

KARSZTSÉRÜLÉKENYSÉGI VIZSGÁLATOK A BÜKKI KIS-FENNSÍK KARSZTJÁN

**IVÁN VERONIKA - MÓGA JÁNOS - FEHÉR KATALIN –
MIKLÓS BÍBORKA**

ELTE Természetföldrajzi Tanszék, 1117 Budapest, Pázmány Péter sétány
1/C, iv.veron@gmail.com

Abstract: In our work we examined the resource vulnerability of Kis-fennsík (Bükk Mountain). The studied area is a typical non-confined karstic area with developed surface features. It is part of the Bükk National Park, with protected geological, morphological and ecological values. In addition, this aquifer provide fresh water for cities nearby. In our work we applied the Slovene Approach for intrinsic vulnerability mapping. It is a quite new method, and it wasn't tested in Hungary before. The Slovene Approach evaluate and combine the main factors and subfactors, that control the infiltration of water and contaminants from the land surface towards the groundwater. These main factors are: Overlying layers (O), Concentration of flow (C) and Precipitation regime (P). The final resource vulnerability map can be obtained by overlapping the maps about the different factors and subfactors.

1. Bevezetés és célkitűzés

Századunk egyre nagyobb problémája a megfelelő mennyiségű és minőségű ivóvíz biztosítása a Föld folyamatosan növekvő népességének. Az egyre szennyezettebb felszíni vizek, a klímaváltozással mind gyakoribb időjárási szélsőségek a felszín alatti vízkészletek felértékelődéséhez vezetnek, így az országok legértékesebb természeti kincsévé válhatnak. Magyarország földtani felépítése és medencejellege miatt különösen gazdag jó minőségű felszín alatti vizekben, köztük karsztvizekben is, de tekintetbe véve e rendszerek sebezhetőségét, a vízbázisok védelmének fontosságát semmiképp nem szabad lebecsülnünk.

A karsztok kutatásának és kezelésének kulcsfontosságú momentuma, hogy a karsztra, mint komplex ökoszisztémára tekintsünk, és a karsztrendszerek integritásának védelmére ugyanúgy törekedjünk, mint az egyes karsztformákéra (BC MINISTRY OF FORESTRY 2003). Éppen ezért a karsztvizek mennyiségi és minőségi védelme a karsztos hidrológiai–földtani–ökológiai rendszer működésének, folyamatainak, viselkedésének megértése nélkül nem képzelhető el. Ennek egyik eszköze lehet a sérülékenységi becslés és térképezés is.

A sérülékenységi vizsgálatok több országban a törvényhozás részét képezik. Eredményeik nagy segítséget jelenthetnek a döntéshozatalban, kör-

nyezeti hatásvizsgálatoknál, illetve a fenntartható tájhasználat megszervezésében is.

Kutatásunk fő célja a karsztsérülékenység térképezésére kifejlesztett Szlovén módszer (Slovene Approach) magyarországi tesztelése tipikus nyíltkarsztos felszínen. A Postojnai Karsztkutató Intézetben kifejlesztett Szlovén módszer talajtani, közettani, meteorológiai, hidrológiai és geomorfológiai adatokat összegezve három faktorral dolgozik: O - fedő rétegek, C - beszivárgási viszonyok, illetve P - csapadékviszonyok. A három faktorról és altényezőikről a megadott pontszámítási módszer szerint egy-egy térkép készül térinformatikai eszközökkel, majd e térképek egymásra rétegzésével kapjuk meg a terület víztartó rendszerének sérülékenységi térképét.

Választott mintaterületünk a bükkői Kis-fennsík keleti része. Ezen a Bükkői Nemzeti Parkhoz tartozó területen jellegzetes karsztos formakincset: töbröket, barlangokat, forrásmész-kiválásokat, szakadékdolinákat, karsztforrásokat találunk, melyek a Nemzeti Park értékes és védendő élettelen természeti értékei. Ezek adják a táj ökológiai rendszerének alapját, a foglalt karsztforrások vizei pedig jelentős szerepet játszanak Miskolc és a többi környékbeli település vízellátásában.

2. Sérülékenység, sérülékenységi térképezési módszerek

A sérülékenység fogalmának bevezetése Albinet, M. & Margaret, J. (1970) nevéhez fűződik, az első egyértelmű fogalommagyarázatot pedig S. Foster adta (LÓCZY 2006, MÁDLNÉ SZŐNYI 2009). Foster szerint a sérülékenység egyik összetevője azon hidraulikai tulajdonságok összessége, amelyek a szennyezők bejutását határozzák meg, a másik a felszín alatti rétegek kapacitása arra, hogy a szennyező anyagokat fiziko-kémiai folyamatok révén megkössék vagy hígítsák.

1997 és 2002 között működött a COST (European Cooperation in the Field of Scientific and Technological Research) nevű nemzetközi kutatási együttműködési program, amelynek célja egy egységes sérülékenységi megközelítés (módszertan és fogalommagyarázat) kidolgozása volt, elsősorban a különösen sérülékeny karsztos víztározókra vonatkozóan (MÁDLNÉ SZŐNYI 2009). Eredményeiket a továbbiakban sok kutató vette alapul munkájához. A COST Action 620 munkacsoport átvette a kétféle vízvédelem elvét, ami alatt a vízvédelem két általános módját értjük: egyrészt a víztartó védelmét, ami a teljes víztartóra kiterjed, másrészt a forrás vagy vízbázis védelmét, ami pedig adott forrásra vagy kútra irányul. (Ugyanígy különböztetjük meg a víztartó sérülékenységét (resource

vulnerability) és a forrás vagy vízbázis sérülékenységet (source vulnerability)).

A belső sérülékenység (intrinsic vulnerability) a COST Action 620 használatában a felszín alatti víz antropogén szennyezőkkel szembeni sérülékenységét fejezi ki, figyelembe veszi a terület geológiai, hidrológiai és hidrogeológiai jellemzőit, de független az antropogén tevékenység természetétől, hatótényezője egy univerzális, vízben oldható elvi szennyező (DALY 2002). Ezzel szemben a specifikus sérülékenység (specific vulnerability) a felszín alatti víz egy bizonyos szennyezőre vagy szennyezőcsoportra vonatkozó sérülékenységét jelenti. Tekintetbe veszi a szennyező tulajdonságait és kapcsolatát a belső sérülékenység különböző komponenseivel.

A sérülékenységi térképek a vízvédelmi térképeknek azon fajtái, amelyek a „földtani, hidrogeológiai környezet szennyeződésekkel szembeni természetes védelmi képességét mutatják, nem ábrázolnak tényleges szennyezéseket és potenciális szennyező forrásokat” (MÁDLNÉ SZŐNYI 2009). A sérülékenység becslésére és térképi megjelenítésére számos módszert dolgoztak ki, többféle megközelítésben. A kvalitatív módszerek jellemzően nagyobb léptékben használhatóak. Számszerű mutatók nélküli minőségi osztályozással értékelik a sérülékenységet, itt tehát a releváns tényezők mentén előálló kombinációk leválogatása és tapasztalati besorolása történik. Kvalitatív módszerek például a táblázatos formában osztályozó mátrix rendszerek, a több tényezőt is értékelő, hierarchikus sorrendben felépített, folyamatábrával dolgozó módszerek, valamint a sérülékenységi sorrendek, prioritási listák (MÁDLNÉ SZŐNYI 2009). Félkvantitatív módszereknél ezzel szemben paramétereinkhez pontértéket is rendelünk, majd ezek súlyozása után szorzással vagy összeadással kapjuk meg a sérülékenységet jellemző végeredményt. A széles körben alkalmazott DRASTIC, EPIK módszerek, valamint az Európai és a Szlovén módszer is félkvantitatív módszerek. Kvantitatív, számszerű adatokkal dolgozó eljárások a folyamat alapú szimulációs modellek, és a különféle statisztikai módszerek (MÁDLNÉ SZŐNYI 2009).

A különböző módszerek tesztelése, validálása és további fejlesztése jelenleg is folyik. Fontos megjegyezni, hogy sérülékenységi vizsgálatok kivitelezése során becsléseket végzünk, amelyek bizonytalansága a modell és az adatok hibáiból is fakadhat. A vizsgálatok eredménye tehát relatív tájékoztatást ad.

A COST Action 620 munkacsoport a kapcsolódó definíciók pontosításán kívül kidolgozott egy általános, univerzálisan alkalmazható módszert belső sérülékenység és kockázat térképezéséhez, ez az Európai módszer

(European Approach). Részletes útmutatót, és pontos szabályokat nem ad meg, hanem egy keretrendszert kínál, ami alapja lehet specifikus, helyi viszonyokhoz igazodó módszerek kialakításának (DALY 1998).

A sérülékenységi vizsgálatok közül külön tárgyalást és eszközkészletet igényel a karsztos tájak felmérése, különösen a nyílt karsztoké. E helyeken a karsztos rendszerek jellegéből adódóan speciális beszivárgási és víz-áramlási viszonyok alakulnak ki, például egy víznyelőn keresztül a szennyezőanyagok közvetlenül a víztartóba juthatnak. Ilyen esetek kidolgozására is lehetőséget ad például a PI és az EPIK módszer, valamint az Európai módszerre épülő COP módszer. A Szlovén módszer az egyik legfrissebb ilyen jellegű eljárás, metodológiája a COP módszer továbbfejlesztett változatának tekinthető. A tesztelések során a többi módszerrel összehasonlítva igen szép eredményeket hozott. Bár alkalmazása sok adatot igényel, ezeket sok esetben könnyebben hozzáférhetőnek, könnyebben becsülhetőnek találtuk, mint más módszereknél. A Kis-fennsík részben nyíltkarsztos keleti területének térképezését ezzel a módszerrel végeztük el.

3. A Szlovén módszer

A Szlovén módszer belső sérülékenység térképezésére szolgál, alkalmazható víztartó, vagy forrás (vízbázis) vizsgálatára is (RAVBAR 2007). A Szlovén-karszton, a Podstenjsek-források vízgyűjtőjén tesztelték, az eredményeket víznyomjelzéses és statisztikai módszerekkel ellenőrizték, majd összehasonlították a Simplified Method, az EPIK, a PI, a COP módszerek eredményével. Alkalmazásának lépéseit a *I-IV. táblázat* foglalja össze.

A víztartó sérülékenységének számításához 3 faktort kell figyelembe venni:

- O faktor: fedő rétegek (overlying layers)
- C faktor: beszivárgási viszonyok (infiltration conditions)
- P faktor: csapadék-viszonyok (precipitation regime).

Az O faktor 1 és 15 közé eső szám, míg a C és P faktorok 0 és 1 közötti értéket vehetnek fel. A módszer multiplikatív, vagyis a tényezők összesorzásával jutunk el a végeredményhez. A sérülékenység számításának elve tehát az, hogy a fedő rétegek biztosította védő hatást a beszivárgási- és a csapadék-viszonyok védelmet gyengítő hatásával csökkentjük. Vízbázis sérülékenységének térképezéséhez még egy faktorra van szükség:

- K faktor: karsztos hálózat fejlettsége (karst network development).

I. táblázat
Table I.

Az O faktor számítása
The O factor

O faktor				O érték = O _S + O _L			
Talaj (O _S)		Szövet, szerkezet		O pont	Védelem	O TÉRKEP	
		Vályogos, kőzetliszes	Agyagos, homokos				
Vastagság	> 1 m	5	5	1	Nagyon alacsony		
	(0,5-1 m]	3	2	2	Alacsony		
	(0,2-0,5 m]	1	0	(2-4]	Mérsékelt		
	[0-0,2 m]	0	0	(4-8]	Magas		
				(8-15]	Nagyon magas		

Kőzettan (O _L)		Rétegenkénti vastagság (m)	
Kőzettípus és töredezettség (ly)			Érték
Agyagok			1500
Aleuritok			1200
Márgák, nem repedezett metapelitek és vulkáni kőzetek			1000
Márgás mészkövek			500
Repedezett metapelitek és vulkáni kőzetek			400
Cementált vagy nem repedezett konglomerátumok és breccsák			100
Homokkövek			60
Alig cementált vagy repedezett konglomerátumok és breccsák			40
Homokok és kavicsok			10
Áteresztő bazaltok			5
Repedezett karbonátos kőzetek			3
Karsztosodott kőzetek			1
Erősen karsztosodott területek		0,2	

O_L = Réteg index · cn

Réteg index = Σ(ly·m)

Réteg index		Érték
[0-250]		1
(250-1000]		2
(1000-2500]		3
(2500-10000]		4
>10000		5

Fedettségi viszonyok (cn)		Érték
Fedett		2
Félig fedett		1,5
Fedetlen		1

II. táblázat
Table II.

A C faktor számítása
The C factor

C faktor

Víznyelő utánpótlódási területén

C érték = dh · ds · sv + tv

* A vízgyűjtő többi részén

C érték = sf · sv

C pont	Védettség csökkenése	C TÉRKÉP
[0-0,2]	Nagyon magas	
(0,2-0,4]	Magas	
(0,4-0,6]	Mérsékelt	
(0,6-0,8]	Alacsony	
(0,8-1]	Nagyon alacsony	

Víznyelőtől való távolság (dh)	Érték
≤ 10 m	0
(10-100 m]	0,2
(100-500 m]	0,4
(500-1000 m]	0,6
(1000-5000 m]	0,8
> 5000 m	1

Víztüktől való távolság (ds)	Érték
≤ 10 m	0 **
(10-100 m]	0,5
> 100 m	0,75

Időszakos változékonyság (tv)	Érték
> 100 nap/év	0
(10-100 nap/év]	0,1
≤ 10 nap/év	0,25

Lejtőkategória és növényzet (sv)				
Lejtőkategória	Növényborítottság			
	Kevésbé sűrű	Sűrű	Kevésbé sűrű	Sűrű
≤ 8%	0,7	0,8	1	1
(8-31 %]	0,6	0,7	0,95	1
> 31%	0,5	0,6	0,9	0,95

Kevésbé permeábilis vagy impermeábilis felszín		Permeábilis felszín	
--	--	---------------------	--

* C érték = 1, ha a víz a karszton kívülre ömlik

** Ha folyásnak felfelé > 5 km, ds = 0,25

Felszíni karsztformák (sf)	Talaj alatt rétegek		
	Hiányzik	Permeábilis	Impermeábilis
Fejlett karsztformák	0,25	0,5	0,75
Alig fejlett vagy oldott formák	0,5	0,75	1
Repedezett kőzet	0,75	0,75	1
Karsztformák hiánya	1	1	1

3.1. Az O faktor

Az O faktor a fedő rétegek azon képességét fejezi ki, ami az esetleges szennyezők hatását mérsékli. Két fedő réteget veszünk figyelembe, a talajt és a telítetlen zónát¹.

¹ Telítetlen zónán a szerző a domborzat tengerszint feletti magasságának és a karsztvíztüktör feltételezhető tengerszint feletti magasságának különbségét érti (Ravbar, N. 2007. p. 167.).

A talajokban mechanikai, fiziko-kémiai és mikrobiológiai folyamatok vezetnek a szennyezők lebomlásához. Ezek hatékonysága erősen függ a tartózkodási időtől, vagyis attól, hogy mennyi időt tölt el az áramló víz az adott rétegben, ahol a szennyezőt lebontó folyamatok végbemehetnek. Az O_s faktor értékeléséhez a talajoknak három jellemzőjét vesszük figyelembe: a szövetet (azaz a szemcseméret-eloszlást), a vastagságot és a porozitást. Porozitásuk, szemcseméretük és permeabilitásuk alapján a vályogos és kőzetlisztes talajok védő funkcióját állapították meg magasabbnak, a homokos és agyagos talajokét pedig alacsonyabbnak. A meglévő korábbi módszereknél problémát jelenthetett a talajréteg vastagságának megadása, főleg erősen tagolt nyíltkarsztos felszíneken, ahol a talaj esetenként csak foltokban, vagy a kőzetek alkotta „zsebekben” van jelen, egészen változó vastagságban. A Szlovén módszer újítása az effektív talajvastagság bevezetése, ami azt az időtartamot fejezi ki, amíg a víz a talajon átszivárogva eléri az alapkőzetet.

Az O_L faktor megadásához a telítetlen zónát alkotó összes réteget kőzettípus és töredezettség szerint értékeljük, majd a réteg vastagságával szorozzuk. A telítetlen zóna közetrétegeinek védő hatását ezen kívül még a fedettségi viszonyok befolyásolják, ezt a szempontot a cn altényező foglalja magában.

3.2 A C faktor

A C faktor azt fejezi ki, hogy a terület adott pontjának felszíni jellemzői a víz milyen mértékű beszivárgását teszik lehetővé. Minél több víz szivárog be a karsztba, annál nagyobb a valószínűsége egy szennyező bejutásának. A C faktor számításánál elkülönítjük a víznyelők utánpótlódási területét és a vízgyűjtő többi részét. A felszíni vizeket, illetve a vízelnyelődési helyek közvetlen környezetét különösen veszélyesnek értékelték, mert ezeken a helyeken a potenciális szennyezők egyenesen a karsztvízbe jutnak. Módosító tényezők a víznyelőtől való távolság (dh) és a felszín karsztvíztükörtől való távolsága (ds). A többi módszerhez képest újdonságot jelent, hogy az infiltrációs viszonyokba be lett építve a tv altényező, ami az időszakos változékonyságot fejezi ki. Erre azért volt szükség, mert indokolatlanul nagy területek kaptak „nagyon magas” sérülékenységi besorolást olyan víznyelők és medernyelők környezetében, amelyek csak időszakosan, netán csak kivételes csapadékesemények esetén aktívak.

A beszivárgási viszonyok értékeléséhez figyelembe vett további altényező a lejtőkategória és a növényzet (sv). Lejtőszázalék alapján három lejtőkategóriába történik a besorolás, ez a felszíni lefolyás mértékét befolyásolja erősen. A növényborítottság a felszíni visszatartást (interszepeció) befo-

lyásolja, ez alapján elégséges két kategóriát elkülöníteni: a sűrű, illetve kevésbé sűrű növényzettel borított területeket. Az sv altényezőnél ezeken kívül még a felszín vízáteresztő-képességét kell számításba vennünk.

3.3 A P faktor

A P faktor a csapadék azon képességét fejezi ki, hogy szennyezőket szállítson a felszínről a víztartóba. Értéke a lehulló csapadék mennyisége és intenzitása van hatással, meghatározásához egy 30 éves periódus napi csapadékaiból kell kiindulnunk. A számításba vett két altényező az esős illetve a viharos napok évi száma (*rd* és *se*), tehát amikor 20-80 mm, illetve 80 mm-nél több csapadék hull.

III. táblázat
Table III.

A P faktor számítása a Szlovén módszer szerint
The P factor according to the Slovene Method

P faktor	
P érték = rd · se	
Esős napok (rd)	
20-80 mm/nap csapadékú napok átlagos száma évenként	Érték
[0-10]	1
(10-20]	0,9
(20-50]	0,8
>50	0,6

P pont	Védettség csökkenése	P TÉRKÉP
[0,36-0,5]	Nagyon magas	
(0,5-0,6]	Magas	
(0,6-0,7]	Mérsékelt	
(0,7-0,8]	Alacsony	
(0,8-1]	Nagyon alacsony	

Viharos napok (se)	
> 80 mm/nap csapadékú napok átlagos száma évenként	Érték
[0-1]	1
(1-5)	0,8
>5	0,6

3.4. A víztartó sérülékenysége

Végül a három faktor értékeit összeszorozva kapjuk meg a sérülékenységi értéket, ami 0-tól 15-ig terjedő tartományba esik. Ez a tartomány öt sérülékenységi osztályra van osztva: az 1-es jelű a nagyon magas sérülékenyséű területeket jelöli, az 5-ös jelű pedig a nagyon alacsony sérülékenyséűeket.

A víztartó sérülékenységeinek számítása
Assessment of the resource vulnerability classes

Víztartó értéke = O pont x C pont x P pont

Víztartó értéke	Víztartó index	Sérülékenységi osztályok	VÍZTARTÓ SÉRÜLÉKENYSÉGI TÉRKÉPE
[0-0,5]	1	Nagyon magas	
(0,5-1]	2	Magas	
(1-2]	3	Mérsékelt	
(2-4]	4	Alacsony	
(4-15]	5	Nagyon alacsony	

A Szlovén módszer a víztartó sérülékenységeinek becslésén túl további térképek létrehozására is biztosít eszköztárat, ezek:

- forrás- vagy vízbázis-sérülékenységi térkép (source vulnerability map)
- veszélyforrás-térkép (hazard map)
- fontossági térkép (importance map)
- kockázat-intenzitási térkép (risk intensity map)
- teljes kockázat térképe (total risk map).

3.5. Módosítás a COP módszer felhasználásával

A Szlovén módszert hazánknál csapadékosabb területekre dolgozták ki, a helyi éghajlati adottságokhoz igazodva (a tesztelt vízgyűjtőn az évi csapadékmennyiség 1500-1600 mm között mozog). A jelentős különbség a csapadékviszonyok (P faktor) értékelésénél okoz problémát: a javasolt kategóriák léptéke a hazai csapadékok értékelésére nem tűnt megfelelőnek. Ezért indokoltnak tartottuk ezen a ponton újabb számolást végezni a Szlovén módszer alapját képező COP módszerrel. A két módszer a P faktort ugyanolyan kategóriákkal és értékekkel, hasonló séma alapján építi be a sérülékenység egyenletébe, csak a P érték számolásának módja különbözik. Itt a nedves évek átlagos csapadékmennyiséghez rendelt értéket adjuk össze a

csapadék intenzitását kifejező

$$\text{Intenzitás} = \frac{\text{évi csapadékmennyiség (mm)}}{\text{csapadékos napok száma}}$$

egyenlet

V. táblázat
Table V.

P faktor a COP módszer szerint

Mennyiség (P_Q)

↓

Csapadék* (mm/év)	Érték
> 1600	0,4
(1200-1600]	0,3
(800-1200]	0,2
(400-800]	0,3
≤ 400	0,4

Intenzitás (P_I)

↓

$$\text{Intenzitás} = \frac{\text{évi csapadékmennyiség (mm)}}{\text{csapadékos napok száma/év}}$$

↓

Intenzitás (mm/nap)	Érték
≤ 10	0,6
(10-20]	0,4
> 20	0,2

* átlagos csapadékmennyiség nedves években. nedves év $\geq 1,15 \cdot X_{\text{m}}^{\text{m}} \cdot 10^3$

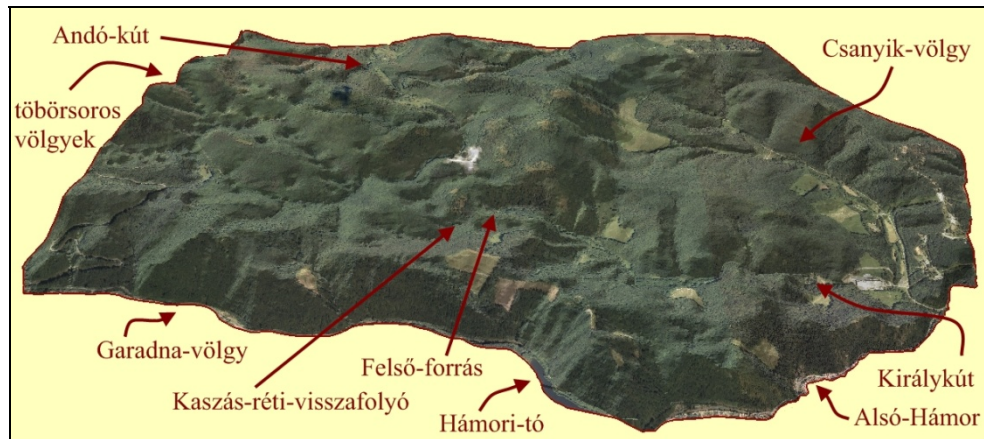
↓

P érték = (P_Q) + (P_I)

↓

P pont	Védelem csökkentése
0,4-0,5	Nagyon magas
0,6	Magas
0,7	Mérsékelt
0,8	Alacsony
0,9-1	Nagyon alacsony

A sérülékenységi térképezés elvégzéséhez feltétlen szükséges a vizsgálati terület alapos ismerete. A sérülékenységet alapvetően befolyásoló tényezőket (közettan, hidrogeológia, hidrológia, geomorfológia, talajtan, meteorológia, vízkémia és felszínborítás) szakirodalmak, meteorológiai adatsorok, tematikus térképek, terepi megfigyelések és laborvizsgálatok alapján igyekeztünk minél jobban körbejárni.



1. ábra: A vizsgált terület domborzatmodellje 2x-es függőleges torzításban. Jól kirajzolódnak a Forrás-völgybe torkolló töbörösoros völgyek.

Fig. 1: Digital elevation model of the test site (vertical exaggeration: 2x)

5. Alkalmazás

A vizsgált terület sérülékenységi térképe az ArcGIS 9.3 térinformatikai szoftver segítségével készült el. A térképezés során felhasznált alaptérképek, adatok:

- topográfiai térképek (1:10000 méretarányú EOY- térképek, szelvényszámok: 87-242; 88-131)
- A Bükk hegység földtani térképe. 1:50000. Szerk.: Less György. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 2002
- 1:100000-es méretarányú földtani térkép (forrás: <http://mafi-localzy.mafi.hu/Fdt100>)
- Magyarázó a Bükk-hegység földtani térképéhez (1:50 000) (PELIKÁN P.-BUDAI T. 2002)
- 2005-ös légifotók
- csapadékmérő állomások adatai az OMSZ Éghajlati Szolgáltató Osztály információi alapján
- a Bükk csapadékszónáit ábrázoló térkép (IZÁPY- MAUCHA 1992)

O faktor

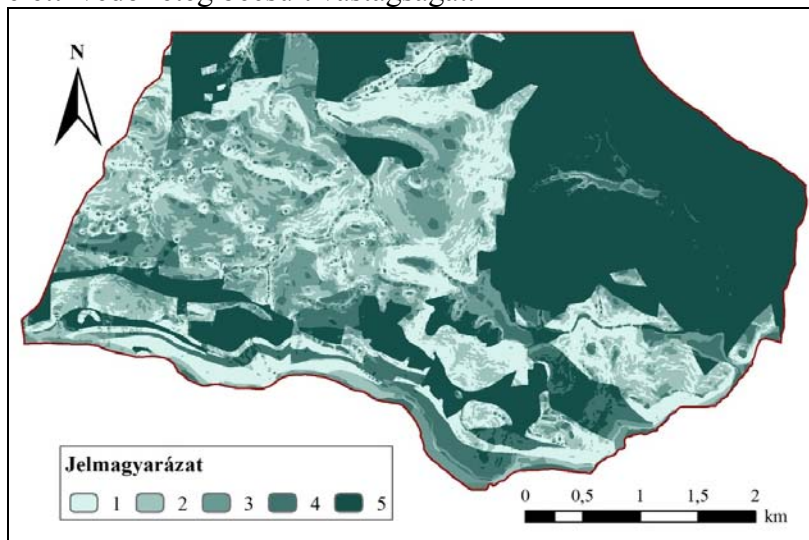
- O_5 altényező (talaj)

A talaj jellemzőinek és vastagságának meghatározásához egy általánosabb jellegű leírásból (DOBOS 2002) és nagyobb léptékű talajtérképekből indulunk ki. Ezt egészítettük ki a terület bejárásakor, zömében a dolinák környe-

zetében végzett szűrőbotos mélységmérésekből, valamint a lejtőszög és a talajréteg vastagsága közötti összefüggésből levonható következtetésekkel.

- O_L altényező (kőzetan)

Az O_L altényező értékelésének alapját a Bükk hegység 1:50000-es és 1:100000-es méretarányú földtani térképe adta. Az l_y és c_n altényezőket (kőzettípus és töredezettség, valamint fedettségi viszonyok), a formációk leírása alapján formációnként értékeltük. A negyedidőszaki képződményeknél az l_y értéket a körülöttük lévő kőzet anyaga szerint adtuk meg. A védőréteg vastagságát (m) két lépésben kaptuk meg. Az 1:10000-es topográfiai térkép alapján vektoros térbeli modellt hoztunk létre, majd egy közelítő pontosságú másik felszínt is kialakítottunk a felszín alatti víztükör tengerszint feletti magasságáról. Ehhez a terület forrásainak fakadási szintjét és fúrások adatait használtuk fel. Végül a két felület különbségéből kaptuk meg a víztükör feletti védőréteg becsült vastagságát.



2. ábra: Az O faktor térképe

Jelmagyarázat: A védelem foka 1. nagyon alacsony, 2. alacsony, 3. mérsékelt, 4. magas, 5. nagyon magas

Fig.2: Map of the O factor

Legend: Protection value 1. Very low, 2. Low, 3. Moderate, 4. High, 5. Extreme

C faktor

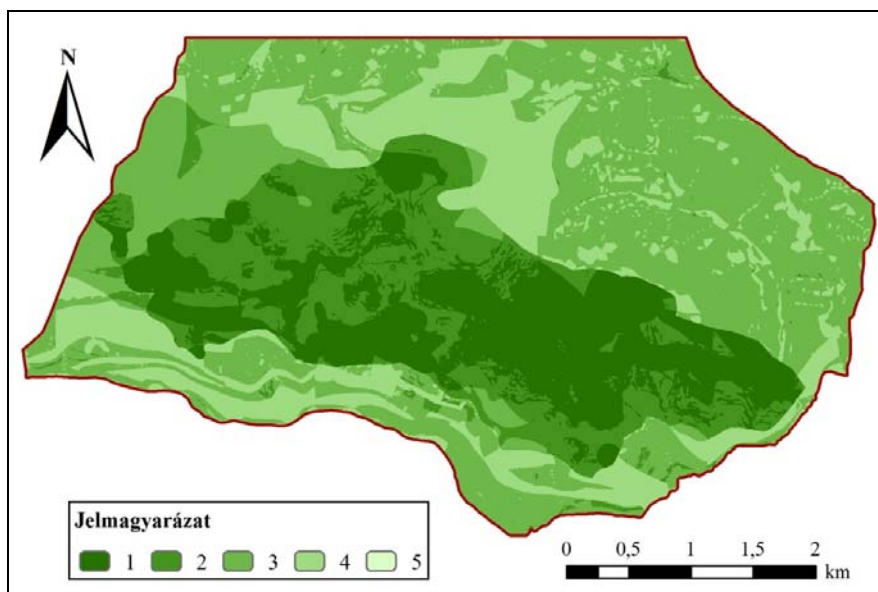
A beszivárgási viszonyok értékeléséhez először pontként ábrázoltuk a területen található 17 víznyelőt, majd ezek vízgyűjtő területeit lehatároltuk. Az utánpótlódási területen belül a d_h altényező (víznyelőtől való távolság) megállapításához a víznyelők környezetében a megadott sugarakkal pufferezónákat hoztunk létre, melyek átfedő részeit azután egyesítettük.

A víztükörtől való távolság (d_s) megadásához az előbbieken elkészített, vízmélységet ábrázoló térképet használtuk fel, csak kevésbé finom beosztásban, hiszen a d_s érték mindössze három kategóriát különít el.

A Szlovén módszer újítása a víznyelők időszakos változékonyságának figyelembe vétele a tv altényező bevezetésével. A területen csak a Kaszás-réti-visszafolyó működik állandóan, a többi csak közepesnél nagyobb vízállások esetén. Így a Kaszás-réti-visszafolyó topográfiai térkép alapján kijelölt felszíni vízgyűjtő területe kapott 0 értéket (100 napnál többször aktív egy évben), a terület többi részéhez pedig egységesen 0,1-es értéket rendeltünk (10-100 aktív nap/év).

Az sv altényezőhöz a lejtőszázalékot a szintvonalakból képzett vektoros 3D-s felület (TIN) alapján számoltuk, majd a kapott értékeket a megfelelő lejtőkategóriákba soroltuk. A növényborítottság értékeléséhez részletes felszínborítottság-térkép készítésére nem volt szükség, hiszen az sv altényező csupán két kategóriát különít el: sűrű, illetve kevésbé sűrű növényborítottság. Előzőhöz tartoznak az erdők, a karsztbokorerdők, másodikhoz a művelt területek (szántók, kaszálók, füves területek, mezők), utak és beépített területek. Ezt a felosztást a 2005-ben készült légifotók és a terepi bejárás alkalmával készített feljegyzések alapján végeztük el.

A víznyelők utánpótlódási területén kívül eső részen a beszivárgási viszonyok értékeléséhez az előbbi sv altényezőt és a felszíni karsztformák fejlettségét jellemző sf altényezőt kell összeszoroznunk.



3. ábra: A C faktor térképe

Jelmagyarázat: Védelem csökkentése 1. nagyon magas, 2. magas, 3. mérsékelt, 4. alacsony, 5. nagyon alacsony

Fig.3: Map of the C factor

Legend: Reduction of protection 1. Extreme, 2. High, 3. Moderate, 4. Low, 5. Very low

P faktor

A Bükk csapadékszónáit ábrázoló térkép és a csapadékmérő állomások adatai alapján a vizsgált területet három zónára osztottuk, az elsőre a szentléleki, a másodikra a lillafüredi, a harmadikra a diósgyőri állomás adatait terjesztettük ki. A Szlovén módszer metodikáját követve a P faktor az egész területre egységesen 1-es értéket vesz fel, hiszen az rd és az se érték (esős illetve viharos napok évi száma) is 1 lesz az egész területre.

VI. táblázat

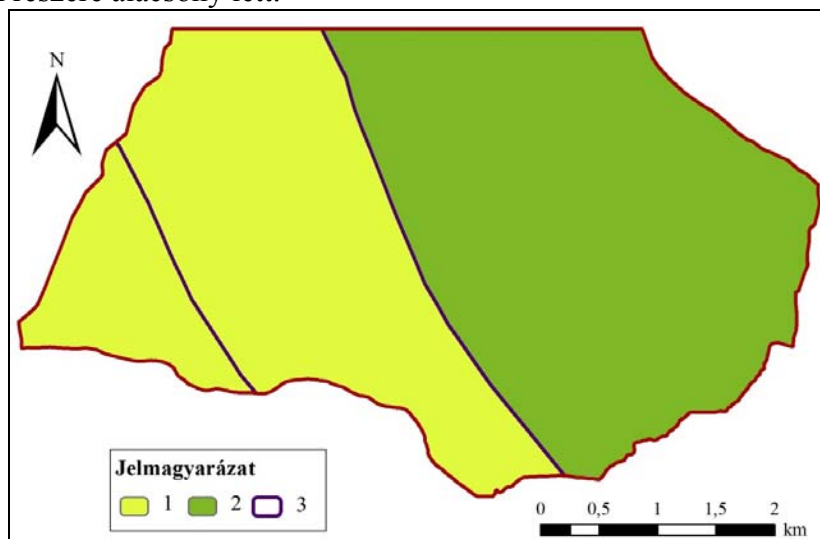
Table VI.

A csapadékmérő állomások adatainak átlaga: esős és viharos napok évi száma

Datas of the precipitation measurement points: rainy days and storm events per year

Év	Állomás							
	Lillafüred		Szentlélek		Diósgyőr		Garadna-völgy	
	> 20 mm	> 80 mm	> 20 mm	> 80 mm	> 20 mm	> 80 mm	> 20 mm	> 80 mm
1954-1984							4,677	0,000
1979-2009	8,968	0,161	7,484	0,161	5,161	0,032		

Megfelelőbb megoldásnak tűnt a hasonló rendszerben dolgozó COP módszer P érték-számítását alkalmazni, figyelembe véve, hogy a Szlovén módszert ennél csapadékosabb területekre dolgozták ki. Így a csapadékviszonyok védelmet csökkentő hatása a terület egyik részére nagyon alacsony, másik részére alacsony lett.



4. ábra: A P faktor a COP módszer szerint

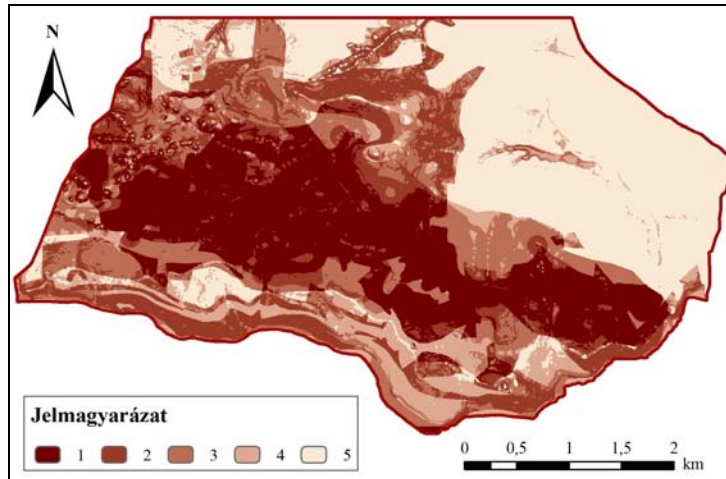
Jelmagyarázat: A védelem csökkentése 1. alacsony, 2. nagyon alacsony. 3. csapadékszónák határa

Fig. 4: P map according to the COP method.

Legend: Reduction of protection 1. Very low, 2. Low. 3. Precipitation zones

Víztartó sérülékenysége

Az utolsó lépés a C, O és P térképek értékeinek összeszorozása volt, majd a szorzatokat a megfelelő kategóriákba rendezve kaptuk meg a sérülékenységi osztályokat, és a víztartó sérülékenységi térképét (felbontás: 3 m/pixel).



5. ábra: A vizsgált terület sérülékenységi térképe

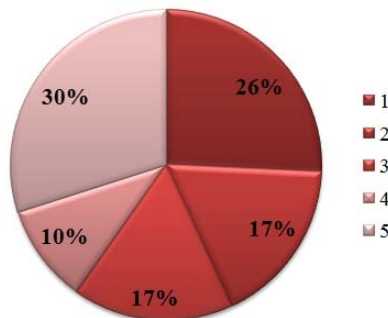
Jelmagyarázat: A víztartó sérülékenysége: 1. Nagyon magas, 2. Magas, 3. Mérsékelt, 4. Alacsony, 5. Nagyon alacsony

Fig.5: Resource vulnerability map of the test site

Legend: Vulnerability degree: 1. Extreme, 2. High, 3. Medium, 4. Low, 5. Very low

6. Az eredmények értékelése

A kapott térkép alapján a vizsgált terület körülbelül negyede kapott nagyon magas sérülékenységi besorolást, nagyon alacsonyat pedig 30%. Tekintélyes rész, 17%-17% minősült azonban magas, illetve mérsékelt sérülékenysőségűnek.



6. ábra: Sérülékenységi osztályok területi eloszlása

Jelmagyarázat: 1. nagyon magas, 2. magas, 3. mérsékelt, 4. alacsony, 5. nagyon alacsony sérülékenységű területek

Fig. 6: Percentage surface area for each vulnerability class
Legend: 1. Extreme, 2. High, 3. Moderate, 4. Low, 5. Very low

A térképen magas sérülékenyséű foltként jól kirajzolódik a Kis-fennsík nyíltkarsztos felszíne, amelyen a vízbeszivárgási helyek környezete, a töbörös völgyek, a körülbelül egy tengely mentén kialakult víznyelők utánpótlódási területe alkotják a nagyon magas sérülékenyséű területeket. A fedetlen, meredek garadnai völgyoldal, aljában a Garadnával és a Hámo-ri-tóval szintén nagyon magas sérülékenyséű. Élesen kirajzolódik a Forrás-völgy is, ahol a kezdetben szurdokszerű völgyoldal csupasz sziklakitörései mellett a Felső-forrásból kiinduló, Királykút felé tartó medernyelő okozza a nagyon magas sérülékenységet. A terület déli részén a földtani térképhez hasonlóan jól kivehetőek a majdnem függőleges helyzetű kőzetrétegek okozta különbségek (karsztosodó kőzetek és vízzáró rétegek váltják egymást). A Lillafüredtől ÉK-re lévő vízzáró rétegek zónája nagyon alacsony sérülékenyséű. Kivételt a Csanyik-völgy képez, ahol a felszíni vízfolyással együtt a felszín alatti vizek is elszennyeződhetnek.

7. Összefoglalás

Munkánk végeredményeként az előzetes várakozásoknak megfelelő, jól értelmezhető, finom mintázatú térképet kaptunk. A csapadékviszonyok javasolt értékelése viszont a szlovén és a hazai időjárási különbségek miatt nem tűnt a legmegfelelőbbnek. Ennél a tényezőnél jól bevált a hasonló rendszerű COP módszer szerinti helyettesítés. Tapasztalataink szerint a szükséges információk birtokában, kisebb módosítással a Szlovén módszer hazai körülmények között is jól alkalmazható.

A továbbiakban természetesen hasznos lenne a sérülékenységi becslési módszerek továbbfejlesztése, további tesztelése és hazai viszonyokhoz történő minél jobb adaptációja. Fontos szempont lenne a lehető legszélesebb körben való alkalmazhatóság is. A továbbfejlesztett módszer ellenőrzését különböző validálási eljárások (statisztikai módszerek, víznyomjelzéses mérések) segítségével, illetve az eredmények összehasonlító elemzésével lehetne elvégezni.

IRODALOM

BC MINISTRY OF FORESTRY (2003): Karst Management Handbook for British Columbia. - Ministry of Forestry, Victoria, BC., 81 p.
DALY, D. et al. (1998): COST 620 „Vulnerability and risk mapping for the protection of carbonate (karst) aquifers”
http://www.argenco.ulg.ac.be/GEO3_Hydrogeologie/pdf/COST_620.pdf

- DALY, D.-DASSARGUES, A.-DREW, D.-DUNNE, S., GOLDSCHIEDER, N.-NEALE, S.-POPESCU, I. C.-ZWAHLEN, F.* (2002): Main concepts of the „European approach” to karst vulnerability assessment and mapping. - *drogeology Journal* 10. p. 340-345.
- DOBOS E.* (2002): Talajtakaró. - In: BARÁZ Cs. (szerk.): A Bükki Nemzeti Park. Hegyek, erdők, emberek. – Bükki Nemzeti Park Igazgatóság, Eger. p. 149-153.
- LÓCZY D.* (2006): Nemzetközi áttekintés a karsztok sérülékenységeinek minősítési módszereiről. - *Karsztfejlődés* XI. Szombathely 2006. p. 209-221.
- MÁDLNÉ SZŐNYI J.* (2009): Felszín alatti vízkészletek sérülékenységeinek meghatározása - in SZŰCS P. et al. (eds.): *Vízkészletvédelem: A vízminőség-védelem aktuális kérdései*. Bíbor Kiadó, Miskolc, p. 187-237.
- PELIKÁN P.-BUDAI T.* (szerk.) (2002): A Bükk-hegység földtana. Magyar-
rázó a Bükk-hegység földtani térképéhez (1:50 000). - Magyar Állami Föld-
tani Intézet, Budapest.
- RAVBAR, N.* (2007): The protection of karst waters: a comprehensive Slovene approach to vulnerability and contamination risk mapping.- ZRC Publishing, Ljubljana, 254 p.