

IDŐSOROS VEGETÁCIÓTÉRKEPEK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI AZ ÉGHAJLATVÁLTOZÁS KUTATÁSAIBAN

Soós Gábor¹, Martin Gizella¹, Kozma-Bognár Veronika¹, Anda Angéla¹, Szeplet Péter¹,
Pomogyi Piroska^{2*}

1. Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely

2. Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (KÖDUVIZIG), Székesfehérvár

sgkert@gmail.com, gizela.martin@gmail.com, kbv@georgikon.hu, anda-a@georgikon.hu,
szeplet@georgikon.hu, pomogyi@kdtvizig.hu*

Absztrakt: Az éghajlatváltozás a vizes területek vízháztartási mérlegében számszerűsíthető eltérést okoz, mely nem marad hatástalan a helyben kialakult érzékeny ökoszisztémákra sem. A Kis-Balaton Vízügyi Rendszer (KBVR) üzemelő egységeire 1986 óta készítenek vízmérlegeket, melynek kiemelten fontos kiadási tagja az evapotranspiráció. Addig, amíg a szabad vízfelszín evaporációjának becslésére számos empirikus formula van, a növények párologtatásának meghatározása – annak biológiai kapcsolata miatt – nehezebben megvalósítható feladat. A különböző növényborítottságú területek evapotranspirációjának becsléséhez kiváló alapot biztosítanak a Kis-Balaton makrovegetációjára vonatkozó vegetációtérképek. Jelen publikációban a Kis-Balaton Fenéki-tó területére 1988 és 2008 között elkészített idősoros vegetációtérképek területszámítást érintő eredményeit mutatjuk be. A főbb növénytársulások területi elterjedésének figyelembevételével, valamint a növénykonstansok felhasználásával a későbbiekben pontosabban becsülhetővé válik majd a területi párolgás.

Kulcsszavak: Kis-Balaton, vegetációtérképezés, növénytársulások, éghajlatváltozás.

Abstract: Climate change causes quantifiable differences in the water balance of wetlands and strongly effects locally evolved sensitive ecosystems. Since 1986 water balances of operating units of Kis-Balaton Water Protection System (KBWPS) have been calculated. Evapotranspiration is one of the key outputs of water balances. Although there are many empirical formulas for estimating the evaporation of free water surface, describing plant transpiration – because of its biological relations – is a more difficult

task. Macro-vegetation maps of Kis-Balaton provide an excellent basis for estimating the evapotranspiration of various plant-covered areas. In this paper we present the area calculation results of the time-series vegetation maps of Lake Fenéki in Kis-Balaton between 1988-2008. Taking into consideration the spatial spread of major plant communities together with the crop coefficient the calculations of regional evaporation can be more accurate in the future.

Keywords: Kis-Balaton, vegetation maps, plant communities, climate change.

1. BEVEZETÉS

Napjainkban a távérzékelés és térinformatika által szolgáltatott adatsorok rendkívüli fontosságúak a környezetünkről gyűjtött információk megszerzésében. A távérzékelésen alapuló növényvizsgálati módszerek, kiegészítve a földi adatgyűjtési technikák alkalmazásával, jelentősen elősegítik a pontos és megbízható adatszerzést a felszínborítási kategóriák megállapítása során. Olyan esetekben is kitűnően alkalmazhatóak, ahol védett-, vagy nehezen megközelíthető területekről van szó, illetve ha a felszínborítás nagyon heterogén (Goetz et al., 2007). Ennek következtében a növényzet mintázatának vizsgálata során számos kutatás esetében találkozunk távérzékelési adatsorok felhasználásával (Dronova et al., 2012; Berke, 2010; Klenoid et al., 2005). Amennyiben a vizsgálat tárgyát az egyes növénytársulásokban bekövetkezett változások képezik, a légi- és űrfelvételek alapján előállított vegetációtérképek – a vizsgálataink szempontjából – nélkülözhetetlen információkat adhatnak (Kelly, 2011; Zlinszky 2011; Bakó, 2012). A vegetációtérképezés alapvető célja, hogy nyomon kövessék a megváltozott környezeti tényezők hatására a növényzet tér-idő szerkezetében bekövetkező változásokat, a törvényszerűségek ismeretében pedig prognosztizálják a további változások várható hatásait. A

vegetációtérképekkel a tér-idő szerkezetben is megmutatkozó hidrobiológiai, ökológiai, botanikai stb. változásokat is detektálhatjuk (Falusi et al., 2008; Czauner et al., 2007). A környezeti feltételekben bekövetkezett változásokra, stresszhatásokra a növények válaszreakciót adnak, gyakran indikátorként viselkednek, így segítségével következtetni tudunk az egyes élőhelyek ökológiai állapotára, biodiverzitására, környezeti terheltségére (Martínez-López et al., 2014; Nagendra et al., 2013; Murphy, 2002; Tommervik et al., 1995). A kapott adatsorok térinformatikai adatbázisban történő összeillesztése révén a vegetációban végbemenő változásokkal kapcsolatos valamennyi információ együtt kezelhető (Szalma et al., 2002; Dömötörfy, 2003; Móricz et al., 2004). Ezen adatbázisok időbeli alakulásának monitorozása más szakterületeket érintő problémák – mint például az éghajlatváltozás – megismeréséhez, megértéséhez is hasznos információkat szolgáltathat.

A klímaváltozási forgatókönyvek az „általános” felmelegedési tendencia mellett a szélsőséges időjárási jelenségek gyakoriságának növekedését, a nyári csapadékhiány fokozódását prognosztizálják. Ezek az extrém hatások jelentősen befolyásolhatják a felszíni vízbázisainkat és azok ökológiai környezetét is, melynek hatására a fizikai kémiai, biológiai ökológiai sajátosságaikban és a lejátszódó folyamataikban változás következik be (pl. vízsztíngadozás, intenzívebb evapotranszpiráció). A Pannon Egyetem Georgikon Karának Meteorológia és Vízgazdálkodás Tanszékén 2005 óta folynak olyan evapotranszpirációs kutatások, amelyek a Kis-Balaton bizonyos növénytársulásainak optimális, potenciális evapotranszpirációját, valamint az ezekből számított növénykonstans értékeit tanulmányozzák. Ezen vizsgálatok kiváló alapot biztosítottak ahhoz, hogy a vizsgált természetes ökoszisztéma területi párolgásának hosszú idősoros elemzése elkezdődhessenek.

A Tanszéken 2012-ben indult jelenlegi kutatások az éghajlatváltozásból eredő időjárási szélsőségek regionális hatásainak vizsgálataihoz kapcsolódnak, és a Balaton vízvédelmi rendszer egyik fontos eszköze a Kis-Balaton tanulmányozását foglalják magukban. Az egyik sokat említett probléma a Kis-Balaton Védőrendszer részterületeinek elárasztása és ennek a Balaton vízminőségére, vízszintjére gyakorolt hatása. Felvetődött az a kérdés is, hogy a megnövelt vízfelület párolgása miképpen viszonyul a korábban mocsári növényzettel vagy más növénytársulásokkal borított felszín párolgatásához? Mekkora, s milyen irányú a köztük lévő különbség? Ezekre a kérdésekre keres választ a jelenleg zajló tudományos kutatás, amely alapvető célkitűzése a Kis-Balaton egyes részterületeire vonatkozó vízvesztés megállapítása a hagyományos vízháztartási mérleg alapján, valamint az egyes domináns, nagyobb területet elfoglaló növényfajok és növénytársulások párolgásának becslése. A párolgást az adott faj növénykonstansai (Anda et al., 2014) és annak környezeti feltételei alapján, valamint a területi elterjedésük figyelembe vételével becsüljük. Ennek megfelelően a párolgást becsülő kutatások alapvető pillérét a vegetációtérképek által szolgáltatott adatsorok adják.

A Kis-Balaton területére vonatkozóan már az 1980-as évek óta készítene vegetációtérképeket a magasabb rendű növényzet változásának megismerése céljából (Pomogyi, 2003; Zlinszky, 2013; Szeglet et al., 1998). Kutatásaink során felhasználtuk a korábban készített légi- és az társulástani felvételeket, amelyek alapján elemeztük a 1988-2008

közötti időszakra vonatkozóan a Fenéki-tó vegetációtérképeit. A kiválasztott mintaterületet nagyfokú heterogenitás jellemzi, amely az idősoros felvételek alkalmazásával kitűnően leírható. Az összehasonlító vizsgálatok elvégzésével a vegetációban bekövetkezett változások és azok dinamikája számszerűsíthetővé vált. A vegetáció változás-dinamikája, valamint a kapott területszámítási adatok lehetővé teszik nemcsak ezen időszak vizsgálatát, hanem a közeljövő regionális szinten jelentkező éghajlatváltozásainak időjárás generátorral történő előrejelzését, s végül a jövő várható párolgatásának prognosztizálását.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. Kutatások helyszíne

A Kis-Balaton a Balatonnal együtt világviszonylatban is egyedülálló ökológiai rendszert alkot, mely Európa fokozottan érzékeny területei közé sorolható. A Kis-Balaton Vízvédelmi Rendszer megépítésének szüksége az 1970-es években merült fel, amikor a Balaton vízminősége veszélybe került. Létesítésének fő célja a Zala-vízgyűjtőről származó – elsősorban diffúz eredetű – tápanyagterhelések visszatartása és Balatonba jutásának megakadályozása volt. A Balaton vízminőség-védelmének érdekében 1984-ben elkezdődött a Kis-Balaton II. üteméhez tartozó Fenéki-tó építése a tározót határoló- és terelőtöltések létrehozásával. Ezt követően 1992-ben ideiglenes jelleggel az Ingói berek 16 km² területe került elárasztásra. Az azóta eltelt időszakban a vízminőség-védelmi célok mellett a természetvédelmi és ökológiai értékek védelme is előtérbe került, melynek hatására 2012-ban elkezdődött a II. ütem 75 km² területének ökológiai monitoringját megvalósító beruházás (Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság honlapja). A területen lejátszódó térbeli és időbeli változások megfelelő alapot biztosítottak arra, hogy az éghajlatváltozás hatásait regionális szinten nyomon követhessük és a vizsgálataink szempontjából fontos paraméterek dinamikáját tanulmányozhassuk.

Kutatásaink helyszínéül a Kis-Balaton II. ütem a Fenéki-tó mintaterületét választottuk, amely a 54 km²-en Balatonhídvég és a Zala torkolat közötti területen helyezkedik el. A Fenéki-tó területén 15 víztájat lehet elkülöníteni egymástól (1. ábra). A víztájak határai többnyire az 1992-ben meglévő vonalas létesítmények: töltések, árkok, csatornák, illetve korábban kialakult bejáróutak, ösvények alapján kerültek lehatárolásra, melyekről feltételezték, hogy a jövőben is azonosíthatók lesznek. A 2007. évet követően számításba kell venni a rendszerbe való bekapcsolásra kerülő Zalavári belvízöblözetet is, mint esetleges 16. víztájat.



1. ábra A KBVR Fenéki-tó víztájának átnézeti vázrajza

A mintaterületen elhelyezkedő heterogén növényállományokat, valamint a főbb növénytársulástani csoportokat figyelembe véve a következő osztálykategóriák kerültek meghatározásra.

1. Nádasok
2. Egyéb mocsári lápi lágyszárúak
3. Mocsári, lápi fászsárúak
4. Szárazföldi gyepek
5. Szárazföldi erdők
6. Nyílt víz, hinarasok

2.2. Növényterképezés folyamata

A növényzetfelmérés és annak minősítése az immár „hagyományos” digitális vegetációtérképezés módszerével készül (Dömötörfy-Pomogyi, 1997). Az alkalmazott módszertan alkalmas arra, hogy a Kis-Balaton mintaterületén a vizsgálataink szempontjából szükséges növénytársulástani mélységig a lehető legpontosabb növényzetterkép készüljön. A növényterképezés folyamata alapvetően három részterületből tevődik össze: ortofotó-előállítás illetve -beszerzés, a kapcsolódó terepi adatgyűjtések valamint a kapott információk alapján történő adatfeldolgozás. A légifényképezés és vegetációtérképezés 2006-ig a KBVR beruházási program keretei között a NYUDUVIZIG szervezésében és közreműködésével történt, a 2007-2008. évi pedig a II. ütem befejezését előkészítő program keretei között, az Aquaprofit Kft. szervezésében.

2.2.1. Ortofotók

A Kis-Balaton Védőrendszer (KBVR) létesítése előtti időszakból a Kis-Balaton néhány részterületéről van hozzáférhető légifotó: 1953, 1974. április és szeptember, valamint 1980. Ezek alapján visszamenőleges interpretálás legfeljebb csak kutatási céllal történt, részterületekre, így összehasonlításokra részlegesen alkalmasak (1. táblázat).

Légifelvételzés időpontja	Repülési magasság (m)	Fókusz (mm)	Méretarány	Felvétel típus	Átfedés
1984.08.22	1900	n.a.	1:20000	CIR	Átfedés nélkül
1985.09.03	1940	152,13	1:13000	CIR	60%
1985.07.12. 1. repülés	1900	n.a.	1:12000	CIR	Átfedés nélkül
1986.06.26. 1. repülés	1900	n.a.	1:12000	CIR	n.a.

1986.09.01. 2. repülés	1950	n.a.	1:12000	CIR	n.a.
1987.06.28	n.a.	n.a.	1:10000	CIR	n.a.
1987.09.21	2140	88,24	1:24000	CIR	60%
1988.08.07	2740	88,24	1:31000	CIR	60%
1989.08.14	2531	152,13	1:16500	CIR	60%
1990.08.14	2530	152,13	1:16500	CIR	60%
1991. nem volt	-	-	-	-	-
1992.07.18. I. ütem	2530	152,13	1:16000	CIR	60%
1992.09.17. I.-II. ütem (hiánypótlás)	2750	88,24	1:31000	CIR	60%
1993.06.10	2750	88,24	1:31000	CIR	60%
1994.07.22	2750	88,24	1:31000	CIR	60%
1995.07.27	2750	88,24	1:31000	CIR	80%
1996.07.15	4600	152,13	1:30000	CIR	60%
1997.08.24	4800	152,98	1:31500	CIR	60%
1998.08.30	4800	152,98	1:31500	CIR	60%
1999.08.03	4800	152,98	1:31500	CIR	60%
2000.08.02	3200	152,98	1:21000	CIR	60%
2001.08.03	3200	152,98	1:21000	CIR	40%
2002.08.03	3200	152,98	1:21000	CIR	60%
2003.08.03	3200	152,98	1:21000	CIR	60%
2004.09.18	3200	152,98	1:21000	CIR	60%
2005. nem volt	-	-	-	-	-
2006.08.16	2900	152,7	1:20000	CIR	60%
2007.09.24. (AQAPROFIT)	2900	153,1	1:20000	CIR	60%
2008. nem volt	-	-	-	-	-

n.a. = nem áll rendelkezésre adat

1. táblázat A KBVR beruházáshoz kapcsolódó légifelvételések alap-paraméterei

A KBVR vegetációtérképezése már a kiviteli munkák korai szakaszában, 1982-ben, az I. ütem (Hídvégi-tó) elárasztása előtt megkezdődött (akkor még kizárólag földi módszerekkel) (Pomogyi, 1985). Ezzel indultak el a KBVR rendszeres hidrobiológiai, ökológiai vizsgálatai, amelyeket azóta is folytatnak, természetesen időközben kiterjesztve a II. ütem (Fenéki-tó) területére is. 1985 óta a növényzet-térképek színes infravörös légifényképek (CIR) földi interpretációja alapján készülnek. 2000-től kezdve minőségi változás következett be, mivel a növényterképezést nagyfelbontású digitális ortofotók (DOF) alapján végezték. 1999-2000-ben mód nyílt arra, hogy az eredeti CIR negatívokról az időközben sokat fejlődött fototechnikai eljárásokkal a korabelinél lényegesen jobb minőségben elkészíthessék a Fenéki-tó 1988. évi légifénykép-anyagát, és abból „kvázi” DOF készült (Pomogyi-Dömötörfy, 2002).

A légifelvételek feldolgozása az idők folyamán gyökeresen megváltozott, a képek feldolgozása eleinte analóg módon történt. Akkor 1:10.000-es optikai transzformátumokon zajlott a terepi beazonosítás. 1999-től kezdődően ortofotó előállítására került sor, és az így létrejött fényképi adatbázison történt a tematikus interpretáció. A tematikus interpretációt minden esetben a fényképekből előállított 1:10.000-es optikailag EOY-ba illesztett fotonagyítások segítik a terepi bejárásokon. A helyszínen felvett (beazonosított) adatok felhasználásával a képernyőn megjelenő növényállományok pontos behatárolása illetve térképezése valósul meg.

2.2.2. Terepi adatgyűjtés

A terepi interpretáció alapvető célja az egyes növényzetkategoróriák és más térképezési egységek beazonosítása (2. ábra), az ortofotón vizuálisan lehatárolható foltoknak való megfeleltetése, azaz a mintaterületek felvétele és dokumentálása.



2. ábra Terepi interpretáció során készített fotó a KBVR Fenéki-tó északi területéről

A GPS-sel bemért és EOVS rendszerbe illesztett terepi fotódokumentáció kétséget kizáróan bizonyítja, hogy mely időszakban milyen növényzet volt jellemző az adott helyen. Ezt a dokumentálást a Kis-Balaton esetében 2003-tól kezdték alkalmazni. Mivel a vegetációtérképezést könnyen belátható módon csak vegetációs periódusban lehet végezni, amikor a növények kifejlett és még élő állapotban láthatók és azonosíthatók, a terepi munkálatok, a csónakkal történő növényzetfelmérések már tavasszal elkezdődtek. A terepi munka során a csónakkal bejárható részekben megtörténik a növénytakarások felvételezése (3. ábra). Ennek során minden jellemző felmérési hely koordinátái 2003 óta általában Garmin típusú, NaviGuide Magyarország szoftverrel ellátott GPS készülékkel kerül rögzítésre, továbbá digitális fényképezőgépek segítségével a növényzetéről, valamint annak szűkebb és tágabb környezetéről fénykép készült. Ezt követően a GPS mérések és a fotók azonosítói a helyszínen terepjegyzőkönyvekben kerülnek dokumentálásra. A napi terepfelmérés végeztével a fotók letöltés után egyedi azonosítókat kapnak, amelyek tartalmazzák a dátumot, a GPS-pont sorszámát és a képazonosítót. Ez alapján a terepfotókat a későbbiekben a digitális ortofotókon (DOF) behívhatóvá téve, szemléltetni lehet, hogy a vörösszín-dominanciájú hamisszínű infravörös felvételeken (CIR) látható különböző foltok a valóságban milyen növényzetet reprezentálnak. Az alkalmazott terepi módszertan teljes mértékben megfelel az EU Víz keretirányelv hazai bevezetéséhez a makrofita ökológiai minősítésre javasolt módszertannak is.



3. ábra Csónakkal történő felvételezések

A mocsári növényzettel – nádasokkal, gyékényesekkel, sásosokkal – fedett állandó- és időszakos vízborítású területeken, ahol nem lehetséges a csónakkal való közlekedés, a terepfelméréseket mocsárjáró nádaratógép igénybevételeivel lehet elvégezni (4. ábra). Ennek időpontja csak késő ősszel, a vegetáció-periódus végén lehetséges, amikor a gép

kerekei a fejlődőben lévő növényhajtásokban már nem okozhatnak kárt, és a taposási kár is a lehető legkisebb.



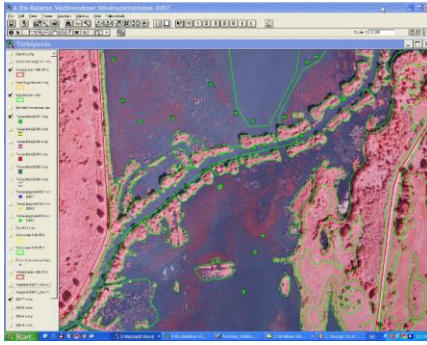
4. ábra Mocsárjáró nádaratógéppel (6 kerekű Seiga) történő felvételezések

A gépre ilyenkor nincs felszerelve a kaszaszerkezet sem, így a fajlagos terhelése és a tömegeloszlása is kedvezőbb, a nyomvonalában pedig a növényzet tavasszal ugyanúgy kihajt, mint az előző vegetációs periódusban. Az útvonalterv mindig úgy kerül kialakításra, hogy vegetációtérképezési céllal ugyanazon a nyomvonalon egymást követően ne menjen végig. Ezen közlekedési eszköz alkalmazása olyan esetekben szükségesek, amikor egyéb eszközzel nem megközelíthető terület olyan nagy – mintegy 4.500 ha –, és a terepviszonyok olyan változatosak, hogy érdemi információ a növényzetéről más módon nem keletkezne. A gyalogos bejárás nem lenne kivitelezhető, csak a szegélyterületeken, az pedig nem nyújt elegendő információt. A növényzet-felvételezés módszere megegyezik a csónakos bejárásával: a mérőhely rögzítése GPS-sel, majd a terepjegyzőkönyvben a GPS sorszáma és a fényképek sorszámai kerülnek feljegyzésre. Az irodai szakaszban a GPS pontok letöltése, az útvonal ábrázolása, illetve a koordináták és a digitális fotók előkészítése történik a DOF-on való megjelenítésre.

2.2.3. Adatfeldolgozás

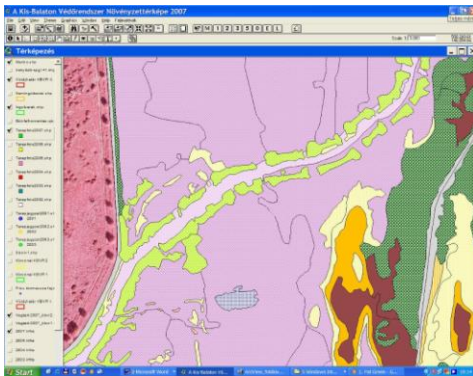
Az adatfeldolgozás, a vegetációtérképek elkészítése, illetve a területszámítási adatok megjelenítése ArcInfo/ArcView GIS rendszer alkalmazásával történt. A térinformatikai szoftverek mellett általános Microsoft Office irodai megoldásokat is igénybe vettünk.

A hamisszínű infravörös légifénykép alapján készült digitális ortofotó alkalmazásával a képernyőn vizuálisan lehatároltuk az egyes növényfoltokat (5. ábra), amelyeket korábban a GPS készülék segítségével pontosan felmértünk. Azokon a területen, amelyek egy adott évben nem kerültek bejárásra, a szín-hasonlósága alapján azonosítottuk be a növényzetet. Bizonytalan esetekben a korábbi felmérések anyagai is felhasználásra kerültek.



5. ábra Az Ingói-berek legfelső szakaszán lehatárolt poligonok térképvivágata

A Kis-Balaton II. ütemének területéről a jelenleg alkalmazott 0,5x0,5 m-es nagyfelbontású DOF-ok jó lehetőséget adnak arra, hogy – amennyiben kiemelkedő jelentőségű, különleges állományról van szó, akkor – akár 100-200 m²-es területű foltokat is le lehessen határolni, még elfogadható pontossággal. Ehhez gyakran 1:1.000 (néha 1:500) méretarányú nagytárat kell és lehetséges beállítani.



6. ábra Az Ingói-berek legfelső szakaszának vegetációtérképe

Az adatfeldolgozás során a földfelszínen gyűjtött adatok (jegyzőkönyvek, fotók, stb.) térképi kapcsolását is megvalósítottuk. Ezt követően a légifotók, a terepjegyzetek és a fotódokumentáció segítségével beazonosított növényfoltokat társulástani azonosításra alkalmas kóddal (cönotaxonomiai kód) láttuk el. A fő társulástani csoportok a növénytérkép képi megjelenítéséhez színekódokat kaptak, míg az alacsonyabb rangú csoportokat a fő színén alkalmazott különböző térképezési grafikákkal jelöltük (6. ábra). Összességében mindez együtt alkotja a jelkulcsot.

Az ellenőrzések után került sor az adatbázis szerkesztésére, a leválogatásokra, a layoutok elkészítésére, a növényzettérképek igény szerinti előállítására, a nyomtatási formák szerkesztésére és kinyomtatására, valamint az értékelésre. A részletes adatbázis kinyomtatására nem került sor, csupán az összefoglaló jellegű területadatokéra.

3. EREDMÉNYEK

3.1.1. A KBVR vegetációtérképezés jelkulcsrendszerének egységesítése

A KBVR vegetációtérképezése 1985 óta hamisszines infravörös (IR) légifotók földi interpretációjával víztájként került elvégezésre (1. ábra).

kód	Cönotaxonomiai egység	kód	Cönotaxonomiai egység
A	HYDROCHARITION - LEBEGŐ HÍNÁR	Fa	Deschampsietumcaespitosae - sédbúzás mocsárrét
Aa	Lemno-Spirodeletum - békalencse-hínár	Fb	Agrostietumalbae - ártéri mocsárrét
Ab	Lemno-Utricularietum - békalencse-rence-hínár	Fc	Alopecuretumpratensis - ecsetpázsitos mocsárrét
Ac	Ceratophylletumdemersi - érdes tócsagzhínár	Fd	Festucetumpratensis - réti csenkeszes mocsárrét
Ad	Ceratophylletumsubmersi - sima tócsagzhínár	Fe	Poetumpalustris - mocsári perjes mocsárrét
Ae	Hydrochari-Stratiotetum - békataj kolokán hínár	G	ARRHENATHERION - ÜDE KASZÁLÓK
B	POTAMION - GYÖKEREZŐ HÍNÁR	Ga	Arrhenatheretum -franciaperjerét
Ba	Polygonetumamphibii - vidra keserűfűhínár	H	Festucionrupicolae - pusztagyepék
Bb	Myriophyllo-Potametum - nagyhínár	Ha	Festucionrupicolae - löszpusztarét
Bc	Potametumnodosi - imbolygó békaszőlőhínár	I	BIDENTION - MOCSÁRI GYOMNÖVÉNYZET
Bd	Nymphaeetumalbo-luteae - tündérrózsahínár	Ia	Bidentetumtripartiti - mocsári gyomtársulás
Be	Trapaetumantatis - sulyom	J	ARCTION - ÜDE GYOMNÖVÉNYZET
Bf	Najadetummarinii - tuskéhínár	K	CALYSTEGION - ÁRTÉRI GYOMNÖVÉNYZET
C	PHRAGMITION - NÁDASOK	Ka	Rubo-Solidaginetum - aranyvesszős gyomt.
Ca	Scirpo-Phragmitetum - nádasok	L	AGROPYRO-RUMICIONCRISPI - KÚSZÓ GYOMNÖVÉNYZET
Cb	Typhetumangustifoliae - keskenylevelű gyékény	M	ALNION - LÁPERDŐK
Cc	Typhetumlatifoliae - széleslevelű gyékény	Ma	Calamagrosti-Salicetumcinereae - fűzláp
D	GLYCERIO-SPARGANION - PATAKMENTI NÖVÉNYZET	N	SALICIONALBAE - FÜZLIGET
Da	Glycerio-Sparganietum - patakmenti növényzet	Na	Salicetumalbae-fragilis-fűzliget
Db	Typhoidetumarundinaceae - pántlikafű	Z	Egyéb
E	MAGNOCARICION - MAGASSÁSOSOK	Za	Telepített erdő, erdősáv
Ea	Caricetumacutiformis-ripariae - magassásrét	Zb	Szántó, parlag,
Eb	Caricetum gracilis - éles sásos	Zc	Polikormon megjelenési formájú társulás-mozaik
Ec	Caricetumelatae - zombéksásos	Zd	Pionír társulás-mozaik
F	Agrostion - mocsárrétek	Zz	Növénymentes nyílt víz

2. táblázat KBVR növény-interpretációs (egyszerűsített) jelkulcs (1992-1997)

Az IR légifotók 1:10.000 méretarányú optikai transzformátumain a földi interpretáció során kezdetben egy számalapú – szám-betűsorból álló – jelkulcs alkalmazásával azonosították be és határolták le az egyes, beazonosítható nagyságú (legalább 0,01-0,05 ha) növényfoltokat. A digitális módszerekre való áttéréssel, a légifényképek, ortofotók felbontóképességének javulásával, illetve a cönotaxonomiai egységek finomításával 1982-1997 között folyamatosan finomításra került a jelkulcs-rendszer is. Az 1992-1997 közötti egyszerűsített jelkulcs a 2. táblázatban látható.

Az 1997. évre több mint 200 cönotaxonomiai egység lett elkülönítve (Dömötörfy-Pomogyi, 1996, 1997; Dömötörfy, 1998):

- lebegő hínár: 20 egység;
- gyökerező hínár: 20 egység;
- nádasok összesen: 58 egység /azokon belül gyékényesek: 19 egység/;
- patakmenti növényzet: 10 egység;
- magassásosok: 40 egység;
- mocsárrétek: 10 egység;
- gyepék, gyomtársulások: 14 egység;
- láperdők, fűzligetek: 18 egység;
- „kultúrterületek”: 10 egység;
- egyéb: 10 egység.

A társulás alatti kategóriák bővülésével, illetve a Fenéki-tó Ingói-berken kívüli területek mind részletesebb felmérésével már ez a jelkulcs is alkalmatlanná vált a korrekt növényzetinterpretációra, ezért a 2000-es évek elején új jelkulcstábla került kidolgozásra, amelyet azóta is használunk. Ez a jelkulcsrendszer már cönotaxonómiai egységek latin neve kezdőbetűinek hierarchikus rendszerére épül fel, így a növényzet változását könnyedén, bonyolult eljárás nélkül lehet követni. Ily módon, amíg ugyanazt a cönotaxonómiai rendszert alkalmazzuk, mindaddig ez a jelkulcs használható.

Mivel a kutatásaink során a Fenéki-tóról rendelkezésre álló összes korábbi növényterkép adatbázisának áttekintése és fordítása is szerepelt a célkitűzéseink között, szükség volt egy, a különböző jelkulcsrendszerekkel készült vegetációtérképek egymásnak való megfeleltetésére, melyet külön eljárásban végeztük el. Ezen kutatásaink keretei között azonban a teljes részletes növényzetképek kevésbé alkalmazhatóak, mivel a becslésekhez robusztusabb növényzet kategóriákra van szükség. A terület egységekre a 3. táblázatban közöltek szerint összevonásokat alkalmazzuk.

	új egységek kód	VEGETÁCIÓTERKEPEZÉSI EGYSÉG
Társulások	1-10	TÁRSULÁCSOPORT (1 vagy 2 (D) karakteres alfanumerikus kód)
2002-es jelkulcs	1-10	KASZÓTALAJ - 7 (Hármasos alfanumerikus ETU)
2000-es jelkulcs	1-10	ETU KASZÓTALAJ - 7 (Hármasos alfanumerikus ETU)
1-eszlek kódja	1-10	ETU KASZÓTALAJ - 7 (Hármasos alfanumerikus ETU)
2-eszlek kódja	1-10	ETU KASZÓTALAJ - 7 (Hármasos alfanumerikus ETU)
3-eszlek kódja	1-10	ETU KASZÓTALAJ - 7 (Hármasos alfanumerikus ETU)
4-eszlek kódja	1-10	ETU KASZÓTALAJ - 7 (Hármasos alfanumerikus ETU)
5-eszlek kódja	1-10	ETU KASZÓTALAJ - 7 (Hármasos alfanumerikus ETU)
6-eszlek kódja	1-10	ETU KASZÓTALAJ - 7 (Hármasos alfanumerikus ETU)
7-eszlek kódja	1-10	ETU KASZÓTALAJ - 7 (Hármasos alfanumerikus ETU)
8-eszlek kódja	1-10	ETU KASZÓTALAJ - 7 (Hármasos alfanumerikus ETU)
9-eszlek kódja	1-10	ETU KASZÓTALAJ - 7 (Hármasos alfanumerikus ETU)
10-eszlek kódja	1-10	ETU KASZÓTALAJ - 7 (Hármasos alfanumerikus ETU)

3. táblázat A vegetációegységek összevonását követő egységes jelkulcsok

Az összevonásokat az teszi lehetővé, hogy amíg a vegetáció tér-idő finomszerkezeti változásai botanikai, cönotaxonómiai szempontból kiemelkedő jelentőségűek, addig a klímaváltozás trendjét ma még csak a robusztusabb folyamatok alapján lehet modellezni.

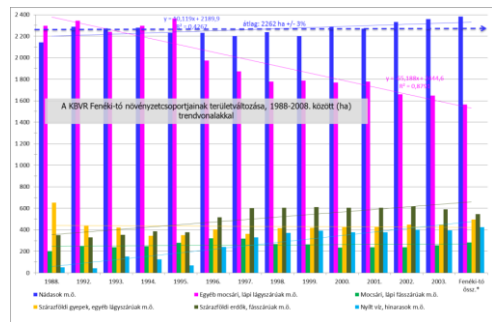
3.1.2. Fenéki-tó vegetációjának tér-idő változásai

A kutatásaink során a Fenéki-tó növényzetcsoportjainak területváltozásait bekövetkezett változásokat és tendenciákat a Fenéki-tó teljes területére, valamint a két részterületre az Ingói-berek és Külső-tározótér területére is külön-külön kiszámítottuk (4. táblázat). Az eredmények alapján megállapíthatjuk, hogy az Ingói-berek részleges beüzemelése előtt (1988 és 1992) és annak első szakaszában a nádasok és az egyéb mocsári, lápi lágyszárúak területi részesedése közel egyforma volt.

Ingói-berek														
	1988	1992	1996	2000	2004	2008	2012	2016	2020	2024	2028	2032	2036	2040
terület (ha)	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127	127
szárazföldi gyepek, egyéb lágyszárúak m.ö.	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39
mocsári, lápi lágyszárúak m.ö.	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
egyéb mocsári, lápi lágyszárúak m.ö.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
szárazföldi erdők, faültetvények m.ö.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mocsári, lápi lágyszárúak m.ö.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
szárazföldi erdők, faültetvények m.ö.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mocsári, lápi lágyszárúak m.ö.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
egyéb mocsári, lápi lágyszárúak m.ö.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
szárazföldi erdők, faültetvények m.ö.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mocsári, lápi lágyszárúak m.ö.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
egyéb mocsári, lápi lágyszárúak m.ö.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
szárazföldi erdők, faültetvények m.ö.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
mocsári, lápi lágyszárúak m.ö.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
egyéb mocsári, lápi lágyszárúak m.ö.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
szárazföldi erdők, faültetvények m.ö.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

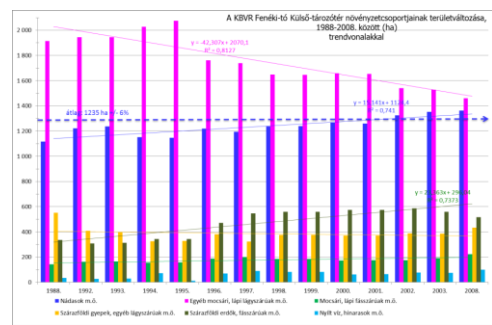
4. táblázat A Fenéki-tó növényzetcsoportjainak területváltozásai 1988-2008 között

Az idők folyamán a nádasoké (nádasok + gyékényesek) lényegesen nem is változott, a variációs együtthatós CV= 3% volt. Lineáris trendvonal a még enyhén emelkedő tendenciát is mutat. Ehhez hasonlóan a szárazföldi erdők (nyilvánvalóan a telepítések miatt) és a nyílt víz, hinarasok tendenciája (alapvetően az Ingói-berek beüzemelése és több kisebb vízfolyás rávezetése miatt is) is enyhén emelkedő tendenciájú. Ugyanakkor az időkoron az egyéb lágyszárú mocsári, lápi növényzet területe 1995 után jelentősen csökkent, bár a csökkenés üteme az utolsó években mérséklődött. Enyhén csökkenő tendenciájú a szárazföldi gyepek, egyéb szárazföldi lágyszárúak területváltozása is (7. ábra).



7. ábra A Fenéki-tó teljes területére vonatkozó változások és azok tendenciái

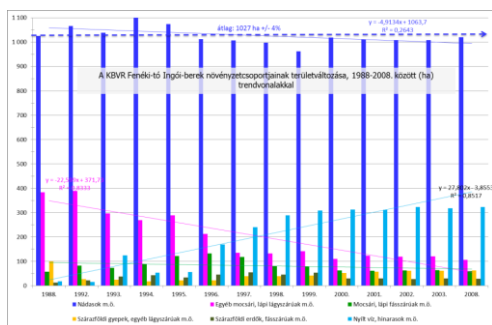
Éz utóbbi főleg a szigetek, szegélyterületek erdősítésére vezethető vissza. Ha összevetjük a Külső-tározótér (8. ábra) változásainak fő tendenciáival, akkor azt tapasztaljuk, hogy a nyílt víz és hinarasok kivételével az eredmény nagyon hasonló.



8. ábra Külső-tározótér területére vonatkozó változások és azok tendenciái

Az Ingói-berekkel összehasonlítva (9. ábra) látható, hogy a nádasok területe enyhén csökkenő tendenciájú (átlag: $1027 \pm 4\%$), de 1988 (1025 ha) és 2008 (1019 ha) között nem szignifikáns a terület-különbség (egyéb mutatókra később térünk ki).

Az üzembehelyezést követő első 7-8 évben mutatkozott némi ingadozás a nádasok területében, de 2000 után az 1000 ha körül beállni látszik. Jelentősen csökkenő az Ingói-berek területén is az egyéb lágyszárúak részese, ugyanakkor növekvő a nyílt víz/hinarasoké. A többi térképezési csoport kevésbé változékony. Ennek oka az is, hogy az Ingói-berek területe egy töltésekkel körbehatárolt 16 km²-es részterület, ahol erdőtelepítések, természetes úton történő cserjésedés számára sincs természetes terület, a töltéslábakat, részüket és az azokhoz kapcsolódó magaslatokat (pl. Diás-sziget) leszámítva.



9. ábra Ingói-berek területére vonatkozó változások és azok tendenciái

A vízi- és/vagy mocsári növényzet egymás rovására cserélődhet csak. Ez a részleges üzembehelyezést követően gyorsan be is következett. Az Ingói-beket alkotó 4 víztájon azonban jelentősen eltérnek egymástól a változások és azok trendjei.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A Fenéki-tó makrovegetációja tér-idő szerkezetének változásaira a természetes vagy kvázi természetes, „klasszikus” ökológiai tényezőkön túlmenően a direkt emberi beavatkozások: a beruházási program végrehajtása – a kiviteli munkák – során előidézett mesterséges tényezők drasztikusan hatnak. Ezekre az okokra az élőlények – így természetesen a növényzet is – rendkívül gyors válaszreakciót adnak, melyet stresszreakcióknak is tekinthetünk. Ezzel szemben a klímaváltozások – még akkor is, ha az emberi tevékenységre is visszavezethetőek – a természetes és természeteshez közelálló ökoszisztémákban előbbinél jóval lassabban lejátszódó folyamatok. Ennek modellezésére, a hosszútávú prognózisok készítéséhez a makrovegetáció tér-idő szerkezetében lejátszódó sokéves változások tendenciái támpontul szolgálhatnak. Kutatásaink során a Fenéki-tó területének makrovegetáció-változás-elemzéseit valósítottuk meg, mely alapján kiindulási állapotul az 1992. évi, a részleges üzembehelyezést megelőző állapotra vonatkozó növényterképezési adatok javasolhatók. Az ennél korábbi, az 1988. évi felmérés még kevésbé volt részletes, illetve az akkori térképezési módszerek is kevésbé voltak még fejlettek. Az utólagosan digitálisan feldolgozott 1988. évi állapot a kiegészítő elemzésekhez, kétséges esetekben pontosításokhoz, valamint a műszaki beavatkozások állapot-feltáráshoz használható, így

javasoljuk háttérdokumentációként ennek figyelembevételét is. A Fenéki-tóra vonatkozóan elkészített idősoros vegetációtérképek alapján kapott területszámítási adatok és a helyben mért növénykonstansok felhasználásával területi párolgás becslésére kerül sor. Ezt követően a vizsgálataink során a közeljövő éghajlatváltozásait kívánjuk számszerűsíteni időjárás generátorral, amelyhez a vegetáció változás-dinamikáját igazítjuk. A kutatásaink végén a Fenéki-tó jövőben várható párolgotatását fogjuk prognosztizálni.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Jelen cikk a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0064 számú "Az éghajlatváltozásból eredő időjárási szélsőségek regionális hatásai és a kárenyhítés lehetőségei a következő évtizedekben" című projekt keretében készült. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

IRODALOMJEGYZÉK

Anda A. (2014): Teixeira da Silva J.A., Soos G. Evapotranspiration and crop coefficient of the common reed at the surroundings of Lake Balaton, Hungary. Aquatic Botany (accepted for publication).

Bakó G. (2012): Nagyfelbontású légifelvétel-térképek alkalmazása a vegetációkutatásban *Kitaibelia* 2012, XVII. évf., 1. szám: pp. Vol. 17, No.1-8.

Berke J. (2010): Using Spectral Fractal Dimension in Image Classification, *Innovations and Advances in Computer Sciences and Engineering*, Springer Science+Business Media B.V. 2010, DOI: 10.1007/978-90-481-3658-2_41.

Czauner B., Vojnits A., Majercsik Cs., Mádlné Szőnyi J. (2007): Hidrogeológiai célú vegetáció térképezés a Kelemenszéken. In: XI. Konferencia a felszín alatti vizekről. Konferencia helye, ideje: Balatonfüred, Magyarország, 2007.03.28-2007.03.29. Paper 9.

Dömötörfy Zs., Pomogyi P. (1997): A KBVR vegetációtérképezés módszerei. *Hidrológiai Közöny* 1-2, 1997. pp. 48-49.

Dömötörfy Zs., Reeder D., Pomogyi P. (2003): Changes in the macro-vegetation of the Kis-Balaton wetlands over the last two centuries: a GIS perspective. *Hydrobiologia*, 2003, 506 (1-3): 671-679.

Dronova I., Gong P., Clinton N.E., Wang L., Fu W., Qi S., Liu Y. (2012): Landscape analysis of wetland plant functional types: The effects of image segmentation scale, vegetation classes and classification methods. *Remote Sensing of Environment*, Volume 127, December 2012, pp. 357-369.

Falusi E., Sipos V.K., Penksza K. (2008): Duna-Tisza közti mesterséges vízfolyások vegetáció-térképezése *Kitaibelia*, 2008, 13:(1) p. 159.

- Goetz S., Steinberg D., Dubayah R., Blair B. (2003): Laser remote sensing of canopy habitat heterogeneity as a predictor of bird species richness in an eastern temperate forest, USA. *Remote Sensing of Environment*, 2003, Volume 108, Issue 3, 15 June 2007, Pages 254-263.
- Kelly M., Tuxen K.A., Stralberg D. (2011): Mapping change to vegetation patterns in a restoring wetland: Finding patterns in metrics that are consistent across spatial scale and time. *Ecological Indicators*, Volume 11, Issue 2, March 2011, pp. 263-273.
- Kleinod K., Wissen M., Bock M. (2005): Detecting vegetation changes in a wetland area in Northern Germany using earth observation and geodata. *Journal for Nature Conservation*, Volume 13, Issues 2-3, 15 July 2005, pp. 115-125.
- Martínez-López J., Carreño M.F., Palazón-Ferrando J.A., Martínez-Fernández J., Esteve M.A. (2014) Remote sensing of plant communities as a tool for assessing the condition of semi arid Mediterranean saline wetlands in agricultural catchments. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 26, February 2014, pp. 193-204.
- Móricz N., Kohán B., Mari L., Mattányi Zs. (2004): Potenciális vegetáció térkép készítése GIS felhasználásával In: Barton Gábor, Dormány Gábor (szerk.) A magyar földrajz kurrens eredményei: II. Magyar Földrajzi Konferencia. Konferencia helye, ideje: Szeged, Magyarország, 2004.09.02-2004.09.04. Szeged: SZTE TTK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék, 2004. p. 149. (ISBN:963-482-687-3).
- Murphy K.J. (2002): Plant communities and plant diversity in soft water lakes of northern Europe. *Aquatic Botany*, Volume 73, Issue 4, August 2002, pp. 287-324.
- Nagendra H., Lucas R., Honrado J.P., Jongman R. H.G., Tarantino C., Adamo M., Mairota P. (2013): Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. *Ecological Indicators*, Volume 33, October 2013, pp. 45-59.
- Nyugat-dunántúli Vízügyi Igazgatóság honlapja: <http://www.kisbalaton.hu/fenekito.html>.
Online: letöltés: 2014.01.10.
- Pomogyi P. (1985): Az elárasztás hatására bekövetkezett változások a Kis-Balaton makrovegetációjában (Nach Überflutung eingetretene Veränderungen in der Macro vegetation des Schutzsystems Kleiner Balaton.) XXVIII. Georgikon Napok, Keszthely, 1985. augusztus 22-23. II. 709-716.
- Pomogyi P. (2002): A Kis-Balaton Védőrendszer 2002. évi botanikai vizsgálatának összefoglaló értékelése. - NYUDUVIZIG Jelentés, Keszthely, -47.
- Pomogyi P., Dömötörfy Zs. (2002): Mennyi nádas pusztult ki a Kis-Balatonon a Vízügyi Rendszer üzemelése során? *Hidrológiai Közöny*, 2002, I-XII. 2002. pp. 96-98.
- Szalma E., Bódis K., Juhász G., Zádori A., Szakál Sz., Fejes Cs., Aleksza R., Pomogyi P. (2002): A Kisköréirtározó hínár- és mocsári növényzetének 1994-1998 közötti változása, a vegetáció-térképek földrajzi információs rendszer (FIR) segítségével való feldolgozása és értékelése. I. *Vízinövények - Hidrológiai Közöny*, 82:(1-12) pp. 128-130. (2002).
- Szeglet P., Dömötörfy Zs., Pomogyi P. (1998): A nádas határ változása a Kis-Balatonon az 1950-es évektől napjainkig. XL. *Hidrobiológus Napok Tihany*, 1998. október 7-9. *Hidrológiai Közöny*, 1999. 6. 386-387.
- Tommervik H., Johansen B.E., Pedersen J.P. (1995): Monitoring the effects of air pollution on terrestrial ecosystems in Varanger (Norway) and Nikel-Pechenga (Russia) using remote sensing. *Science of The Total Environment*, Volumes 160-161, 15 January 1995, pp. 753-767.
- Zlinszky A. (2013): A Balatoni nádasok térképezése és védelme. PhD értekezés. Eötvös Loránd Tudományegyetem Biológus doktori iskola Ökológia, Konzervációbiológia, Szisztematika Doktori Program 2013.
- Zlinszky A., Mücke W., Lehner H., Briese C., Pfeifer N. (2012): Categorizing Wetland Vegetation by Airborne Laser Scanning on Lake Balaton and Kis-Balaton, Hungary. *Remote Sensing* 2012, 4, 1617-1650; doi:10.3390/rs4061617.
- Zlinszky A., Tóth V., Pomogyi P., Timár G. (2011): Initial report of the aim wet lab project: simultaneous airborne hyperspectral, lidar and photogrammetric survey of the full shoreline of Lake Balaton, Hungary. *Geographia Technica*, No. 1, 2011, pp. 101-117.