

Beszámoló
„Az antropogén hatásra bekövetkezett állapotváltozások értékelése a karsztokon az erdők és tavak változásai alapján” című OTKA Pályázatról (2009.04.01-2012.03.31)

Bevezetés

A karszt rendszer integritása a karsztosodást kialakító tényezők kapcsolatrendszerében fejeződik ki. A rendszer faktorainak működését az emberi tevékenység megzavarhatja, mivel a külső hatások igen gyorsan érvényesülhetnek a karsztok háromdimenziós érzékeny rendszerében. A *karsztok védelme* magába foglalja a karsztok élőhelyeinek, vizeinek védelmét. OTKA pályázatunk célja volt a karsztok emberi tevékenység hatására bekövetkező tájváltozásának értékelése a karsztos erdőségek- és tavak változásai alapján. A tájhasználat változást az Aggteleki-karszton, a Bükk-, a Mecsek- és a Bakony-hegységben Corin adatbázisok és Landsat felvételek felhasználásával végeztük. Az erdő kutatás az Aggteleki karszt Haragistya-Lófej erdőrezervátumában az erdőhasználatra, az idegenhonos fafajok területi eloszlására, az élő és holtfa arányainak változására, az erdőirtások hatására terjedt ki. A tavak vizének kémiai és biológiai jellemzőit, az eutrofizációs folyamatok kialakulását és sajátosságait a Gömör-Tornai Karszt tavain monitoroztuk. A hazai tavak mellett, vizsgáltuk a szlovák területen található karszttavak korábbi-, és jelenlegi állapotát is.

1. Módszerek

1.1. Tájvizsgálati módszerek

1.2. Tájhasználat-változás a CLC adatbázisok alapján

A vizsgálat során a magyarországi kistáj-beosztás és az 1:100000-es felszíni földtani térkép alapján határoltunk le karsztos területeket az Aggteleki-karszton, a Bükkben, a Mecsekben és a Bakonyban. Tájegységenként egy vagy két olyan mintaterületet is kiválasztottunk, amelyek az előbbieket közelében, hasonló tengerszint feletti magasságon helyezkednek el, de nem karsztosodó alapkőzeten. Az 1990-es, 2000-es és 2006-os Corine Land Cover adatbázisok alapján megvizsgáltuk a kiválasztott területek jellemző felszínborítási, illetve területhasználati viszonyait, illetve az egyes időpontok között bekövetkezett változásokat (típus, terület, összes változás). Az eljárás során ArcGIS 9.1 és PASW Statistics 18 szoftvereket alkalmaztunk.

1.2.1. Az erdőborítás változásainak vizsgálata Landsat TM5 műholdképek alapján

A vizsgálatot az Aggteleki-karsztra és a Nyugat-Mecsekre végeztük el, 1985, 1994, 2006 és 2010, illetve 1985, 1994, 2003 és 2011 évekből származó nyári (július vége-augusztus eleje) műholdfelvételeken. A szenzorok eltéréséből adódó különbségek kiküszöbölése érdekében csak a Landsat TM5 adatait használtuk. A képek előfeldolgozása során az ERDAS Imagine 2011 szoftver segítségével először eltávolítottuk a felhőket, majd atmoszferikus korrekciót hajtottunk végre. Az árnyékhatás kiküszöböléséhez a GTOPO30 30 m felbontású domborzatmodell segítségével topografikus korrekciót végeztünk, majd hisztogram-illesztést hajtottunk végre. Az egymáshoz illesztett képekre NDVI vegetációs indexet számítottunk, és a 4 év értékei alapján nem ellenőrzött osztályozás segítségével elválasztottuk a jellemzően erdős és cserjés területeket a mesterséges felszínektől és fátlan területektől. Ezután már csak az erdőterületekre az egyes évek különbségeit térképen ábrázoltuk. A Mecsek esetében kísérletet tettünk a különböző időszakokban zajlott, nagyobb felszínborítás-változással járó fahasználatok (feltehetően tarvágások) objektum-alapú elkülönítésére is, ehhez az eCognition 8.7-et használtuk. Az értelmezés vizuális interpretáció útján történt.

1.2.2. Eltérő fajösszetételű erdőállományok vegetációs index értékeinek alakulása a megelőző időjárási viszonyok függvényében

Az előbbieken leírt előfeldolgozás után 10, az Aggteleki-karszt területét tartalmazó, a lehető legkisebb felhőborítással zavart Landsat TM5 műholdképet elemeztünk ki, az év azonos szakából (július vége, augusztus eleje – 1985, 1987, 1993, 1994, 2006, 2007, 2009 és 2010). Üzemtervi adatok és terepbejárások alapján 25 mintaterületet jelöltünk ki, 4 erdőtípusból (fenyvesek, bükkösök, üde gyertyános-tölgyesek, száraz tölgyesek), ezekre pixelenként és átlagolva is meghatároztuk az adott évi NDVI értékeket. Az éveket is csoportokba soroltuk, az aktuális és előző havi csapadék, valamint az SPI aszályindex értékek alapján. Az elemzés során megvizsgáltuk a csapadék, az SPI és az NDVI értékek kapcsolatát az egyes erdőtípusokban, továbbá az NDVI átlagok alakulását az aszályos, átlagos és csapadékos években.

1.3. Az Aggteleki-karszt klímájának elemzése

Az elemzés az OMSZ jósvafői mérőállomásának hőmérséklet és csapadék adatsorain alapul. Az évi középhőmérsékletek és csapadékösszegek időbeli alakulása mellett az Ellenberg-féle klímahányados értékeit vizsgáltuk, továbbá aszályos és csapadékos időszakokat különítettünk el az SPI aszályindex segítségével. Ennek számításához az SPI SL 6 programot futtattuk a havi csapadékadatokra. Az eredmények alapján évenkénti bontásban vizsgáltuk az aszályos, illetve az átlagnál csapadékosabb periódusok számát és erősségét. Az eredményeket felhasználtuk mind az erdőállományok, mind a tavak állapotának értékelése során.

1.4. A faállomány-szerkezeti vizsgálatok módszerei

1.4.1. Térbeli mintázatok és összefüggések:

A korábbi, 2006 áprilisától 2007 novemberéig elvégzett faállomány-szerkezeti felmérés során 361 db. 50x50 m-es rácshálóban elhelyezkedő, 10 m sugarú, állandósított mintakörben az 5 cm-nél nagyobb mellmagassági átmérőjű és/vagy 5 m-nél magasabb fásszárúak pozícióját, fajtát, mellmagassági átmérőjét, szociális helyzetét, és egyéb jellemzőit, továbbá az 5 cm középátmérőt meghaladó fekvő holtfa tulajdonságait mértük fel. Ezekből az adatokból fajösszetéleri és strukturális mutatókat állítottunk elő a faállomány különböző csoportjaira (élő és álló holt egyedek, fatermetűek és cserjék) és megvizsgáltuk ezek térbeli eloszlását a területen. A mintapontokat különböző szempontok szerint csoportosítottuk, és megvizsgáltuk az erdőszerkezeti mutatók eltéréseit a csoportok között, valamint a csoportok kapcsolatait. A faállomány mért strukturális és kompozicionális jellemzőinek értékeit egy kisebb részterületen elvégzett talajtani mérések eredményeivel, valamint a domborzatmodellből számított különböző morfológiai, hidrológiai és mikroklimatikus paraméterek értékeivel vetettük össze. Vizsgáltuk a faállomány jellemző összetételét az egyes talajtípusokon, és a domborzati paraméterek alakulását az egyes erdőtípusokban.

1.4.2. Időbeli változások közvetett rekonstrukciója

A felvételezés adatai alapján kísérletet tettünk a területen zajló fajösszetéleri változások közvetett leírására. Abból a feltevésekből indultunk ki, hogy amennyiben a közelmúltban a fafajok aránya adott helyen változott, az élő egyedek fajösszetétele el kell, hogy térjen a teljes faállományban (ideértve az élő, álló holt és frissen kidőlt fákat és cserjéket) tapasztalható arányoktól. A teljes állomány fajösszetétele ily módon mintegy modellként írja le egy (fiktív) korábbi időpont fajösszetételét. A fajok (darabszám szerinti) megoszlását χ^2 -próba segítségével vetettük össze a mérés időpontjában és a modellezett korábbi időpontban. Vizsgáltuk továbbá a fafajok megoszlását az egyes szociális helyzet és átmérő-csoportokban.

1.4.3. Monitoring, mortalitás-vizsgálatok

2009 novemberében a vizsgált terület déli, illetve 2012 áprilisában az északi részén végeztünk mortalitás-vizsgálatokat, az állandósított mintapontok nyomtatott törzstérképeinek segítségével, 76 illetve 90 mintapontban. A változásokat adatbázisban rögzítettük, és megvizsgáltuk az elpusztult egyedek fajösszetételét, méreteit, s az állományban betöltött korábbi szerepüket. A faállomány-szerkezeti felmérés állandósított mintaköreiben 11 helyen cönológiai felvételezést is végeztünk, egy kelet-nyugati irányú transzekt mentén, különböző fajösszetételű állományokban, június hónapban.

1.5. A tavak kutatási módszerei

1.5.1. Mintavételi módszerek

A vízmintavételezést havi rendszerességgel végeztük 2008-2010 között, a téli hónapok kivételével. A mintavételi helyeket a partközeli részeken jelöltük ki, és mintát vettünk onnan, ahol befolyás érkezik a tavakhoz, illetve onnan, ahonnan kifolyás történik. Üledék-mintavételezést évente egyszer végeztünk, a mintavételi pontok kijelölése a vízmintavételi pontok közelében történt. A minta típusa: felszíni és kevert minta volt. A talaj-mintavételezést 2008-ban végeztük, az üledékvizsgálatokhoz hasonló elvek alapján.

1.5.2. vízminőség-értékelés

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

1.5.3. Terepi és laboratóriumi vizsgálatok

A terepi és laboratóriumi vizsgálatoknál a hatályban lévő magyar szabványokat követtük. A vének a következő paramétereit mértük: oldott oxigéntartalom, oxigéntelítettség, kémiai oxigénigény, nitrát, nitrit, ortofoszfát, összes foszfor, ammónium, a-klorofill, kémhatás, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Fe , Mn , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , vezetőképesség, levegő- és vízhőmérséklet, átlátszóság, zavarosság, mélység, légnyomás, keménység, alkalinitás. Az üledék esetében: P, N, szervesanyag-tartalom, kémhatás, összesótartalom, nehézfémek (összes és mobilizálható), szervesanyag-tartalom képezte a vizsgálat tárgyát. A talajok esetében: P, N, nehézfém méréseket végeztünk.

1.5.4. Statisztikai értékelés és klimatológiai vizsgálatok

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

1.5.5. Történeti áttekintés

A tavak történetét és a tájhasználatot különböző térképfelvételek alapján elemeztük (I., II., III. katonai térképezés és ezek későbbi kiadásai, Vass Imre térképe, Google Earth). A hazai vonatkozó cikkek értékelése mellett, az Aggteleki és a Szlovák Nemzeti Park archívumaiban található anyagokat is értékeltük.

2. Eredmények

2.1. Tájváltozás

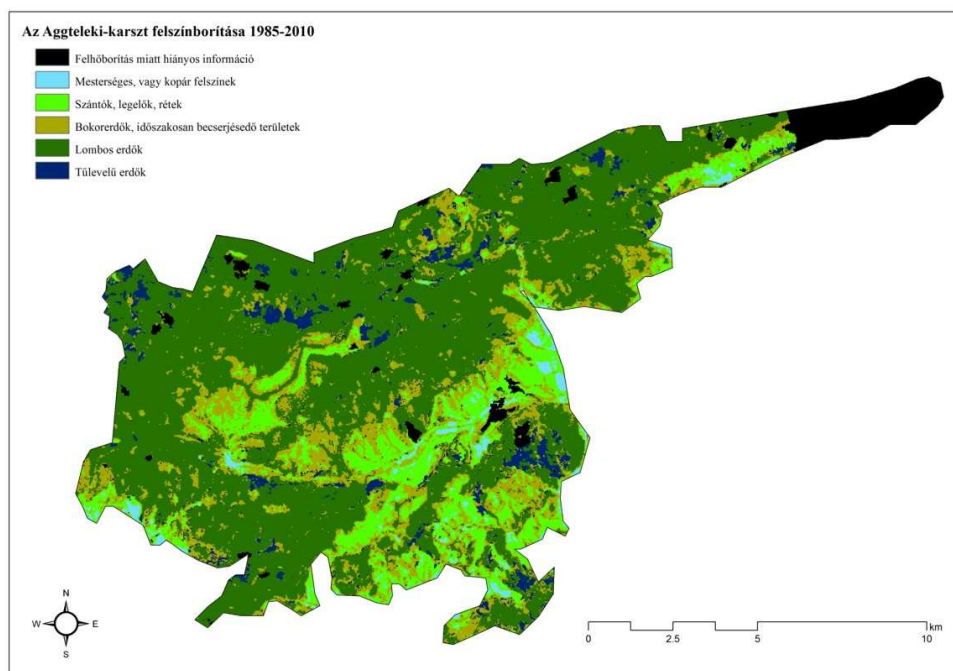
2.1.1. A magyarországi karszterületek tájhasználatának alakulása 1990 és 2006 között, a CLC adatbázisok alapján

Az erdőgazdálkodás igen jelentős szerepet játszik a vizsgált magyarországi karszterületeken, az erdők részaránya a felszínborítási típusok között mindenütt 70-90%-os. A nem erdő borította területeken jelentős a gyepek és rétek aránya, s jellemző a kőbányák jelenléte. 1990 és 2006 között nem történtek jelentős változások a felszínborításban (2000 és 2006 között csak 2,8%), a rendszerváltást követő tíz évben nagyobb volt a változás (6,9%). Ezek a változások az erdőgazdálkodáshoz (felújítások, illetve a zárt erdőborítás időszakos megszűnése tarvágást követően; rétek becserjésedése) és a bányászathoz kötődtek (külszíni fejtés megszűnése, rekultiváció), s a szántók és rétek aránya módosult.

A vizsgált időszakban tájhasználat szempontjából meghatározó volt az 1996-os erdőtörvény (amely korlátozta az idegenhonos fajok telepítését, illetve a tarvágások méretét), hatása megfigyelhető a felszínborítási térképeken: 1990 és 2000 között mind a Bakony, mind a Bükk területén történtek még fenyvesítések, míg 2000 és 2006 között erre egyik területen sincs erre példa. A tarvágások méretét korlátozó szabályozás hatása kevésbé figyelhető meg; a törvényben szereplő, hegyvidéki erdőkre vonatkozó 5 hektáros korlátozás csak a „felújítatlan vágásterületekre” vonatkozott, tehát egy hosszabb (pl. tízéves) időszakra nézve nem zárta ki nagyobb területen az erdőborítás ideiglenes megszűnését.

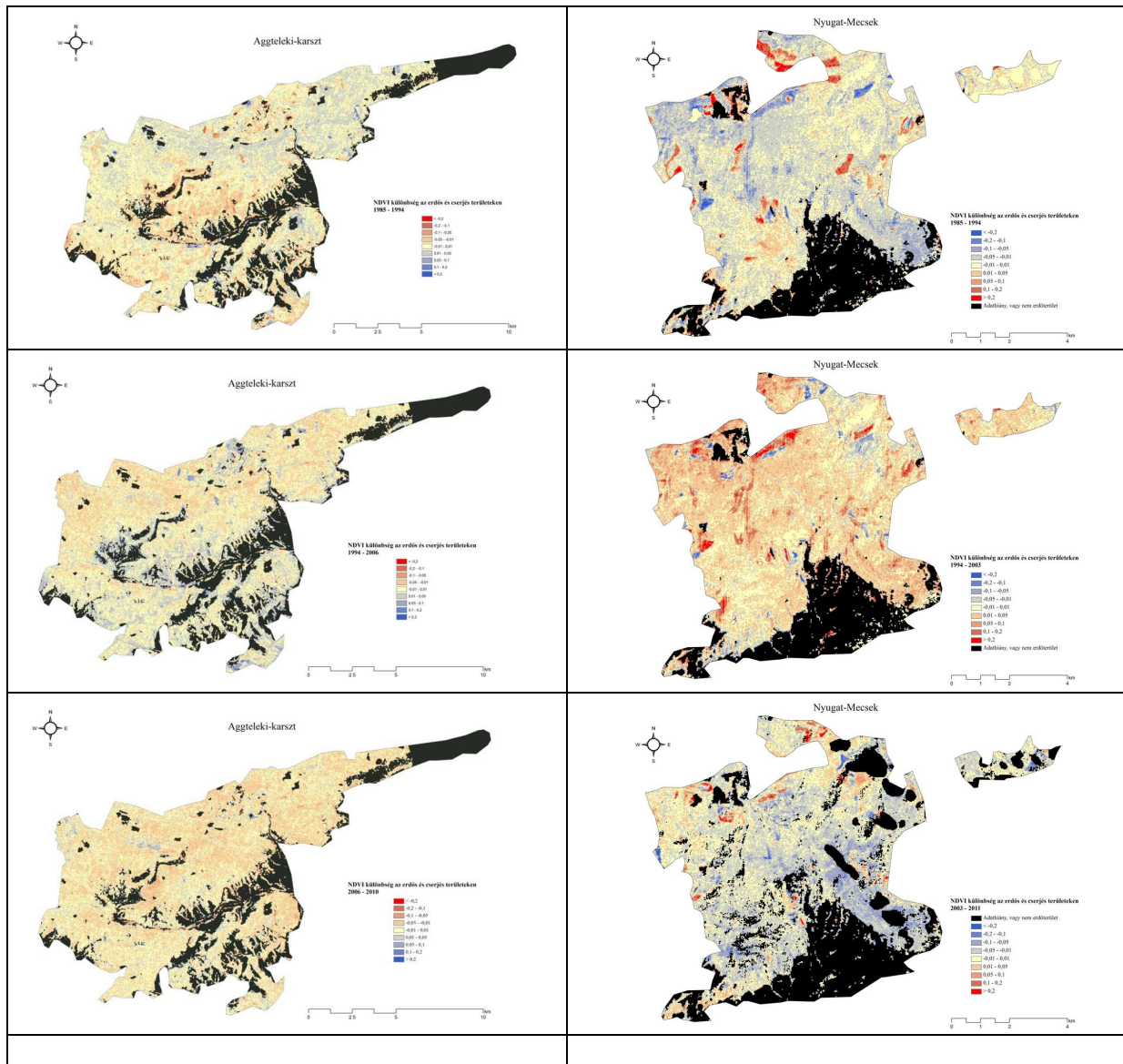
2.1.2. Az erdőborítás változásainak vizsgálata Landsat műholdképek alapján az Aggteleki-karszton és a Mecsekben 1985 és 2011 között

Az Aggteleki-karszton a termőhelyi viszonyok (nyílt karsztos felszín, erősen erodálódott sekély talajok, csekély népszerűség) miatt, az erdők növekedése lassú, az állományok többsége a 4-6-os termőhely-osztályba sorolódik (1. ábra). Jelentős részük (61%) védelmi rendeltetésű



1. ábra. Az Aggteleki karszt felszínborítása 1985-2010 között

(fokozottan védett, vagy talajvédelmi) erdő, ahol fakitermelés nem, vagy csak korlátozottan folyik. 1985 óta a terület nemzeti park, de bizonyos részek (pl. a nagyobb barlangok vízgyűjtő területei) már az 1970-es évek óta védeltséget élveznek. Ebből adódóan – noha folyik a területen erdőgazdálkodás – a felszínborítás jelentős megváltozásával járó tarvágások a karszt területén a vizsgált időszakban csak kis területet érintettek, és többnyire az 1980-as években, vagy az 1990-es évek elején zajlottak. Ezt követően a jellemző használatok inkább gyérítések, amelyek a vizsgált léptékekben kevésbé érhetőek tetten a felszínborítás változásában. Hatásuk a nagyságrendi hasonlóság miatt összemosódhat az egyes évek közötti különbségekkel, amit fokoz a karsztos területen a vegetáció mozaikossága, és a növénytársulások eltérő reakciói az időjárási extrémításokra.



2. ábra. Az erdőborítás változása az Aggteleki és Nyugat-mecseki karszton (Landsatfelvételek)

A jobb termőhelyi viszonyok és Pécs közelsége miatt a Nyugat-Mecsekben az emberi hatás jobban megmutatkozik, sokkal intenzívebb a használat (2. ábra). A Nyugat-Mecsek csak a vizsgált időszak végére került védeltség alá, 2009 óta tájvédelmi körzet. 1985 előtt, valamint 1985 és 1994 között több véghasználatra került sor, az összefüggő vágásterületek mérete

elérte a 18-20 hektárt. A következő időszakokban a vágásterületek mérete csökkent, ugyanakkor a vizsgált 26 éves időszakban a terület kb. negyedén feltételezhető jelentős beavatkozás.

Az NDVI értékében bekövetkező csökkenés még a komolyabb felszínborítás-változást előidéző tarvágások esetében is egyszeri, és a felújítási kötelezettség miatt néhány éven belül nagyságrendileg hasonló mértékű növekedés követi. Így a vizsgált időszak kezdete előtt néhány évvel végrehajtott tarvágások nyomai is felismerhetőek a térképeken.

2.1.3. Eltérő fajösszetételű erdőállományok vegetációs index értékeinek alakulása a megelőző időjárási viszonyok függvényében

Az eredmények alapján az NDVI értékek jellemzően a 2-hónapos intervallumra számított SPI értékkel mutatták a legerősebb kapcsolatot (gyenge, negatív összefüggés), bár a bükkösök esetében az 5-6 hónapos indexszel is kimutatható összefüggés. A különböző erdőtípusok eltérően viselkednek, a fenyvesek esetében a korreláció pozitív, a száraz tölgyeseknél pedig nagyon gyenge az összefüggés. A vizsgált évek közül 1985, 2006 és 2009 nyara tekinthető átlagosnak, 1987, 1993, 1994 és 2007 aszályosnak, és egyedül 2010 csapadékosnak. A mintaterületek pixelátlagaival számolva az átlagos és az aszályos évek közt nincs különbség, 2010-ben viszont szignifikánsan alacsonyabb NDVI értékek voltak jellemzőek; a pixelértékek alkalmazása esetén az aszályos évek átlaga is meghaladja az átlagos évekét. A fenyvesek ezzel ellentétes tendenciát mutatnak, míg a száraz tölgyesekben nem mutatható ki különbség.

2.2. Faállomány-szerkezeti vizsgálatok a Haragistya-Lófej erdőrezervátumban

A projekt célkitűzései között szerepelt a Haragistya-Lófej erdőrezervátum állomány-szerkezetére vonatkozó korábbi adatok feldolgozása, valamint a rövid távú mortalitás vizsgálata az állandósított mintakörökben. Ennek tükrében vizsgáltuk az igen heterogén szerkezet térbeli alakulását, mintázatait, valamint az ezeket lokálisan befolyásoló természeti és antropogén tényezők hatásait. Kísérletet tettünk a szerkezet időbeli alakulásának rekonstrukciójára (a közelmúltban-jelenben zajló esetleges változások jellegének és irányának meghatározására) a faállomány "emlékezete" segítségével, a méret- és szociális helyzet csoportok, valamint a holtfa fajösszetétel felhasználásával. Kisebb részterületeken faegyed szintjén monitoroztuk a tényleges mortalitást, illetve információt gyűjtöttünk a lágyszárú és cserjeszint fajösszetételéről.

2.2.1. Térbeli mintázatok

A horizontális méret (mellmagassági átmérő és ennek statisztikái), vagy a mennyiséget jellemző mutatók (fatérfogat, törzsszám, körlapösszeg) térbeli eloszlásában markáns különbség rajzolódik ki a terület északi és déli része között, ami részben az erdők jellemző korával, részben termőhelyi okokkal magyarázható. A vertikális jellemzők közül az *állománymagasság* alakulása (az állományok korának figyelembe vétele mellett is) erőteljesen *tükrözi a felszíni morfológiát: a negatív felszíni formáknál felhalmozódott mélyebb termőrétegen*, erőteljes fényért való versengés mellett alakulnak ki *a legmagasabb erdők*. A fekvő holtfa hektáronkénti fatérfogata átlagosan 21,89 m³/ha, ami a gazdasági erdőknek felel meg, de néhány mintapontban a természetközeli erdők jellemzően magasabb értékeit is eléri. Az állományok hasonló kora, és a korábbi kezelés miatt mennyisége a lokális dinamikai jelenségek függvénye. A fekvő holtfa fafaj szerinti megoszlása többé-kevésbé követi a mintaterület fafajösszetételét, de a három leggyakoribb fajt a pionír jellegű, fényigényes fajok követik.

A *termőhely minőségét* leíró, *kitettséggel kiegészített morfológiai kategóriák* és a terepen, fajösszetétel alapján elkülönített *erdőtípusok előfordulása között szignifikáns, közepes*

erősségű kapcsolat mutatható ki. A domborzatmodellből számított különböző morfológiai paraméterek alakulása az egyes erdőtípusokban azonban erős átfedéseket jelez. Több olyan, az erdőkép és a lombkoronaszint fajösszetétele alapján elkülönülő típus is van, amelyek térbeli elhelyezkedése nem magyarázható csak természeti tényezőkkel.

A fafajok élőgyedeinek törzsszáma alapján számított relatív gyakoriság és a talajtulajdonságok kapcsolata kevés esetben kimutatható, és ha van is, többnyire gyenge, ami megfelel a szakirodalomban leírt korábbi eredményeknek. A vizsgált 7 talajtulajdonság közül a termőréteg vastagsága a leginkább meghatározó – az erre kapott összefüggések a területen előforduló két szélsőséget emelik ki, vagyis a bükköt, amely a mélyebb talajokon uralkodó, illetve a molyhos tölgyet és a húsos somot, amelyek a sekély talajokon dominánsak. A domborzatmodellből származtatott paraméterek közül egyértelműen a komplex jellemzők, pl. a mikroklimatikus viszonyokat leíró potenciális napfénytartam és besugárzás, valamint a konvergencia index kapcsolódnak erősebben a fajösszetételhez. Mivel a termőréteg vastagságával is ezek mutatják a legerősebb összefüggést, talajadatok hiányában hasonló vizsgálatokban helyettesítő adatként való alkalmazásuk indokolt lehet.

Az erdőtípus szignifikánsan összefügg az emberi hatás jellemzésére választott háttérváltozókkal. Ez arra mutat, hogy a fafajösszetétel és az erdőtípusok jelenlegi térbeli viszonyainak meghatározásában nemcsak a domborzati-termőhelyi viszonyok, hanem a kezeléstörténet is meghatározó szereppel bír. A fafajok területi eloszlása tehát a jövőben jelentősebb kényszerítő erők (újabb emberi beavatkozás, klímaváltozás, stb.) nélkül is változhat.

A mennyiségi, illetve méreteket leíró mutatók korfüggése (a legidősebb, 100-120 éves erdők átlagos értékei általában szignifikánsan magasabbak a két fiatalabb csoportnál, míg utóbbiak között nincs kimutatható különbség), továbbá a faji diverzitást mérő mutatók alacsonyabb átlagai a középső (80-100 éves) korosztályban arra utalnak, hogy a 90-100 éves kor egyfajta dinamikai fordulópontot jelent. Ezt alátámasztja az a megfigyelés, hogy az álló holtfa törzsszáma és a teljes törzsszám közötti kapcsolat erőssége eltér az egyes korcsoportokban. Az eltérés jellege erdőtípus-függő.

Az erdőtípusok jellemző kora arra utal, hogy a mintaterület legszélsőségesebb termőhelyein a melegkedvelő tölgyes állományok jelentik a spontán visszaerdősülési folyamatok kezdeti szakaszát (potenciális helyüket néhol még ma is irtásrétek foglalják el). A hagyásfákkal tarkított tölgyes erdők a korábbi legeltetés időszakának lenyomatát őrzik, a középső korcsoportban jellemző elegyetlen gyertyánosok pedig feltehetően valamilyen egyszeri, sürgős kitermelés következtében alakultak ki.

2.2.2. Időbeli változások

Az egykori kiinduló állapot (nyílt, ligetes legelő néhány hagyásfával) ma igen eltérő képet mutató állományokban is hasonló lehetett. Mivel a meglévő üzemtervekben fellelhető információk nem utalnak őshonos fajokkal történt mesterséges telepítésre, a jelenlegi eltérő képet a megindult szukcessziós folyamatok eltérő jellege és sebessége indokolja. A homorú lejtőkön, negatív formákon, a felerősödött akkumulációs folyamatok miatt kialakult mélyebb talajokon a fényért folyó küzdelem határozhatta meg a fajösszetételt, míg a lejtőkön és pozitív formákon a korábbi használatok során erodálódott talajréteg és közvetve a mikroklimatikus viszonyok válhattak meghatározóvá.

Néhány erdőtípus esetében az élő fák törzsszám szerinti fajösszetétele, illetve az élő fák, az álló holtfák és a rövidebb ideje elpusztult fekvő holtfák segítségével modellezett múltbeli fajösszetétel között szignifikáns különbség mutatható ki. Gyertyánelegyes bükkösökben az eltérések elsősorban a bükk és a gyertyán arányának közelmúltbeli növekedésére utalnak. Gyertyánelegyes kocsánytalan tölgyesekben a különbséget a tölgyfajoknak (főleg a kocsánytalan és molyhos tölgynek) a modellezett korábbi időpontban magasabb aránya, és a

gyertyán valószínűsíthető térnyerése okozza, de az összes vizsgált fa számához képest a különbség jelentősen kisebb, mint a gyertyánegyes bükkösök esetében.

A felújulás a felvételezés 5 cm-es mérethatára miatt a vizsgált adatsor alapján csak korlátozottan volt vizsgálható. A fiatal (6-os szociális helyzetű) faegyedek alacsony száma, a főbb fajok átmérőeloszlásai, valamint a terület bejárása során látottak alapján egyértelmű, hogy a *felújulás* egy ideje igen *korlátozott*. Ezt feltehetően a *magas vadlétszám* okozza. A folyamatban még most is jelentős szerepe van a sarjnak, de már nem ez a domináns. A négy leggyakoribb faj közül valamennyi fiatalon árnyalástűrő, de a mezei juhar és a barkócaberkenye csak ott jelenik meg, ahol a bükk a felső lombkoronaszintben még nem vált uralkodóvá. Ahol ez megtörtént, ott a bükkön kívül a közelmúltban más faj nem volt képes újulni. Az üde gyertyános-kocsánytalan tölgyesekben a fiatal fák többnyire gyertyánok, vagy mezei juharok. A száraz, nyílt tölgyesekben a fiatal fák fajösszetétele jóval változatosabb, és helyenként a (molyhos) tölgy is megjelenik, de a barkócaberkenye és a mezei juhar aránya jelentősebb.

A *fajösszetétel jelenlegi alakulását* közvetlenül befolyásoló két fő folyamat közül a területen ma *egyértelműen a mortalitás a meghatározó, amely a faji diverzitás, és az aggregáltság csökkenésével jár*. A borókát leszámítva is a mintakörök 42,3%-án legalább egy olyan faj megtalálható az álló vagy fekvő holt fák és cserjék között, amelynek már nincs ott élő egyede. A többi élő fához képest új faj a fiatal egyedek között azonban csak a mintakörök 14%-án (52 pontban) jellemző, az esetek többségében mezei juhar, vagy barkócaberkenye nőtt az állományba.

2.2.3. Monitoring és cönológiai felvételezés

A felvételezés során 11 pontban 113 faj fordult elő, a száraz tölgyesekben a fajszám a 10 m sugarú mintakörökben 50 körül alakult, a bükkösökben helyzettől függően 20 körül. A kis területen belül is igen nagy eltérést mutató élőhelyek miatt kevés faj fordult elő minden mintaponton; a leggyakoribbak a fagyalon (*Ligustrum vulgare*), illetve az általános üde erdei fajokon (*Galium odoratum*, *Dentaria bulbifera*) kívül az állományalkotó fafajok magoncai (*Acer campestre*, *Fraxinus excelsior*, *Fagus sylvatica*, *Carpinus betulus*). A mintavételezés során 9 védett növényfajt találtunk. A fajszám egyértelmű összefüggést mutatott a faállomány záródásával. A fajok ökológiai mutatószámainak alakulása tükrözi a talajvizsgálatok eredményét.

A terepbejárások során azt tapasztaltuk, hogy a csapadékos időszakok hatására megugrott a lejtőkön gyökértányérral kidőlt nagyobb fák aránya, tehát *a holtfa mennyisége helyenként már a 2006-2007-es felmérések óta is jelentősen nőhetett*. A dölések hatására keletkezett lékekben viszont több év alatt sem jelent meg említésre méltó újulat. Ennek oka a magas vadlétszám, amely jelentősen korlátozza, vagy el is lehetetleníti a felújulást.

A rezervátum területén 2009 novemberében az állandósított mintavételi hálón belül 76 pontban végeztük el 3087 db, 2006-ban felmért fa állapotának ellenőrzését. A 2006-ban még élőként felvett fák 2,2%-a pusztult el három év alatt, míg az álló holtfa 12,8%-a dőlt ki. Az elpusztult fák körülbelül fele gyertyán, őket követik a tölgyek (molyhos és kocsánytalan tölgy), valamint a mezei juhar. Ez nagyjából megfelel a területen jellemző fajeloszlásnak, leszámítva azt, hogy az elpusztult fák között nincsenek bükkök, amelyek pedig jelentős arányt képviselnek az élő fák között. Ezzel összhangban az elpusztult egyedek 2006-ban jellemzően az alászorult kategóriába tartoztak (63%), ezen belül 10% volt a fiatal, akkor még életképesnek ítélt fák aránya. Érdekes, hogy a 2006-ban uralkodóként megjelölt fák aránya sem elhanyagolható (16%) az elpusztultak között. Az elpusztult fák fajonkénti átlagos átmérőjét vizsgálva látható, hogy a tölgyek és a gyertyán esetében a területre jellemző fajonkénti átlagoknál alacsonyabb, míg pl. a madárcseresznye esetében magasabb értékek jellemzőek. Ez arra utal, hogy míg előbbi fajok esetében *a fiatalabb, gyakran a második*

lombkoronaszintet alkotó egyedek esnek áldozatul a kompetíciónak, a madárcseresznye esetében inkább az idős fák pusztulnak el. A bükkösöket kivéve jellemző, hogy az elpusztult egyedek között magas a fő állományalkotó faj, illetve a második lombkoronaszintet alkotó fajok aránya. Az adatok alátámasztani látszanak az álló és fekvő holtfa fajösszetételéből kikövetkeztetett eredményeket, miszerint a területen az erdők záródása játszódik le, és az árnyéktűrő fajok térhódítása folyamatos. A tapasztaltak alapján a törvényi védettség ellenére sem szűnt meg az emberi hatás a területen; az átmenő utak környezetében néhány felvett faegyed illegális fakitermelés áldozata lett.

2.2.4. *A klíma alakulása 1958-tól, kapcsolata az erdőállományok történetével*

Az évi középhőmérséklet az 1980-as évek elejétől emelkedő tendenciát mutat, míg az éves csapadékösszeg alakulásában nincs érzékelhető tendencia. A vizsgált 50 éves időszak havi csapadék adatsorára három hónapos bázisperiódussal számított SPI aszályindex alapján az 1980-as évektől kezdve a megelőző időszakhoz képest az aszályos periódusok száma és erőssége nőtt, míg a csapadékos időszakoké csökkent. A 2000-es évektől utóbbi tendencia enyhülni látszik, ami viszont mindkét szélsőség egymást gyakran követő előfordulásával jár.

Az Ellenberg-klímahányados a Haragistya-fennsík esetében a kocsánytalan tölgy és a bükk határtermőhelyét jelzi. Bár az előbbi számára kedvező évek gyakoribbak, a klimatikus jellemzők a bükkösök negatív felszíni formák melletti előfordulását és a fafaj potenciális termőhelyeinek újbóli elfoglalásához szükséges feltételeket is biztosítják. Ezt jelzi, hogy a bükk az 1980-as, 1990-es évek aszályos időszakában sem szorult vissza. A bükk expanziós jellegű regenerációs folyamatai megerősítik, hogy a fafaj jelenlegi területfoglalása és mintázata nem természeti (klimatikus) tényezők korlátozó hatásával, hanem a korábbi közvetlen és közvetett antropogén hatásokkal magyarázható. A tapasztaltak ismét rámutatnak, hogy a bükk jelenlegi elterjedése hazánkban nem feltétlenül jelöli ki a fafaj potenciális előfordulásának határait, így az aktuális area-mintázatra alapozott számítások félrevezetőek lehetnek. A lehetséges klímaingadozások szempontjából a határhelyzetű bükkös állományok túlélését a lokális termőhelyi viszonyok is döntően befolyásolhatják.

2.3. *A tavak vizsgálatának eredményei*

2.3.1. *A tavak változásának történeti áttekintése*

A Gömör-Tornai-karszt területén található karszttavak már az 1700-as évek végétől kezdve szerepelnek a különböző forrásokban, először főként, mint az emberi tevékenységek kiegészítői, majd tájképi különlegesség, később, mint megőrzendő érték. Bár a különböző korokban más-más funkcióik kerültek előtérbe, a tavak mindig fontos szerepet játszottak az ott élő emberek életében, így a vaskohászatban, halászatban, állatok itatásában, ma hangsúlyosabb a szerepe a turizmusban, illetve a biodiverzitás fenntartásában.

Előfordult az idők során, hogy alkalmazkodva a helyi és globális körülményekhez, vagy hirtelen változásokhoz egy tó eltűnt vagy éppen újra létrejött, a szerzők nem vitatják az emberi tevékenység befolyását a felgyorsult eutrofizációs folyamatokban. Globális szintű befolyásoló tényezőt jelentenek az extrém klímajelenségek és ezek gyakoribbá válása, illetve ennek következményei (vízutánpótlás hiányában) az elvítelenedés, extrém csapadékesemények esetén pedig több szennyezőanyag bemosódása.

A tavak környékén más-más tájhasználat jellemző (műút használat, mezőgazdasági művelés, lakóépületek). Esetenként a kiterjedtebb vízgyűjtő terület is befolyásolja a vízminőséget. Ezek következményeként a tavak fejlődése és a bennük lezajló folyamatok különböznek egymástól. A különböző emberi tevékenységek hatására a tavak természetes folyamatai lerövidülnek, illetve drasztikusan megváltoznak. Ennek példája a valaha legnagyobb Gyökérréti-tó, amely néhány évtized alatt majdnem teljesen feltöltődött. A Vörös- és Aggteleki-tó ugyanilyen

helyzetben volt a rehabilitációs munkálatokig, amellyel a Vörös-tó állapotát egyelőre látszólag sikerült stabilizálni, az Aggteleki-tó további fennmaradása kétségesnek látszik.

A jelenleg legnagyobb méretű Papverme-tó vízminőségének megóvása fontos feladat, mivel ez a tó része a Szilicei-fennsík egyik legkiterjedtebb hidrológiai rendszerének. A Gyökérréti-tó vízminőség megóvása az egész rendszer (amelybe két barlang is beletartozik) folyamatos szennyezését is megszüntetné, amely a felszínalatti képződmények és az élővilág károsodását is megakadályozhatná.

2.3.2. Klimatikus hatások

1958-2008 között vizsgáltuk a csapadék és a hőmérsékleti trendek alakulását a területen, s megállapítottuk, hogy az 1980-as évektől a megelőző időszakhoz képest az aszályos periódusok száma és erőssége nőtt, a csapadékos időszakoké csökkent. A 2000-es évektől ez utóbbi tendencia változik, ami viszont a két szélsőség egymást hirtelen követő előfordulására utal. Az 1980-as évek csökkenő csapadékosága után, az 1990-es évek közepétől ismét csapadékosabbá vált az időjárás. Az 1970-es évek eleje óta a kiugróan magas csapadéku (800 mm-t meghaladó) évek elmaradtak, míg a száraz évek (500 mm alatti csapadékkal) a korábbihoz hasonló gyakorisággal fordultak elő. A vizsgált időszakban nem mutatható egyértelmű trend a csapadékösszegek alakulásában, viszont jellemző az extrém események gyakoribbá válása (aszály), illetve hiánya (csapadékosabb időszakok). Az SPI aszályindex alapján az extrém időjárási jelenségek alakulását vizsgáltuk az utóbbi évtizedekben. Analizáltuk az összefüggést az aszályindexek és a vízminőségi változók között. Az SPI esetében 1-től 25 hónapig számoltuk ki az értékeket annak érdekében, hogy világossá váljon, melyik időszak játszik szerepet a vízminőségi paraméterek alakulásában. Az SPI az előző időszak hatásaival is számol a jelenlegi időszak extremitásainak megjelenítésekor. Három csoportba osztottuk az indexeket: rövidtávú indexekre (1-5 hónap), közepes időtartamú indexekre (6-12 hónap), valamint hosszabb távú indexekre (13-25 hónap). Ezen időszakok hatását és súlyát a vízkémiaira külön-külön is vizsgáltuk. A vízkémiai paraméterek sok esetben erős összefüggést mutatnak az aszályindexekkel, ami a tavak helyzetétől függően más-más módon érinti a vízminőséget. Ez azt jelenti, hogy ahol jelentősebb a hozzáfolyás mértéke, illetve nagyobb a vízgyűjtő, ott a nagyobb csapadékesemények révén főként a szerves komponensek dúsulnak fel, míg a szerves szennyezettség hígul (pl. KOIps, NH_4^+), csökken a trofitás és a szaprobitás mértéke. Azoknak az állóvizeknek a vízminősége, amelyek nem, vagy csekély hozzáfolyással rendelkeznek, nagyobb csapadékesemények idején változik pozitív irányba (ez főként az Aggteleki, Kender-, illetve a Vörös-tavakra vonatkozik). A legjellemzőbb összefüggés a közepes időtartamúnak jelölt indexeknél fordul elő, ezek az események már minden tó folyamataira kihatással vannak. Itt említhetjük a KOIps-t, NO_2^- -t, NH_4^+ -et, Ca^{2+} -ot, keménységet és az átlátszóságot, de az Aggteleki-tónál szinte az összes főbb ion koncentrációjának változása is ehhez az időtartamhoz köthető. A rövidebb távú indexekkel elsősorban a Tengersizem-tó korrelál, amely állandó hozzáfolyással rendelkezik. A Cl igen konzervatívan viselkedik, a Papverme-tavat kivéve az összes tó esetében a 25 havi SPI-vel mutatott összefüggést, mennyiségének változása igen lassú. Az extrém időjárási események a legtöbb vízkémiai paramétert befolyásolják, így, ha ezek gyakorisága ténylegesen nő, akkor a vízkészletek megóvása érdekében megfelelő intézkedésekkel kell erre felkészülni. A továbbiakban megvizsgáltuk, hogy az időjárás változásának milyen hatása van a vízminőségre az öt tó esetében. A vízminőségi paraméterek maximum értékei leggyakrabban a globálsugárzás, a légnyomás és a csapadék minimum értékeinél és maximális relatív nedvességtartalom esetén jelentkeznek. Ennek megfelelően a vízminőségi paraméterek maximum értékei a gyenge átvonuló meleg-frontokhoz kapcsolhatók, amelyek hozzájárulhatnak a feldúsulásukhoz. Ugyanakkor a vízminőségi paraméterek minimum értékei általában akkor jelentkeznek, mikor a globálsugárzás és a relatív nedvesség maximuma, míg

a légnyomás és a szélsébség minimuma következik be. Ezek az értékek poszt-melegfronti hatást feltételeznek, amelyek valószínűleg anticiklonális peremhelyzetben fejlődnek ki, amelyek elősegítik az adott faktor hígulását. A fentiek alapján megállapítható, hogy a vízkémiai paraméterek minimum és maximum értékei is kevert időjárási helyzetekhez kapcsolhatók, leginkább gyenge vagy felbomló meleg-frontok idején. Ez hozzájárul a tóban zajló szerves anyag feldúsulásához, ami az ehhez kapcsolódó folyamatokat leíró paraméterekben tükröződik (pl. KOIps, oxigéntelítettség). Az extrém időjárási jelenségek gyakoribbá válásával számolni kell a sekély tavak nagyobb instabilitásával és nehezebb regenerációs képességével. A vízminőségre gyakorolt hatások minél pontosabb meghatározása érdekében folytatott kutatások ezért nagy jelentőséggel bírnak, a gyakorlati lépések tehetőek a probléma megelőzésére és visszafordítására. Néhány vízminőségi paraméter kevésbé függ az időjárástól és sokkal inkább az emberi tevékenység miatt vesz fel ökológiai szempontból nem kívánatos értékeket. A legtöbb vízkémiai változó azonban erős összefüggésben van az időjárási paraméterekkel, amelyek gyakran szélsőséges állapotokat tükröznek (aszály és extrém csapadékos időszakok) és a jó ökológiai állapotot fenntartó körülmények ellen hatnak. Ez a folyamat nem kedvez sem a vízhasználatnak, sem az érzékeny karsztökológiai rendszernek.

2.3.3. Külső és belső terhelés

A vizsgált talajokban nincs határérték feletti nehézfém-koncentráció, ellenben a külső foszforterhelés jelentős. *Nehézfém határérték-túllépést találtunk a Papverme-, Vörös-, Aggteleki-, Gyökérréti-tavak üledékében* (Ni⁻, Cr⁻, és Cd-koncentráció). A szekvenciális kioldás eredménye alapján a vizsgált üledékekben a nehézfémek természetes körülmények között nem mobilisak. A legnagyobb mobilitást a Gyökérréti-, Kender- és Aggteleki-tavak esetén a Cd⁻ és a Co⁻, majd a Cr⁻ mutatott. Az Aggteleki-tó kotrása után az üledék kémhatása megegyezik a 10 évvel korábbival, szárazanyag-tartalma magasabb. Az üledék összes tápanyag-koncentrációja csökkent a kotrás után, ma újra növekedő tendenciát mutat. Az *iszap nikkeltartalma megduplázódott 2000-hez képest, ugyanígy a króm és az ólom tartalom* – ez utóbbiaknál azonban nincs határérték-túllépés, a kadmium és a cinktartalom csökkent, a kobalt pedig nagyjából hasonló értékeket vesz fel, mint korábban. A mennyiség-növekedés a korábbi közlekedésből, vagy légköri ülepedésből származhat (60 km-es körzetében gyárak találhatóak a szlovák oldalon (pl. cementgyár, US Steel). A kotrással felszínre került a korábbi, szennyezettebb réteg. A Rock Eval pirolízissel megmért és jellemzett üledékben a legnagyobb szervesanyag-tartalom a Kender-, majd az Aggteleki-, illetve a Vörös-tó esetén volt. A rendszerbe történő külső behordódás a Tengersizem-, ill. a Papverme-tó esetében fordult elő, előbbinél a Jósva-forrás hoz utánpótlást, az utóbbinál a szennyvízhozáfolyás, illetve a közlekedésből származó szennyezések bemosódása jellemző. Az Aggteleki-, Kender- és Vörös-tavakban friss növényi anyag nagyobb arányú átalakulása figyelhető meg. A Papverme-tó üledékének szerves anyagában az inert frakció a karbonátos alapkötetből származik, amely az üledék kialakulásakor került a gyűjtőbe. A kotrás hatásaként értelmezhető a bio-makromolekula osztályok relatív evolúciójának kisebb aránya az Aggteleki-, *de főleg a Vörös-tó esetében*, mivel ezeknél a felső, éretlenebb szerves anyagot tartalmazó részt a kotrással eltávolították. A foszfor- és nitrogénterhelés a Papverme- és Vörös-tó esetében *a talajban lévő kioldható PO₄³⁻tartalomból* származik, a Papverme-tó esetében erős *korrelációban is van a vízben levő koncentrációkkal*. Ebből arra következtethetünk, hogy a két tó esetében a *külső terhelés játssza a nagyobb szerepet*. A Papverme-tó esetében a szennyvízbefolyás PO₄³⁻ koncentrációja magasabb az üledékben és talajban lévő mennyiségnél, ami egyértelműen pontszerű szennyezőforrást jelent. Az Aggteleki-tónál hasonlóak a PO₄³⁻-értékek, ami a saját üledékkel való környezetfeltöltéssel

magyarázható, egyforma terhelést kap kívülről és belülről is. A Kender-tónál az üledékből kioldható koncentráció a magasabb, a belső terheltség nagyobb. A Gyökérréti-tó üledéke hasonló a Kender-tóéhoz, míg a Tengersizem- a Papverme-tóval mutat hasonlóságot. A NO_3^- -tartalom aránya a Kender-tó kivételével mindenütt a talajban magasabb. Amennyiben a nitrát felszín alatti karsztvízrendszerbe jut és így táplálja a forrásokat, akkor azok tavasszal és ősszel hoznak szennyezést. A Tengersizem-, Gyökérréti- és Vörös-tavak üledékének NO_3^- -tartalma igen alacsony. Az Aggteleki-tó üledék mennyiségét a kotrás csökkentette, de felszínre került egy magasabb nehézfém-tartalmú réteg, amely múltbeli légköri kiülepedésből származhat. Mivel az üledékkel a tó környékét töltötték fel, a *külső terhelés azonos a belső terhelés nagyságával*, ami gátolja a tó vízminőségének javulását. A Vörös-tó vízminősége jó, a belső terhelést csökkentette a kotrás, amely eltávolította a felső, nagyobb szervesanyag-tartalmú réteget, a nemzeti park itt a külső terhelést is minimalizálta.

2.3.4. A tavat övező élőhelyek természetessége

A szennyezőforrások vizsgálata céljából felmértük a tavak környezetében található magasabbrendű vegetációt, mivel az élőhely változásai a felmért vízminőség indikációját képezik. A *Papverme-tó* horgászok által sűrűn látogatott, amit tó vegetációjának összetétele és szerkezete jól tükröz. Itt *jellegtelen üde gyep*ek találhatóak (a gépjárművek által használt út a vízfelülettől helyenként 1-2 méterre húzódik), a vízparti szárazabb élőhelyek közé *taposott gyomnövényzet fajai* is lehúzódnak. A tó NY-i felébe szennyezett vízbevezetés van, amit jelez a békalencsés és a sűrű nádas-gyékényes. A *Gyökérréti-tó növényközösségeinek természetessége alacsonyfokú*, a közelmúltbeli gyors feltöltődés és mederkotrás beavatkozások következtében. A környező élőhelyek viszont jó állapotúak, közel természetes erdők, facsoportok és sziklagyep, szárazgyep veszik körül jelenleg a vizes élőhelyet, turisták által nagyon gyéren látogatott. Megfelelő vízutánpótlás esetén a tó vegetációjának regenerációs képessége jó. A vizsgált tavak közül a *Vörös-tónál* jelenik meg a *legteljesebb vízi-vízparti zonáció*. A tó környezetében több élőhely jó természetességű állapotban van. A mocsárréti sáv keskeny, karakteres sávban jelenik meg. Foltokban megtalálható a tavi káka, ami a mezotróf-, gyengén eutróf vizek indikátora. A hídörösök és csetkákások kis kiterjedésűek. Az *Aggteleki-tó* növényzeti képére jellemző a nagy kiterjedésű gyomos terület és a szárazra került iszapfelszín keserűfű-farkasfog társulása, ami tómeder zavartságát, a *vegetáció teljes jellegtelenességét* jelzi. A nyílt vízfelület napjainkban már nagyobb kiterjedésű, mint néhány évvel ezelőtt (valószínűleg a 2010-es csapadékosabb évnek köszönhetően). Az eutróf hínár és az azt szegélyező kiterjedt nádas és gyékényes egyértelműen jelzi a víz *előrehaladott trofitási stádiumát* és bizonytalan jövőjét. A *Kender-tavi* környezet növényzete diverz, nagyszámú, *jó állapotú élőhelyet* találunk itt. A nagy területet borító gyékényes és a korábbi vízfelület fölött záródó egyéb vegetáció azonban jelzi, hogy a tó erősen feltöltődött állapotban van. A *Tengersizem-tó kiterjedt békaszőlő borítása és a patakparti magaskórós* jelzi a víz gyenge áramlását, megjelenése unikális, védett fajok nélkül is a terület jó állapotára utal. A tavat komolyabb antropogén hatás nem éri, zárt erdő veszi körül, ami a ritkább üde növényközösségek megjelenéséhez szükséges mikroklímát is biztosítja. A NY-i oldalon az erdei aljnövényzet fajai a vízfelület határáig húzódnak. A jelenlegi feltételek mellett a tó vegetációjának fennmaradása biztosított.

2.3.5. A tavak vízminősége

A *Papverme-tó* összesített vízminősége a vizsgált években *tűrhető (III.) és erősen szennyezett (IV.) vízminőségi kategóriák között* ingadozott, ami az oxigéntelítettségben (magas a-klorofill-koncentráció, nagyfokú szervesanyag-termelés), a kémiai oxigénigényben (szintén nagyobb szervesanyag-tartalom), az ammónium-koncentrációban (folyamatos szervesanyag-

terhelés), a kémhatásban (enyhén lúgos-lúgos, különösen a vegetációs időszakban) és a vastartalomban tükröződik. 2009-től a *nitrit, összes foszfor és a-klorofill értékek* is hozzájárultak a *rosszabb vízminőséghez*. Az oxigénviszonyok és a tápanyagok koncentrációja külső terhelésre utal. A vízminőség ingadozó, kora tavasszal és késő ősszel javul, ekkor viszont a csapadékosabb időjárás miatt a nitrát-terheltség nő. *Jelentős szennyező-forrás a mezőgazdasági telep és a falu felől érkező pontszerű befolyás*, ami veszélyezteti a tóval összeköttetésben álló barlangrendszereket. A terhelés az utóbbi időben mérséklődött, mivel a Gyökérréti-kutak felől nem érkezik olyan szennyezés (pl. a nitrát), mint 1982-ben (ma ez a negyedére csökkent). A Papverme-tóban jellemzően állandó friss szerves szennyezés mérhető. A korábbiakhoz képest csökkent az összes foszfor és ortofoszfát-koncentráció, magasabbak viszont az a-klorofill értékek. A nitrát-tartalom hasonlóan alakul, mint 1982-ben, a Fekete-forrásban csökkent, de magasabb, mint a tavi koncentráció. A megnövekedett algamennyiséget tükrözik vissza az éves oxigéntelítettségi adatok (jelentős túltelítettség napközben) és az áprilisi oxigén-profil (instabil oxigénviszonyokat tükröz) is. Az alkalinitás és az összes keménység lecsökkent 1982 óta, hasonló azonban az 1992-ben mért értékekhez. A kémhatás az enyhén lúgos tartományba tolódott. Időnként megnő a toxikus ammónia részaránya, amely néha elérte a halállomány számára mérgező szintet. Az emberi hatás az 1982-ben és 1992-ben mért értékekhez hasonlóan jelentős, amit a vízminőség is tükröz. A Fekete-forrás vízminősége 2010-ben 1-2 kategóriával jobb, mint a tó vízminősége, de összességében így is a közepes és a szennyezett osztályok között mozog. Oka elsősorban a nitrát-tartalom, ami a Gyökérréti-kutakban hasonlóan magas. A *Vörös-tó összesített vízminősége* túlnyomórészt mindhárom évben *szennyezett (IV.) és erősen szennyezett (V.)* volt. Ez elsősorban a magas (vörösayag) eredetű vastartalomból, másrészt az összes foszfor tartalomból adódott. *Az összesített vízminőség közepes*, a kémiai oxigénigény, az a-klorofill-koncentráció, és az oxigén-telítettség következtében. A *Kender-tó összesített vízminősége a szennyezett (IV.) és az erősen szennyezett (V.)* kategóriába sorolható. Itt is magas a vastartalom, időnként a mangán-koncentráció is magasabb volt. 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 azonban romlottak 2010-re, és erősen szennyezett minősítést kapott, az összes foszfor koncentráció miatt is, ami a belső terhelésből ered. *Az Aggteleki-tó összesített vízminősége* egyöntetűen (a tavaszi időszakot leszámítva) *erősen szennyezett (V.)* a paraméterek többsége alapján. Kivételt az oxigénháztartás paraméterei jelentettek egy rövid időszakban 2009 ősztől 2010 nyaráig. A vizsgált víztestek közül *az Aggteleki-tó a legrosszabb állapotú* a vízminőség tekintetében, javulásra utaló jel nem nagyon volt a vizsgált időszakban. A *Tengerszem-tó összesített vízminősége közepes (III.)* ami a vizsgált állóvizek közül a legjobb. A közepes minősítésért főként a nitrát-tartalom, illetve az ortofoszfát- és az összes foszfor-tartalom volt felelős 2010-ben. Az ammónium-koncentráció 2009-ben, a vezetőképesség mindkét évben a II. vízminőségi kategóriába esett. A Jósva-forrás és a Jósva-patak értékei nem különböztek számottevően a tóban mért értékektől. *A legnagyobb trofitási fokkal a Papverme-tó rendelkezik*, valószínűleg azért, mert itt a parti sáv kivételével hiányzik a makro-vegetáció, ami visszafogja az algák szaporodását. Ez a tó többnyire *eutrófikus, illetve eu-politrofikus, az Aggteleki-tó mezo-eutrófikus, míg a Kender- és Vörös-tavak mezotrófikusak. A Tengerszem-tó ultra-oligotrófikusnak* tekinthető. A szaprobitás szempontjából az előbbi négy tó hasonló: *mindhárom évben alfa-mezoszaprobitikus, míg a Fekete- és a Jósva-források, a Jósva-patak és a Tengerszem-tó oligoszaprobitikusak 2010-re romló tendenciával.* Egyértelműen kimutatható 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 hígult.

4. Összegzés

A tájhasználat változások a vizsgált karszterületeken mind az erdőgazdálkodás, mind a tavak változásai alapján antropogén hatásokat tükröznek. A kutatás 3 éves monitoringja az aggteleki mintaterületeken, mind az erdőtípusok, mind a tavak állapot vizsgálatára alapján antropogén terhelést mutatott ki. Az erdők és tavak jelenlegi ökológiai állapotának elemző feltárása fenntartható fejlődésük, és kezelésük számára szakmailag fontos adatokat biztosít. A szlovák karsztkutatók már jelezték (a tavakkal foglalkozó doktori disszertáció védeke során), hogy számukra ezek az eredmények felhasználhatók további tájkezelési javaslataikban. A tavak vízminőség vizsgálati eredményei a lakosság számára fontos ivóvíz ellátás szempontjából is felhasználhatók. Kívánatos lenne, a hazai tájvédelemben széles körben felhasználni a kutatás eredményeit, mivel a tájhasználat időbeli és térbeli vizsgálatának eredményei is azt mutatják, hogy az emberi tevékenység lenyomata a karsztok többségén jelen van.

A kutatás témájából 2 PhD disszertáció készült, amit Tanács Eszter és Samu Andrea (a kutatás névszerinti résztvevői) 2011, illetve 2012 években megvédett.