

**SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM
FÖLDTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

Doktori (Ph.D.) értekezés
Tézisek

**A Gömör-Tornai-karszt állóvizeinek vízminőség-értékelése különös
tekintettel a tápanyagterhelésre**

SAMU ANDREA

Témavezető:
Dr. Kevei Ferencné Dr. Bárány Iлона
tszvh. egyetemi tanár

SZTE TTIK ÉGHAJLATTANI ÉS TÁJFÖLDRAJZI TANSZÉK

SZEGED
2011

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

A karsztok recens folyamatainak feltárására irányuló vizsgálatok napjainkban is időszerűek és kiemelt fontosságúak. Kutatásukat a karsztok környezet-állapotának átalakulása és érzékenysége indokolja, ami speciális tulajdonságaik együtteséből: egyedi hidrológiai rendszertükből, morfológiai adottságaikból, sajátos élővilágukból és ezek sérülékenységeből következik. A karsztterületeken a vizek minősége kardinális kérdés, mivel a víz köti össze a karsztrendszer elemeit. Felhasználása igen sokrétű, de károsodás nélkül kiváló minőségű ivóvízként történő hasznosítása a legjelentősebb. Napjainkban vizeink minőségének megőrzése azonban egyre nagyobb kihívást jelent. Vizeink elszennyeződésével a vízhasznosítási lehetőségek beszűkülnek. A növekvő népességszám és a szűkös készletek viszont megkövetelik, hogy a rendelkezésre álló vízforrásokat eredeti állapotukban őrizzük meg.

A Gömör-Tornai-karszt területén néhány kisebb állandó vízborítással rendelkező állóvíz található, amelyek közül azonban több előrehaladott trofitási stádiumban van. Az utóbbi évtizedekben feltöltődésük az erősödő antropogén hatás eredményeképpen felgyorsult. Az emberi tevékenység következményeként gyakoribbak az időjárási szélsőségek, ami együtt járt a vízháztartás megváltozásával. Emellett, a nem megfelelő szennyvízkezelés, talajművelési módok, műtrágyahasználat és az állattartás további kedvezőtlen hatásokat eredményezett.

A karsztos tavak keletkezésüket tekintve unikálisak, turisztikai értékük, sajátos biotikus környezetük és törékeny ökoszisztémájuk miatt több figyelmet és nagyobb védelmet igényelnének a jelenleginél. Néhány esetben korábbi kutatások igazolták az ember által is indukált felgyorsult feltöltődési folyamatot és vízminőség-romlást, vizsgálták eltűnésük valószínű okait, valamint hívták fel a figyelmet a további vizsgálatok szükségességére. Mindezek ellenére a káros hatások megakadályozása egyelőre kevés alkalommal bizonyult hatékonynak. Ezért a dolgozat egy komplex áttekintést kíván adni ezeknek a tavaknak az állapotáról és a velük kapcsolatos problémákról.

A kutatás céljai a következők voltak:

- a Gömör-Tornai-karszt tavainak történeti áttekintése és az emberi beavatkozás, kezelés, illetve természetes behatások következtében végbement állapotváltozásának értékelése,
- a tavak és környezetük összehasonlító vizsgálata,
- a tavak és a kapcsolódó hidrológiai rendszer (karsztforrások) vízkémiájának és vízminőségének alapállapot-felmérése (egy 2008-2010 között zajló monitoring vizsgálat keretében),
- a tájhasználat és a klímátényezők vízminőségre és vízmennyiségre való hatásának vizsgálata,
- az eutrofizációt kiváltó tényezők meghatározása,
- a külső és a belső terhelés mértékének megállapítása a tavi üledék és a tavak környezetéből származó talajminták alapján

2. A VIZSGÁLT TERÜLET

A Gömör-Tornai-karszt az alacsonyhegységi dombság „kategóriába” sorolható, az ÉNY-i Kárpátok belső vonulatának a része. ÉK-Magyarország és DK-Szlovákia határánál található, jelenleg a magyarországi részének hivatalos megnevezése az Aggteleki-karszt, míg a szlovákiai részének Szlovák-karszt. A terület földtani és földrajzi szempontból egységes mészkőterületet képvisel, 2/3ad része Szlovákiához, 1/3ad része Magyarországhoz tartozik. Közép-Európa egyik legkifejlettebb karsztfennsíkokkal rendelkező területe, nyugatról a Rőcei-hegység és a Rima-medence, északról a Rozsnyói-medence és a Voloveci-hegység, keletről a Kassai-medence, míg délről a Putnoki-dombság, valamint a Bódva völgye határolja. A felszín legnagyobb része vékony talajokkal borított és sok mészkőbukkanással jellemezhető, típusos középhegységi karsztvidék. Éghajlata nedves kontinentális, az évi csapadékösszeg 600-800 mm között mozog, hosszú nyár és hideg tél jellemzi. A Gömör-Tornai-karsztot a Szilicei-takaró középső krétában lecsúszott tömbjei alkotják. Ezeknek a különböző típusú triász mészkőtömböknek a vastagsága több 100 m, amely alatt werfeni homokkő és agyagpala található. A terület triász mészkövei kifejezetten jó vízvezető tulajdonságúak, az oldási maradék 1 % alatt van. A területen található vízfolyásokat számos karsztforrás táplálja, amelyek közül néhányat a helyi falvak ivóvízellátására használnak. Több kisebb területű állóvíz is található itt, amelyek

egykori víznyelők eltömődésével keletkeztek. A vizsgált tavak közül a Papverme-tó a Szilicei-fennsík, Szlovákiában található, az ehhez kapcsolódó hidrológiai rendszer elemei közül a Gyökérréti-kutak (Szilice községtől ÉK-re), illetve a Fekete-forrás (Gombaszög, Szlovákia) szerepelt a vizsgálatban. Az Aggteleki-, Kender- és Vörös-tavak Aggtelek körzetében találhatóak, a Tengersizem-tó Jósmafő mellett, a Baradla-barlang jósmafői kijáratánál helyezkedik el. A Tengersizem-tavat tápláló Jósva-forrás, amely Jósva-pataként érkezik Jósva-főre, szintén bekerült a vizsgálatba.

3. MÓDSZEREK

3. 1. Történeti elemzés

A tavak történetét és a tájhasználatot különböző térképfelvételek alapján vizsgáltam (I., II., III. katonai térképezés és ezek későbbi kiadásai, Vass Imre térképe, Google Earth). A korábbi, a témához kapcsolódó cikkek elemzésén túl az Aggteleki és a Szlovák Nemzeti Park archívumaiban található anyagokat is értékeltem, amelyet a helyiek, illetve szakemberek szóbeli közlései alapján kapott információkkal egészítettem ki.

3. 2. Mintavételi módszerek

A vízmintavételezést havi rendszerességgel végeztem 2008-2010 között, a téli hónapok kivételével. A mintavételi helyeket a partközeli részekben jelöltem ki, a 4, illetve kisebb tavaknál 2 égtáji irányban. Ezenkívül mintát vettem onnan, ahol valamilyen befolyás éri a tavakat, illetve ha valamilyen kifolyás történik belőlük. Üledék-mintavételezést évente egyszer végeztem, a mintavételi pontok kijelölése, ahol ez megoldható volt, a vízmintavételi pontok közelében történt. A minta típusa: felszíni, kevert minta. A talaj-mintavételezés 2008-ban történt az üledékhez hasonló elvek alapján.

3. 3. A vízminőség értékelése

A vízminőség értékelése az MSZ 12749:1993 sz. szabvány szerint történt, ezenkívül ökológiai vízminősítést is végeztem.

3. 4. Terepi és laboratóriumi vizsgálatok

A terepi és laboratóriumi vizsgálatok során a hatályban lévő magyar szabványokat követtem. A vizsgálatok a következő paraméterekre terjedtek ki: a víz esetében az oldott oxigéntartalom, oxigéntelítettség, kémiai oxigénigény (KOIps), NO_3^- , NO_2^- , PO_4^{3-} , összes foszfor (ÖP), NH_4^+ , a-klorofill, kémhatás, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Fe, Mn, HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , vezetőképesség, levegő- és víz hőmérséklet, átlátszóság, zavarosság, mélység, légnyomás, keménység, alkalinitás. Az üledék esetében: P, N, szárazanyag-tartalom, kémhatás, összszótartalom, nehézfémek (összes és mobilizálható), szervesanyag-tartalom. A talajok esetében: P, N, nehézfémek.

3. 5. Statisztikai értékelés és klimatológiai vizsgálatok

A statisztikai vizsgálatokhoz PASW Statistics 18 és MATLAB 7. 5. 0. típusú szoftvert használtam. Az aszályos és nedves periódusok hatását a vízminőségre aszályindexek segítségével vizsgáltam, ezek a következők: SPI (Standard Precipitation Index), a mérleg indexek közül a Lang-féle esőzési index, De Martonne-féle ariditási index, Thornthwaite-féle agrometeorológiai index.

4. EREDMÉNYEK

4. 1. Történeti áttekintés

4. 1. 1. A Gömör-Tornai-karszt területén található karszttavakat az *1700-as évek végétől rögzítik különböző írásos források*. Funkcióik először az egyes emberi tevékenységek kiségitése (vaskohászat, kenderáztatás, állatok itatása, horgászat) majd *tájéki, morfológiai különlegesség* (speciális keletkezés, ritkaság, unikalitás), később pedig, *megőrzendő érték* (turizmus, rekreáció, biodiverzitás növelése, védett fajok kapcsolódása, ökoszisztémák integritásának megőrzése). Bár a különböző korokban más-más funkcióik kerültek előtérbe, a tavak mindig fontos szerepet töltek be a területen.

4. 1. 2. *Ugyanazon a helyen, alkalmazkodva a helyi és globális körülményekhez, vagy hirtelen változásokhoz eltűnt, illetve ritkábban, de újra létrejött egy-egy állóvíz (ok: pl. záróréteg felnyílása; a klíma ciklusossága), azonban az emberi tevékenység befolyása az emellett jelentkező felgyorsult eutrofizációs folyamatokban nem vitatható (Samu, Keveiné 2008).*

4. 1. 3. *Az egyes tavak környékén a különböző vízhasználatok mellett a tájhasználat is eltérő (műutak, mezőgazdasági művelés, lakóépületek, erdő). Némely esetben kiterjedtebb (felszín alatti) vízgyűjtő területük is egyedien befolyásolja a vízminőséget. Ezek következményeként fejlődésük és a bennük lezajló folyamatok eltérnek egymástól. A különböző, sokféle emberi hatásra reagálva a tavak természetes folyamatai lerövidültek, illetve drasztikusan megváltoztak (pl. Gyökérréti-tó, Aggteleki-tó). A Vörös-tó állapotát rehabilitációs munkálatokkal sikerült stabilizálni, az Aggteleki-tó esetében ennek a nem megfelelő kivitelezése miatt a tó további léte és annak minősége kétséges.*

4. 1. 4. *A Papverme-tó vízminőségének megóvása fontos cél, mert ez a tó tagja a Szilicei-fennsík egyik legkiterjedtebb hidrológiai rendszerének. Ennek megvalósulásával elkerülhető lenne az egész rendszer (amelybe két barlang is beletartozik) folyamatos szennyezése, amely kedvezőtlen hatást válthat ki a felszínalatti képződményekben, élővilágnál.*

4. 2. A vízminőség értékelése

4. 2. 1. *A Papverme-tó összesített vízminősége a vizsgált években átlagosan a tűrhető (III.) és az erősen szennyezett (IV.) vízminőségi kategóriák között mozog. Oka: az oxigéntelítettség (magas a-klorofill koncentráció, nagyfokú szervesanyag-termelés), a kémiai oxigénigény (szintén nagyobb szervesanyag-tartalom), az ammónium-koncentráció (folyamatos friss szervesanyag-terhelés), a kémhatás (enyhén lúgos-lúgos, különösen a vegetációs időszakban) és a vastartalom. 2009-ben az ekkortól mért nitrit, összes foszfor és a-klorofill értékek szintén hozzájárultak a rosszabb vízminőséghez. Az oxigénviszonyok és a tápanyagok ilyen koncentrációjú jelenléte mind külső terhelésre utalnak. A vízminőség ingadozik, kora tavasszal és*

késő ősszel a fent említett szempontok alapján javul, ekkor viszont a csapadékosabb időjárás miatt a nitrát-terheltség nő. *Jelentős szennyező forrás a mezőgazdasági telep és a falu felől érkező pontszerű befolyás. Ez a tavi vízminőség rontásán kívül veszélyezteti a tóval összeköttetésben álló barlangrendszereket. Ezek terhelése az utóbbi időben mérséklődött, mivel a Gyökérréti-kutak felől nem érkezik akkora szennyezés (pl. nitrát), mint 1982-ben (ma ez a negyedére csökkent). A Papverme-tóban jellemzően állandó friss szerves szennyezés mérhető (Samu, Keveiné 2010a).*

A korábbiakhoz képest csökkent az összes foszfor és az ortofoszfát-koncentráció, magasabbak viszont az a-klorofill értékek. A nitrát-tartalom hasonlóan alakul, mint 1982-ben – a Fekete-forrásban lecsökkent, de valamivel még magasabb, mint a tavi koncentráció. A megnövekedett algamennyiséget tükrözik vissza az éves oxigéntelítettség adatok (jelentős túltelítettség napközben) és az áprilisi oxigén-profil (instabil oxigénviszonyokat tükröz) is. Az alkalinitás és az összes keménység lecsökkent 1982 óta, hasonlít viszont az 1992-ben mért értékekre. A kémhatás az enyhén lúgos tartományba tolódott. *Időnként (különösen nyaranta) megnő a toxikus ammónia részaránya, amely elérte a halak szempontjából a mérgező szintet.*

Az emberi hatás hasonlóan intenzív, mint 1982-ben vagy 1992-ben, amit a vízminőség is tükröz.

A Fekete-forrás vízminősége 2010-ben 1-2 kategóriával jobb, mint a tavi vízminőség, de összességében így is a közepes és a szennyezett osztályok között mozog. Oka elsősorban a nitrát-tartalom, ami a Gyökérréti-kutakban ugyanilyen magas (a tóban főként ősszel és tavasszal).

4. 2. 2. *A Vörös-tó összesített vízminősége túlnyomórészt mindhárom évben szennyezett (IV.) és erősen szennyezett (V.) volt. Ez elsősorban a magas a geológiai eredetű vastartalomból, másrészt az összes foszfor tartalomból adódott. Amennyiben a vastartalomtól eltekintünk, akkor az összesített vízminőség általában közepes, a kémiai oxigénigény, az a-klorofill-koncentráció, időnként pedig az oxigén-telítettség következtében.*

4. 2. 3. *A Kender-tó összesített vízminősége a szennyezett (IV.) és az erősen szennyezett (V.) kategóriák között mozog. Szintén permanensen magas a*

vastartalom, amely ugyanúgy a geológiai környezetének következménye, tehát itt sem tekinthető szennyezésnek. Időnként a mangán értékei is magasabbak voltak. 2008-ban és 2009-ben a kémiai oxigénigény miatt is igen rossz minősítést kapott, ez 2010-re legalább egy kategóriát javult a közepesig (III.). Az oxigén-telítettség értékei viszont romlottak 2010-re. Szintén erősen szennyezett minősítést kapott a tó az összes foszfor koncentráció miatt is, ami a belső terhelésből ered.

4. 2. 4. *Az Aggteleki-tó összesített vízminősége egyöntetűen (a tavaszi időszakot leszámítva) erősen szennyezett (V.) a legtöbb paraméter alapján. Kivételt az oxigénháztartás paraméterei jelentettek egy rövid időszakban 2009 őszétől 2010 nyaráig, az oldott oxigéntartalom, a nitrát/nitrit-tartalom, az ammónium-koncentráció, a vezetőképesség és a vastartalom 2010 tavaszától. A vizsgált víztestek közül egyértelműen a legrosszabb állapotú a vízminőség tekintetében, javulásra utaló jel nem nagyon volt a vizsgált időszakban (Samu, Keveiné 2009, 2010b)*

4. 2. 5. *A Tengersizem-tó összesített vízminősége többnyire közepes (III.) és ezzel a vizsgált állóvizek közül a legjobbnak mondható. A közepes minősítésért főként a nitrát-tartalom-, illetve az ortofoszfát- és az összes foszfortartalom volt a felelős, 2010-ben. Az ammónium-koncentráció 2009-ben, a vezetőképesség mindkét évben permanensen a II. vízminőségi kategóriába esett. A Jósva-forrás és a Jósva-patak értékei nem különböztek számottevően a tóban mért értékektől.*

4. 2. 6. *A legnagyobb trofitási fokkal a Papverme-tó rendelkezik - valószínűleg azért, mert itt a parti sáv kivételével hiányzik a makrovegetáció, ami visszafogja az algák szaporodását. Így ez a tó többnyire eutrófikus, illetve eu-politrofikus, az Aggteleki-tó mezo-eutrófikus, míg a Kender- és Vöröstavak mezotrófikusak. A Tengersizem-tó ultra-oligotrófikusnak tekinthető. A szaprobitás szempontjából ez előbbi négy tó hasonló: mindhárom évben alfa-mezoszaprobikus, míg a Fekete- és a Jósva-források, a Jósva-patak és a Tengersizem-tó oligoszaprobikusak 2010-re romló tendenciával, egyértelműen kimutatható tehát a csapadékmennyiséggel együtt megnövekedett szerves terhelés. A Vörös- és Kender-tavak halobitás-foka átlagosan béta-*

oligohalobikus, a Papverme- és a Tengerszem-tó alfa-oligohalobikus, az Aggteleki-tó pedig 2008-ban oligo-mezohalobikustól 2010-re szintén a csapadékkal összefüggésben az alfa-oligohalobikus kategóriáig hígul.

4. 3. A klíma és a vízminőség kapcsolata

4. 3. 1. A csapadékösszegek csökkentek az 1980-as évektől a megelőző évekhez képest, amit alátámaszt az SPI aszályindex, ebben az időszakban az aszályos periódusok száma nagyobb volt, mint a nedves időszakoké.

A Lang esőzési index alapján nyáron nőtt a csapadékmennyiség az 1980-as évek végén, azóta pedig viszonylag állandó ciklikusságot mutat. A tavaszi és őszi csapadékmennyiségre jellemző, hogy a 2000-es évektől megszüntek az extrém- és a kiugró értékek (tavasz esetén egy kivétellel 2005-ben).

A DeMartonne index alakulása azt mutatja, hogy télen megmaradtak a kiugró értékek, egyedül az 1990-es években jellemző inkább a több száraz periódus és a nedves időszakok csökkenése. 2010 újra nagyobb kiugró értékkel jellemezhető. A nyarakat tekintve a 2000-es évektől látható több aszályos periódus. Kiugróbb értékek csak az 1980-as évek végén figyelhetők meg, az ábrázolt időszakban, ebben az évszakban különösebb extrémítás nem jelentkezik. Hiába volt viszont 2010 igen csapadékos év, nyáron mégis aszály volt jellemző. Az őszi értékek esetében a 2000-es évekig előfordultak kiugró értékek a nedves időszakok irányába, a 2000-es évektől azonban nem. Ehhez képest nőtt az aszályos időszakok aránya. 2010-ben viszont újra nedvesebb őszi jelentkezett. A tavasz esetében hasonló volt a helyzet.

4. 3. 2. A vízminőségi paraméterek sok esetben erős, szignifikáns összefüggésben vannak a különböző aszályindexekkel, ami a tavak helyzetétől függően más-más módon érinti a vízminőséget. Ahol jelentősebb a hozzáfolyás mértéke, illetve nagyobb a vízgyűjtő, ott a nagyobb csapadékesemények révén főként a szerves komponensek dúsulnak fel, míg szerves szennyezés hígul (pl. $KOIps$, NH_4^+), csökken a trofitás, szaprobitás mértéke. Ezzel ellentétben azok az állóvizek, amelyek semmilyen vagy csekély hozzáfolyással rendelkeznek, nagyobb csapadékesemények idején változik pozitívabb irányba a vízminőségük (Aggteleki-, Kender-, Vörös-tavak). A legtöbb ösz-

szefüggés az általam közepes időtartamúnak jelölt SPI indexeknél fordul elő (6-12 hónap), ezek az események minden tó folyamataira kihatással vannak (pl. KOIps, NO₂⁻, NH₄⁺, Ca²⁺, keménység, átlátszóság, de az Aggtelekitónál szinte az összes főbb ion koncentráció változása is ehhez az időtartamhoz köthető). A rövidebb távú indexekkel elsősorban a Tengerszem-tó értékei korrelálnak, amely a legállandóbb hozzáfolyással rendelkezik. A CI igen konzervatívan viselkedik, a Papverme-tavat kivéve az összes tó esetében a 25 havi SPI-vel mutatott összefüggést, mennyiségének változása igen lassú. Előfordultak olyan paraméterek, amelyek csak azokkal az indexekkel mutattak összefüggést, amelyekben a hőmérséklet is szerepel, ezek az oldott oxigén és az oxigén-telítettség (ez az említett paraméterek hőmérsékletfüggéséből adódik).

Előfordultak olyan paraméterek, amelyek csak az SPI-vel mutattak összefüggést (tehát a rövidebb-hosszabb távon fennálló csapadékvizonyokkal), ezek a következők: PO₄³⁻, Mn, átlátszóság, keménység, K⁺, HCO₃⁻, a-klorofill. A többi paraméter mindkét esetben előfordult. Így tehát az előzőeket a hőmérséklet változása jobban befolyásolja, vannak, amelyekre egyformán hatással van a csapadékmennyiség és a hőmérséklet és olyanok is előfordultak, amelyekre a csapadék van nagyobb hatással.

Mivel a legtöbb vízkémiai paramétert befolyásolják az extrém időjárási események, így, ezek gyakoriságának növekedésével számolni kell a vízminőség és –mennyiség változásának szélsőségeivel, ami különösen az ilyen sekély és instabil tavak esetében végzetes változásokat indíthat el. (Samu, Bárány-Kevei 2010).

4. 3. 3. A vízminőségi paraméterek maximum értékei a leggyakrabban a globálsugárzás, a légnyomás és a csapadék minimum értékeinél és maximális relatív nedvességtartalom esetén jelentkeznek. Ennek megfelelően a vízminőségi paraméterek maximum értékei leginkább gyenge átvonuló melegfrontokhoz kapcsolhatók, amelyek elősegíthetik a feldúsulásukat. Ugyanakkor a vízminőségi paraméterek minimum értékei általában akkor jelentkeznek, amikor a globálsugárzás és a relatív nedvesség maximuma, míg a légnyomás és a szélsebesség minimuma mérhető. Ezek az értékek posztmelegfronti hatást feltételeznek, amelyek valószínűleg anticiklonális peremhelyzetben fejlődnek ki, amelyek elősegítik az adott faktor hígulását.

Ennek eredményeként elmondható, hogy a vízkémiai paraméterek pozitív és negatív extrém értékei is kevert időjárási helyzetekhez kapcsolhatók, leginkább gyenge vagy felbomlóban lévő melegfrontokhoz.

A kétlépéses faktoranalízis egy, a klimatikus paraméterek vizminőségre tett hatásának vizsgálatára alkalmazott módszer, amelynél a faktoranalízis speciális transzformációval való használata újszerű megközelítés. Ezenkívül a kétlépéses faktoranalízis használata az eredményváltozók számának csökkentésében szintén újszerű. Alkalmazásának előnye, hogy jelentősen lecsökkenti az eredményváltozók számát. Így az információvesztés kb. 20 %.

4. 4. A tavak közti hasonlóságok és különbségek értékelése többváltozós statisztikai módszerekkel

A tavak profiljainak elkülönítésében fontos szerepe van a kis területen belül is heterogén vízgyűjtő geológiai környezetének, a víz szerves anyagokkal való terheltsége mértékének és a nitráttartalomnak, ezenkívül, ha csak az átlagolt értékeket tekintjük, az ortofoszfát, vas- és mangántartalomnak is. Oka: a faktoranalízis eredményeképpen létrejött faktorokból a diszkriminancia-analízis a legerősebb osztályozó tényezőkként az 1. esetben a vezetőképességből, valamint a nitrátból és a KOIps-ből előállított faktorokat jelölte meg, míg a 2. esetben a nitrátból, KOIps-ből, Fe és Mn-ből, továbbá a vezetőképességből és az ortofoszfátból előállt faktorok szerepeltek.

A különböző eredetű szervesanyag- illetve nitráatterheltség eltérő az egyes víztestek esetében és a feltöltődés megakadályozásában, illetve a felszín alatti környezet szennyezésének meggátolására tett erőfeszítésekben ezek megszüntetésére tett lépések kiemelt fontosságúak.

Az elemzés során, az adatok alapján a tavak három csoportját különítettem el: az első csoporthoz tartozik a Gyökérréti-kút, Fekete-forrás, Jósva-patak és Tengersizem-tó, a másodikhoz a Kender- és a Vörös-tó, a harmadikhoz a Papverme- és az Aggteleki-tavak.

Havi szinten kimutatható a szezonális, az évszakos trendek szerepe, illetve a különböző években uralkodó eltérő viszonyok (időjárási feltételek, szennyezettség, stb.) szerepe (Samu, Bárányi-Kevei 2010).

4. 5. A tavi üledékek és a talajok vizsgálatának eredményei

4. 5. 1. *A vizsgált talajokban nincs határérték feletti nehézfém-koncentráció.*

A üledékek esetében határérték-túllépés jellemző a Papverme-, Vörös-, Aggteleki- és Gyökérréti-tavak Ni-koncentrációiban, a Vörös- és Aggteleki-tavaknál a Cr-, és a Vörös-tó esetében a Cd-koncentrációban is.

A szekvenciális feltárás alapján elmondható, hogy az üledékek nehézfém-tartalmának nagy része természetes körülmények között nem mobilis. A legnagyobb arányú mobilitás a Gyökérréti-, Kender- és Aggteleki-tavak esetén volt tapasztalható; a leginkább mobilis fémek a Cd és a Co, majd a Cr. A mobilis frakciók közül az előbb említett három tónál, valamint a Tengerszemnél nagyobb arányú az oxidálható frakcióhoz, tehát a szerves anyagokhoz való kötődés és szintén a három tónál a kicserélhető, valamint a karbonátokhoz kötődő frakciók aránya is. A másik két tónál a kb. 50 %-os mobilitással rendelkező nehézfém-mennyiség megoszlik a három mobilis frakció között. Gondot jelenthet a Cr, amely viszonylag mobilis és időnként határértéket meghaladó koncentrációban van jelen.

4. 5. 2. *Az Aggteleki-tó üledékének nehézfém-tartalmában történt változásokra jellemző, hogy nikkeltartalma megduplázódott 2000-hez képest, ugyanígy a króm és az ólom tartalom – ez utóbbiaknál nincs azonban határérték-túllépés, a kadmium és a cinktartalom csökkent, a kobalt pedig nagyjából hasonló értékeket vesz fel. A mennyiség-növekedések oka lehet egy esetlegesen korábban nagyobb mennyiségben felhalmozódott nikkeltartalom és ólom-mennyiség, amely származhat a közlekedésből, légköri kiülepedésből, – 60 km-es körzetben gyárak találhatóak, pl. cementgyár, US Steel (Szlovákiában ez utóbbi még K-Szlovákiai Vasművekként 1965-1989 között bevallottan a környék legnagyobb környezetszennyezője volt), ez a szennyezés azonban a '90-es években lecsökkenhetett és a réteg, amelyből mintát vettek, kevésbé volt ezekkel az elemekkel terhelt. A kotrással azonban újra felszínre kerülhetett a korábbi, szennyezettebb réteg. Egy másik ok lehet, hogy a kotrás óta nagyobb mennyiségben halmozódtak fel itt nehézfémek, illetve a természetes eredet is: az alapkőzet magasabb nehézfém-tartalma.*

4. 5. 3. A Rock-Eval pirolízis eredményei alapján a legnagyobb szervesanyag-tartalommal a Kender-, majd az Aggteleki-, illetve a Vörös-tó üledéke rendelkezik. Mivel az egyes üledékek szerves anyagának termikus érettségi mutatója alig különbözik egymástól, hasonló minőségűnek tekinthetők. A rendszerbe való külső behordódásra utaló mutatókat kaptam a Tengersizem-, ill. a Papverme-tó esetében, előbbinél a Jósza-forrás hoz utánpótlást, míg utóbbi esetén a szennyvízhozáfolyás, illetve a közlekedésből származó szennyezések bemosódása. Az Aggteleki-, Kender- és Vörösvavakban a mutatók a beérkező friss növényi anyag magasabb arányú kezdeti fázisú átalakulására utalnak, ez mindhárom esetben elég jelentős mennyiséget képvisel. A Papverme-tó üledékének szerves anyagában jellemző az inert frakció nagyobb arányú jelenléte, eredete valószínűleg legnagyobb-részt a karbonátos alapkőzet.

A kotrás hatására utaló jelzésként értelmezhető a biomakromolekula osztályok relatív evolúciójának kisebb aránya az Aggteleki-, de főleg a Vörös-tó esetében, mivel ezeknél a felsőbb – éretlenebb szerves anyagot tartalmazó részt a kotrással eltávolították.

A Papverme- és a Vörös-tó esetében a talajban lévő kioldható PO_4^{3-} -tartalom meghaladja az üledékben levő mennyiséget és főként a Papverme-tó esetében erős korrelációban is van a vízben levő koncentrációkkal. Ebből arra lehet következtetni, hogy ennek a két tónak az esetében a külső terhelés játssza a nagyobb szerepet. A Papverme-tó esetében kivételt képez a szennyvízbefolyás (P6 mintavételi pont), amelynek nagyobb a PO_4^{3-} koncentrációja az üledékben és a talajban lévő mennyiségnél is, tehát ez itt egyértelmű pontszerű szennyező-forrásként tartható számon. Az Aggteleki-tó esetében hasonlóak az értékek az üledékben, a talajban és a vízben lévő PO_4^{3-} -tartalom esetében. Ez szintén a saját üledékkel való környezetfeltöltéssel magyarázható, ezért ez a tó gyakorlatilag azonos terhelést kap kívülről és belülről is. A Kender-tó esetében az üledékből kioldható szennyezés koncentrációja a magasabb, így ebben az esetben a belső terhelés mondható nagyobb-nak. A Gyökérréti-tó üledéke ebből a szempontból hasonló a Kender-tó üledékéhez, míg a Tengersizem- a Papverme-tóval mutat hasonlóságot. A NO_3^- -tartalomnak a Kender-tó kivételével, mindenütt a talajban magasabb az aránya, viszont itt gyengébb a korreláció, amiből arra lehet

következtetni, hogy a nitrát-tartalom kimosódása nem jelent közvetlen kockázati tényezőt. Közvetve veszélyforrás lehet akkor, ha a felszín alatti karsztvízrendszerbe jut, ahol táplálja a forrásokat, amelyek különösen tavasszal és ősszel hoznak szennyezést. A Tengerszem-, Gyökérréti- és Vörös-tavak üledékének NO_3^- -tartalma igen alacsonynak mondható.

4. 5. 4. Az Aggteleki-tó kotrás utáni állapotára jellemző, hogy az üledék kémhatása megegyezik a 10 évvel korábbival, szárazanyag-tartalma valamivel magasabb. Az üledék összes tápanyag-koncentrációja szintén csökkent a kotrás után, ez azonban újra növekedő tendenciát mutat. A kotrás csökkentette a felhalmozódott üledék mennyiségét, de ezzel együtt felszínre került egy magasabb nehézfém-tartalmú réteg, amely származhat múltbeli légköri kiülepedésből. Valószínűleg a kotrás miatt csökkent az üledékben levő éretlenebb szervesanyag-mennyiség, azonban mivel az üledékekkel a tó környékét töltötték fel, a külső terhelés azonos lehet a belső terhelés nagyságával, ami nagyban gátolja a tó vízminőségének javulását.

A Vörös-tó vízminősége jónak nevezhető, a belső terhelést csökkentette a kotrás, amely eltávolította a felső, nagyobb szervesanyag-tartalmú réteget, közvetlen környezetét folyamatosan karbantartja az Aggteleki Nemzeti Park, ami által a külső terhelést is minimalizálták.

A PHD ÉRTEKEZÉS MEGÍRÁSÁHOZ KÖZVETLENÜL FELHASZNÁLT PUBLIKÁCIÓK

- SAMU, A., KEVEINÉ BÁRÁNY, I.** (2008): Karsztos tavak története és állapotváltozásai az Aggteleki és Szlovák Karsztokon, Karsztfejlődés XIII., Szombathely, p. 117-134.
- SAMU, A., BÁRÁNY-KEVEI, I.** (2009): Characterization and changes in the state of the lakes in the field of Aggtelek and Slovak Karst, *Acta Climatologica et Chorologica Universitatis Szegediensis*, 42-43, 121-129.
- SAMU, A., TANÁCS, E., BÁRÁNY-KEVEI, I.** (2010a): A characterization of the lakes in Aggtelek and Slovak karst and changes in their state, *Karst Development* 1 (1): 31-40.
- SAMU, A., KEVEINÉ BÁRÁNY, I.** (2010): Jelenlegi és múltbeli állapot a Gömör-Tornai-karszt tavain a Papverme-tó példáján, *Tájökológiai Lapok* 8 (1): 111-121.
- SAMU, A., BÁRÁNY-KEVEI, I.** (2010b): Water quality characterization and determination of the environmental stress on the karstic lakes in Aggtelek and Slovak karst. In: Barančoková, M., Krajčí, J., Kollár, J., Belčáková, I. (eds.), *Landscape ecology - methods, applications and interdisciplinary approach*. Institute of Landscape Ecology, Slovak Academy of Sciences, Bratislava, p. 471-487. ISBN 978-80-89325-16-0

A PHD ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁHOZ KAPCSOLÓDÓ KON- FERENCIA KIADVÁNYOK

- SAMU, A., KEVEINÉ BÁRÁNY, I.** (2008): Karsztos tavak vízminősítése néhány vízkémiai paraméter alapján, IV. Magyar Földrajzi Konferencia, Debrecen, p. 65-71.
- SAMU, A., KISS, M., TANÁCS, E.** (2010): Környezeti változások modellezése Bayes hálók segítségével, karsztos tavak eutrofizációjának példáján. *Tájökológiai Kutatások*, IV. Magyar Tájökológiai Konferencia Kerekegyháza pp 239-247.

EGYÉB PUBLIKÁCIÓK

- TANÁCS, E. – SAMU, A. – BÁRÁNY-KEVEI, I. (2007): Forest structure studies in Aggtelek National Park (Hungary). Acta Climatologica et Chorologica. Tom. 40-41. pp. 123-133.
- TANÁCS, E., BARTA, K., JÁRMI, R., KISS, M., SAMU, A., KEVEINÉ BÁRÁNY, I. (2007): A talajtulajdonságok és a faállomány kapcsolata a Haragistya-Lófej Erdőrezervátum területén (Aggteleki karszt), Karsztfejlődés XII., Szombathely, p. 225-240.
- BARTA K. – TANÁCS E. – SAMU A. – KEVEINÉ BÁRÁNY I. (2009): Hazai rendszárak megfeleltetése a WBR nemzetközi talajosztályozási rendszerben. Agrokémia és Talajtan.58,1.pp. 7-18.