1961): Karrentische, ein Beitrag zur Karstmorphologie – Zeit. f. Geomorph. 5. pp. 185-193.
- CURTIS, L. F.-COURTNEY, F. M.-TRUDGILL, S. T.* (1976) Soils in the British Isles – Longman, London, England, 364 p.
- 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, pp. 163-176, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca.
- HIGH, C. J. – HANNA, K. J.* (1970): A method for the direct measurement of erosion on rock surfaces – British Geomorphological Research Group, Technical Bulletin 5.
- HOBLEA, F.-JAILLET, S.-MARIE, R.* (2001): Erosion et ruissellement sur karst nu en context subpolaire océanique les lésions calcaires de Patagonie - Karstologia, 38, pp. 13-18.
- JENNINGS J. N.* (2000): Further results from limestone tablet experiments at Cooleman Plain, Australian Geographical Studies, 19/2, pp. 224 – 227.
- JONES, R. I.* (1965): Aspects of the biological weathering of limestone pavements – Proceedings of the Geologists Association 76. pp. 421-434.
- LIU Z., YUAN D., HE S.* (1999): Contribution of Carbonate Rock Weathering to the Atmospheric CO<sub>2</sub> Sink, Environmental Geology, 39/9, pp. 1053-1058.
- KASHIMA, N.-URUSHIBARA-YOSHINO K.* (1996): Karren development. Solutional erosion measurements by the limestone-tablet method in Shikoku

- Island, South-West Japan. In: Fornos, I.J. Gines, A. (Eds.) Karren Landform. Univ. de les Illes Balears Palma de Mallorca, p.65-73.
- H. LEIHT- P.H. WHITAKKER* (Eds.) (1975): Primary Productivity of the Biosphere, - Springer Verlag, New York
- MARIKO, S.-BEKKU, Y.-KOIZUMI, H.* (1994): Efflux of carbon dioxide from snow covered forest floors – Ecological Research, 9. pp. 345-350.
- NEWSON, M. D.* (1970): Studies in chemical and mechanical erosion by streams in limestone terrains – PhD thesis, University of Bristol
- SINGLETON, V.L.-ROSSI, J.R.* (1965): Colorimetric of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. American Journal of Enology and Viticulture 16, pp. 144-158.
- SLABE T.* (2009): Karren simulation with plaster of Paris models - In: Ginés, A.-Knez, M.-Slabe, T.-Dreybrodt, W. (eds): Karst rock features, Karren sculpturing, ZALOZBA ZRC Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU Postojna, Carstologica 9 pp. 47-54. Ljubjana, Eslovénia
- SWEETING, M. M.* (1966): The weathering of limestones - In: DURY, G. H. (editor): Essays in Geomorphology, pp. 177-210. Heineman, London
- SZUNYOGH G.* (1999): A talajelborítás hatása a karros formakincs fejlődésére – Karsztfelődés III. BDTF, Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, pp. 31-42.
- THOMAS, T. M.* (1970): The limestone pavements of the North Crop of the South Wales coalfield with special reference to solution rates and processes – Transactions, Institute of British Geographers, 50. pp. 87-105.
- 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.* (1976): Limestone erosion under soil - In: PANOS, V. (szerk.): Proceedings of the 6th International Congress of Speology, II. Ba pp. 409-422.
- TRUDGILL, S. T.* (1983): Limestone weathering under a soil cover and the evolution of limestone pavements, Malham District, North Yorkshire, UK. - In: PATERSON, K. - SWETTING, M. M. (szerk.): New Directions in Karst, Proceedings of the Anglo-French Karst Symposium – Geo Books, Norwich, pp. 461-470
- 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, Vol. 24, No. 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 supplement* 56/2 pp. 47-62.
- WELBURN, F.A.M. AND WELBURN, A.R.* (1996): Variable patterns of antioxidant protection but similar ethene emission differences in several ozone/sensitive and ozone/tolerant plant selections. *Plant Cell and Environment* 19, pp. 754-760
- WILLIAMS* (1966): Limestone pavements with special reference to Western Ireland – *Inst. Brit. Geogr. Trans.*, 40 pp.155-171.
- ZÁMBÓ L.-TELBI SZ T.* (2000): A mikrobiális befolyásoltóságú karsztkorrózió vizsgálata magyarországi karsztok talajaiból származó kismintákon – *Karsztfejlődés V.*, BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, pp. 21-39.
- ZHONGCHENG J. - DAOXIAN Y.* (1999): CO<sub>2</sub> source-sink in karst processes in karst areas of China, *Episodes*, 22/1. pp:33-35.
- ZSENI A.* (2004): Talaj alatti karrformák – *Karsztfejlődés IX.* BDF, Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 157-175.
- ZSENI A.* (2009): Subsoil Shaping – In: Ginés, A.-Knez, M.-Slabe, T.-Dreybrodt, W. (eds): *Karst rock features, Karren sculpturing*, ZALOZBA ZRC Institut za raziskovanje krasa ZRC SAZU Postojna, *Carstologica* 9 pp. 103-122. Ljubjana, Eslovénia