

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
INFORMATIKAI KAR
TÉRKÉPTUDOMÁNYI ÉS GEOINFORMATIKAI TANSZÉK

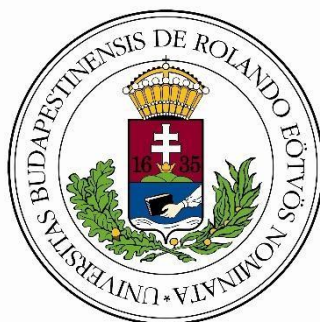
A balatoni nádasok tér- és időbeli dinamikájának térképezése a vízszintváltozásokkal összefüggésben

DIPLOMAMUNKA
TÉRKÉPÉSZ MESTERSZAK

Készítette:
Gyenese Tamás
térképész hallgató

Témavezető:
Dr. Zlinszky András
tudományos munkatárs
MTA ÖK Balatoni Limnológiai Intézet

Belső témavezető: Dr. Albert Gáspár
adjunktus
ELTE Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék



Budapest, 2018

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
1.1. A diplomamunka célja.....	3
1.2. A téma aktualitása	3
2. A Balaton és nádasai.....	5
2.1. A Balaton.....	5
2.1.1. Alapinformációk.....	5
2.1.2. Vízmozgásai és vízállása	5
2.1.3. A Balaton medre és üledéke	6
2.2. A nádas	8
3. A modellezéshez felhasznált adatok.....	10
3.1. Az 1975-ös Balaton Vízrajzi Atlasza	10
3.2. Az Egységes Országos Térképrendszer szelvényei.....	11
3.3. Jogi partvonalak.....	11
3.4. 2014-es légi lézerszkennelt adatok	12
3.5. 2015-ös mederfelmérés	15
3.6. Mintavételezési helyek	16
4. Medermodellek, összehasonlítási lehetőségek	17
4.1. Pont szerinti lekérdezés	17
4.2. A medermodellek elkészítése	18
4.3. Számszerűsített adatok a megváltozott nádasokra.....	20
4.4. Keresztmetszetek	24
4.5. A modellezés pontossága	25
4.6. Adatbázis	26
5. Ökológiai értelmezés	28
6. Összefoglalás	30
7. Felhasznált irodalom	32
8. Ábrajegyzék.....	34
9. Köszönetnyilvánítás	35
10. Mellékletek	36
11. Nyilatkozat	37

1. Bevezetés

1.1. A diplomamunka célja

Korábban már készültek vizsgálatok arról, hogy a Balaton vízszintjének változása milyen hatással van a nádasok területváltozására. Dr. Zlinszky András és Gertheis Anna légi felvételek alapján 73 mintavételi területen, közel hatvan év távlatában (1951, 1963, 1975, 1987, 2000, 2003, 2010) vizsgálta a nádasok területváltozásait. Módszerük lényege, hogy a légi felvételeket, georeferálás után digitalizálták, megkapva így az egyes nádasterületek körvonalát, valamint azok területét, amelyeket már össze lehetett vetni az éves vízállással. A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a balatoni nádpusztulás egyik tényezője az alacsony vízállású időszakok hiánya (Zlinszky, 2013; Gertheis, 2016).

A balatoni nádasok számára optimális vízmélységről vannak feltételezések, de ezeket számszerű, térbeli adatokkal még nem ellenőrizték. Kutatásom célja megvizsgálni, hogy van-e összefüggés a nádasok területváltozása és a meder változása között. Ha a nádasokkal borított területek nagysága a mederviszonyok változásától függetlenül alakul, akkor a változások oka a vízszintváltozás. Ebből kifolyólag a későbbi kutatások során a medret állandónak tekintve vizsgálhatnánk, hogy melyik évben, milyen mély víz borította a nádasokat, vagyis hogyan hatott rájuk a vízmélység változása. Ha a terület- és mederváltozások között megfigyelhető az összefüggés, az arra enged következtetni, hogy a nádasoknak szerepe van az üledékfelhalmozódásban, vagy éppen fordítva, az üledékfelhalmozódás van hatással a nádassal borított területek nagyságára. Ennek a kérdésnek a vizsgálatához egy adatintegrációs feladatot kell elvégezni, amelynek eredményeként a medermélység és a parti területek különböző típusú és korú adatait egyazon térinformatikai rendszerben vizsgálhatjuk. Röviden ez az 1975-ös mederfelmérés, kiegészítve a korabeli EOTR szelvények szintvonaláival, valamint 2015-ös mederfelmérés és a 2014 LiDAR partvonal-felméréssel nyert adatok összehasonlítását jelenti. Ezen adatok alapján elkészített két különböző időpontra vonatkozó meder- és partmodellt végül a mintahelyeken történő nádpusztulással és vízszintváltozással is összevetem.

1.2. A téma aktualitása

Napjainkban az édesvízi növényzet és a hozzájuk tartozó élővilág megőrzése, óvása létfontosságúvá vált. A nádas kulcsszerepet játszik az édesvizek biokémiai folyamatiban, például a vizek foszforeltávolításában is, amely elősegíti a vízminőség javulását, ezen felül a nádasok elősegítik a talajvízkészletek feltöltődését, óvják a partot az eróziótól, és vissza-

tartják az árvizeket. Ezek ismeretében is folyamatosan zajlanak nádpusztulást előidéző tevékenységek, ilyen például a vizek és a partok szennyezése, a partok beépítése, a lecsapolás, az idegenhonos fajok behozatala és ide tartozik a Balaton vízállásának magasán tartása, amely a turizmus és a hajózás érdeke. Mára már több nemzetközi egyezmény is szabályozza a vizes élőhelyek védelmét, mint például a Ramsar-i egyezmény vagy a Natura 2000, amelynek elsődleges célja az emberi jelenlét fenntartása mellett a jó élőhelyállapot elérése (Zlinszky, 2013).

2. A Balaton és nádasai

2.1. A Balaton

2.1.1. Alapinformációk

A Balaton a Dunántúlon mintegy 77 km hosszan elnyúlva északkeleti-délnyugati irányban a Dunántúli-középhegység délkeleti lábánál lapos, teknőszerű mélyedéseiben fekszik. Medre egy rendkívül sekély teknőnek tekinthető, ha a hosszúságát és medencéinek szélességét a tó vízmélységéhez hasonlítjuk, ugyanis átlagos mélysége 3,3 m, szélessége pedig 4,5 és 12 km között változik. A Balaton medencéje négy további medencére osztható: Keszthelyi-medence, Szigligeti-medence, Szemesi-medence és a Siófoki medence. Az 594 km² területű tóba befolyó összes vízmennyiség több mint a fele a Zala vízgyűjtő területéről érkezik, a többi vízgyűjtő területtel ez 5775 km²-t tesz ki. A mintegy 50 Balatonba torkolló vízfolyás többsége az északi parton helyezkedik el (Virág, 1998).

2.1.2. Vízmozgásai és vízállása

Ha figyelembe vesszük a tó vizének legkisebb mozgásait, kijelenthetjük, hogy a Balaton vize soha sincs teljesen nyugalomban, ugyanis víztömegének egy részét, vagy egészét a különböző meteorológiai és hidrológiai tényezők állandóan mozgásban tartják. E tényezők közül a legjelentősebb a szél hatása, ezen felül a vízmozgásra még hatással van a légnyomás hirtelen változása, a hőmérséklet emelkedése vagy csökkenése, a felszíni vizek által szállított víztömegek beömlése, illetve az eresztés is. Az említett vízmozgás jellemző módon hullámvázban, a vízfelszín hossz- és keresztirányú lengésében, a kilendülések mértékében, valamint az áramlásokban nyilvánul meg (Virág, 1998).

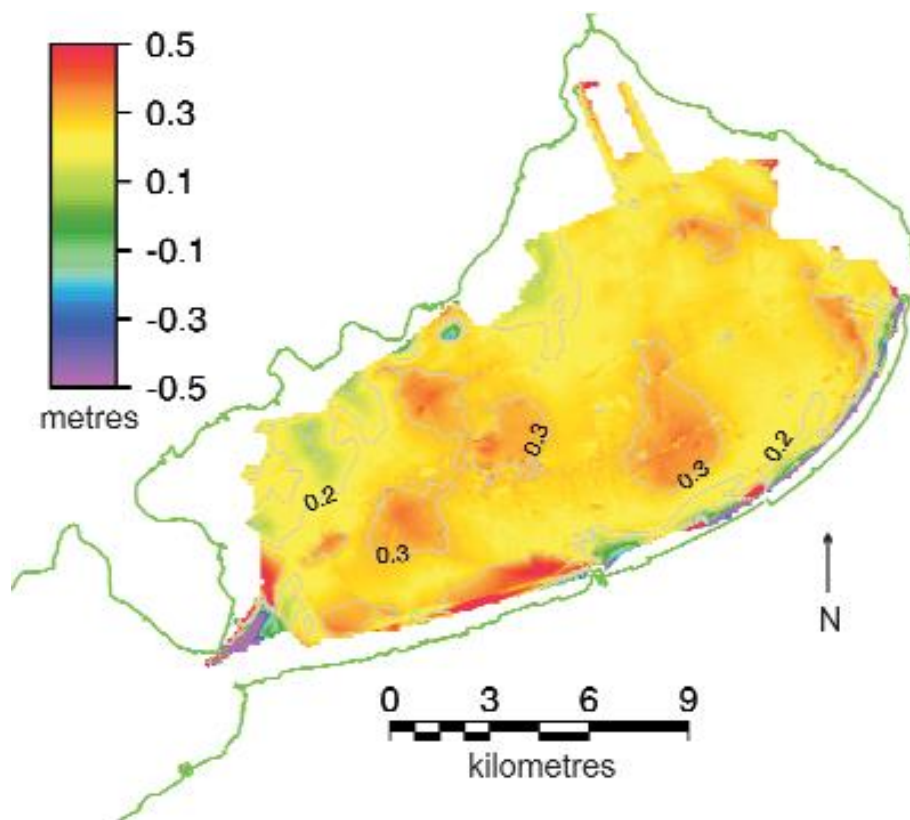
A Balaton vízszintjét már 1863 óta mérik, de korábbi oklevelek alapján elmondható, hogy évtizedes távlatban nem volt ritka a 3 méteres vízszintingadozás. (Bendefy és Nagy-Bodor, 1969) A Sió-zsilip és csatorna 1863-ban történt megnyitása óta a Balaton vízszintje mesterségesen szabályozva van. A hetvenes évek elején üdülési érdekekből külön rendelkezésben szabályozták a tó vízállását, ebben előírták, hogy a vízállást +70 cm és +100 cm közötti szinten kell tartani és külön meghatározták az egyes hónapokban megengedhető legalacsonyabb és legmagasabb vízszinteket is. Ezek a szabályozási vízszintek az első húsz év során majdnem egészében betarthatók voltak, olykor még túl is teljesítették a magas vízállással és az igen kevés ingadozási értékkel, csak 1992-ben süllyedt először jelentősebben, de a vegetációs időszakban ilyenkor is magas vízállás volt. A hajózás és a turizmus érdekeit

a magas és stabil vízállás szolgálta volna legjobban, így az újabb zsilipkezelési szabályzatokban egyre magasabb minimum vízszinteket írtak elő. A 2000 és 2003 közötti aszályos időszak gyökeresen megváltoztatta a tó vízjárását, ugyanis a vízszint 60 cm-el a szabályozási minimum alá csökkent, de 2004-től a tó vízszintje ismét emelkedett és 2010-ig az előírt korlátokon belül maradt. Fontos aktualitást ad kutatásainknak a Balaton aktuális és tervezett további vízszintemelése, amelynek során +120 cm-es szabályzási szint is felmerült (Zlinszky, 2013; Virág 1998).

2.1.3. A Balaton medre és üledéke

A Balaton medrének a felmérése az idő folyamán többször is megtörtént, de sokszor ezek pontatlanok, hibával terheltek és így kevésbé megbízható termékek lettek. Az első ilyen térképezés a Földművelésügyi Minisztérium (FM) vízrajzi osztálya végezte 1894-95-ben. A felmérést szondázó rúddal és alattsággal (mérőkötéllel) végezték mintegy 2884 pontban, megkísérelték az üledék vastagságának a felmérését is, az erről készült térkép alapján elő lehetett állítani a Balaton első ismert medertérképének digitális modelljét is. (Zlinszky, 2009) Az FM Vízrajzi Intézete 1929 őszén és 1930 tavaszán megismételte a meder felmérését az előzőekben leírt módszerekkel, de megbízhatatlanabbra sikerült a helymeghatározás pontatlansága miatt. E két felmérés alapján szerkesztett mélységvonalas térképek szerint feltöltődés mutatkozott a Tihanyi-félsziget és Balatongyörök közötti tórészen és kimélyülés a Keleti-medence Siófok előtti területén. A Balaton következő felmérését a VITUKI végezte 1955 augusztus 8. és október 11 között ultrahangos mélységmérővel, de ezek pontossága is eléggé megkérdőjelezhető volt, ugyanis a mérési keresztszelvényeket nem lehetett rekonstruálni. A XX. század legrészletesebb Balatoni felmérést a VITUKI végezte 1974-75 között (Virág 1998), amely folyamatáról a későbbiekben részletesebben is kitérek.

A 2000-es évek elején az ELTE Geofizikai Tanszéke és a Geomega Kft. elvégezte a Balaton medrének feltérképezését szeizmikus mérésekkel, különösen a Siófoki-medencére koncentrálna. A szeizmikus mérések alapján számított medermagasságot pontról-pontra összevetették az 1975-ben felmért mederprofil magasságaival. A kapott eredmény átlagosan +24,5 cm-es eltérést mutatott (1.ábra), ami 28 évre visszavetítve azt jelenti, hogy a Keleti-medence tengerszint feletti magasságának változása 8,8 mm/év. A felmérésük alapján megállapítható, hogy a tómeder nagy része jellemzően topográfiai elemektől mentes felszín, amely dél-délkeleti irányban lejt (Zlinszky, Molnár, Székely, 2010).



1.ábra: A Siófoki-medencére az 1975-ös vízrajzi felmérés adataiból és a szeizmikus mérésekből számított medermodell magasságkülönbségének térképe. Pozitív értékek a vízfenék emelkedését, negatív értékek süllyedést jelölnek, az izovonalak lépésköze 10 cm. (Zlinszky, Molnár, Székely 2010)

Az 1950-es években a következő tényezőket állapították meg, amelyek befolyásolhatják a balatoni iszap gyarapodását illetve csökkenését: a szélhordta por mennyisége, a csapadékvíz oldott anyaga, a tóba torkolló vízfolyások oldott anyaga, a tóba torkolló vízfolyások hordaléka, a szennyvízbevezetések oldott anyaga, a parterózió következtében bekerülő anyag, elhalt vízinövények, a Sión leeresztett oldott anyagmennyiség, a kotrással eltávolított anyagmennyiség illetve a tóból kikerülő halak és rovarok által kijutó szárazanyag mennyiség. Az 1980-as évek második felében a Magyar Állami Földtani Intézet kutatói iszapvastagság méréseket végeztek, megállapításuk szerint a Balatonban lévő iszap felső 0,5-1,5 méteres része igen lágy szuszpenzió, melynek egy része kolloid iszapnak is nevezhető. A „lágyiszap” réteg alatt található mintegy 3 méterig egy laza iszapnak nevezett üledék, az ez alatt lévő tömörödött anyag szilárdnak tekinthető. Az általuk megszerkesztett iszapvastagsági térkép szerint a három iszapréteg együtt átlagosan 5 méter vastag. A Balaton üledéke az oxikus kategóriába tartozik s ennek következtében igen alacsony a szervesszén tartalma, továbbá a híg iszapban magas a karbonát részarány, ami megóvta a Balaton vizét a savas esők káros hatásától. Kedvezőtlen viszont az, hogy az iszap felső rétegében viszonylag magas a fosz-

forvegyületek mennyisége, ami a tó vízének eutrofizálódásának meghatározó tényezője (Virág, 1998).

A fentiekben már említett szeizmikus mérés vizsgálata alapján azt a következtetést vonták le, hogy az áramlási viszonyok mellett a neotektonikai folyamatok is befolyásolhatják a tómeder tengerszint feletti magasságát. A felmérés során elkészítették az iszapfekü felszínmodelljét, amely a holocén üledéket nem tartalmazza, azaz a preholocén felszint tükrözi. Az iszapfekü egyes felszínformái tekinthetők folyóvölgyként, amelyek egybevetethetők korábbi paleomeander elméletekkel, hogy a tó területén korábban folyóvízi környezet uralkodott (Mike 1976), de a felszín nem mutat a tó keletkezési módját egyértelművé tevő elemeket. Az általuk elkészített két modell alapján, arra a következtetésre jutottak, hogy a Balaton területe napjainkban is tektonikai aktivitást mutat, aminek döntő szerepe lehet a tó medencéjének alakulásában (Zlinszky, Molnár, Székely, 2010).

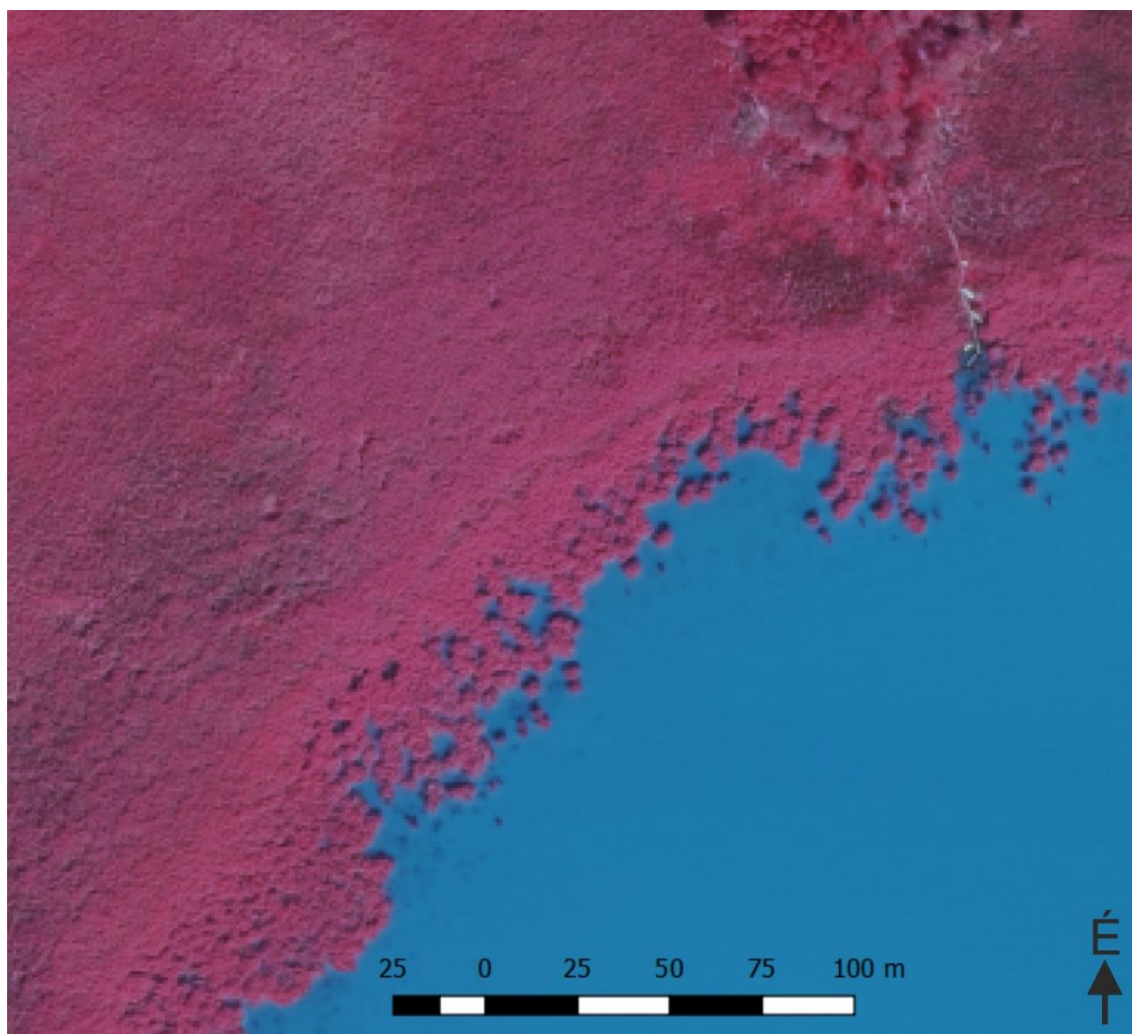
2.2. A nádas

A közönséges nád (*Phragmites australis*) az egyszikűek osztályának a perjevirágúak rendjébe, ezen belül a perjefélék családjába tartozó faj. A nád morfológiailag gyöktörzsre, másnéven rizómára, gyökerekre, járulékos gyökerekre, hajszálgyökerekre, szárra, levelekre, valamint szaporító szervekre: sarjrügyekre és virágzatra tagolódik. Míg a föld feletti száraz, levelek és virágzat részei télen elhalnak, addig a talajban vagy iszapban helyet foglaló rizóma élettartalma körülményektől függően 5-10 év közötti lehet. A nád sok esetben más vízinövényekkel együtt fordul elő, legjellemzőbben a gyékénnyel, sással, és ezekkel együtt alkot egy zárt élőhelyet a vadvilág számára (Virág, 1998). A balatoni nádasok területe kb. 12 km² és a többség (73%) az északi partra koncentrálódott (Tóth, 2016).

Haslam vizsgálatai alapján a közönséges nádas kedvező élőhelye az alacsony fekvésű sekély tó, amire a Balaton tökéletes példa, ezen felül további tényezőket írt le, mely befolyással vannak a nád növekedésének teljesítményére. Az üledék tápanyagtartalma hatással van a hajtások sűrűségére és az átlagos magasságra, az árnyékolás csökkenti a szárméretet és a virágzat sűrűségét, a tavaszi fagyok a szár magasságára és átmérőjére hatnak kedvezőtlenül, míg a súlyos fagyok akár teljesen el is pusztíthatják a nádas (Haslam, 1972).

Az elmúlt évtizedekben számos közép- és kelet-európai tavon megfigyelhető a nádassal borított területek csökkenése, visszaesése. Ezeken a területeken együttesen jellemző az alacsony szársűrűség és magasság, késői virágzás, rügyek elhalása, továbbá megbomlott a nádas sűrű, majdhogynem homogénnek tekinthető szerkezete. Kezdetben a nádas nyílt víz felőli része kezdett megváltozni, folyosók, lagúnák jelentek meg, amik egyre nagyobbak

lettek, csökkentve a nádas területének méretét, később csomókra bomlottak, más néven bászodtak (2. ábra), melyeket végül a hullámverés kidöntött (Putten, 1997; Virág, 1998).



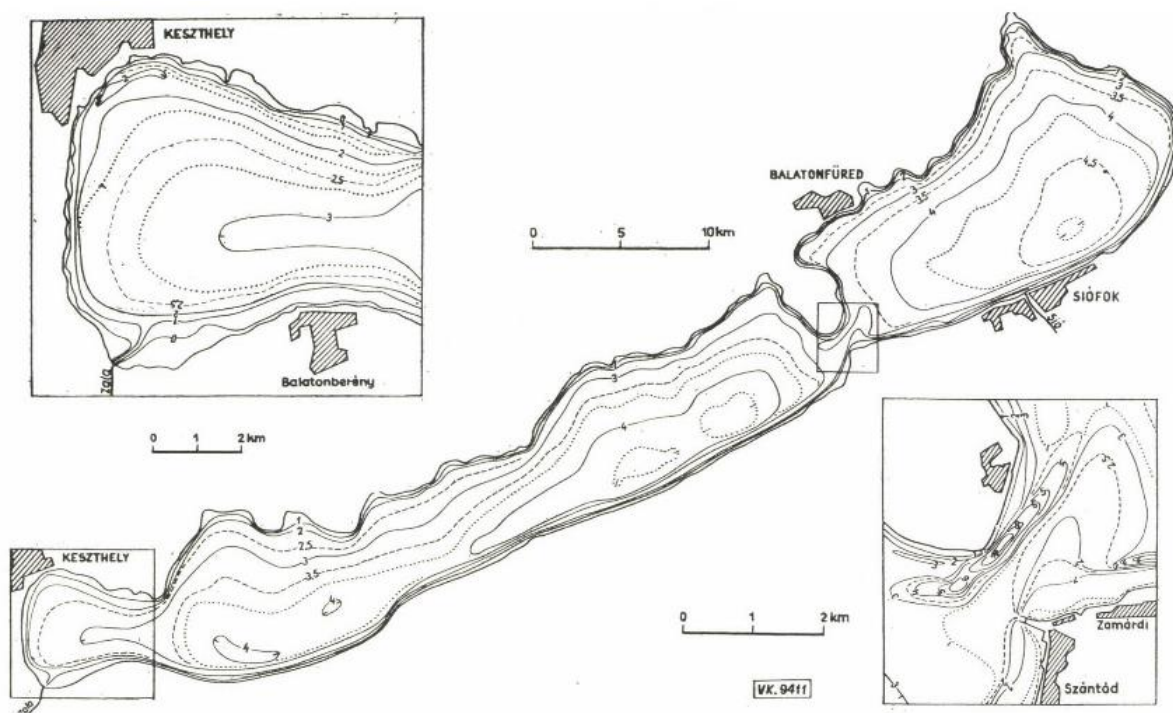
2. ábra: *A pusztuló nádas Badacsonytomaj közelében infravörös felvételen*

A közönséges nád egy széles körben elterjedt növényfaj, amely számos körülmény között termeszthető, még ha különböző növekedési teljesítménnyel is, de alkalmazkodóképességét erősen befolyásolja az üledék mennyisége és annak szerves tartalma, ugyanis a rizómaszövedék közeibe és tetejére rakódó iszap, a nádasban termelődő szervesanyaggal dúsulva kitűnő táptalajt képez oxigént fogyasztó baktériumok és más mikroszkópikus élőlények számára, az avar felhalmozódása pedig visszavezethető a magas vízállásra (Putten, 1997). Több kutatás is kimondja (Zlinszky, 2013; Tóth, 2016), hogy az alacsonyabb vízállás kedvező hatással van a nádas területek növekedésére. Magasabb vízállásban a viharos szelek által előidézett keresztirányú vízállásváltozásoknak, illetve a hosszirányú vízlengéseknek kisebb a nádaszt öblítő, iszapfelhalmozódást csökkentő hatása, mint alacsonyabb vízállásnál (Virág, 1998).

3. A modellezéshez felhasznált adatok

3.1. Az 1975-ös Balaton Vízirajzi Atlasza

A korábbi mederfelmérések pontatlansága miatt, a Balatonnal foglalkozó intézmények számára nélkülözhetetlen volt egy pontosabb, korszerűbb mérőeszközök felhasználásával készített új vízrajzi felmérés, amelyet a VITUKI 1974-75 között végzett el (Sass 1979). A felvétel módszerének kidolgozásához kísérleti méréseket végeztek, ezek alapján esett a választásuk az Atlas-Echolog mérőberendezésre, ami ultrahang segítségével méri a vízmélységet és tetszőleges méretarányban folyamatosan rajzolja a mederprofilát. A mérés során a nádassal borított területeket munkagépek segítségével a szelvényirányokban letaposták, így a nádassal borított részeket is feltérképezték. A dolgozathoz is felhasznált 1 : 25 000 méretarányú vízrajzi térképeken szereplő mélységvonalakat a 104,84 m Adria feletti szinthez viszonyítva szerkesztették meg (3.ábra). A 0,5 méteres szintkülönbségű mélységvonalak + 75 cm-es vízállásra vonatkoznak. (Sass 1979) A vízrajzi térkép szelvényeit Dr. Zlinszky András georeferálta, digitalizálta és transzformálta EOVS vetületbe, attribútumként megadva a szintvonalak tengerszint feletti magasságát adriai magassági rendszerben (Zlinszky, Molnár, Herodek, 2008). Ezek az állományok rendelkezésemre álltak shape-fájlként a munka megkezdéséhez..



3. ábra: A Balaton mélységvonalas helyszínrajza az 1974-75-ös felmérés alapján

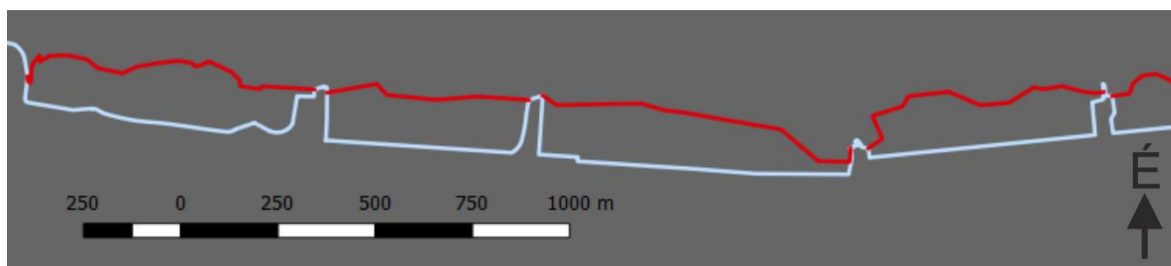
3.2. Az Egységes Országos Térképrendszer szelvényei

Az 1975-ös medermodell szárazföldi részeihez az Egységes Országos Térképrendszer (EOTR) 1 : 10 000 méretarányú topográfiai térképszelvények szintvonalait használtam. Az ország felmérése 1976-ban kezdődött. Az 1950-es évek végétől a topográfiai térképeink felmérésénél egyre inkább a sztereofotogrammetria (légifénykép-kiértékelés) eljárás dominált, elhagyva ezzel a hagyományos terepi felmérési eljárásokat (Zentai, 2006). Az eljárás során két, egymással részben átfedő képen történik a kiértékelés, és a műszerek szemléltetőbe rendezéseinek köszönhetően az átfedő képrészek sztereoszkopikusan szemlélhetők (Mélykúti, 2007). Az EOTR szelvényeken az alapszintköz közel sík területen 1 vagy 2 m, dombvidéken 2,5 m, hegyvidéken pedig 5 m. Az alapszintköz egy szelvényen belül is változhat, ekkor egy adott magassági értékű szintvonalnál történik a váltás.

A felmérés korban megegyezik a VITUKI által elvégzett balatoni mederfelméressel. A felhasznált EOTR szelvények georeferált GeoTIFF formátumban kerültek hozzám, amelyek szintvonalait QGIS-ban digitalizáltam, megadva attribútumként a tengerszint feletti magasságot balti magassági rendszerben.

3.3. Jogi partvonalak

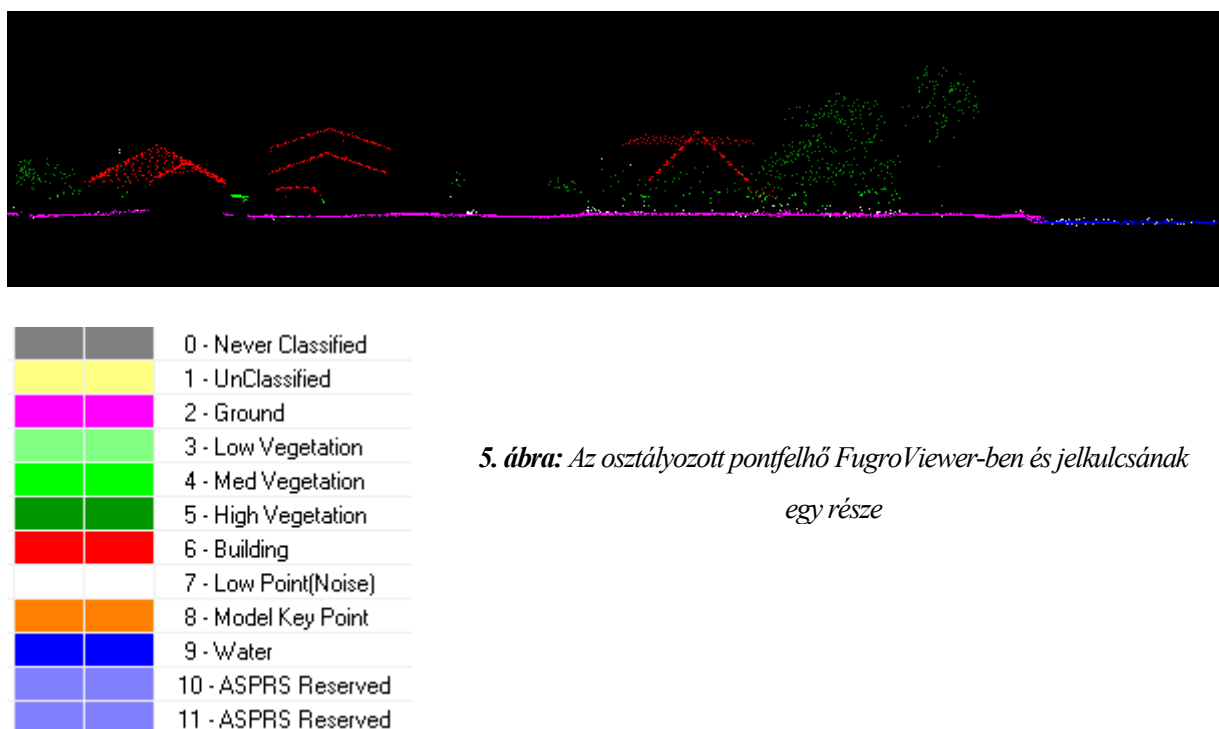
Mindkét medermodellhez felhasználtam az akkori jogi partvonal tengerszint feletti magasságát, amely a 2014. évinél a 100 cm-es vízállásnak megfelelő, míg az 1975-ösnél 25 cm-el kevesebb az akkori alacsonyabb szabályozási szintek miatt. A két jogi partvonal vonalfutása legfőképp azokon a helyeken mutat különbséget, ahol mesterséges feltöltést végeztek vagy új kikötőt építettek (4.ábra). A két adatsort Dr. Zlinszky Andrásnak köszönhetem, és mint az eddigi adatsoroknál, a shape fájl attribútumában itt is a vonal tengerszint feletti magassága szerepel balti magassági rendszerben, amit a QGIS táblázatkezelőjében adtam hozzá.



4. ábra: Partvonal változás Balatonmáriafürdő közelében, pirossal jelölve az új jogi partvonal

3.4. 2014-es légi lézerszkennelt adatok

Rendelkezésemre álltak a 2014-es LiDAR (Light Detection And Ranging) felmérések a Balaton vizsgált partszakaszáról és egy ezekből elkészített digitális terepmodell is. Az 510 lézerszkennelt pontfelhők már osztályozva voltak elemtípus alapján, ugyanis a lézersugár a sűrű leképezés miatt részben az alsóbb ágakra, levelekre és a talajra is vetülhet, ezért a növényzettel borított területeken a visszaverődés alapján több szint is kijelölhető: a legelső visszaverődés adja a lombkorona tetőszintjét, az utolsó a szilárd felszín magasságát, továbbá a visszaérkező jel intenzitása is hasznos információkat szolgál az elemtípus azonosításában (5.ábra). A repülőgépbe szerelt GNSS (Global Navigation Satellite System) és IMU (Inertial Measurement Unit) szenzorok lehetővé teszik a mért adatok valós koordináta-rendszerbe helyezését (Telbisz, Székely, Timár, 2013).



5. ábra: Az osztályozott pontfelhő FugroViewer-ben és jelkulcsának egy része

Annak érdekében, hogy ne felszínmodellről, hanem domborzatmodellről beszéljünk el kell távolítani a tereptárgyakat jelölő pontokat, illetve a nádasok által borított területeken túl sűrű a növényzet ahhoz, hogy a jel minden szintre lejusson, így a tényleges talajszint sem definiálható, ezek érdekében további műveletekre volt szükség, amiket OPALS-ban (Orientation and Processing of Airborne Laser Scanning) végeztem el.

Első lépésként a .las típusú pontfelhő fájlokból létrehoztam egy ODM (Opals Data Manager) típusú fájlt, ami megfelelően tárolja akár a nagyobb téradatszerkezeteket is. A

folyamat meggyorsítása érdekében felosztottam 10 csoportra és csoportonként hoztam létre egy egybevont ODM fájlt, így nem kellett mind az 510 pontfelhőre megcsinálni:

```
opalsImport -inFile eov_pt000040.las -outFile eov_pt000040.odm
```

A fájl létrehozása után kiszámoltam a különbséget a pontfelhő és a már korábban elkészített rendelkezésemre bocsátott terepmodell között a következő algoritmussal:

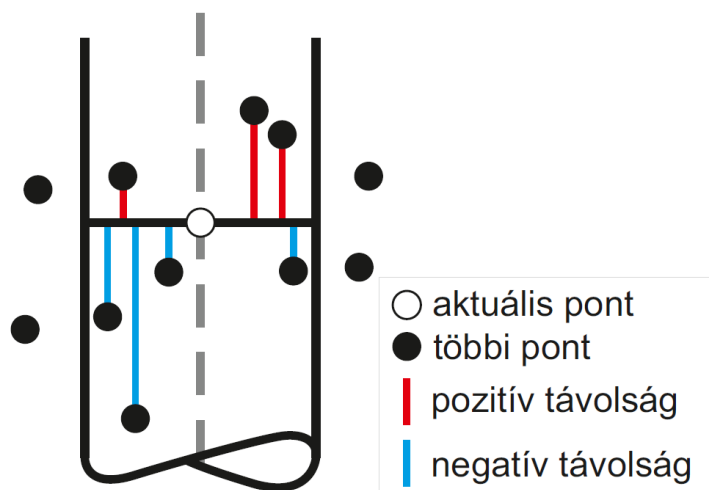
```
opalsaddinfo -inf eov_pt000040.odm -gridfile Bala-  
ton_DTM_EOV_clip.tif -attribute ''NormalizedZ = z-r[0]''
```

Ezek után a pontfelhőből leválogattam az osztályozás szerinti 'Low Point'-okat megadva egy relatív magassági értéket, mert lehetnek zajpontok, amik nagyságrenddel a talajszint fölé vagy alá mutatnak, majd azokat a 'Low Point'-okat, amiknek a relatív magassága 0 és -1,5 méter közé esik exportáltam .xyz formátumba:

```
opalsexport -inf eov_pt000040.odm -outf eov_pt000040_low_no-  
ise_ground_points.xyz -filter "Class[LowPoint] && Gene-  
ric[NormalizedZ < 0 AND NormalizedZ > -1.5]"
```

Ennek segítségével kiválogattam azokat a 'Low Point'-okat, amelyeket a domborzatmodell elkészítéséhez majd figyelembe veszek. Ezt követően végrehajtottam egy lekérdezést, mivel a pontfelhő sok helyen szórt. A pontokhoz hozzárendeltem egy 1,5 méter vízszintes sugarú „keresési” hengert (6.ábra), és a keresési területen belül kiszámoltam a legmagasabb és a legalacsonyabb pont különbségét, azaz a magassági tartományt, amely a vizsgált pont egy új attribútumában foglal helyet:

```
opalspointstats -inf eov_pt000040.odm -searchrad 1.5 -searchmode d2  
-feature range -attribute z
```



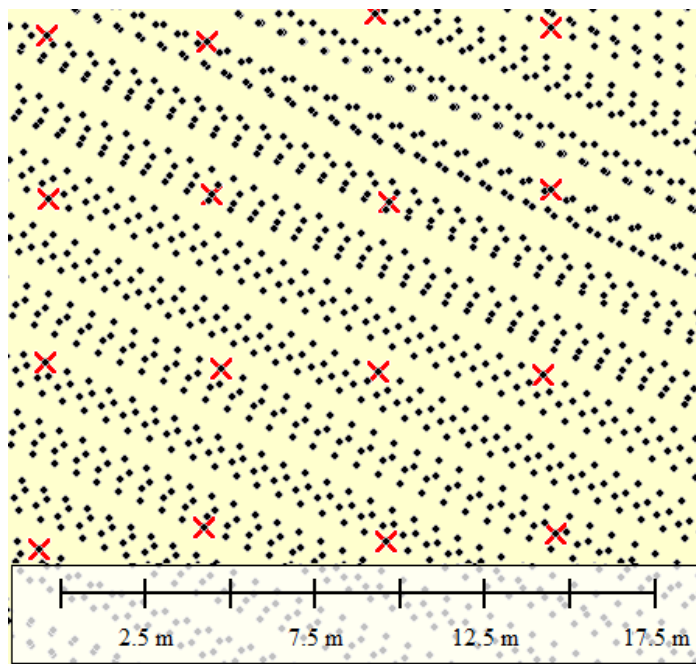
6. ábra: A létrehozott henger, amin belül az aktualis pontot összevettem a henger sugarán belüli pontokkal

Végül leválogattam az osztályozás szerinti 'Ground' pontokat, ahol az előbb létrehozott új attribútum (dZRange) kisebb, mint 0,5 méter, és továbbá a nagy pontsűrűség miatt csökkentettem a pontok számát egy 5 méteres cellatartománnyal (7.ábra):

```
opalscell -inf eov_pt000040.odm -outf eov_pt000040_ground_points_flat_decimate.odm -feature center -cellsize 5 -filter "Class[Ground] && Generic[_dZRange < 0.5]"
```

majd exportáltam .xyz formátumba:

```
opalsexport -inf eov_pt000040_ground_points_flat_decimate.odm outf eov_pt000040_ground_points_flat_decimate.xyz
```



7. ábra: A pontok számának csökkenése, piros X-el jelölve a megtartott pontokat

A fentiekben felsorolt műveletek elvégzését gyorsíthatja és kényelmesebbé teheti, főleg ekkora adatmennyiségnél, ha az elvégzendő műveleteket nem egyesével OPALS-ban hajtjuk végre, hanem például Notepad++-ban írjuk meg ezeket a műveleteket egymás után következve és mentjük el .bat kiterjesztésű állományként. Az így létrejövő kötegelt állományt, más néven batch fájlt futtatjuk le OPALS-ban, mely során a tartalom sorról sorra való olvasásával történik.

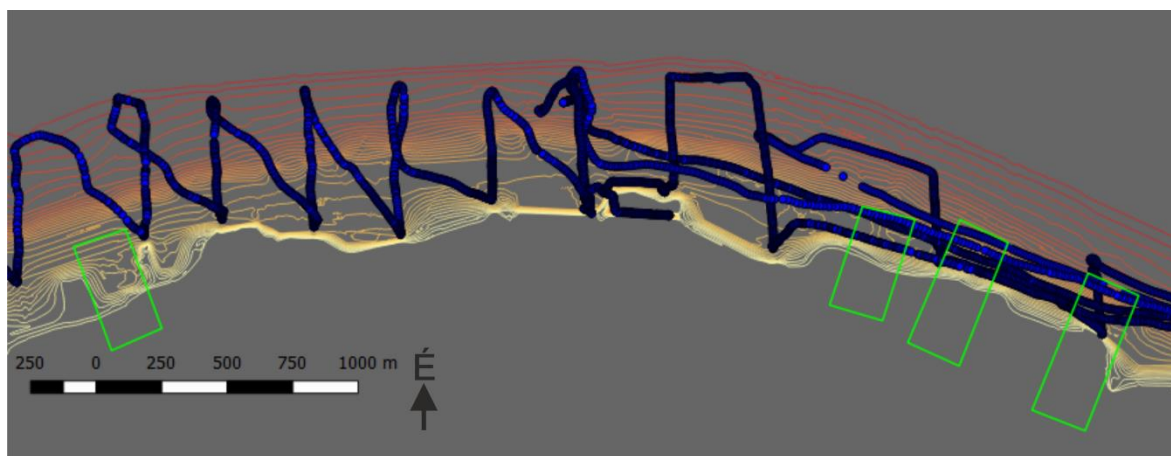
Egy pontfelhő által lefedett területre két .xyz formátumú adatsort kaptam, amelyeket egymásba integrálva használtam fel, és Global Mapper által ezek könnyedén pont típusú shape fájlokká alakíthatók. A LiDAR felmérésből nyert pontokat a 2015-ös jogi partvonal alapján leválogattam, és csak a partvonal szerinti szárazföldre eső pontokat tartottam meg, ugyanis a víz által borított területről nem kapunk megfelelő visszaverődést. Az ilyen „Gro-

und” minősítésű jelek valószínűleg a növényzet alsóbb rétegeiről és nem pedig a víz által borított talajfelszínről verődtek vissza.

3.5. 2015-ös mederfelmérés

A BVK (Balaton Vízügyi Kirendeltség) 2015-ben feladatául tűzte ki a Balaton feltérképezését. A mérés elsősorban a hajózás érdekében készült, hogy biztonságosabbá és tervezhetőbbé tegye azt, ugyanis az 1975-ös felmérés óta a tó oly mértékű változásokon ment keresztül, hogy az adatok frissítése elengedhetetlenné vált. A sekélyvízi méréseket a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság munkatársai végezték egy kenuból összeállított katamaránon, ami kellő stabilitást biztosított a GPS és a mélységmérő szonár pontos működéséhez. (Pécseli, 2016) Ezeket az adatsorokat Dr. Zlinszky András bocsátotta rendelkezésemre, amelyek tartalmaztak állományt, ami a felmért pontokat tartalmazta, illetve egy ezekből készített szintvonalas domborzatmodellt a Balaton medrének partközeli részére. Az adatsorok közül a 'nyers' felmért pontokat használtam fel alapadatként, ugyanis az interpolációs eljárással feldolgozott másodlagos adatok, mint például egy szintvonalas modell, a módszertől függően hibákkal terheltek (Albert, 2009). Továbbá megvizsgálva a pontok elhelyezkedését a szintvonalakhoz képest, észrevehető, hogy jelentős extrapolálás történt felmértlen területekre (8.ábra).

A sekélyvízi felmérések során a nádassal borított területekre nem hatoltak be, inkább csak érintették azokat, de sok esetben a felmért pontok távol helyezkedtek el az egyes mintavételezési területtől. Megállapítható, hogy az 1975-ös felméréshez képest részletgazdagsága csekélyebb a nádasok területén belül, de ahol elfogadható a közelsége, a pontsűrűség miatt felhasználható volt.



8.ábra: A 2015-ös felmérés pontjai és az azokból előállított szintvonalak, feltüntetve a mintavételezési területeket Balatonmáriafürdő közelében

A pontok eredetileg .dwg kiterjesztésű fájlban voltak, amelyek a későbbi felhasználás érdekében pl. GlobalMapper-rel shape fájlra konvertálhatók. Az eredményként kapott adatbázis attribútumként tartalmazta a pont tengerszint feletti magasságát balti rendszerben.

3.6. Mintavételezési helyek

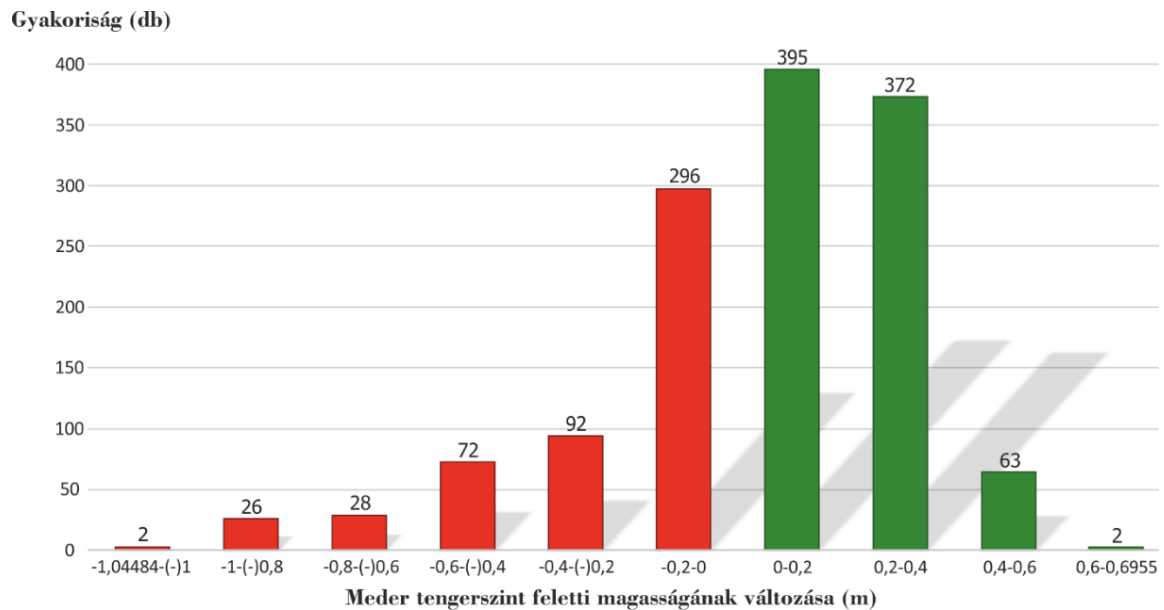
A nádassal borított területeket a Balaton partjánál 73 mintavételezési területen vizsgálták 7 különböző évben; a mintaterületek egyenként nagyjából 200 méteres partszakaszok. A vizsgálat alapja a légifotók digitalizálásából nyert shape fájlok, amelyek közül én az 1975-ös és a 2010-es évi nádasterületeket használtam fel a modellezéshez., ugyanis ezekre az időszakokra álltak rendelkezésemre megbízható meder adatok. Az 1975 előtt készült mederfelmérések pontatlanok, a szeizmikus felmérésen alapuló adatok pedig csak a nyíltvízre vonatkoznak, a nádassal borított területekre csak extrapolációval kaphatnánk magassági értékeket.

A 73 mintavételezési terület számát tovább csökkentettem a 2015-ös mederfelmérés alapján, mert nem mindegyik területen volt elegendő felmérési pont, és így csak távolabbi pontok interpolációja alapján lett volna ott adatsor; további szempont volt, hogy emberi behatástól mentes terület legyen. Végezetül 23 mintavételezési terület maradt a leválogatás után, melyek nem egy részre csoportosulnak, hanem nagyjából lefedik azt a területet, mint az eredeti 73 mintahely. A kapott mintahelyeket a partvonalra merőleges irányba megnagyobbítottam, mert olykor a nádassal borított terület túllógott ezeken, illetve, hogy a későbbiekben elkészített metszeteknél a szárazföldről is kapjunk információt, és ezáltal egy sokkal plasztikusabb képet.

4. Medermodellek, összehasonlítási lehetőségek

4.1. Pont szerinti lekérdezés

A medermodellek elkészítése előtt még elvégeztem egy lekérdezést, amely megmutatta, mekkora a magasságkülönbség a régi és az új felmérés között. Dr. Zlinszky András a Balaton Vízirajzi Atlasza vízrajzi térképének digitalizálása alapján elkészített egy 10 méteres felbontású, Natural Neighbour (természetes szomszéd) interpolációs eljárással készített medermodellt, amely a meder tengerszint feletti magasságát mutatta be adriai magassági rendszerben. (Zlinszky, Molnár, Herodek, 2008) Ezt a grid fájlt nyitottam meg QGIS-ban a 2015-ös felmérési pontokkal együtt, amiket leválogattam a 23 legnagyobbított mintaterületre, majd a pontok magasságát átszámítottam balti magassági rendszerből adriai magassági rendszerbe. Könnyebb és gyorsabb eljárás, mint a már elkészült medermodell magassági rendszerét megváltoztatni, és mivel magasságkülönbségről van szó, így a magassági rendszer megválasztása nem befolyásoló tényező. További konverzióra nem volt szükség, mert a két adatállomány azonos vetületben, EOVB-ben volt. Ezt követően a leválogatott pontokhoz egy bővítmény segítségével, a Point sampling tool-al, hozzárendeltem a grid fájl szerinti magassági értéküket, kapva így egy új oszlopot a geodatabázisban, amit CSV (Comma-separated values) formátumban exportáltam, hogy Microsoft Excel segítségével tudjam elemezni. Megnyitva a táblázatot egy EOVB koordinátpárhoz két magassági érték tartozott, egyik a 2015-ös felmérés szerinti, másik az 1975-ös medermodell alapján hozzárendelt magasság. Ezek különbségének átlaga 0,036 m, a szórás mértéke pedig 0,292 (9. ábra). Az eredmények átlaga alapján elmondható, hogy ezeken a területeken üledékfelhalmozódás történt.

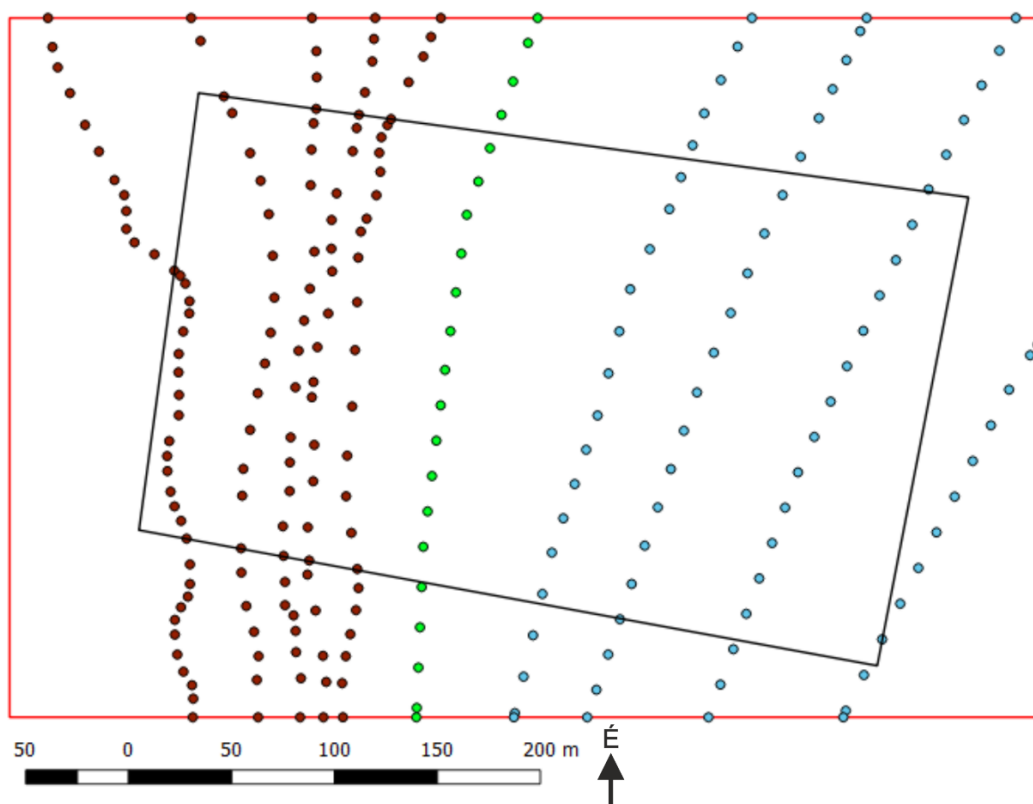


9.ábra: Balaton medrének tengerszint feletti magasság változásának megoszlása 2015 és 1975 között a legnagyobbított mintaterületekre eső 1348 pont alapján

A pozitív értékek a mederfenék emelkedését, a negatív értékek süllyedést jelölnek

4.2. A medermodellek elkészítése

Minden egyes mintavételezési területhez külön domborzatmodellt készítettem a két különböző időszakból, így végezetül 46 domborzatmodellt kaptam. Megőriztem a korábban Dr. Zlinszky András által használt paramétereket, azaz a 10 méteres felbontást és az interpolációs eljárást. Annak érdekében, hogy ez a felbontás létrejöhessen, és ezáltal össze lehessen hasonlítani egy mintaterületre eső két domborzatmodellt, minden egyes területhez létrehoztam egy befoglaló téglalapot, melynek koordinátpárjai tízzel oszthatók, és oldalai az EOV koordinátatengelyivel párhuzamosak. A befoglaló téglalap területére eső adatsorból készítettem el az egyes domborzatmodelleket, az 1975-ös modellhez felhasználtam az 1975-ös Balaton Vízirajzi Atlaszból nyert meder szintvonalait, az EOTR szelvények szintvonalait és az 1975-ös jogi partvonalat (10. ábra), a 2015-ös modellhez pedig a 2015-ös mederfelmérés pontjait, a 2014-es LiDAR leválogatott pontjait, valamint a 2014-es jogi partvonalat. A befoglaló téglalapokra történő adatok leválogatását QGIS-ban végeztem el és az EOTR szelvények digitalizálását is ezen felületen hajtottam végre. Ezt követően a vonal típusú elemeket felbontottam vertex pontjaira, amely szintén egy geoprocessing művelet. Az eredményként létrejött adatbázisban az egyes pontok attribútumtáblázata tartalmazza a pont tengerszint feletti magasságát balti magassági rendszerben; csak az 1975-ös mederadatoknál kellett átszámítás végezni adriai magassági rendszerből.

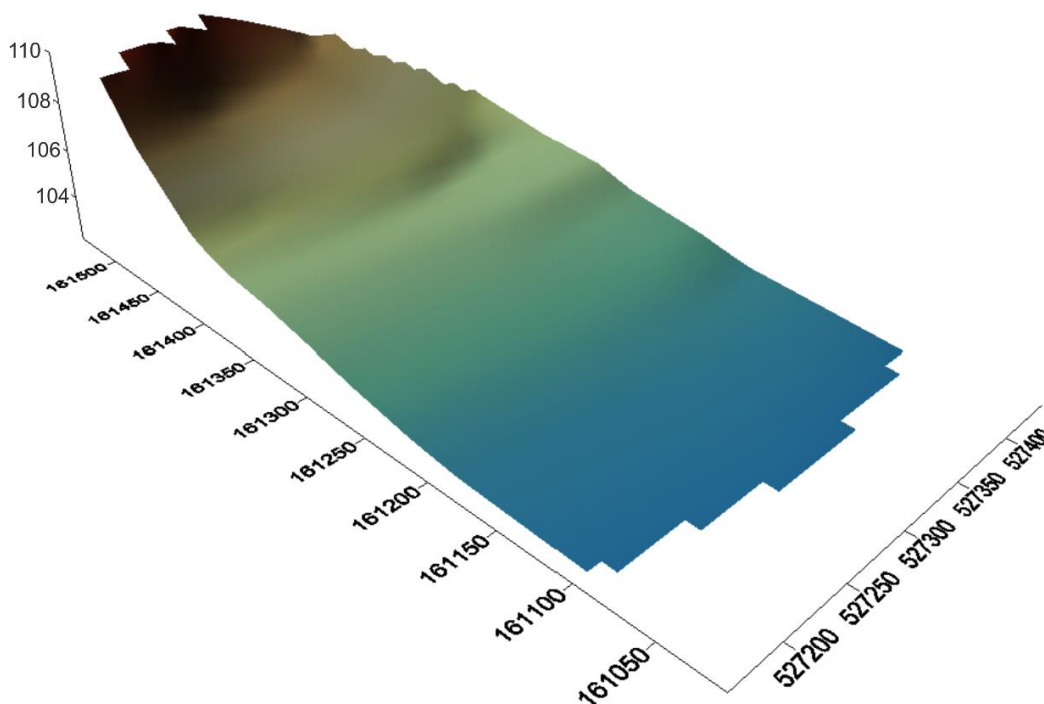


10.ábra: A befoglaló téglalap benne a mintavételezési területtel és az 1975-ös domborzatmodellhez felhasznált pontokkal Balatongyörök közelében (barna: EOTR szintvonal, zöld: jogi partvonal, kék: 1975-ös vízrajzi felmérés)

A kapott pontokat CSV formátumban exportáltam, és az egy modellhez tartozó adatokat egymásba integráltam, kapva így egy nagyobb táblázatot, amely tartalmazza az egy modell interpolálásához szükséges pontok három térbeli koordinátáját. Az így kapott táblázatokat .xlsx formátumban mentettem el Excel-ben a további műveletek végrehajtásához.

Az interpolálást Surfer-ben végeztem, az előbb létrehozott táblázatokból könnyen előállítható egy grid fájl (11.ábra). A művelet során megadtam a befoglaló téglalapot leíró két koordinátpár koordinátáit, beállítottam a 10 méteres felbontást és a Natural Neighbour interpolációt. Ezen eljárás során először a mért adatpontok Thiessen-poligonhálóját határozzuk meg, majd megvizsgálja a meghatározandó adatpont hozzáadásával hogyan módosulnak a poligonok. Az interpoláció során az összes szomszédos poligon adatpontjainak értéke számít, és a hozzájuk tartozó súlytényezők arányosak azzal a területtel, amit az ismeretlen adatponthoz tartozó poligon kihalít a szomszédok „kertjéből” (Telbisz, Székely, Timár, 2013). Az interpoláció elvégzése előtt mindegyikre lefutottam egy kereszt validációt, amely által kontrolpontok hiányában tudjuk vizsgálni a modell hibáját, lényege, hogy egyszerre mindig csak egy pontot hagyunk ki, ahol elvégezzük az interpolációt, majd a kihagyott pontra interpolált értéket összehasonlítjuk a mért értékkel. A validáció által kiderülnek a kiugró értékek,

és megvizsgálhatjuk, hogy valóban adathiba-e vagy az interpoláció nem képes megfelelően modellezni az adott helyzetet. Az interpoláció lefuttatása közben készült egy grid jegyzőkönyv is, amely tartalmazza a felhasznált pontok, használt interpolálási eljárás és a végtermék leírásait. Az előbb említett műveletek mindegyikét a Surfer Grid/Data felugró ablakában tudjuk végrehajtani.



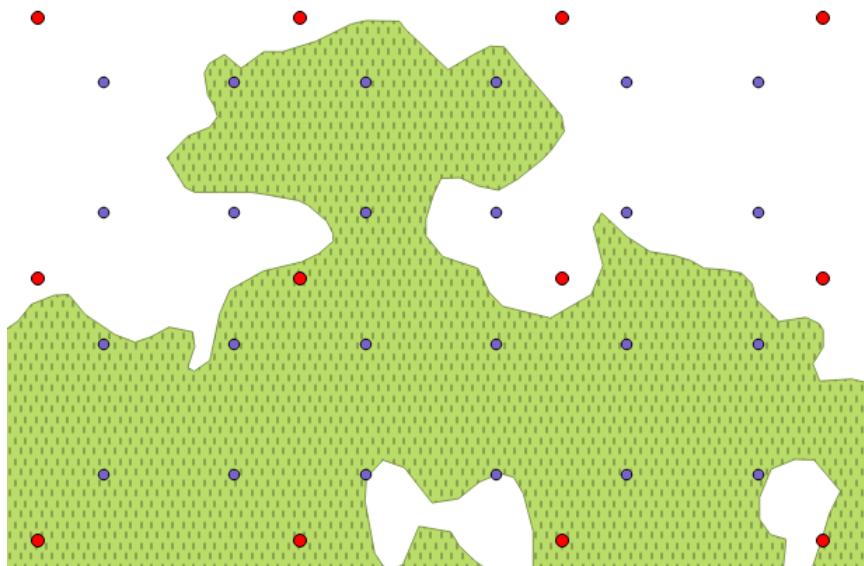
11. ábra: Elkészített domborzatmodell Szigliget közelében, 1975-ös állapotokat tükrözve

4.3. Számszerűsített adatok a megváltozott nádasokra

Annak érdekében, hogy konkrét, számszerűsített adatsort kapjunk a mederváltozás és a nádasok által fedett területek összefüggésére, a következőképpen jártam el. Első lépésként az egy területhez tartozó két grid fájlt nyitottam meg QGIS-ban, majd a raszter kalkulatorban a 2015-ös modellből kivontam az 1975-ös modellt, kapva így egy olyan rasztert, ami a meder tengerszint feletti magasság megváltozásának az értékét tárolja 10 méteres felbontásban. Ez csak akkor lehetséges, ha mindkettő modell azonos felbontású, illetve a rácspontok ugyanott helyezkednek el. Ezt követően az eredmény rasztert vektoros adattábla formátumba alakítottam át (.xyt; .csv ill. shp-re), ami tartalmazza a kétdimenziós koordinátapárt és a mederváltozás értékét.

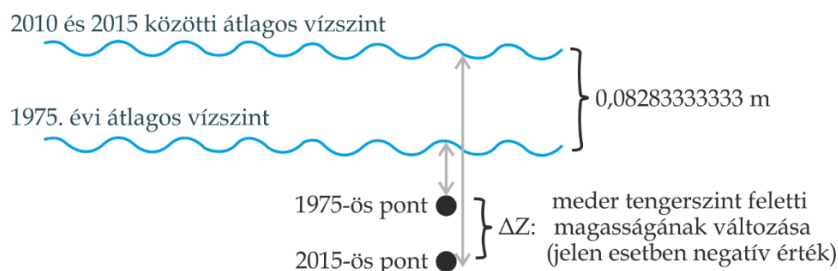
Következő lépésként az 1975-ös és a 2010-es nádassal borított területek poligonjainak vettem a szimmetrikus különbségét QGIS-ban, az így kapott poligon csak azt a területet fedte le, ahol egyik évben igen, a másik évben pedig nem volt nádas az adott helyen. Az előbb létrehozott mederváltozás értékét mutató pontokat ezekre a poligonokra leválogattam,

mivel a poligonok alakja szabálytalan, ezért sokszor a rácspontok nem esnek a poligon területére, így ott adathiány keletkezik. Az adatsűrűség érdekében a 10 méteres felbontást, 5 méteres felbontásra növeltem (12. ábra), ezáltal így létrejött egy részletes adatsor, amely arról nyújt információt, hogy milyen mederváltozások zajlottak le azokon a területeken, ahol változott a nádassal borított területek nagysága is.



12. ábra: A különböző felbontású rácspontok elhelyezkedése

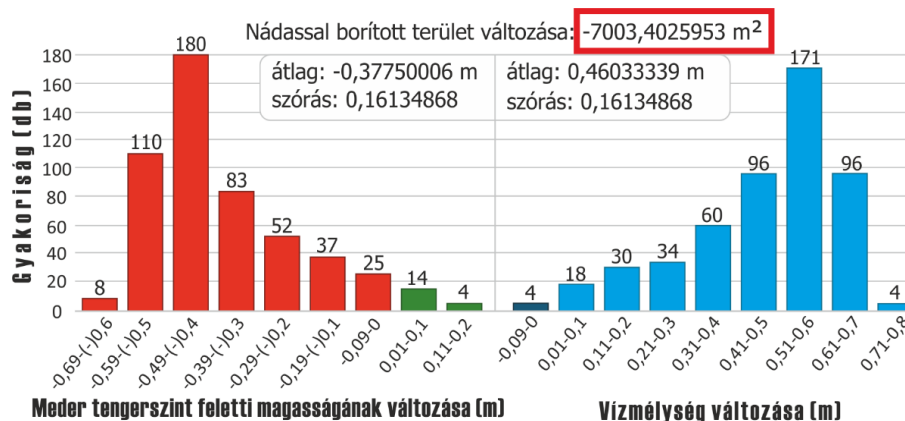
A leválogatott pontokat CSV fájlként exportálva Excel-ben tudtam elemezni. A táblázatban a mederváltozással összefüggésben bevezettem még egy attribútumot, a vízmélység változását. A Balaton vízállását már évtizedek óta mérik, a vízállást centiméterben megadott síófoki vízmérce 104,09-es adriai feletti magasságon lévő null pontja fölött értendő. Az 1975-ös modellhez az 1975. évi átlagos vízállást használtam, a 2015-ös modellhez a 2010 és 2015 közötti éves átlagok átlagát használtam, mivel a modellezéshez felhasznált adatok ebből az időszakból valók. Ezek ismeretében kiszámolható a vízállások magassága és azok különbsége, 1975-ben a vízszint balti magassági rendszerben vett tengerszint feletti magassága 104,329 méter, míg 2010 és 2015 között átlagosan 104,412 méter volt, azaz a vízszint tengerszint feletti magassága 0,083 méterrel magasabb lett. Ezt a konstans értéket a meder tengerszint feletti magasság változásának a mínusz egyszereséhez hozzáadva megkapjuk pontonként a vízmélység változását (13. ábra).



Vízmélység változása: $(-1 \times \Delta Z) + 0,08283333333$ m

13. ábra: A mederváltozás és a vízmélység kapcsolata

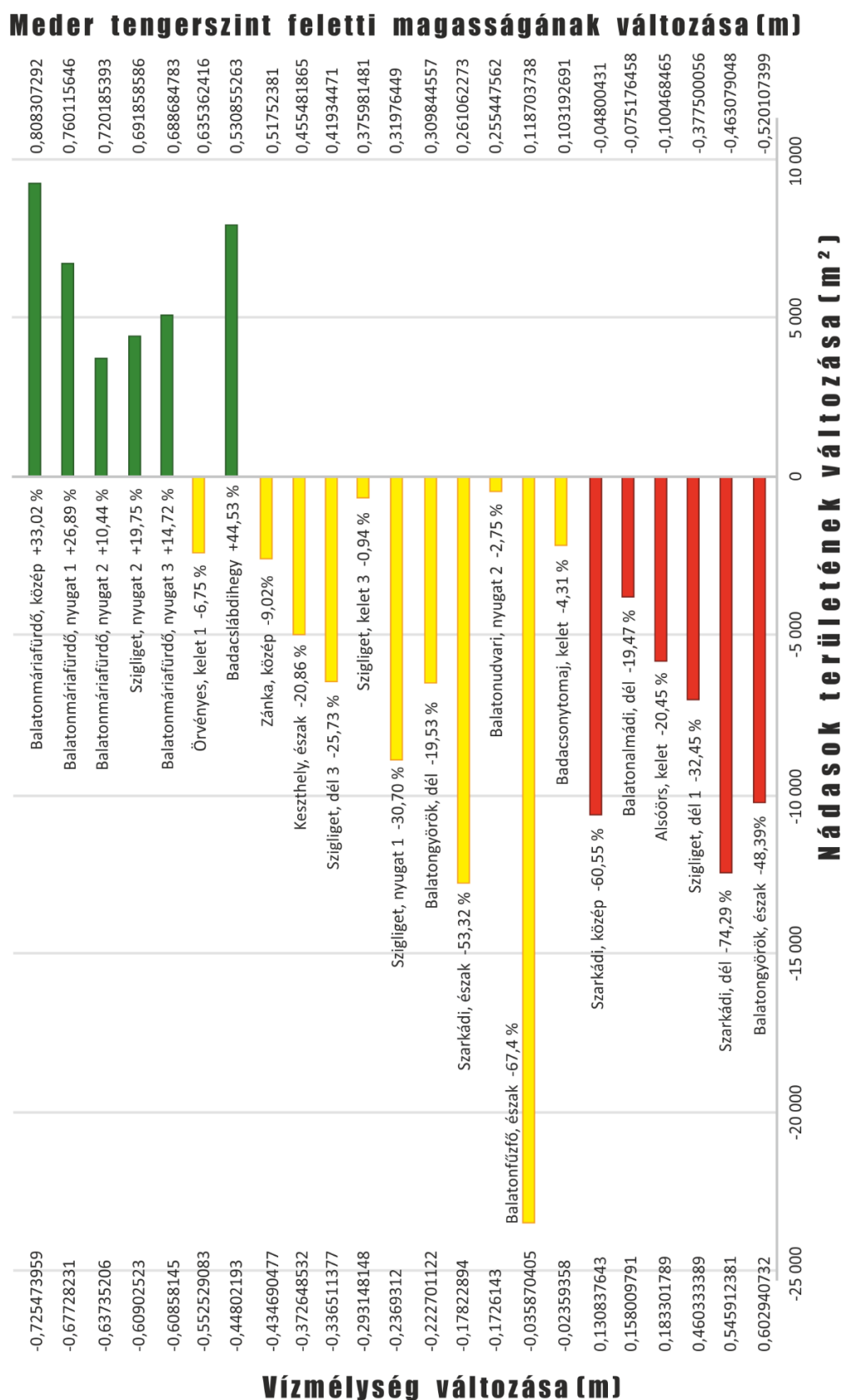
A táblázatban szereplő adatoknak, azaz a mederváltozásnak és a vízmélységnek kiszámoltam az értékeik átlagát és azok szórását, továbbá elkészítettem az adatok hisztogramját is, hogy mely értékek milyen gyakorisággal fordulnak elő (14.ábra). Továbbá a táblázatokban feltüntettem az 1975. és 2010. évi mintavételezési területre eső nádasok területét m²-ben megadva, illetve ezek különbségét, ahol a pozitív érték a nádas által borított terület növekedését, negatív érték pedig azok csökkenését jelenti.



14 ábra: A Szigliget egyik mintavételezési területéhez elkészített táblázat, ami bemutatja a meder- és vízmélység változásának átlagát, szórását és az adatok hisztogramjait, illetve a nádasok területváltozását

Ezt a folyamatot mind a 23 mintavételezési területre elvégeztem, azaz végezetül kaptam 23 db táblázatot, amely mindegyikében szerepel a meder tengerszint feletti magasság változásának átlaga és szórása, a vízmélység változásának átlaga és szórása és ezek hisztogramjai azokra a területekre vonatkozólag, ahol az egyik évben igen, a másikban pedig nem volt nádassal borítva, továbbá feltüntetve a nádasterület változásának mértékét. Ezeket az adatokat összegyűjtöttem egy táblázatba mind a 23 mintavételezési területről, összevetve így, hogy milyen összefüggések vannak a mederváltozás és a nádasok területének változása között. A mederváltozás értékét növekvő sorrendbe rendezve megállapítható, hogy a nádasok területének pusztulása, illetve növekedése összefüggést mutat ezzel, ugyanis a nádasterületek változását szemléltető adatok nem rendezetlen sorrendben helyezkednek el, amelyet a 15. ábra szemléltet.

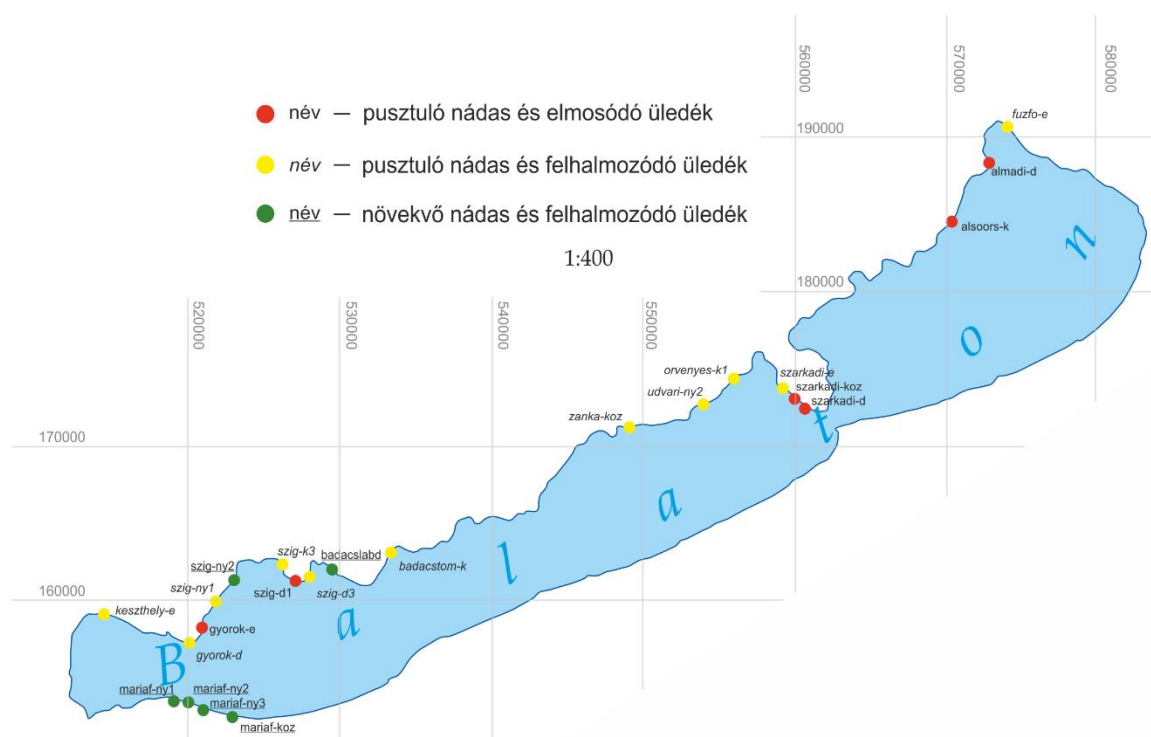
A nádasok területváltozásának összefüggése a meder tengerszint feletti magasság változásával



15. ábra: A nádasok területváltozásának összefüggése a meder tengerszint feletti magasság változásával, feltüntetve a vízmélység változását, a mintavételezési területek neveit, illetve a nádassal borított területek százalékos változását

Az ábrán jól látszik, hogy a mederváltozás értékei alapján növekvő sorrendbe rendezve, egy mintavételezési terület kivételével, a területek két részre tagolódnak: az egyik részen növekedett a nádasokkal borított területek nagysága, míg a másik részen csökkent. Ezek választója körülbelül 0,5 méternél van, ami 0,5 méteres vízmélység csökkenést jelent. Ahol a meder feltöltődése 0,5 méternél több volt, ott a nádasok területe növekedett, ahol kevesebb volt a feltöltődés, vagy esetleg még nagyobb is lett a vízmélység ott pedig csökkent.

A táblázat alapján – ha a vízmélység változását az üledékváltozással azonosítjuk – három csoportot lehet elkülöníteni: pusztuló nádas és elmosódó üledék, pusztuló nádas és felhalmozódó üledék, növekvő nádas és felhalmozódó üledék.

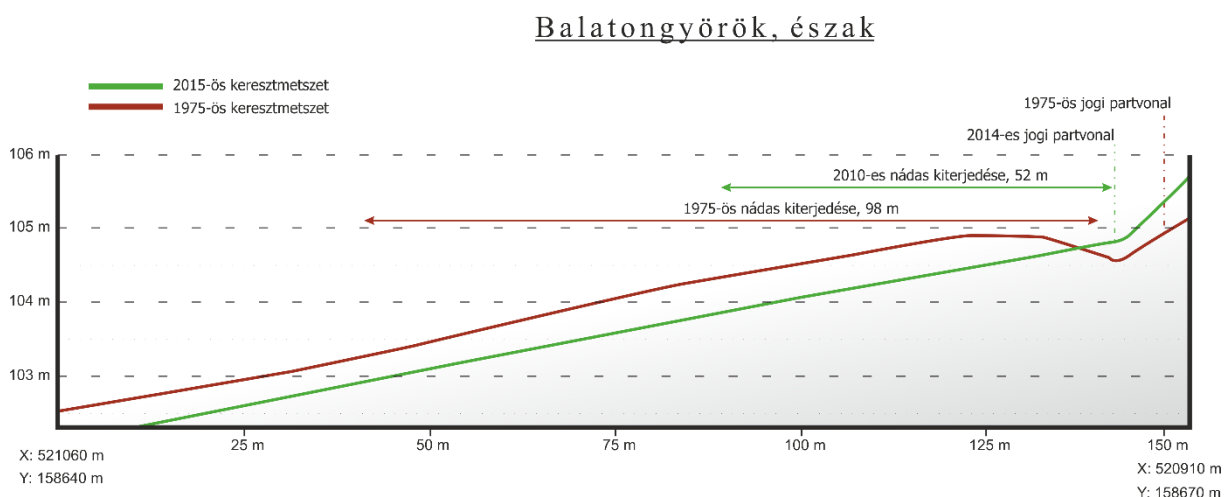


16. ábra: A 3 csoport térbeli elhelyezkedése a Balaton körül

4.4. Keresztmetszetek

További jó módszer lehet a változások összefüggésének bemutatására a domborzatmodellek keresztmetszeteinek összehasonlítása. Az egyes domborzatmodelleket Global Mapper-ben nyitottam meg, és elsősorban a 2015-ös felmért pontok alapján választottam meg a keresztmetszetet jelölő vonalat. A nádas területeket legjobban megközelítő pontokon haladt keresztül ez a vonal, hogy a lehető legvalósabb képet kapjunk, ne pedig távolabbi pontok interpolálásából induljunk ki, továbbá figyelembe vettem a nádasok frontvonalának ki-

nézetét, igyekeztem egy általánosnak elmondható nádas területen elvégezni a keresztmetszetet, nem pedig ahol folyosó van a nádasok között. A keresztmetszetet Global Mapper-ben csináltam, megjelölve az akkori partvonalat és a nádasok területét. A metszetek hosszát a megnagyobbított mintavételezési területek szélei határozták meg. Az egy mintavételezési területre vonatkozó, különböző időszakokra vonatkozó keresztmetszeteket CorelDraw-ban illesztettem össze, szemléltetve a domborzati viszonyok és a nádasok területének változását (17. ábra). Hátránya, hogy nem az egész, közel 200 méter széles területről kapunk információt, hanem csak a kiválasztott vonal mentén.



17. ábra: Az 1975-ös és a 2015-ös állapot összehasonlítása keresztmetszet által Balatongyörök, észak mintavételezési területen

4.5. A modellezés pontossága

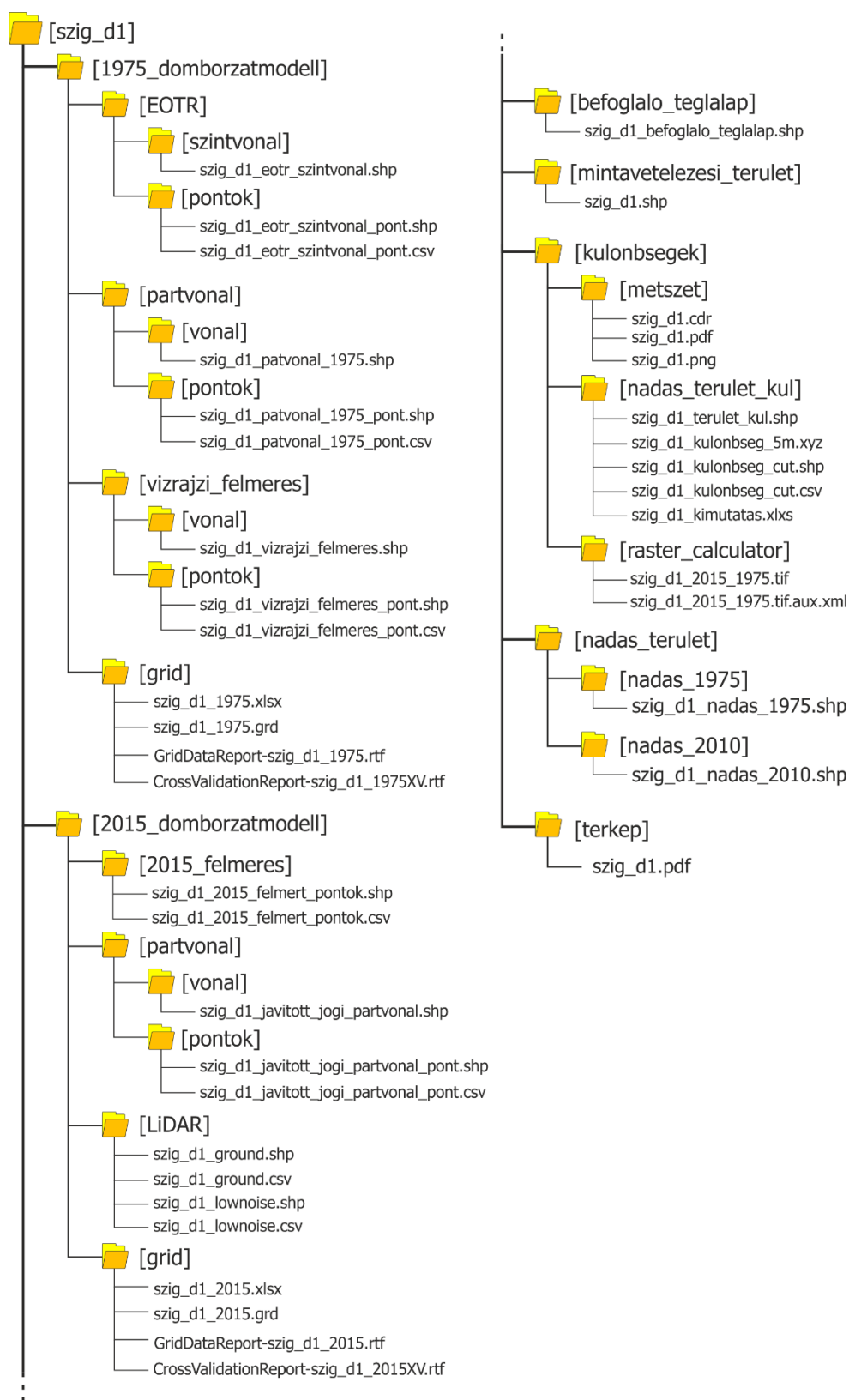
Felmerülhet a kérdés, hogy a más korból, más felmérési eljárással mért adatok összevetése mennyire ad valós képet. A modellek elkészítése során az adatsorokban kiugró értékeket nem találtam, erre megfelelő módszer a korábban már említett kereszt validáció. Az adatsorokat nem volt lehetőségem összehasonlítani más, de azonos korból származó adatsorokkal, mivel ilyenek nem készültek. Hibaforrás lehet, hogy míg a 2015-ös modell 'nyers' felmért pontokból készült, leszámítva a jogi partvonalat, addig az 1975-ös modell szintvonalak digitalizálásából nyert adatokból, amik már előtte valamilyen eljárás során fel lettek dolgozva, illetve a digitalizálás során is szóba kerülhet a pontatlanság, amely értékét próbáltam a minimumra csökkenteni és a digitalizálás során a vertexet úgy létrehozni, hogy a térképen ábrázolt domborzati formák jellegzetességeit a modell a legjobban visszaadja.

A digitalizálásból fakadó hibalehetőség nem csak a domborzatmodelleknél áll fent, hanem a nádassal borított területeket jelölő shape fájlknál is. Gertheis Anna, aki a 2010-es állapotokat digitalizálta, dolgozatában leírja, hogy mi alapján lehet eldönteni, főleg rosszabb

minőségű képeken, hogy hol van a nádas és a vízfelület határa, illetve mi minősül élő nádasnak és mi elhalóban lévő növényi maradéknak. Dolgozatában az alábbi szabályszerűségeket fogalmazta meg: a hajókat, stégeket, utakat és egyéb hasonló elemek nem tartoznak a nádashoz, fák, bokrok, nád, sás, gyékény és egyéb természetes növényzetet a nádas részének minősül, a parti turzást, nagy kiterjedésű kiszáradt nádat, vagy az egybefüggő világos sárgás, feketés színű részeket ki kell hagyni, ha egy világos sárgás rész nem függ össze más ilyen részekkel és mérete nem nagyobb, mint egy vitorlás hajóé, akkor nem kell kihagyni (Gertheis, 2016).

4.6. Adatbázis

Diplomamunkám mellékleteként elkészítettem egy adatbázist, amely mintavételezési területenként tartalmazza a modellezéshez felhasznált adatsorokat. A domborzatmodellek elkészítéséhez felhasznált adatokat a két időszak szerint választottam szét. Az *1975_domborzatmodell* mappában található az EOTR szelvényekről digitalizált szintvonalak és az ezekből nyert pontok shape és CSV állományai, az 1975-ös partvonal vonala és pontjai shape és CSV formátumban, illetve az 1975-ös Balaton Vízrajzi Atlasza alapján digitalizált szintvonalak és pontjai szintén shape és CSV formátumban. Ezeken felül a *grid* nevű mappában a CSV fájlok integrálásából létrehozott Excel tábla, az ebből elkészített Grid. annak jegyzőkönyvi leírása és a kereszt validáció eredménye. A *2015_domborzatmodell* mappában a 2015-ös mederfelmérés pontjai, LiDAR felmérés leválogatott pontjainak shape és CSV állományai, illetve a 2014-es javított jogi partvonal vonala és pontjai shape és CSV állományban. A *grid* mappa fájlípusai az előzővel megegyezők. A különböző összehasonlítási módszerek eredményei a *kulonbseg* mappában találhatóak. A *raster_calculator* mappában kapott helyet a domborzatmodellek tengerszint feletti magasság változását bemutató raszter. A *metszet* nevű mappában van a CorelDraw-ban elkészített keresztmetszetek eltéréseit bemutató ábra több formátumban is. A számszerűsített elemzéshez felhasznált adatok a *nadas_terulet_kul* mappában vannak, itt található a raszterből nyert xyz fájl, illetve ennek átalakítása CSV-re a nádasterületek szimmetrikus különbsége és az előbb említett CSV fájl leválogatása erre a területre shape és CSV formátumban, és az ebből előállított Excel táblázat, ami tartalmazza a meder tengerszint feletti magasság változásának és a vízmélység változásának az átlagát, szórását és hisztogramjait. Ezeken felül az adatbázis része a mintavételezési terület és a befoglaló téglalap shape állományai is, illetve az egyes területekről QGIS-ban elkészített térkép, ami szemlélteti a nádasok terület-, és a jogi partvonalak változását (18.ábra).



18. ábra: Az adatbázis felépítése egy területtel szemlélítve (természetesen az adatbázis tartalmazza az összes shape (shp,shx,dbf,prj,cpg) és grid (grd, xml, dat) állományokat, csak feltüntetésük túlságosan megnövelte volna az ábra méretét)

5. Ökológiai értelmezés

A számszerűsített vizsgálatok eredménye alapján a nádassal borított területeket három különböző csoportba tudjuk besorolni: ahol pusztul a nádas és elmosódik az üledék, ahol pusztul a nádas és felhalmozódik az üledék, illetve ahol növekszik a nádas és felhalmozódik az üledék. Továbbá az eredmények alapján az is megállapítható, hogy a nádasok által borított területek változása és a meder tengerszint feletti magasság változása összefügg, mivel a növekvő nádasterületek kivétel nélkül csak felhalmozódó üledéken vannak, és az intenzív elhordás alatt álló területeken kivétel nélkül intenzíven pusztul a nádas. Feltételezve a hasonló körülményeket, kijelenthető, hogy a nagyobb vízmélységben lévő nádas nagyobb stressznek van kitéve, hiszen várhatóan oxigénhiányosabb az üledéke. Ezek alapján a legrosszabb helyzetben azok a nádasok vannak, ahol jelenleg is nádpusztulás zajlik és az üledék is elmosódik, hiszen ezeken a helyeken további nádpusztulás várható, feltehetően még erősebb elmosodással. Ez a két egymást erősítő folyamat miatt, ami nevezhető egyfajta pozitív visszacsatolásnak is, várhatóan ezeken a területeken egy gyors és drasztikus változás fog végbemenni.

Abban a csoportban, ahol a nádas jelenleg pusztulófélben van, de a területen üledékfelhalmozódás zajlik, várhatóan a nádasok valahol stabilizálódni fognak, amint a vizük már elég sekély lesz ahhoz, hogy a vízlevegő átöblítse őket és ezzel kimossa a felhalmozódó szerves üledéket. De ebben az esetben feltételezhető az is, hogy a kimosás által az üledékfelhalmozódás is megáll. Itt két egymást gyengítő folyamat zajlik, negatív visszacsatolás, ami egyensúlyhoz vezet ott, ahol a két hatás nagyjából hasonlóan erős.

Végül abban a csoportban, ahol a nádasok területe és a meder tengerszint feletti magassága is növekszik szintén pozitív visszacsatolásról beszélhetünk. A felhalmozódó üledéken, a sekélyebb víz miatt tovább tud terjeszkedni a nádas, a megnagyobbodott nádasterület pedig több üledéket tud megfogni, növelve ezzel az üledékfelhalmozódás mértékét.

Jelen esetben a kutatás csak 23 területre terjedt ki, az eredeti 73 helyett, de e kevés adat alapján is a nádasok területének nagy átrendeződése várható. A déli parti és pár ritka északi parti nádas intenzíven terjeszkedni fog (3. csoport), illetve az északi parti nádasok egy részén a pusztulás megáll (2. csoport), más részén pedig tovább fokozódik (1. csoport). Mivel egy mintavételezési terület nagyjából egy 200 méteres partszakaszt fed le, a vizsgálat megközelítőleg összesen 4 600 méternyi partszakaszra vonatkoztatható, ami az eredeti területeknek kicsivel több, mint a harmada. Ha pedig az egész Balaton partszakasz hosszá-

hoz viszonyítjuk, még ha nincs is mindenhol nádassal borított terület, nagyjából ötvened része. Annak érdekében, hogy az egész tó területére következtetéseket vonhassuk le, elengedhetetlen és egyben sürgősnek is tekinthető egy részletes mederfelmérés, ami a nádasokkal borított területekre is kihat.

6. Összefoglalás

A Balaton Közép-Európa legnagyobb kiterjedésű tavakként hazánk egyik legfontosabb kincse. Nem csak hazánkban népszerű üdülőhely, hanem egyre jelentősebb külföldi érdeklődés is övezi. A turizmusból származó bevételek érdekében, az egyes vízszintszabályozási rendeletek a fürdőturizmus és a vitorlázás igényeit szem előtt tartva, a balatoni vízállás magasan tartásáról rendelkeznek. Korábbi kutatások alapján megállapítható, hogy az ily módon magasan tartott vízállás kedvezőtlenül hat a nádasok területére, ugyanis magasabb vízállásnál a vízlengések nádasra öblítő hatása kisebb, így a felhalmozódó üledék nádaspusztulást idéz elő. A nádasok épségének megőrzése az édesvízi élővilágon felül, a víztisztaság és partvédelem miatt is létfontosságú, és a víz tisztaságának romlása, annak eutrofizálódása visszavetné a turizmust is.

A nádasokkal borított területek változásának a meder tengerszint feletti magasságának változásával, ezáltal a vízmélység változásával való összefüggését ábrákon felül, kvantitatív adatokkal is bemutattam. A vizsgálathoz két különböző időszakból, 1975-ös és 2010-2015 közötti adatokat használtam fel, amelyek információt nyújtanak az akkori domborzati, illetve mederviszonyokról és a nádasokkal borított területek kiterjedéséről. Az adatsorok összevetését a Balaton partján elhelyezkedő 23 mintavételezési területen hajtottam végre. E munka fő része a területekre vonatkozó, különböző időszakot bemutató domborzatmodellek összehasonlítása volt a nádas területekkel egybevetve. Az ezekből nyert táblázatok által megállapítható, hogy a nádasok területének változása, még ha különböző mértékben is, de követi a vízmélység változását. A nádasok területe a két időszak között jellemzően azokon a területeken növekedett, ahol a felhalmozódás értéke meghaladta a körülbelüli 0,5 méteres értéket, ezáltal a vízmélység hozzávetőlegesen legalább ennyivel csökkent. Ezzel szemben nádaspusztulás történt ott, ahol kisebb üledékfelhalmozódás játszódott le, vagy esetleg a tó medre mélyült, növelve ezzel a vízmélységet. A táblázatokon kívül elkészítettem mintavételezési területenként egy-egy keresztmetszetet, ami szemlélteti a domborzati viszonyok és a nádassal borított területek változását, továbbá egy adatbázist, ami tartalmazza a modellezéshez felhasznált adatsorokat és azok eredményét.

A munkámhoz felhasznált információk alapján nem egyértelmű, hogy a nádaspusztulás okozza az üledékeltomosódást, vagy az üledékelhordás van hatással a nádaspusztulásra. A pusztuló nádas lehetővé teszi az üledék elmosódását, ami további pusztuláshoz vezet, illetve a növekvő nádasterületek több üledéket képesek felfogni, csökkentve ezzel a vízmélységet,

ami további növekedéshez vezet. Feltehetően mind az üledék felhalmozódás, mind az elhorlás esetén egy önmagát erősítő, úgynevezett pozitív visszacsatolás történik.

Alátámasztást nyert, hogy a Balaton medre nem tekinthető állandónak a nádasok szempontjából, és dinamikusabban változik. Az, hogy ez a változás, illetve üledékfelhalmozódás milyen mértékű, sebességű a nádasokban pontosabb képet adhat például egy üledékcsapdás kísérlet.

A Balaton medrét leíró adatsorok feldolgozása közben újabb kutatások szükségessége merült fel, ugyanis fontos információkat nyújtana, ha készülne a Balaton medréről egy átfogó felmérés, ami a nádassal borított területekre is részletesen kiterjed. A megfelelő részletességű felmérés hiánya következtében tudtam csak 23 helyre elvégezni a vizsgálatot, a lehetséges 73 helyett.

7. Felhasznált irodalom

- ALBERT Gáspár (2009): Háromdimenziós földtani modellek fejlesztésének és megjelenítésének módszerei térinformatikai szemlélettel, Doktori (Ph.D) értekezés Kézirat, ELTE Földtudományi Doktori Iskola, ELTE Informatikai Kar, Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest. 2009.
- Bendefy és Nagy-Bodor (1963): A Balaton évszázados partvonalváltozásai, Műszaki könyvkiadó, Budapest
- Gertheis Anna (2016): Nádasok hosszú távú dinamikájának térképezése, Diplomamunka, ELTE IK Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék
- Haslam, S. (1972): Biological Flora of the British Isles, *Phragmites communis* Trin. *Journal of Ecology* 60, 585-610.
- Mélykúti Gábor (2007): Fotogrammetria, Jegyzet, Budapesti Műszaki Egyetem
- Pécseli Péter (2016): A Balaton feltérképezése - Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság, <http://www.kdtvizig.hu/hu/kdtvizig-aktualis/65eb0713-76d8-4222-99e9-d956324781f0/2>, Elérés 2018. január 4.
- van der Putten, W.H. (1997): Die-back of *Phragmites australis* in European wetlands: an overview of the European Research Programme on Reed Die-Back and Progression (1993-1994), *Aquatic Botany* 59, 263-275.
- Sass Jenő (1979): A Balaton vízrajzi felmérése. *Vízügyi közlemények* 4, 560-581.
- Telbisz Tamás, Székely Balázs, Timár Gábor (2013): Digitális terepmodellek: adat, látvány, elemzés Kiadvány, ELTE TTK FFI Természetföldrajzi Tanszék
- Tóth R. Viktor (2016): Reed stands during different water level periods: physico-chemical properties of the sediment and growth of *Phragmites australis* of Lake Balaton *Hydrobiologia* 778, 193–207.
- Virág Árpád (1998): A Balaton múltja és jelene, Egri Nyomda, Eger
- Zentai László (2006): Karszttereppek ábrázolása a magyar topográfiai térképeken Kiss Andrea-Mezősi Gábor-Sümeghy Zoltán: Táj, környezet és társadalom, 775-782
- Zlinszky, András, Molnár Gábor (2009): Georeferencing the first bathymetric maps of Lake Balaton, Hungary, *Acta Geodaetica Et Geophysica Hungarica* 44, 79-94.

Zlinszky András (2013): Mapping and conservation of the reed wetlands on Lake Balaton

Zlinszky András, Molnár Gábor, Herodek Sándor (2008): A Balaton medrének digitális geomorfológiai vizsgálata,
Hidrológiai Közlöny 88, pp. 239-241.

Zlinszky András, Molnár Gábor, Székely Balázs (2010): A Balaton vízmélységének és tavi üledékvastagságának térképezése vízi szeizmikus szelvények alapján
Földtani közlöny 140/4, 429–438.

8. Ábrajegyzék

1. ábra: A Siófoki-medencére az 1975-ös vízrajzi felmérés adataiból és a szeizmikus mérésekből számított medermodell magasságkülönbségének térképe. Pozitív értékek a vízfénék emelkedését, negatív értékek süllyedést jelölnek, az izovonalak lépésköze 10 cm. (Zlinszky, Molnár, Székely 2010)	7
2. ábra: A pusztuló nádas Badacsonytomaj közelében infravörös felvételen	9
3. ábra: A Balaton mélységvonalas helyszínrajza az 1974-75-ös felmérés alapján.....	10
4. ábra: Partvonal változás Balatonmárfürdő közelében, pirossal jelölve az új jogi partvonal	11
5. ábra: Az osztályozott pontfelhő FugroViewer-ben és jelkulcsának egy része.....	12
6. ábra: A létrehozott henger, amin belül az aktuális pontot összevettem a henger sugarán belüli pontokkal.....	13
7. ábra: A pontok számának csökkenése, piros X-el jelölve a megtartott pontokat.....	14
8. ábra: A 2015-ös felmérés pontjai és az azokból előállított szintvonalak, feltüntetve a mintavételezési területeket Balatonmárfürdő közelében	15
9. ábra: Balaton medrének tengerszint feletti magasság változásának megoszlása 2015 és 1975 között a megnagyobbított mintaterületekre eső 1348 pont alapján	18
A pozitív értékek a mederfenék emelkedését, a negatív értékek süllyedést jelölnek.....	18
10. ábra: A befoglaló téglalap benne a mintavételezési területtel és az 1975-ös domborzatmodellhez felhasznált pontokkal Balatongyörök közelében (barna: EOTR szintvonal, zöld: jogi partvonal, kék: 1975-ös vízrajzi felmérés).....	19
11. ábra: Elkészített domborzatmodell Szigliget közelében, 1975-ös állapotokat tükrözve	20
12. ábra: A különböző felbontású rácpontok elhelyezkedése.....	21
13. ábra: A mederváltozás és a vízmélység kapcsolata.....	22
14. ábra: A Szigliget egyik mintavételezési területéhez elkészített táblázat, ami bemutatja a meder- és vízmélység változásának átlagát, szórását és az adatok hisztogramjait, illetve a nádasok területváltozását.....	22
15. ábra: A nádasok területváltozásának összefüggése a meder tengerszint feletti magasság változásával, feltüntetve a vízmélység változását, a mintavételezési területek neveit, illetve a nádassal borított területek százalékos változását	23
16. ábra: A 3 csoport térbeli elhelyezkedése a Balaton körül	24
17. ábra: Az 1975-ös és a 2015-ös állapot összehasonlítása keresztmetszet által Balatongyörök, észak mintavételezési területen.....	25
18. ábra: Az adatbázis felépítése egy területtel szemléltetve (természetesen az adatbázis tartalmazza az összes shape (shp,shx,dbf,prj,cpg) és grid (grd, xml, dat) állományokat, csak feltüntetésük túlságosan megnövelte volna az ábra méretét)	27

9. Köszönetnyilvánítás

Jelen dolgozat nem jöhetett volna létre a körülöttem lévő emberek segítségével nélkül. Hálás köszönettel tartozom mindenk előtt Dr. Zlindszky Andrásnak és Dr. Albert Gáspárnak, akik idejüket és fáradságukat nem kímélve mindig a rendelkezésemre álltak, ha éppen elakadtam valamiben.

10. Mellékletek

A DVD mellékleten megtalálható fájlok:

- Jelen szakdolgozat pdf formátumban
- Az elkészített adatbázis
- A modellezés morfometriai adatai
- Az elkészített 23 táblázat összesítése
- Diplomamunka-téma bejelentő

11. Nyilatkozat

Alulírott, Gyenese Tamás nyilatkozom, hogy jelen szakdolgozatom teljes egészében saját, önálló szellemi termékem. A szakdolgozatot sem részben, sem egészében semmilyen más felsőfokú oktatási vagy egyéb intézménybe nem nyújtottam be.

A témavezető által benyújtásra elfogadott szakdolgozat PDF formátumban való elektronikus publikálásához a tanszéki honlapon

HOZZÁJÁRULOK

NEM JÁRULOK HOZZÁ

Budapest, 2018. január 8.

.....
a hallgató aláírása