

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

Földtudományok Doktori Iskola

**A Mohácsi-sziget talajvíz rendszerének
átalakulása a tájátalakítások
következményeként**

PhD-értekezés tézisei

Hervai András

Témavezetők:

Dr. Prof. Lóczy Dénes DSc, egyetemi tanár

Dr. Sisák István CSc, tudományos főmunkatárs

Pécs, 2020

A doktori iskola neve és címe: Pécsi Tudományegyetem
Természettudományi Kar
Földtudományok Doktori Iskola
7624 Pécs, Ifjúság útja 6.

A doktori iskola vezetője: Prof. Dr. Geresdi István
egyetemi tanár
Természettudományi Kar
Földrajzi és Földtudományi Intézet
Földtani és Meteorológiai Tanszék
Pécsi Tudományegyetem

A doktori témacsoport címe: Természeti földrajz és tájértékelés

A doktori témacsoport vezetője: Prof. Dr. Lóczy Dénes
egyetemi tanár
Természettudományi Kar
Földrajzi és Földtudományi Intézet
Természet- és Környezetföldrajzi
Tanszék
Pécsi Tudományegyetem

Témavezetők: Prof. Dr. Lóczy Dénes
egyetemi tanár
Természettudományi Kar
Földrajzi és Földtudományi Intézet
Természet- és Környezetföldrajzi
Tanszék
Pécsi Tudományegyetem

Dr. Sisák István
tudományos főmunkatárs
Mezőgazdasági Kar
Növénytudományi és Környezetvédelmi
Intézet
Szegedi Tudományegyetem

Bevezetés

A Mohácsi- vagy korábbi nevén Margitta-sziget Magyarország déli részén található kistáj, amely részben átnyúlik Horvátországba. A folyószabályozási munkálatok és a hozzájuk kötődő ár- és belvízmentesítési munkálatok jelentős mértékben átalakították a Mohácsi-sziget tájszerkezetét, gazdálkodási formáit. A terület nagy részén már nem a folyóvíz a legjelentősebb felszínalakító erő (ERDŐSI F. – LEHMANN A. 1974). A 322,8 km² kiterjedésű szigetnek ma csak 25,2 km² a hullámtere és 297,6 km² lett a mentesített ártere (KOVÁCS D. 1978). A mentesített részt az árterülettől egy 4-5 méter magasan kiemelkedő védőgát-gyűrű választja el.

A tájszerkezeti változások a Mohácsi-szigeten folyamatosan követték az ár- és belvízmentesítési munkálatokat (HERVAI A. – LÓCZY D. 2009). A folyószabályozás óta közel másfél méterrel mélyült a Duna medre (TAMÁS E. – KALOCSA B. 2003). Ez sajnálatos módon a hullámteren is érzékeltette káros hatását, mivel a talajvíz is alábbszállt. Az ártéri folyómenti élőhelyek egyre jobban elvesztették a kapcsolatukat a folyóval. Az 1980-as években a szigetre vízkiviteli műveket telepítettek, ahol az engedélyezett vízkitermelés 33.000 m³/nap (MAJOR V. – SASS J. 2009). A sérülékeny földtani közegben elhelyezkedő három kútcsoportban összesen 25 termelőkút és három tartalékkút található.

Kutatásomban megpróbáltam felmérni a Mohácsi-sziget hajdani árterület vízrajzi átalakulásának mértékét a folyószabályozások következtében. Elsődleges céloom a sziget vízrendszere és a Duna folyó között megmaradt kapcsolat felmérése volt. Megvizsgáltam a Mohácsi-sziget tájváltozását a 18. századtól napjainkig. A változások mértékét térképen, táblázatban és diagramon is megjelentettem.

A tájváltozás felmérése után a Duna és a szigeten található talajvízkutak kapcsolatát vizsgáltam meg. Keresztkorrelációval megvizsgáltam a figyelőkutakban a Dunával való kapcsolat erősségét, a nyomás terjedés sebességét és az áradás által kiváltott vízszintemelkedést. Az eredményekből terjedési térképet és diagramot készítettem. Miután a talajvízre nemcsak a Duna, de a termelőkutak és a csapadék is hat, a vizsgálatot lineáris regressziós modell (továbbiakban LM) segítségével kiterjesztettem a termelőkutak és a csapadék napi adatsoraira. Ezek segítségével térképet készítettem a különböző független változók (Duna, termelőkutak vízszintje és napi csapadékadatok) hatásának bemutatására. Irodalmi adatok segítségével fedetlen földtani térképet készítettem a záró pannon réteg előfordulásának és keresztmetszvényt az aluvium szerkezetének bemutatására. A földtani térképet összehasonlítottam az általam interpolált térképekkel.

A következő kérdésekre kerestem a választ:

- 1) Mekkora területeken és milyen mértékben változtak meg a sziget folyómenti és nedves élőhelyei a folyószabályozások kezdete óta?
- 2) Hogyan változik az erdők természetessége napjainkban?
- 3) Mely területeken és milyen mértékben hat még a mai napig a Duna a sziget alluviális vízrendszerére?
- 4) Milyen mértékű kapcsolat maradt fent a Duna, illetve a Nagybaracscai-Duna és Riha-tó között?
- 5) Milyen a Duna ár hullámok sebességének karakterisztikája és területi eloszlása a sziget alluviumában?
- 6) Milyen mértékben emelik meg a sziget talajvíz rendszerét a Duna áradásai?
- 7) Milyen egyéb vízrajzi tényezők (csapadék, termelőkutak) hatnak még az alluviális vízrendszerre?
- 8) Milyen földtani tényezők hatnak a Mohácsi-sziget alluviális vízrendszerére?

Az alkalmazott kutatási módszerek

A táj változásának felmérése

A kutatásom első részében megpróbáltam számszerűsíteni a változás mértékét. A vizsgálatokat térinformatikai eszközök segítségével végeztem el (HERVAI et al. 2020b). Az általam felhasznált térinformatikai szoftver az ArcGIS 10.4.1. segítségével először a térképekről (az első, a második, a harmadik katonai térképekről, a Duna-mappációról és az 1952-es, az 1987-es topográfiai térképekről, illetve a Corine Land Cover 2012 téradatbázisról) válogattam le a tájhasználati adatokat.

A katonai térképeket a mapire.eu/hu, a Duna mappáció térképet a maps.hungaricana.hu oldalakról töltöttem le. Az általam viszonyítási alapként használt topográfiai térképek 1952-ben, illetve 1987-ben, a Corine Land Cover (CLC) téradatbázis pedig 2012-ben készültek el. A térképeket a *Georeferencing* menü eszközeivel forgattam és húztam szét, hogy megfelelően illeszkedjenek az alaptérképekre, az ún. gumilepedőnyújtás módszerével. Az összegyűjtött téradatbázisokat és térképeket először is, összehasonlíthatóságuk érdekében, azonos (EOV) koordináta rendszerbe kellett transzformálnom. A megfelelő helyen lévő, már raszteres térképekre a *Define Projection* műveletével raktam EOV koordináta-rendszert. Miután a térképek megfelelő méretűek lettek, és a koordináta-rendszerük is egységes volt, azonosítottam a területeken a felszínborítás típusokat, hogy megfigyelhessem a változásokat. *Select By Attribute* művelettel leválogattam a különböző felszínborítási adatokat, majd az attributumtáblájukat MS Excel táblába exportáltam, ott összegeztem a különböző felszínborítottságú területek teljes nagyságát a különböző évekre. Ezekből aztán diagramot készítettem.

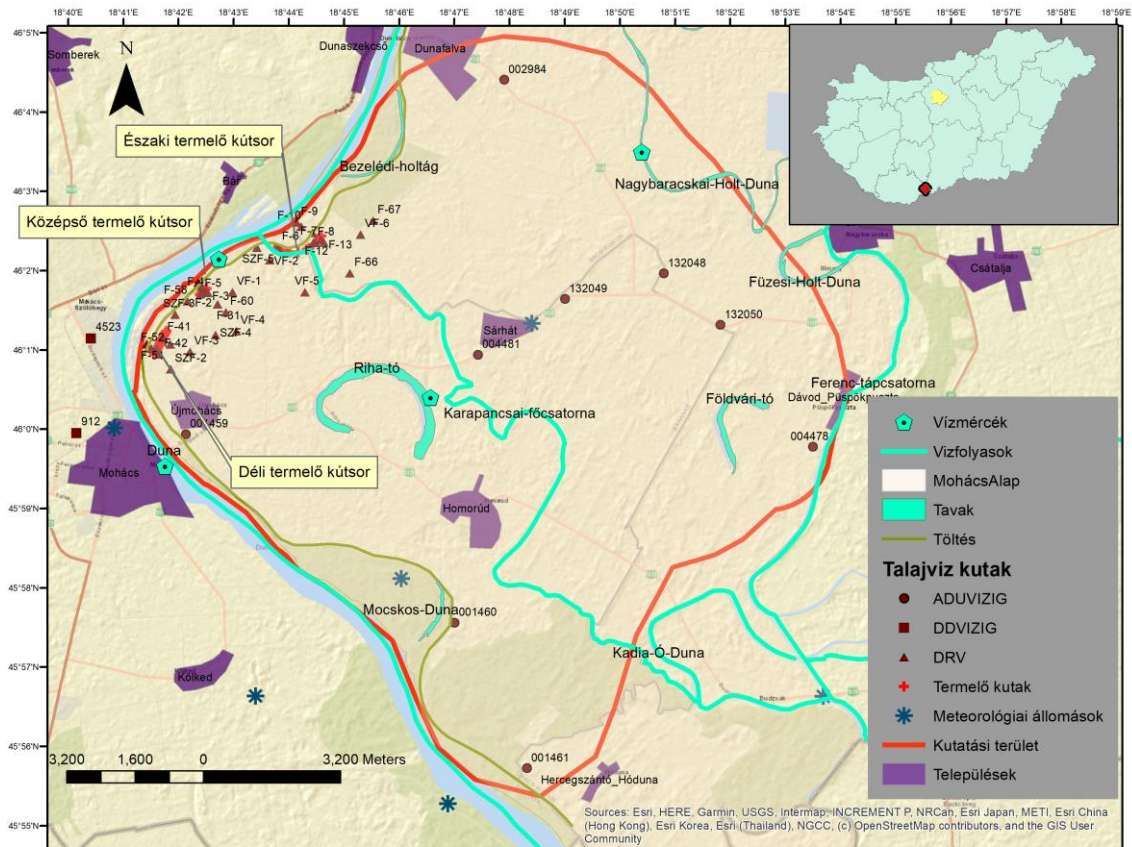
Átnéztem a térképi leírásokat a Duna mappációhoz és a katonai térképekhez. A katonai térképekhez tartozó információkhoz és a jelkulcshoz JANKÓ A. (2007) munkáit használtam fel, a Duna mappáció értelmezéséhez DÓKA K. (2006) munkáját.

A Mohácsi-szigetről elérhető erdőtag-adatbázist a Baranya megyei Kormányhivatal Erdészeti Igazgatóság bocsátotta a rendelkezésemre. A vektoros térbeli erdőtag-adattáblához egy kiegészítő fafajsortábla is tartozott, amelyben részletesen szerepelt, hogy a különböző erdőfoltokban megjelenő fák hány százalékát teszik ki az adott poligonoknak. Irodalmi hivatkozások (KIRÁLY G. et al. 2011, KEVEY B. et al. 2011 és KOVÁCS GY. – DEME T. 2008) leírásai alapján a fafajokat természetes, tájidegen, ill. agresszív típusokba soroltam. KOVÁCS GY. és DEME T. (2008) munkája alapján ezután az ArcGIS 10.4.1. szoftver *Reclassify* műveletével négy osztályba rendeztem az erdő részleteket. „Agresszív”, „tájidegen”, „kissé agresszív” és „természetes” osztályokat hoztam létre. KOVÁCS GY. – DEME T. (2008) által „tájidegen2”-nek nevezett osztályt „kissé agresszív”-nek neveztem el. Az eredményekből táblázatot és térképet készítettem. A hasonló tulajdonságok alapján leválogatott KOVÁCS GY. és DEME T. (2008) által Digiterra szoftverrel elkészített térképet és az általam elkészített térképet egy közös ábrán egymás mellé helyeztem, hogy összehasonlíthatóak legyenek.

A mohácsi-sziget talajvíz rendszerének vizsgálata

A talajvíz Dunával való kapcsolatának vizsgálata

A nagyobb árhullámoknak a felszín alatti vízszintre gyakorolt hatását vizsgáltam meg 47 talajvízkút esetében (1. ábra). Az 1996 januárja és 2018 decembere közötti időszakra vonatkozó adatokat több szervezettől kaptam meg. A Duna vízszintjének és három jobbparti talajvízkútjának adatait a DDVIZIG (Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság), a balparti (mohácsi-szigeti) talajvíz-adatokat az ADUVIZIG (Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság) és a DRV (Dunántúli Regionális Vízművek) bocsátotta rendelkezésemre. A csapadékadatokat az Országos Meteorológiai Szolgálattól (OMSz), a DDVIZIG-től és az ADUVIZIG-től kaptam meg.



1. ábra – A kutatási terület (HERVAI A. et al. 2020a)

Mintegy 270.000 napi talajvízállás és Duna-vízállás adat, 115.000 darab napi termelőkút vízállás adat és 50.000 napi csapadék adat állt a rendelkezésemre. A kapott idősor adatokat az általam írt szoftver segítségével ArcGIS 10.4.1. adatbázis táblákba töltöttem (HERVAI A. et al. 2017). A saját alkalmazásépítés (C#.net) mellett döntöttem, mert a 31 áradási eseményt, mind a 49 darab talajvíz vizsgálati pontnál, egyidőben vizsgáltam meg.

Az áradások összehasonlításánál a kiválasztott időszakok 40 napos időintervallumok voltak, amelyek közepe mindig az adott árhullám csúcsa volt. Az eredmények elfogadhatóságára 5%-os szignifikancia küszöböt határoztam meg. A vízállás adatokat tengerszint feletti magasság értékre is átszámítottam.

Az R statisztikai szoftvercsomag, keresztkorreláció (CCF) függvényének segítségével megvizsgáltam, hogy milyen nagyságú és mekkora időeltolódású kapcsolat található meg a talajvízkutak és a Duna között az árvizek esetén. A megfelelő nagyságú és időintervallumú kapcsolatot szerettem volna megtalálni a Duna és talajvízkutak között, ezért korrelációs (és a regressziós vizsgálatoknál is) mindig az áradás tetőzésének teljes karakterisztikáját akartam összehasonlítani a Duna vízállásánál és az adott talajvízkutaknál (HERVAI A. et al. 2019). A kódom a háttérben meghívta az R szoftver keresztkorrelációs Cross Correlation Function (továbbiakban CCF) függvényét a kiválasztott időintervallummal. A függvény visszatérési értékéből megkerestem a legnagyobb korreláció értéket és kiolvastam az ahhoz tartozó lagtime-ot (HERVAI A. et al. 2019).

Ezeket az értékeket diagramon és térképesen is ábrázoltam. ArcGIS API segítségével felépítettem a térinformatikai modellt és kiszámoltam a talajvízkutak és a Duna távolságát (HERVAI A. et al. 2017).

Lineáris modell vizsgálat

A lineáris regressziós modell vizsgálathoz öt áradást választottam ki, abból az időszakból, amikor már volt termelőkút és csapadék adatsorom (HERVAI A. et al. 2020a). A kiválasztott áradásoknak önálló, jól kiemelkedő csúcsaik voltak.

Az R szoftvercsomag lineáris regressziós modell függvénye (LM) segítségével kiszámoltam a regressziót a talajvízkutak vízszintje (mBf) mint függő változó, illetve a Duna vízszintje (mBf), a termelőkútak vízszintje (mBf), és a csapadék értéke (m) mint független változók között.

A lineáris regressziós modell függő változója mindig az adott megfigyelőkút időszora volt. A végső modellbe tulajdonképpen két független változó került. Az első független változó a Duna-időszor és a közeli

termelőktak átlagolt idősorának kombinációja volt. Azért kellett egymásra illeszteni az idősorokat, mert a termelőktak nem függetlenek a Dunától, tehát nem szabad őket külön-külön a modellbe illeszteni. Azt is figyelembe kellett venni, hogy amikor egy adott termelőktakban nem volt termelés, akkor gyakorlatilag figyelőktaként működött. Így, ha egyesével illesztettem volna be őket az LM-be az tönkretette volna a magyarázatot. Emiatt egy többlépcsős matematikai műveletsorral kombináltam a Duna vízszintértékeit a termelőktak vízszintértékeivel (HERVAI A. et al. 2020a).

$$S_r = \frac{S_{max} - S_{min}}{D_{max} - D_{min}} \quad (1)$$

Első lépésben, megpróbáltam megtalálni a Duna legerősebb hatását. A Duna vízállásgörbáját időben eltoltam és átalakítottam (1., 2. egyenlet), hogy megkapjam a Duna valódi hatását a talajvízre.

$$D_x lag = (D_x - lag) \quad (2)$$

Az LM függvényt már ezzel a transzformált Duna idősorral hívtam meg (D_t , 3. egyenlet). Ennek eredményeként megkaptam a Duna optimális determinációs együtthatóját. Ezután kiválasztottam a vizsgált megfigyelőktak közelében található termelőktakokat, és hozzájuk is megkerestem az optimális determinációs együtthatót, illetve az optimális késési időket.

$$D_t = (D_x lag - D_{max}) * S_r + S_{max} \quad (3)$$

Csak a működő termelőktak kerültek tehát be a statisztikai vizsgálatba, továbbá a nem szignifikáns ktak ki lettek zárva a végső egyenletből. A szűrés után a kiválasztott és napokkal eltolt idősorú termelőktakokat átlagoltam (P_{avg} , 4. egyenlet).

$$P_{avg} = \frac{P_{x1 lag1} + P_{x2 lag2} + \dots + P_{xn lagn}}{n} \quad (4)$$

Majd ezt az átlagolt értéket újra átlagoltam a napokkal eltolt Duna-idősorokkal (D_{avg} , 5. egyenlet). Végül a kombinált idősorokat újra beillesztettem az LM-be (a szoftveren és az R API-n keresztül). Miután megtaláltam a termelőktakokkal kombinált Duna idősorok optimális késési idejét, a csapadékidősort is hozzáadtam a lineáris regressziós modellhez, amely ebben az értelemben második független változó volt (HERVAI A. et al. 2020a).

$$D_{avg} = \frac{D_t + P_{avg}}{2} \quad (5)$$

Kiszámítottam a csapadék optimális késési idejét is. Ugyanúgy, ahogy a keresztkorrelációs vizsgálatok esetében is, a LM-ből kimutatott kapcsolati erősségekből, késés időkből és talajvíz emelő hatásokból diagrammokat és krigelt térképeket készítettem (HERVAI A. et al. 2017).

Geológiai, geomorfológiai vizsgálatok

A területről földtani adatok, domborzatmodell, illetve jelentős részéről talajfúrás adatok álltak a rendelkezésemre. A földtani térképeket (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1981, DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986) a képernyőről kivágtam és az ArcGIS 10.4.1.-be importáltam (HERVAI A. et al. 2017). A tájváltozás kutatása fejezetben leírt módon *Georeferencing* és az *Advanced Editing* menü eszközeivel megfelelő pozícióba illeszttem a térképet a gumilepedőnyújtás módszerével, és a *Define Projection* műveletével EOV koordináta-rendszert illeszttem rá. Az illesztés alaptérképe az ESRI World Street Map raszteres és a felszíni víztestek vektoros térképei voltak. Egy vonal típusú vektoros elemosztályt (feature class-t) készítettem a szintvonalakból (HERVAI A. et al. 2020a), ami a hordalékkúp alját, a pannon szintvonalakat tartalmazta. Azokban az esetekben, ahol a Dunával való távolságukhoz képest túl alacsony vagy túl magas volt az R^2 értéke, geológiai és geomorfológiai háttérinformációkat próbáltam keresni.

Az eredmények ismertetése és értékelése

A Mohácsi-sziget folyómenti és nedves élőhelyeinek területi változása a folyószabályozások kezdete óta

Kutatásom első részében összefoglaltam a Mohácsi-sziget tájszerkezetének a folyószabályozások következtében történő átalakulását. Az eredményeim alapján megállapítható, hogy a Mohácsi-sziget a Duna szabályozása előtt teljes mértékben ki volt szolgáltatva a folyó áradásainak és felszínalakító tevékenységének (HERVAI A. et al. 2020b). A tájátalakítás folyamatáról megállapítottam, hogy a szabályozás első szakaszában kanyarulatokat vágtak át, töltéseket építettek és részben csatornákat hoztak létre (HERVAI A. – LÓCZY D. 2009). Emiatt a 19. század végére elmocsarasodott a sziget. A 20. századtól a belvízmentesítésé volt az elsődleges szerep (második szakasz) a táj alakításában. A szabályozások következtében 90%-ról 50%-ra lecsökken az elárasztott területek aránya már 1825-re (HERVAI A. – LÓCZY D. 2009). A huszadik század közepére ez az arány tovább csökkent (HERVAI A. et al. 2020b) 10%-ra (töltéseken belüli, valódi árterületek). 1956 óta a felszín nem éri el áradás, a töltéseken túl, de a felszín alatt a talajvíz közvetíti az áradások nyomáshullámain.

Az 1780-as években készült, első katonai térkép feldolgozása alapján a 18. század végén a sziget nagyrészt, 92%-ban természetes élőhelyek (erdők, mocsarak) uralták (HERVAI A. et al. 2020b). 1823 és 1845 között került sor a Duna felmérésére, a mappációra, amely a második általam digitalizált térkép. A vizsgálataim szerint, a vizes élőhelyek aránya 33-ról 26%-ra csökkent, de még mindig jelentős volt az arányuk.

A hosszan tartó második katonai felmérés 1858-ban érte el a Mohácsi-szigetet, amikor még a baracskai Duna-ág élő, természetes folyóág volt. Az eredményeim szerint a bozótos területek a sziget egynegyedét tették ki ebben az időben (HERVAI A. et al. 2020b), melyek a szálláskertek környékén jelentek meg (1. táblázat). Az átalakítások ellenére, a mocsaras és vizes élőhelyek aránya még jelentős volt (26-ról 25%-ra), az erdők aránya is alig változott (kissé növekedett 44-ről 45%-ra).

A harmadik katonai felmérés, 1884-ben készült el a szigeten. A Földvári-tó körüli fok, morotva és tórendszer még létezett. A sziget keleti felét a láp-, mocsár- és ligeterdők foglalták el (HERVAI A. et al. 2020b). A vizes élőhelyek aránya a kezdeti 25–30%-ról 40%-ra nőtt a 19. század végéig (1. táblázat). A sziget az összegyűlt vizektől kezdett elmocsarasodni (BUZETZKY GY. 2002). A további vízügyi rendezések ezért inkább már a belvizek lecsapolására, mint újabb átvágások és gátak építésére irányultak.

1904-ben építették meg a karapancsai szivattyútelepet, melyet már a belvíz elvezetéséhez is terveztek. A belvíz levezetés 1905 és 1910 között készült el (HERVAI A. – LÓCZY D. 2009). A 20 ezer hektár nagyságú szigetből majdnem 1800 ha lett szivattyúzott (BUZETZKY GY. 2002).

Emiatt, és a már korábban megkezdődött munkálatok hatására gyökeresen megváltozott a sziget tájszerkezete is, ahogy az 1952-es topográfiai térképről is kivehető. A térinformatikai vizsgálataim szerint (1. táblázat, 5. ábra és 6. ábra), az 1950-es évekig a mezőgazdasági területek a korábbi 3%-ról 71%-ra nőttek (HERVAI A. et al. 2020b). A 21. század elejére a szántók aránya néhány százalékot változott, de a 70% körüli arányuk megmaradt.

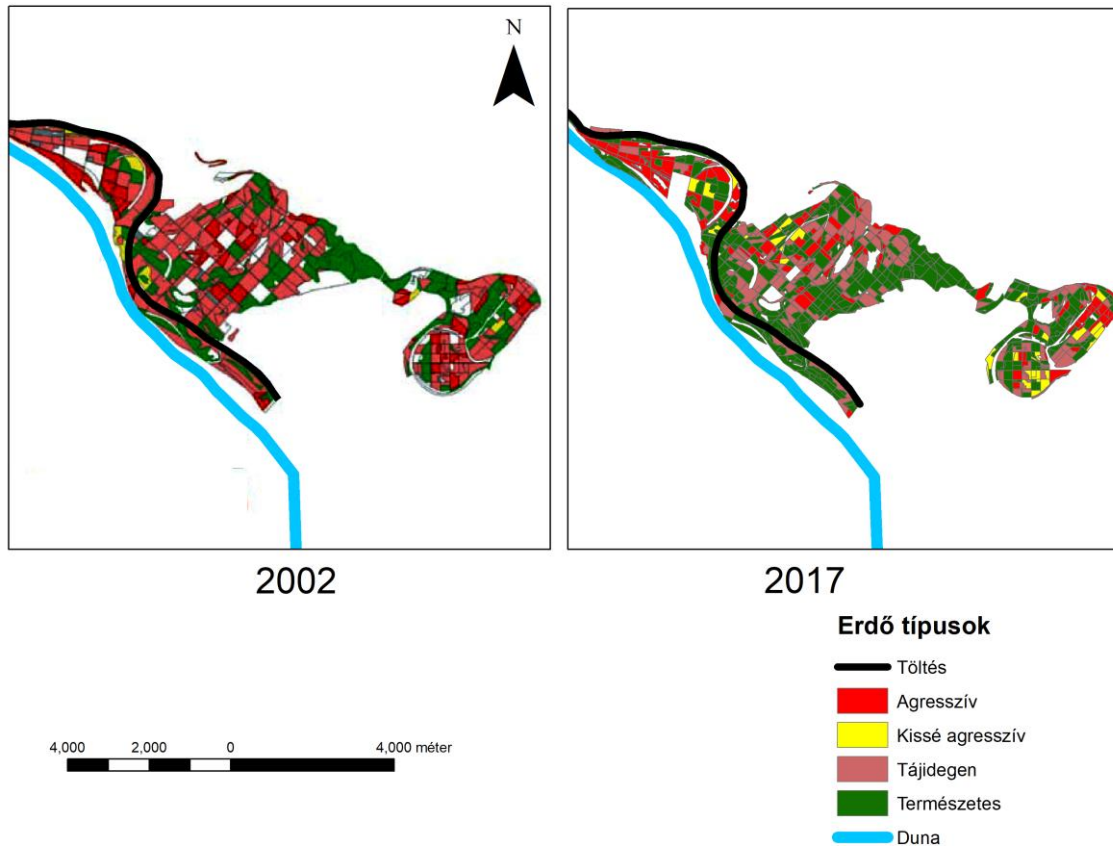
1. táblázat – A különböző felszínformák megoszlása a vizsgált térképeken (HERVAI A. et al. 2020b)

	Erdők	Láperdők	Mocsarak	Rétek és bozótosok	Szántóföldek	Víztestek	Települések
1784	58,93%	0,00%	32,73%	5,45%	0,00%	2,72%	0,13%
1825	44,07%	14,46%	11,71%	22,25%	0,00%	2,74%	4,71%
1858	45,42%	8,56%	16,53%	21,41%	1,63%	2,48%	3,96%
1884	19,59%	23,88%	15,71%	26,32%	3,03%	8,95%	2,77%
1952	19,74%	0,00%	3,33%	2,09%	71,09%	1,68%	1,58%
1987	23,56%	0,00%	2,07%	2,25%	65,56%	2,44%	4,12%
2012	16,82%	0,00%	1,61%	3,45%	71,80%	1,54%	4,78%

Megállapítható továbbá, hogy az erdők aránya az eredeti majdnem 60%-ról 20% alá csökkent (HERVAI A. et al. 2020b). A vizes élőhelyek a 20. század közepéig majdnem eltűntek (mára 1-2% az arányuk). A térinformatikai vizsgálatok alapján azt lehet mondani, hogy az 1800 körül még majdnem teljesen természetes ártéri tájat (BIRÓ M. 2008) 150 év alatt birtokba vette az ember.

A Mohácsi-sziget erdeinek változása természetességük szerint a 21. században

A rendszerváltozás után KOVÁCS GY. és DEME T. (2008) egy tíz évet átölelő kutatás során megvizsgálta a Béda-Karapancsa Tájegység erdeit, idős tölgy-kőris-szil keményfás ligeterdők (*Fraxino pannonicae-Ulmetum*) után kutatva. Vizsgálataik szerint az élőhelyek területe egytizedét sem érik el a lehetségesnek. Sok esetben helyüket tájidegen fajokból álló monokultúrák foglalták el. Megállapították, hogy az ártéri tölgy-kőris-szil keményfás ligeterdők a potenciális élőhelyüknek csupán a felén fordulnak elő. Készítettek egy térképet (2. ábra), melynek megfelelőjét a módszertanban leírt módon én is elkészítettem, és az ő térképükkel összehasonlítottam.



2. ábra – Erdőterületek természetességének változása a Homorúdi-erdőben a 21. században (szerkesztette: HERVAI A.)

A változás térképen való bemutatására a legnagyobb összefüggő tájelemet vagy ökotopot, a Homorúdi- és Karapancsa-erdőket választottam. Az én vizsgálatom nem terjedt ki a bédai erdőkre, de a bédai erdők szerkezete nagyon hasonlít a karapancsai erdőkéhez. A két időszakot összehasonlítva megállapítható (2. ábra és 2. táblázat), hogy a természetes erdők aránya megnőtt 32%-ról 52%-ra, köszönhetően az erdők védelmének és a WWF és a DDNPI tevékenységeinek. Amennyivel az agresszív fajokból álló erdőtagok aránya csökkent (21%-ról 18%-ra), annyival nőtt a kissé agresszív fajokból álló erdőtagok aránya.

2. táblázat – A Béda-Karapancsai erdőtagok csoportarányainak változása

	Természetes	Adventív	Kissé agresszív	Agresszív
2002	32,71%	44,44%	1,35%	21,50%
2017	52,60%	23,89%	4,76%	18,75%

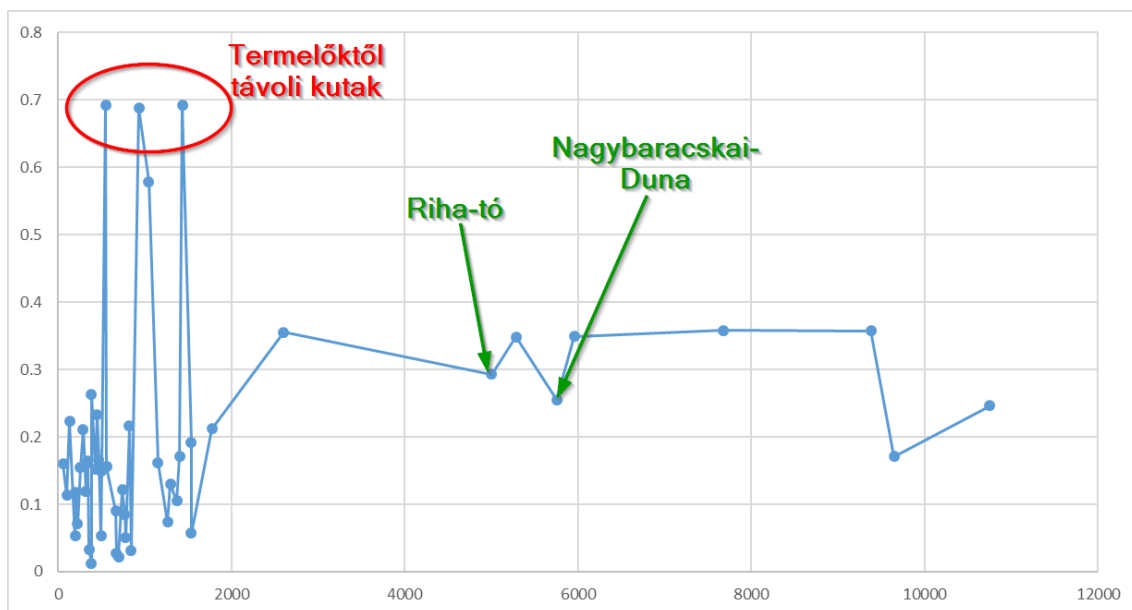
A Duna hatása a Mohácsi-sziget alluviális vízrendszerére

Teljes idősorok korrelációja

A talajvízkút idősorának értékeit összehasonlítottam a Dunának mindig az adott napot megelőző értékeivel. Az általam írt alkalmazás segítségével fel lehetett mérni ezeket a kapcsolatokat a teljes idősorokra az R API CCF (Cross-correlation function) függvényének meghívásával a Duna és a talajvízkutak idősorai között (HERVAI A. et al. 2019). A Mohácsi-szigeten 47 talajvízkútra tudtam különböző hosszúságú idősort beszerezni.

A teljes idősorok összehasonlításánál a lefuttatott keresztkorrelációk a maximális korrelációjú lagtime-oknál is nagyon gyenge kapcsolatot mutatnak még a Duna közvetlen közelében is (3. ábra). A legmagasabb korrelációs értékek természetesen a parthoz viszonylag közel találhatók (a 0,7-es r érték), de érdekes módon nem közvetlenül a part mellett.

Ezek a kiugró értékek egy átlagosan 0,1 és 0,2 közötti partközeli korrelációs értékhez képest hirtelen ugranak fel a már-már magyarázó erejűnek tűnő 0,7-es korrelációs értékre. Ha megvizsgáljuk az említett kutakat (3. ábra), akkor megállapíthatjuk, hogy ezek a termelőkutaktól távol helyezkednek el. Két kilométer után sehol sem haladja meg a kapcsolat erőssége az átlagos 0,4-es korrelációs értéket, de ezek az értékek még így is magasabbak, mint azok, amelyeket a part közelében mértem a teljes időszakra vonatkozóan.



3. ábra – A Duna és a talajvízkutak közötti keresztkorrelációk (r) erőssége a Dunától távolodva (m) teljes idősorokra (szerkesztette: HERVAI A.)

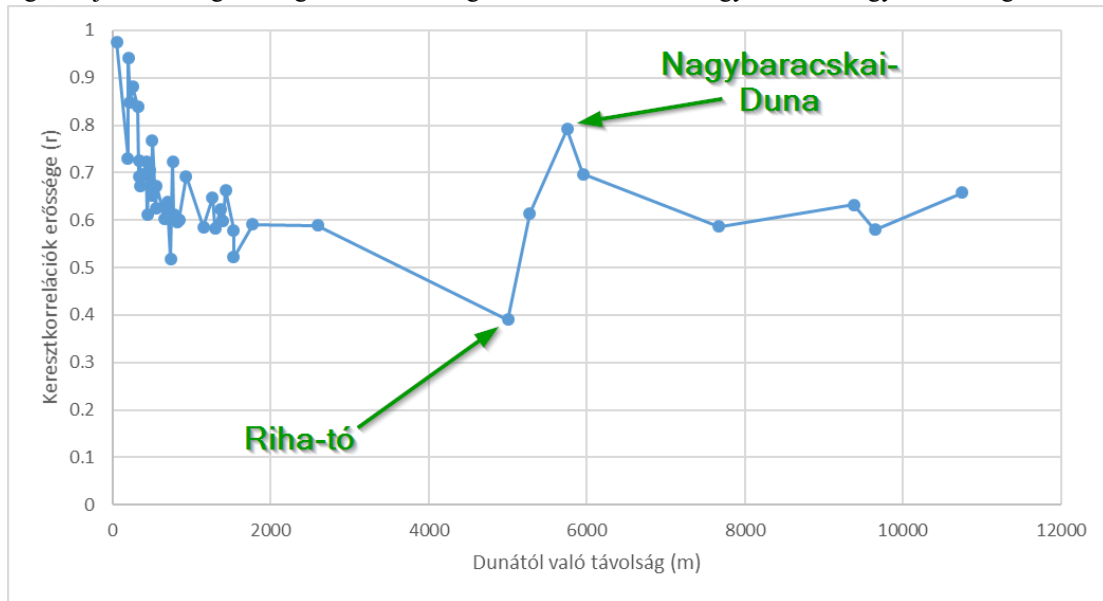
A teljes időszakoknál, ahogy az eredmény mutatja (3. ábra), a Duna és a talajvíz kutak között nincs túl erős kapcsolat. A kutatásomban azonban az áradások és a Duna kapcsolatát akartam elsősorban felmérni, a teljes időszakot csak az összehasonlíthatóság kedvéért vizsgáltam meg. A teljes időszakra bemutatott eredmény alapján eléggé különös, hogy a part közeli kutak kapcsolata a Dunával általában gyengébb, mint a parttól távolabb, a sziget belsejében található kutaké.

Áradási események átlagos korrelációja

Az egykori ártér felszínét még mindig őrző feldarabolt tájelemeknek, mikrodomborzatnak és a talajnak megvédéséhez szükséges az áradási események hatásának feltérképezése. Az előző eredményekből láthattuk, hogy az év egészében viszonylag alacsony a korrelációs kapcsolat a Duna és a talajvízkutak között. A 22 év összegyűjtött idősorának 31 áradási eseményéből megpróbáltam arra következtetni, hogy a még megmaradt élőhelyeken a szigeten milyen hosszan és mekkora mértékben kapja meg a vizet a növényzet a víztartó rétegen és talajon keresztül a Dunából. Az összes áradás esetében minden talajvízkútra az általam írt szoftver segítségével kigyűjtöttem az összes karakterisztikus korreláció értéket (VEKERDY Z. – MEIJERINK, A.M.J. 1998), a hozzá tartozó késés és a talajvízszint értékét (HERVAI A. et al. 2019).

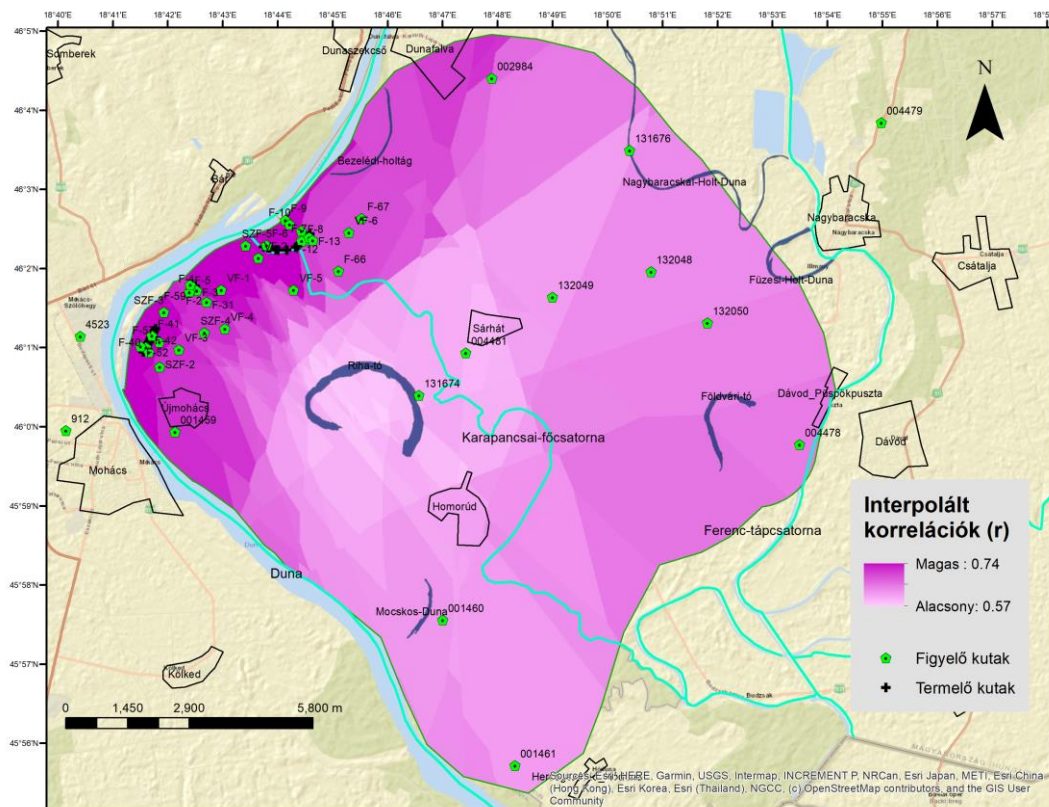
A Dunával való keresztkorrelációs kapcsolat (4. ábra) csak a parthoz közeli 2-300 méteren mondható nagyon erősnek (0,7 és 0,9 közötti r értékekkel). Ezt követően ez a kezdeti szoros kapcsolat, az első két kilométeren belül ingadozva lecsökken 0,6 körüli korrelációs értékre. Ez az érték azonban már gyenge-közepes

kapcsolatot jelent, de így is sokkal erősebb, mintha a teljes időszakokat néznénk. A kapcsolat ilyen mértékű erőssége, majdnem az egész sziget területén megmarad. Azonban van egy felfelé és egy lefelé kiugró érték.



4. ábra – A Duna és a talajvíz kutak közötti keresztkorrelációk (r) erőssége a Dunától távolodva (m) áradási időszakokban (HERVAI A. et al. 2019)

A korrelációs értékekből kriging interpolációval (HERVAI A. et al. 2017) térképet készítettem (5. ábra). Az értékek a parttól távolodva gyengülnek, de nem teljesen egységesen. A part mentén Bárig viszonylag egységesen erősebb kapcsolatot lehet megfigyelni. Jelentős kapcsolatot csak a Bártól Mohácsig tartó kanyarulatban láthatunk, dacára annak, hogy ott rengeteg termelőkut található (HERVAI A. et al. 2019). A kanyarulat után ez az érték jelentősen csökken. Találhatunk egy korrelációkban fellépő depressziós térszint a középső termelőkutak mögött és a Riha-tó környékén is.

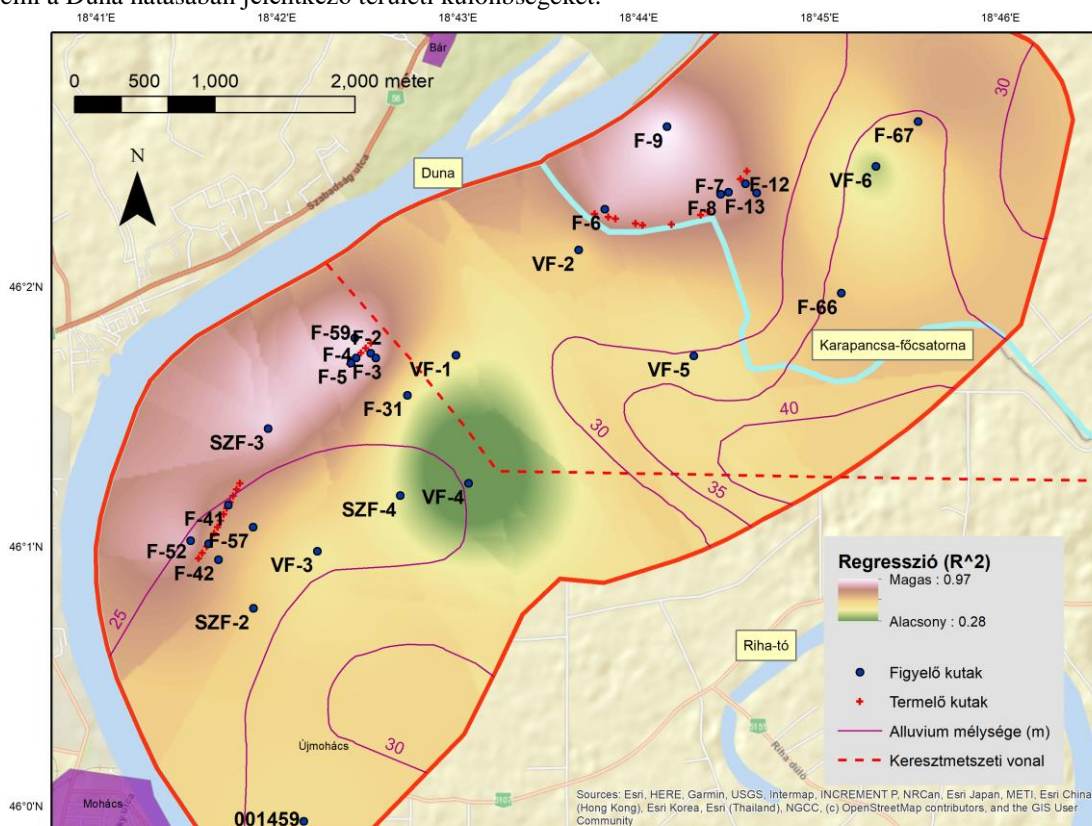


5. ábra – A Dunával való korrelációk (r) erőssége a talajvíz kutak interpolált értékei alapján (HERVAI A. et al. 2019)

Lineáris regressziós modellvizsgálatok a Duna, a termelőkutak és a csapadék talajvízre való hatásának becslésére

A talajvízszint ingadozását nemcsak a Duna, hanem a termelőkutak (MAJOR V. – SASS J. 2009) és a csapadék (RAINS, M. C. – MOUNT, J. F. 2002) is befolyásolja. Ahogyan azt a módszertani részben leírtam, a Duna és a termelőkutak vízszintjeit kombinálva illesztettem be (HERVAI A. et al. 2020a) a lineáris regressziós modellbe (LM). A LM vizsgálatot csak a parthoz közeli kutakra, és csak a 2007-es esztendőre, illetve a 2009-től 2018-ig tartó időszakokra folytattam le. Csak az említett időszakban állt rendelkezésemre olyan mennyiségű vízállás- és csapadékidőszak, hogy a LM vizsgálatokat megfelelő pontossággal el tudjam végezni. A figyelőkút-ponthálózaton mért és összegzett adatokból kriging interpolációt készítettem (HERVAI A. et al. 2017). Csak ebben a part közeli sávban állt rendelkezésemre megfelelő sűrűségű ponthálózat, geológiai térkép és fúrásnapló-adat, hogy azokból a talajvízadatok interpolációja után geológiai következtetéseket vonhassak le.

A kiválasztott öt áradási eseményre alapozva összefoglalva elmondható, hogy a determinációs együttható, a késési idő és a Duna-vízszint emelőhatása a parttól egyre növekvő távolsággal elsősorban a Duna-árvíz hullám hatását mutatja a talajvízben megjelenő nyomáshullámokon (HERVAI A. et al. 2020a). A LM számítás eredménye pontosabban leírja a Duna hatását, legalábbis ebben a part menti sávban, mint a korreláció. A LM számítás precízebb volt a sűrűbb ponthálózat miatt is, ezért a LM-hez elkészült térképeken a jobban meg lehet figyelni a Duna hatásában jelentkező területi különbségeket.



6. ábra – A Duna-áradások hatásának a regressziós értékkel (R^2) kimutatott interpolált térképe (HERVAI A. et al. 2020a)

A kriging módszerrel interpolált átlagos determinációs együttható térképen (6. ábra) is megfigyelhetjük azt, ami a diagramról is leolvasható. A part közelében (az első 500 méteren belül) a Duna és a talajvíz kapcsolata nagyon erős volt az áradások során. A déli termelőkutak területének közelében, a regressziós értékek alacsonyabbak voltak, mint az északi területeken. A part közelében a leggyengébb regressziós kapcsolatot a legdélebbi szakaszon lehet megfigyelni, ahol a K001459-es kút található. A parttól távolodva a Duna hatása mindenhol csökkent, de nem egyenletesen. A legalacsonyabb értékek a középső termelőkút-sor mögött jelentek meg.

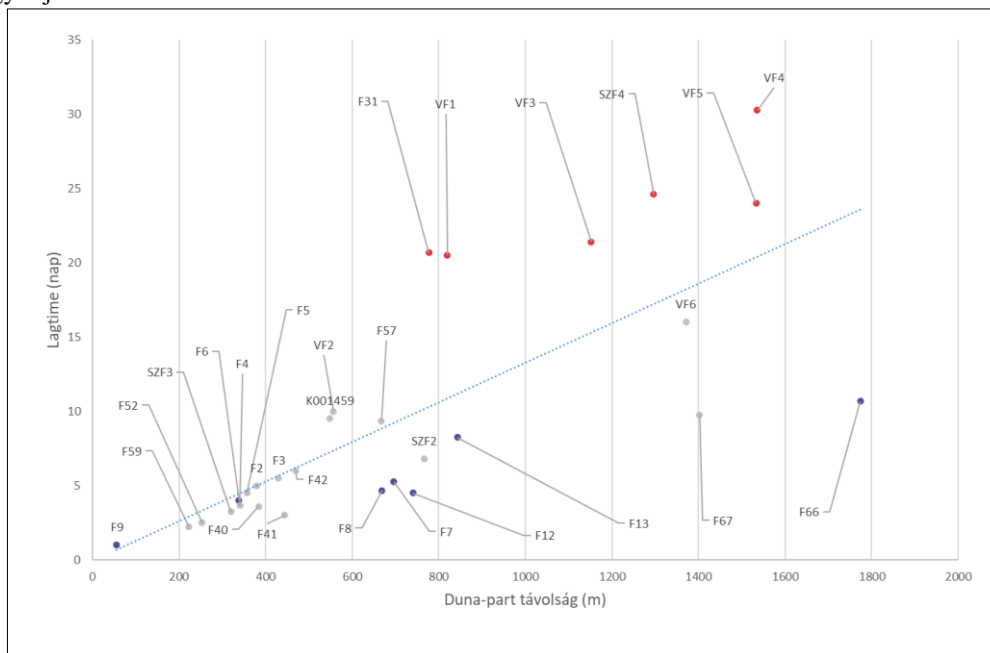
Milyen mértékű kapcsolat maradt fent a Duna, illetve a Nagybaracscai-Duna és Riha-tó között?

Ha megnézzük a teljes időszakra vonatkozó korrelációk erősségét a felszíni vízfolyásokkal együtt is (3. ábra), akkor az látható, hogy a Riha-tó és a Nagybaracscai-Duna a part közeli talajvízszinteknél erősebb kapcsolatot tart a Dunával, a környezeténél azonban kissé gyengébbet. Tehát ezek a felszíni víztestek nem teljesen úgy viselkednek, mint a talajvíz, de ahhoz hasonlóan, ha a teljes idősor korrelációit nézzük.

Ha az összes áradásra vonatkozó keresztkorrelációs kapcsolatok erősségét figyeljük meg, akkor elmondható, hogy a Riha-tónak még a talajvizetknél is gyengébb (0,4) az átlagos korrelációja a Dunával áradásokkor. Ehhez képest a Nagybaracscai-Dunának 0,8-es korrelációs erősségű az áradásokkor mért kapcsolata a Dunával, tehát a közvetlen környezeténél is erősebb (4. ábra) és a Riha-tóénak a kétszerese. A 4. ábrán ez a két pont az, amelyek elütnek a környezetüktől. A korrelációk kriging módszerrel interpolált térképén (5. ábra) is megfigyelhető ez a nagy különbség. Tehát a Riha-tó környezetében a leggyengébb a kapcsolat a talajvíz és a Duna között, gyakorlatilag nem érnek ide az árhullámok. Ezzel szemben nagy áradásokkor a Nagybaracscai-Dunának még mindig nagyon jelentős a kapcsolata a folyóval.

A Duna árhullámok sebességének karakterisztikája és területi eloszlása a sziget alluviumában

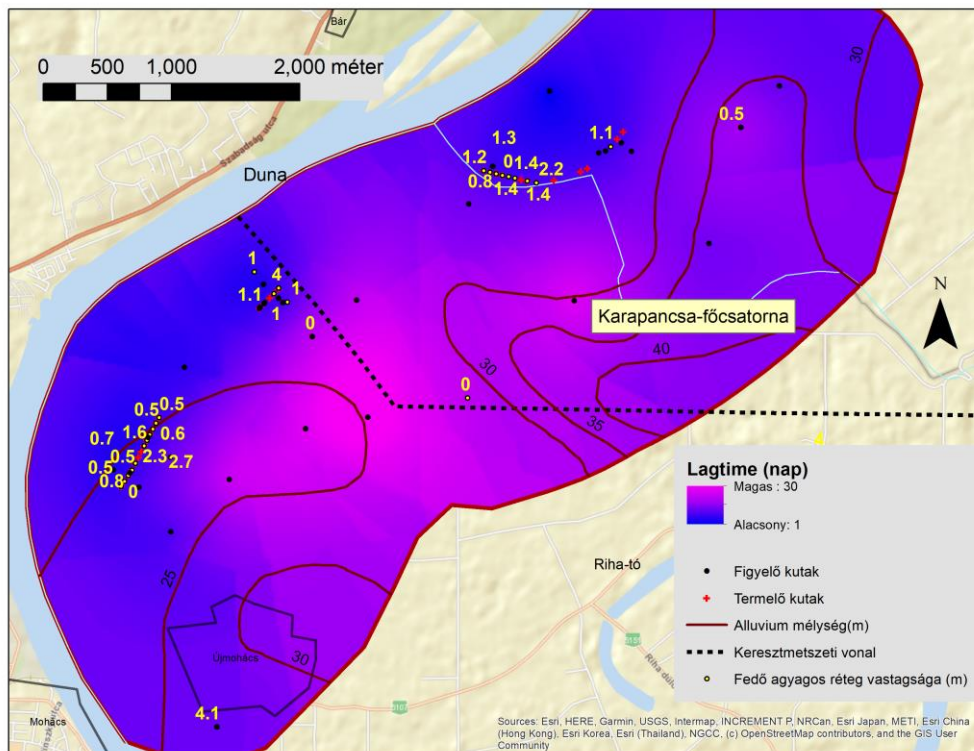
LM vizsgálatokon keresztül az árhullámok terjedésének sebességét is kiszámítottam. Az átlagos talajvíz hullám késési diagramja (7. ábra) azt mutatja, hogy az értékek egyre jobban ingadozva növekednek a parttól távolodva. Egy trendvonal alatti csoportban (kék színű pontok) egyértelműen azonosíthatóak azok a kutak, amelyek az északi termelőkutak szomszédságában találhatóak. A parttól távolodva ezek a pontok a trendvonaltól felfelé egyre jobban eltávolodtak.



7. ábra – Az átlagos talajvíz hullám késések a parttól távolodva. Piros pontok: figyelőkutak a középső kútsor térségében több, mint 500 méter távolságban. Kék pontok: figyelőkutak az északi termelőkút-sor területén. Szürke pontok: minden más figyelőkút (HERVAI A. et al. 2020a)

Ez azt jelenti, hogy ezen a területen a talajvízben az árhullám átlagosan gyorsabban haladt, mint másutt. A trendvonal feletti kutak (piros színű pontok) egy csoportját alkotják azok a kutak, amelyek 500 méternél nagyobb távolságra vannak a Dunától, a középső és déli kút mögött. Az a tény, hogy ezek a kutak egy csoportba tartoznak, nemcsak azt jelenti, hogy sokkal kisebb mérhető kapcsolatuk volt a Dunával, hanem azt is, hogy árvíz által kiváltott talajvízhullámok háromszor-négyszer lassabban érkeztek erre a területre, mint a termelőkutak zónájához, annak ellenére, hogy a Dunától való távolságuk csupán kétszerese a termelőkútsor közelieknek.

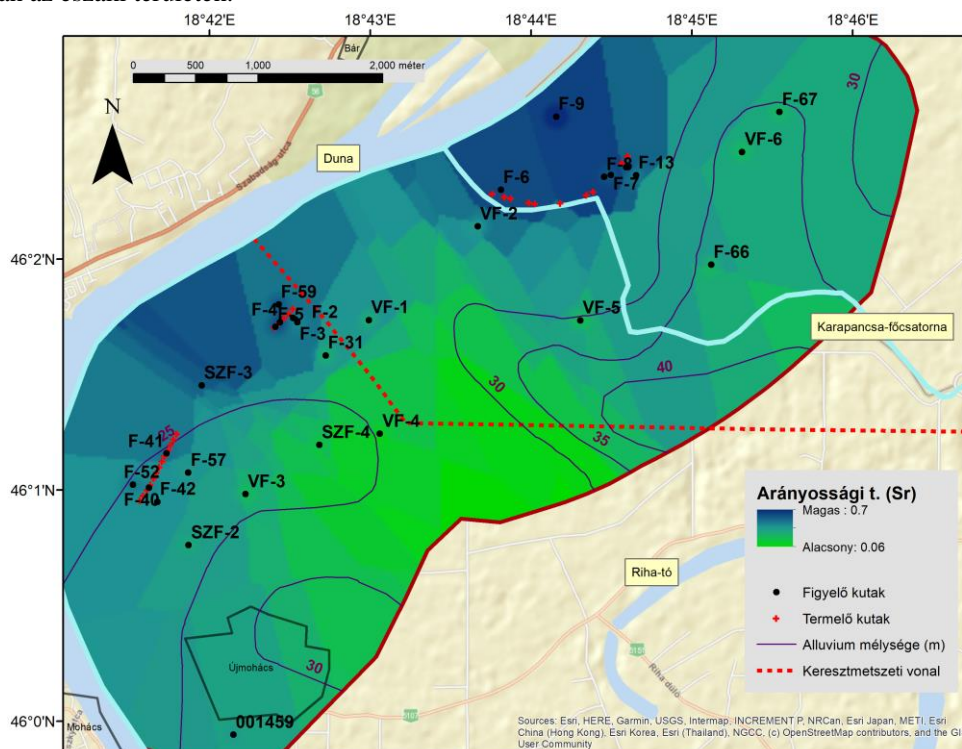
Az átlagos késések kriging módszerrel interpolált térképén (8. ábra) a késések időbeli különbségeinek térbeli eloszlása figyelhető meg. A térképen láthatjuk, hogy a középső és a déli termelőkutak területe mögött az átlagos talajvízhullámok legalább háromszor lassabban haladtak, mint az északi termelőkutak mögött.



8. ábra – A Duna-áradások késési idejének interpolált térképe (HERVAI A. et al. 2020a)

A Duna áradások emelő hatása a sziget talajvíz rendszerére

Az áradások átlagos talajvíz-emelő hatása (arányossági tényező (S_r), 1. egyenlet) diagramon láthatjuk, hogy az északi termelőkutak előtti piezométerek adatai egyértelműen és kiemelkedően a trendvonal felett (kék színű pontok) helyezkednek el. A Dunától 500 m-nél nagyobb távolságra lévő, középső és déli termelőkutak (vörös színű pontok) mögötti vízmércékben, általában kisebb volt a talajvíz emelkedése, mint az ugyanebben a távolságban az északi területen.



9. ábra – A talajvíz-emelő hatás vagy arányossági tényező (S_r) interpolált térképe (HERVAI A. et al. 2020a)

A Duna átlagos felszín alatti vízemelő hatásának kriging módszerrel interpolált térképe (9. ábra) az LM interpolált determinációs együttható térképéhez hasonló eredményt mutat (HERVAI et al. 2020a). A talajvízemelő hatás a parthoz közel a legerősebb. A partközeli területeknél a legalacsonyabb átlagos arányossági tényezőt a délebbi részekben figyelhetjük meg. A parttól távolabb a talajvízemelő hatás csökken, de nagy térbeli különbségeket mutat. Az északi részen a termelőkutak sorozatán túl is magas maradt az arányossági tényező értéke, annak ellenére, hogy a termelőkutak egyértelműen vizet vonnak ki a talajból. A középső és a déli termelőkutak mögötti sávban, a Duna jóval alacsonyabb arányban emelte meg a talajvizet.

A termelőkutak és a csapadék hatása a sziget talajvízrendszerére

A termelőkutak hatásainak vizsgálata összetett feladat volt, mert az áradások során több kút is működhet egyszerre egy kútsorban (HERVAI et al. 2020a). Figyelni kellett arra is, hogy a figyelőkutaktól a termelőkutak különböző távolságra helyezkednek el. Elméletileg még az sem volt biztos, hogy egyáltalán működtek az áradáskor, a valóságban azonban minden termelőkút-sorban legalább egy, de inkább több kút működött a kiválasztott áradási időszakban. Természetesen csak ezeket a működő kutakat lehetett bevonni a lineáris regressziós modellbe (LM).

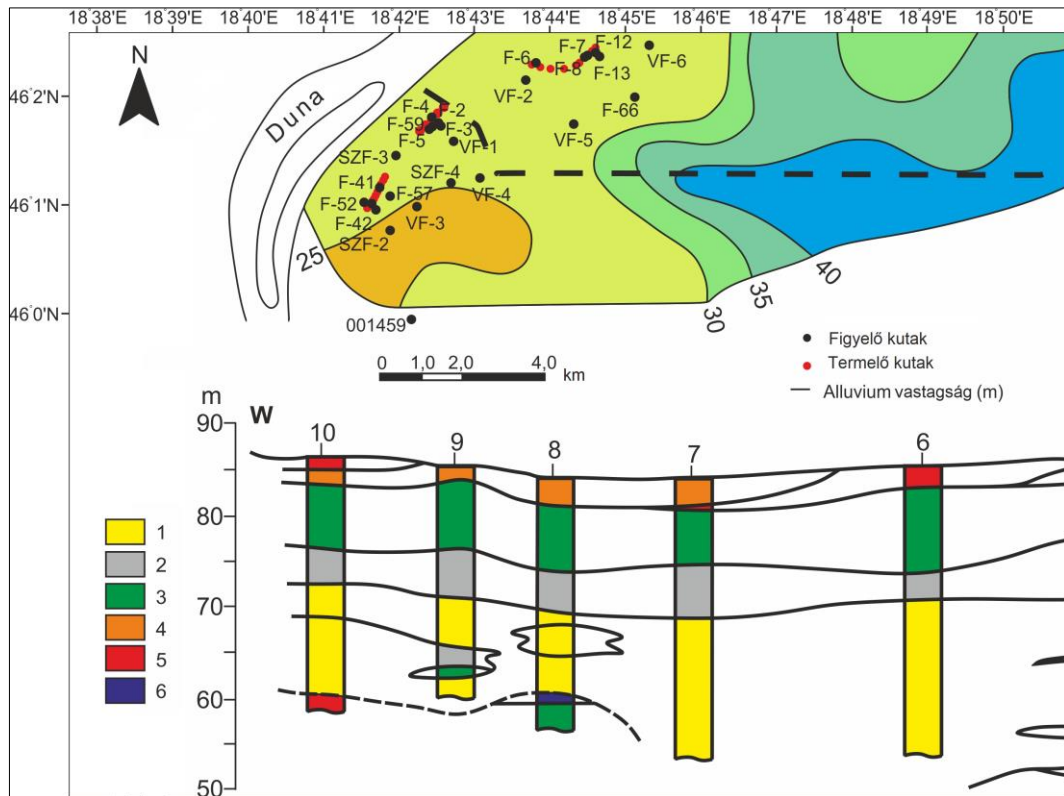
A működésben lévő termelőkutak idősorainak és a transzformált Duna idősorának összegzésével egy kombinált eredménygörbét hoztam létre. Ezt az eredménygörbét az LM-be illetve valójában a Duna teljes hatását mutattam ki minden figyelőkútra. Megállapítottam, hogy a 2013-as áradás Duna vízének transzformált és az F-4-es talajvízkút idősorát vizsgálva, hogy a termelőkutak csak néhány százalékot "vágják ki" a Duna integráljából. Ez az érték nagyjából megegyezik a determinációs együttható értékének változásával is, ha a termelőkutakat is bevonjuk a lineáris modellbe. Vizsgálataim eredményeképpen kimutattam, hogy a termelőkutak közvetlen hatása csak legfeljebb néhány 100 m távolságig tart. Ez a hatás nagyon gyenge áradáskor a part és a termelőkutak között, tehát inkább a sziget belsőbb részein érdemes ezzel a néhány száz méterrel számolni.

A csapadék-idősorokat akkor vontam be az LM-be, ha szignifikancia szintjük alacsonyabb volt, mint 0,05. Összességében a csapadékvektorok csak nagyon minimális hatással voltak az egyes talajvízkutak lineáris regressziós modelljeire (HERVAI A. et al. 2020a). A csapadék hatása csak a vizsgált terület Duna-parttól távolabb eső, sziget belsőbb részein növelte kimutathatóan a lineáris regressziós modell értékét, és csak a 2009. júliusi árvíz ideje alatt. A csapadék vektor 0,03-dal javította a determinációs együttható értékét VF-2 figyelőkútnál, 0,15-dal a VF-4 figyelőkútnál és 0,04-dal a VF-5 figyelőkútnál. Ez azt jelenti, hogy a mért értékek csak néhány százalékban (3–4%) magyarázták az LM-t, azaz a talajvízmozgást. Ezért e három megfigyelőkútban az öt áradási eseményre összesített csapadék talajvíz-magyarázó aránya 0,6% és 3% közötti érték lett. A többi esetben nem tudtam kimutatni a csapadéknak a talajvízre gyakorolt hatását, így ezek nem kerültek be az összesített lineáris regressziós modellbe.

A földtani tényezők hatása a sziget talajvízrendszerére

Az interpolált térképek (6., 8. és 9. ábra) sok tekintetben igen hasonlóak. Világosan látható, hogy a Duna erőteljes befolyása körülbelül 500 méterre terjedt el, ezen a távolságon túl fokozatosan csökken. Ez a hatás mindenütt megszűnik 1500 méter körül. A leggyorsabban azonban a középső termelőkutak mögött csökken le, ahol már 1000 méternél megszűnik. Ez természetesen annak is köszönhető, hogy a termelőkutak nagy vízmennyiséget termelnek ki. Mindazonáltal ez nem magyarázza a déli, középső és északi termelőkutak közötti területi különbséget. A 2013. évi transzformált és a termelőkutakkal összegzett Duna és a talajvíz vízállás idősor alapján, egyértelműen megállapítható, hogy a termelőkutak hatása csak 10% -ot magyaráz a talajvíz varianciájából a nagyobb árvízi események során (HERVAI A. et al. 2020a). Ezért legalábbis ezekben az árvízi időszakokban a megszűnő kapcsolatot máshol kell keresni. A 10. ábra a pannóniai agyagréteg mélységét mutatja be geofizikai mérésekre támaszkodva (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986) valamint földtani keresztmetszelynyt a középső termelőkút területéről (DRASKOVITS P. 1982). A keresztmetszeti ábrák felszíni vetülete fel van tüntetve az interpolált térképeken (6., 8. és 9. ábra). A keresztmetszeti ábrán látható adatokat a vízföldtani fúrások leírása is igazolja (8. ábra, sárga színű értékek).

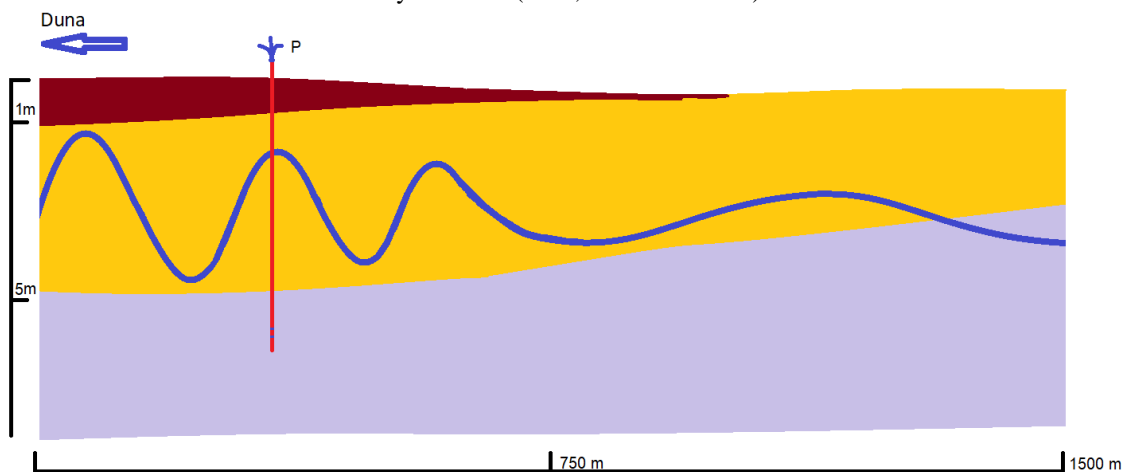
Ha jobban megfigyeljük a középső termelőkutak közelében elhelyezkedő figyelőkutak geológiai térképét (10. ábra) és a figyelőkutak kapcsolatainak erősségét a Dunával (6., 8. és 9. ábra), azt láthatjuk, hogy a parttól 500 m távolságra az agyagos záróréteg elvékonyodik, éppen ott, ahol a kapcsolat drasztikusan lecsökken.



10. ábra – Keresztmetszeti rétegsor és allúvium vastagság térkép a középső termelőkutak környezetében. 1 – durva homok, homokos kavics; 2 – aprószemcsés homok; 3 – finom homok; 4 – iszapos finom homok; 5 – iszapos kőzetliszt; 6 – mocsári képződmények (HERVAI A. et al. 2020a)

A parttól számított 500 m-es távolságon túl csak szórványosan álltak rendelkezésemre rétegtani adatok a területről. Ez a két fúrásnapló adatai (8. ábra, sárga színű 0 értékek a keresztmetszeti vonal mentén) és a geológiai keresztmetszeti ábra azonban együtt bizonyítják, hogy a terület fedetlenné válik a sziget belseje fele haladva. Az átlagos determinációs együttható értéke itt hirtelen csökkent (először 0,9-ről 0,6-ra 700, majd 0,2–0,3-re 1500 méteren). Sőt, a késleltetési idő hirtelen egy hétről egy hónapra nő, mialatt a távolság csak megduplázódik.

Összefoglalva elmondható, és egy szematikus ábrán szemléltetem is (11. ábra), hogy a talajvízhullám állandó sebességgel haladt nagy nyomáson a nem teljesen vízzáró aleurolitos homokban, amelyet a part közelében még nagyjából 1 m vastag agyagréteg borított. A hullámok ezután egyre inkább fedetlenné váló, vékonyabb homokos iszapréteget értek el 500 m távolságra a parttól, és elnyújtottá váltak (HERVAI A. et al. 2020a). Ha megnézzük a késési idők diagramját (7. ábra), akkor kiszámolható volt, hogy az áradások által gerjesztett nyomásfejek átlagos sebessége fedett körülmények között 80 m/nap (F-2, F-3 400 m-en). Ez a sebesség később napi 16 m-re csökken fedetlen körülmények között (F-31, VF-1 800 m-en).



A 11. ábra – A talajvíz hullámok megnyúlásának szematikus ábrája a középső termelőkutak területén a 2013-as áradás során, a parttól távolodva (HERVAI A. et al. 2020a)

Az eredmények hasznosításának lehetőségei

A kutatásom megalapozza a Mohácsi-sziget természeti és társadalmi folyamatainak jövőbeli kutatását. Vizsgálatom segíti a tájváltozás lokális szinten történő értelmezését és a múltbéli adatok térinformatikai értékelését. A klímaváltozás és a Duna vízjárásának szélsőségeiből következő problémák a talajvízszint csökkenését okozzák. Ezen csökkenés területi különbségeinek bemutatását is segíthetik eredményeim. Az eredményeim alapján választ kaphatunk arra a kérdésre is, hogy egy nagyobb áradás- vagy csapadékesemény következtében mely területeken lehet belvizesedésre számítani. A kutatás közvetlenül kapcsolódik a természetvédelem leglényegesebb helyi feladataihoz, kiemelten a vizes élőhelyek fenntartásához. A térképeimen látszik, hogy mely területeken és milyen hosszban voltak a különböző típusú élőhelyek megtalálhatóak. Miután nem telt el több ezer év a tájtalakítás óta, a talaj, mint gébank még mindig tartalmazza az eredeti élőhelyek növényi magvait. A Duna, a talajvíz és a meteorológiai adatokból generált térképekből jól látszik, hogy mely területekre van még hatással a Duna áradáskor, illetve közepes vagy alacsony vízállásnál. Kutatásom elősegítheti a Mohácsi-szigeten végzett mezőgazdasági tevékenységek felülvizsgálásának és átalakításának elméleti megalapozását (gyümölcsstermesztés, turizmus és haltenyésztés fejlesztése). A nemzeti parknak több talajvízmérő állomása van elhelyezve a Duna balpartján Bédánál és Gemencen. Tervezem az ő adatainak a feldolgozását is, mellyel pontosabb képet lehetne szerezni a teljes árterület talajvíz működéséről. A szigeten már nagyon régóta több ezer hektár területen gazdálkodó Margitta 92' Kft, korábban Margitta TSZ értékes adatainak és genetikai talajtérképeinek feldolgozásával fel lehetne mérni, hogy a talajok milyen mértékben alakultak át a tájtalakítások következtében és hogy a mezőgazdaság hogyan tud megfelelően beilleszkedni az ártéri rendszerbe. Végül a sziget történeti és régészeti kutatásának térinformatikai megalapozása is a lehetséges gyakorlati hasznosítási célok között szerepelhet.

Irodalomjegyzék

- BIRÓ M. (2008): *Duna-Tisza köze fásszárú vegetációjának átalakulása a 18. század óta, különös tekintettel a száraz homokterületekre*. In: KRÖEL-DULAY GY. – KALAPOZ T. – MOJZES A. (szerk.): *Talaj-vegetáció-klíma kölcsönhatások*. Köszöntjük a 70 éves Láng Editet. MTA ÖBKI, Vácrátót, pp. 23-38.
- BUZETZKY GY. (2002): *A Duna menti területek hidrológiája*. In: IVÁNYI I. – LEHMANN A (szerk.): *Duna-Dráva Nemzeti Park*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 107-110.
- DÓKA K. (2006): *A Duna-mappáció (1823–1845) történeti áttekintés*. In: *A Duna-mappáció*. Médiatér Kft., Pécs, DVD-issue.
- DRASKOVITS P. (1982): *Víz kutatás a Mohácsi-szigeten*. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1981. évi jelentése, Egyetemi Nyomda, pp. 38-39.
- DRASKOVITS P. – JÓSA E. (1986): *A Duna hordalékkúpjának kutatása a Mohácsi-szigeten*. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1985. évi jelentése, pp. 57-60.
- ERDŐSI F. – LEHMANN A. (1974): *Mohács Földrajza*. Mohács városi Tanács V. B. Művelődésügyi Osztálya, pp. 29-32.
- HERVAI A. – LÓCZY D. (2009): *A Mohácsi-sziget tájhasználatának történeti megközelítésben*. In: SZABÓ KOVÁCS B. – TÓTH J. – Wilhelm Z. (szerk.): *Környezetünk természeti-társadalmi dimenziói - Tanulmánykötet Fodor István tiszteletére*, ID Research Kft./ Publikon Kiadó, Pécs, pp. 51–60.
- HERVAI A. – PIRKHOFFER E. – FÁBIÁN SZ. Á. – HALMAI Á. – NAGY G. – LÓCZY D. – CZIGÁNY SZ. (2017): *Interpolation and 3D visualization of soil moisture*. *Acta Geographica Debrecina Landscape and Environment* 11(1), pp. 23-34.
- HERVAI A. – FARICS É. – SISÁK I. (2019): *The influence of Danube on the groundwater system in Mohacs Island*. In: HATVANI G. I. – TANOS P. – FEDOR F. (szerk.) *Abstract Book of the GEOMATES 2019. International Congress on Geomathematics in Earth and Environmental Sciences which is the 21th Congress of Hungarian Geomathematicians*, Pécs, p. 35.
- HERVAI A. – FARICS É. – SISÁK I. – FARKAS G. – KOVÁCS J. – LÓCZY D. (2020a): *Influence of flood waves, production wells, and precipitation on shallow groundwater using a linear regression model approach based on a case study of Mohács Island, Hungary*. *Water*. (doi: 10.3390/w12051359).
- HERVAI A. – NAGY D. – KONKOLY S. (2020b): *Landscape transformations on Mohács Island following river regulations*. *Podravina*, 37 (19), pp. 47-60.
- JANKÓ A. (2007): *Magyarország katonai felmérései*. Argentum Kiadó, Budapest, p 196.
- KOVÁCS D. (1978): *Árvízvédelem, folyó- és tószabályozás, víziutak Magyarországon*. Országos Vízügyi Hivatal, Budapest, pp. 11-20, 89-90, 170, 346-360, 368-370.
- KOVÁCS GY. – DEME T. (2008): *Idős tölgyesek az Alsó-Duna árterén*. Somogyi Múzeumok Közleményei, Kaposvár, 18, pp. 43–50.
- MAJOR V. – SASS J. (2009): *Stratégiai Környezeti Vizsgálat „Tanulmányok a Duna hajózhatóságának javításáról” program*. Vituki. p. 67.
- RAINS, M. C. – MOUNT, J. F. (2002): *Origin of shallow ground water in an alluvial aquifer as determined by isotopic and chemical procedures*. *Ground Water*, 40, pp. 552-563.
- TAMÁS E. – KALOCSA B. (2003): *A Rezéti- Duna feltöltődésének vizsgálata*. In: *Élet a Duna-ártéren tudományos tanácskozás tanulmánykötete*. BITE, Baja, pp. 43-49.
- VEKERDY Z. – MEIJERINK, A.M.J. (1998): *Statistical and analytical study of the propagation of flood-induced groundwater rise in an alluvial aquifer*. *Journal of Hydrology*, 205, pp. 112-125.