

PÉCSI TUDOMÁNYEGYETEM

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

Földtudományok Doktori Iskola

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

PhD-értekezés

Hervai András

Témavezetők:

Dr. Prof. Lóczy Dénes DSc, egyetemi tanár
Dr. Sisák István CSc, tudományos főmunkatárs

Pécs, 2020

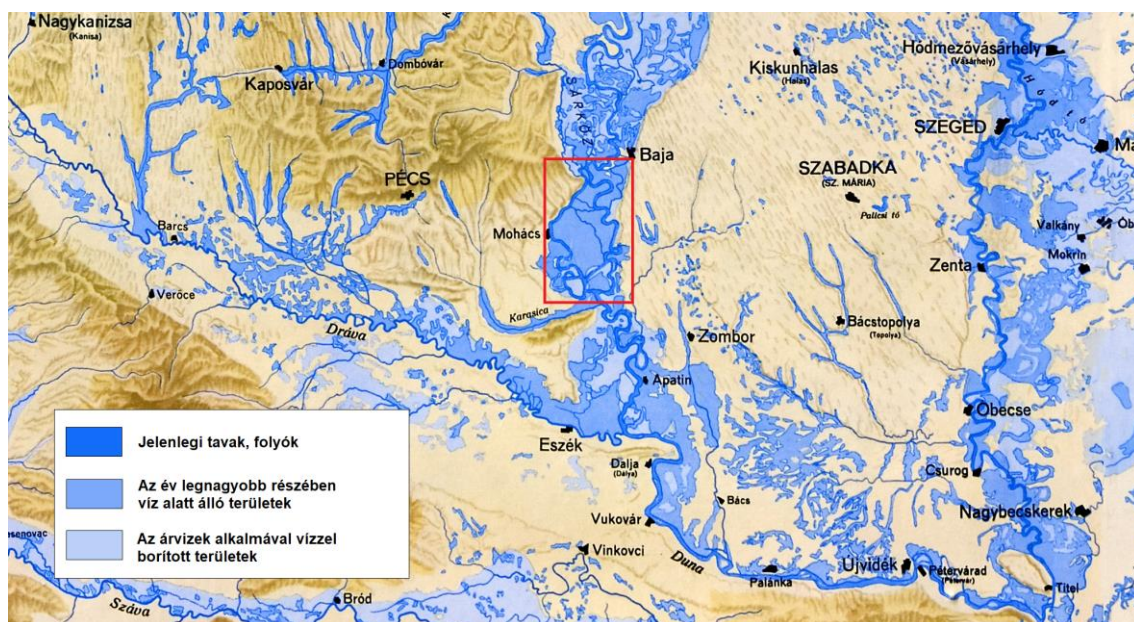
Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	4
2. A szakirodalom áttekintése és értékelése	9
2.1. Mohácsi-sziget természetföldrajzi bemutatása	9
2.1.1. Kialakulása	9
2.1.2. Felszíni képződmények	12
2.1.3. Hordalékkúp	12
2.1.4. Pannóniai rétegek.....	14
2.1.5. A sziget tektonikája.....	15
2.1.6. Morfológia.....	16
2.1.7. Talaj.....	17
2.1.8. Éghajlat	17
2.1.9. Vízrajza	18
2.1.10. Tájszerkezete	19
2.2. Mohácsi-sziget tájatalakulásának kutatása	20
2.3. A folyómenti víztartó réteg fogalma és tipizálása	22
2.4. Folyóvíz melletti víztartó réteg kapcsolatának kutatásai	24
3. Kutatási célkitűzések.....	27
4. Az alkalmazott kutatási módszerek	28
4.1. A táj változásának felmérése	28
4.2. Az erdőtagok változásának felmérése	30
4.3. A talajvíz Dunával való kapcsolatának vizsgálata.....	31
4.3.1. Az adatok összegyűjtése	31
4.3.2. Többnapis adatok használhatóságának vizsgálata.....	31
4.3.3. Szoftverfejlesztés	32
4.3.4. Duna és a talajvízkutak keresztkorrelációs vizsgálata	35
4.3.5. Lineáris modellvizsgálat	36
4.3.6. A lineáris modellvizsgálat tesztelése.....	38
4.3.7. A lineáris modellvizsgálat automatizálása.....	41
4.4. Geológiai, geomorfológiai vizsgálatok	43
5. Az eredmények ismertetése és értékelése.....	45
5.1. Tájváltozás a Mohácsi-szigeten.....	45
5.2. A táj természetességének változása a Mohácsi-szigeten a 21. században	58
5.3. A Duna és a termelőkutak korrelációs vizsgálata	60
5.3.2. Áradási események átlagos korrelációja.....	62

5.3.3. Az áradások talajvízemelő hatása a Mohácsi-szigeten.....	65
5.3.4. A Duna-áradások korrelációval számolt terjedési sebessége	68
5.4. Lineáris regressziós modellvizsgálatok a Duna, a termelőkutak és a csapadék talajvízre való hatásának becslésére.....	71
5.4.1. A termelőkutak hatása a sziget talajvízrendszerére	71
5.4.2. A csapadék hatása a sziget talajvízrendszerére	72
5.4.3. A LM összetett hatása a sziget talajvíz rendszerére	72
5.4.4. A földtani tényezők hatása a sziget talajvízrendszerére.....	78
6. Eredmények összefoglalása	84
7. A kutatás további irányai	88
8. Köszönetnyilvánítás	89
9. Irodalomjegyzék.....	90
Függelékek.....	97
1. függelék. Táblázatok	97
2. függelék. Forráskódok	100

1. Bevezetés

A folyószabályozások hatalmas tájatalakítással jártak Európa-szerte az elmúlt 200 esztendőben (KUIPER, J. J. et al. 2014, SANDU, C. 2005). Az eredeti ártéri ökoszisztémák 90%-a eltűnt vagy már nem természetközeli az állapotuk, ennek következtében Európa tájainak biodiverzitása is jelentősen lecsökkent (VANNEUVILLE, W. et al. 2016). Az árterek átalakítása hazánkban is hasonló helyzetet teremtett. A folyószabályozások előtt a magyarországi árterületek 23.000 km²-t tettek ki (1. ábra). A fűz-nyár ligeterdők termőhelyeinek 1/3-a elveszett. A síkvidéki ligeterdők természetességét értékelve elmondható, hogy a 18. század vége óta a bokorfüzeseké 73%-ra, a puhafás és keményfás ligeterdőké 54-54%-ra csökkent (KÖVESI S. 2013). A síkvidéki ligeterdők és cserjések a természetes vegetációban az ország területének 19%-át adták. A folyószabályozások és egyéb tájatalakítások következtében területük 0,42%-ra csökkent, tehát 97,8%-uk elveszett (BARTHA D. 2013). Az árterek leggyakoribb élőhelyei a galériaerdők mellett a holtágak és morotvák (LÓCZY D. 2005), melyek a vizes élőhelyek csoportjába sorolhatóak (LAKATOS GY. 1998). A vizes élőhelyek fontos szerepet játszottak, megmaradt részük játszik ma is a szénkészlet megkötésében, a biodiverzitás és a halállomány fenntartásában, aszály idején a víz biztosításában, a zöld árhullám megakadályozásában (KEDDY, P. A. 2010). További fontos szerepük a vízszennyezés kockázatának csökkentése is.



1. ábra – A Kárpát-medence délnyugati részének vízborította területei a folyószabályozások előtt (Mohácsi-sziget helyét piros téglalap jelöli; SOMOGYI S. 2003 alapján)

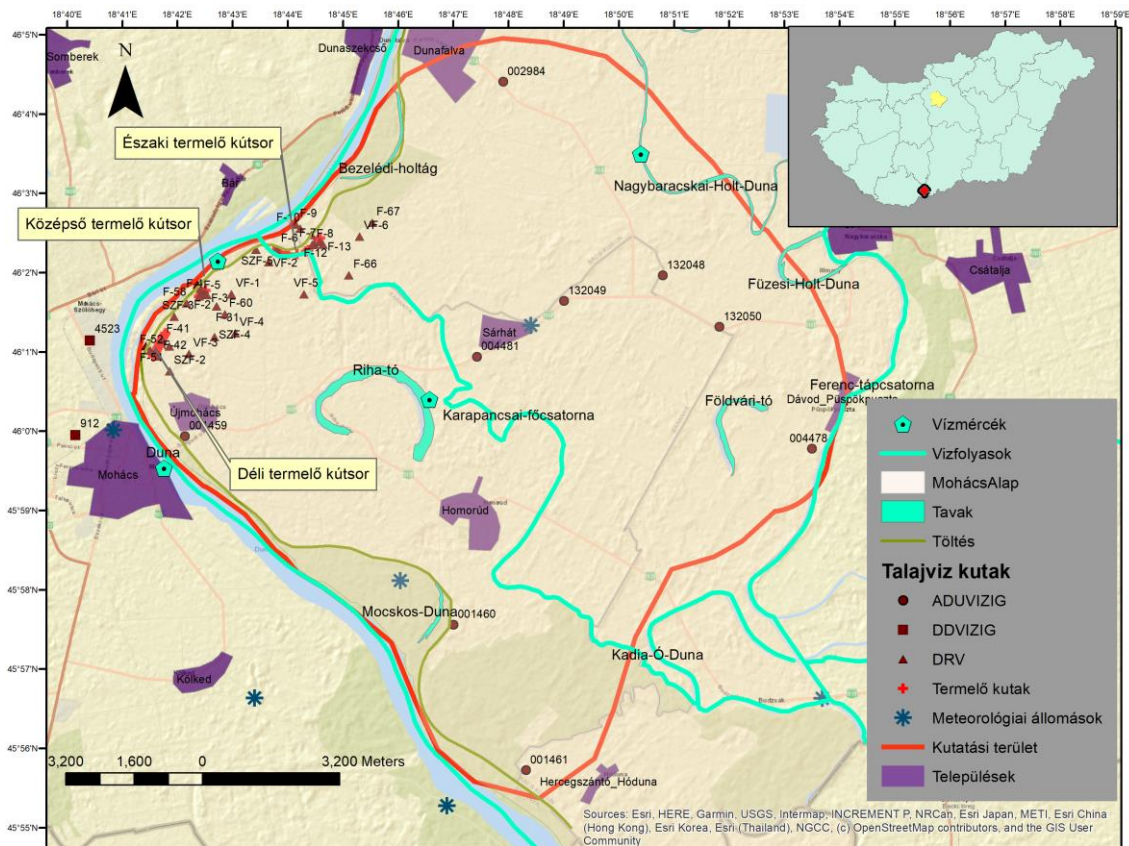
A 19. századi vízszabályozások az egykori vizes élőhelyek 97%-át szüntették meg hazánkban (SZILÁGYI F. 2007). A megmaradtakat napjainkban az egyre határozottabban érvényesülő kedvezőtlen antropogén hatások veszélyeztetik (RAKONCZAI J. 2006), melyek közül a legtöbb a szikes, valamint az ártéri élőhelyek esetében mutatható ki (BŐHM A. 2011). Környezetterhelést jelent számukra a tartósan magas vízborítás, vagy a vízszintingadozás gyakoriságának csökkenése (ISTVÁNOVICS V. – SOMLYÓDY L. 2002). A folyószabályozások következményeként feltöltődésük gyorsuló ütemű (SCHWEITZER F. 2001). A Mohácsi-szigetközeli gemenci Rezéti-Dunánál 2,7-5,7 cm közötti az évente lerakódó üledék vastagsága (TAMÁS E. – KALOCSA B. 2003). A folyószabályozás

következtében ezek az élőhelyek meglehetősen szétdarabolódtak, fennmaradásuk a megmaradt táji kapcsolódásaik függvénye (LÓCZY D. 2008). A meder mélyülés (TAMÁS E. – KALOCSA B. 2003) és az éghajlatváltozás miatt az aszályosodás komoly veszélyt jelent rájuk (RAKONCZAI J. 2006). Ezek a változások hatással vannak a vízminőségre, a talajtulajdonságokra és ezeken keresztül az élővilágra (MOLNÁR E. – CZÚCZ B. 2009). Az élőhelyek vízutánpótlása és a folyóval megmaradt kapcsolata rendkívül fontos fennmaradásuk szempontjából (LÓCZY D. 2008).

Az áradások, a folyó és a talajvíz, valamint a rétegvizek kapcsolatának vizsgálata létfontosságúvá vált nemcsak természeti, de társadalmi szempontból is. Az árterek – melyek a korábbi évszázadokban jelentős szerepet láttak el az árvíz kockázat csökkentésében – ma már nem tudnak megfelelő védelmet nyújtani. Az ártéri víztartó rétegek a folyószabályozás és az ipari forradalom következtében elszennyeződött folyóvizek mellett jelentős szerepet vállalnak a fogyasztásra alkalmas ivóvízkészlet tárolásában. Az édesvíz életünk nélkülözhetetlen feltétele és nem áll korlátlanul rendelkezésünkre (<http://www.ddvizig.hu/hu/viz-keretiranyelv-1>).

A folyami áradások gyakori kísérőjelenségei, a belvizek komoly károkhoz vezethetnek (GARCÍA-GIL, A. et al. 2015). Épületek rongálódhatnak meg a pórusnyomás növekedésével, öntözőrendszerek tömődhetnek el, szennyezőanyagok raktározódhatnak el a talajban. Az Elba 2002-es augusztusi áradása Szászországban rekord méretű talajvíz emelkedést eredményezett. A kár 6,2 milliárd euró volt, aminek 16%-át a belvíz okozta. Az 1999. évi májusi áradás idején az Aare folyón 481 millió euróba került a kárelhárítás Bern körzetében. A kár megközelítőleg 23%-át a belvíz okozta. A belvizek természetesen nem csak a folyók áradásához köthetőek, hanem heves csapadékeseményekhez is. Az ártéri víztározókban ennek a két folyamatnak az együttes vizsgálata szükséges.

A Mohácsi- vagy korábbi nevén Margitta-sziget Magyarország déli részén található kistáj (2. ábra), 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). E fordulat bekövetkeztéig, a pleisztocén végétől a Mohácsi-sziget teljes egészében a Duna árterületéhez tartozott. Az egyik oldalon a folyó ma is élő szekcsői főága, másik oldalon annak Bátánál kiágazó és Bezdánál újra beömlő baracskai ága szegélyezte és patakok, morotvák, holtágak tagolták a vizes élőhelyektől dús felszínét. A hozzávetőlegesen 322,0 km² kiterjedésű szigeten ma csak 25,0 km² (KOVÁCS D. 1978) a hullámtér és 297,0 km² a mentesített ártér. A mentesített részt az árterülettől egy 4-5 méter magasan kiemelkedő védőgát-gyűrű választja el.



2. ábra – A kutatási terület (szerkesztette: HERVAI A.)

A tájszerkezeti változások a Mohácsi-szigeten folyamatosan követték az ár- és belvízmentesítési munkálatokat (HERVAI A. – LÓCZY D. 2009). Az 1820-as évektől zajló töltésepítő munkálatok miatt az áradások egyre kevésbé érték el a szigetet, de az a 19. század végére elmocsarasodott. Az eredeti terveket, hogy mezőgazdasági területté alakítják a szigetet, akkor még nem tudták megvalósítani (BUZETZKY GY. 2002). A 20. század elején a belvízmentesítő munkálatok következményeképpen ténylegesen mezőgazdasági jellegűvé alakult a táj. A szántóföldi művelés lett a legjelentősebb gazdálkodási forma, a fokgazdálkodás teljesen eltűnt. A folyamszabályozás óta közel másfél méterrel mélyült a Duna medre (TAMÁS E. – KALOCSA B. 2003). Ez sajnálatos módon a hullámtéren is érzékeltette káros hatását, mivel a talajvíz is alábbszállt. Az ártéri folyómenti élőhelyek egyre jobban elvesztették a kapcsolatukat a folyóval. Termőhelyi igényüket már csak egyre közelebb a meder felé találták meg a növények, a távolabbi részokról eltűntek, kipusztultak. Az 1980-as években a szigetre vízkivételi műveket telepítettek, az engedélyezett vízkitermelés 33.000 m³/nap (MAJOR V. – SASS J. 2009), de elméletileg ennek a háromszorosa is kitermelhető (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986). A Pécs-Mohácsi Regionális Vízmű mohács-szigeti vízbázisa 27 dunántúli település vízigényét elégíti ki. A sérülékeny földtani közegben található három kútcsoporthoz összesen 25 termelőkút és három tartalékkút található (MAJOR V. – SASS J. 2009). A parti szűrős víz kitermelése ennek a folyótól a felszíntől elvágott ártérnek a természetes viszonyait tovább bonyolította. A Duna hatásterületén belül található vízbázisok utánpótlási viszonyait a Dunából származó beszivárgás és a háttérvíz kölcsönös viszonya és helyzete határozza meg. Ahogy minden ártérben a szivárgás iránya a partra merőlegesen a sziget belseje felé tart nagyvíz idején, kisvíz idején azonban a folyó felé tartó lassú visszaáramlás a jellemző (MAJOR V. – SASS J. 2009).

Maguk a parti szűrésű kutak is veszélyt jelentenek a sziget vízbázisára (MAUCLAIRE, L. – GIBERT, J. 1998). A gyors vízviszatöltődés helyi és időbeli változásokat eredményezhet a természetes partiszűrés képességében, és növeli a szennyező anyagok potenciális migrációját a felszíni vizekből a víztartó rétegbe. A nehézfémek koncentrációját is emelhetik a pH érték csökkentése miatt. A szivattyúzás folyamata nagy negatív hidraulikus gradienseket eredményez, és a felszíni vizet a parti és mélyebb rétegű üledékekbe továbbítja (VANEK, V. 1995), majd a kúttelepek műszaki talajvíz-utánpótlódási területekké válnak. Tehát a szivattyúzás által okozott műszaki újratöltés növeli a víztartó réteg sebezhetőségét.

A klímaváltozás szintén potenciális tájváltozást okozó veszélyforrás. A Mohácsi-sziget víztartó rétegeiben további vízszintcsökkenést és szárazodást okozhat. Az eutrofizáció a sziget megmaradt morotva tavaiban és fokjaiban felgyorsulhat (SIPKAY Cs. 2010) a víz gyorsabb és drasztikusabb felmelegedése miatt (MÁTRAI I. 2013). A talajvizek és az állóvizek szintje süllyedhet (KERTÉSZ Á. 2003) a klíma szárazabbá válásának következtében.

Az árterek és élőhelyeik védelméről különböző nemzetközi jogszabályok és irányelvek, illetve hazai jogszabályok gondoskodnak. A vizes élőhelyek első jogszabályi szintű definiálása és védelme fontosságának felállítása már az 1975-ös Ramsari Egyezményben megjelent (DÉVAI Gy. et al. 2002). A Magyarországon jelenleg is érvényben lévő 1996. évi LIII. törvény a természet védelméről szintén kiemeli a vizes élőhelyek védelmének jelentőségét (TAUBER Á. 2009).

Az ártéri élőhelyek védelme csak a biodiverzitás megőrzésével együtt valósulhat meg. A biológiai sokféleség megőrzéséről 1992-ben Rio de Janeiro-ban az ENSZ Környezet és Fejlődés konferenciáján hoztak döntést. Az itt megfogalmazott egyezmény célja a biológiai és genetikai sokféleség megőrzése és komponenseinek fenntartható használata (KERÉNYI A. 2003).

Az Európai Unió által az 1990-es években létrehozott Natura 2000 egy olyan összefüggő európai ökológiai hálózat, amely a közösségi jelentőségű természetes élőhelytípusok, vadon élő állat- és növényfajok védelmén keresztül biztosítja a biológiai sokféleség megóvását, és hozzájárul kedvező természetvédelmi helyzetük fenntartásához, illetve helyreállításához. A Natura 2000 hálózat az Európai Unió két természetvédelmi irányelve alapján kijelölendő területeket – az 1979-ben megalkotott madárvédelmi irányelv (korábban 79/409/EGK, jelenleg pedig a 2009/147/EK) végrehajtásaként a különleges madárvédelmi területeket és az 1992-ben elfogadott élőhely-védelmi irányelv (92/43/EGK) alapján a különleges természet-megőrzési területeket – foglalja magába (HARASZTY L. 2014).

Az Európai Unió Víz Keretirányelve (VKI) (2000/60/EK) szerint a vizek minőségében a „jó állapot” elérése a cél, amelyet vízgyűjtő szemlélettel érdemes megvalósítani. A Dunánál különösen fontos ez, mert nemzetközi vízgyűjtő. Megóvására 1994-ben a Duna védelméről és fenntartható használatáról szóló Szófiai Egyezmény is létrejött. Ennek az egyezménynek keretében a Duna menti országok megállapodtak a Duna és vízgyűjtője vízi környezeti, vízminőségi és hidrológiai potenciáljának megóvásában. Az Európai Nitrát Irányelv is a vizes élőhelyek jelentőségét hangsúlyozza a felszíni vizek védelmében (ISTVÁNOVICS V. – SOMLYÓDY L. 2002).

A VKI kitér nemcsak a felszíni, hanem a felszín alatti víztestek védelmére is (<http://www.ddvizig.hu/hu/viz-keretiranyelv-1>). Ezek szerint a tagállamoknak feladatuk védeni, javítani és helyreállítani az összes felszín alatti víztestet, továbbá biztosítani az egyensúlyt a felszín alatti víz kitermelése és utánpótlódása között, azzal a céllal, hogy elérjék a felszín alatti vizek „jó állapot”-át. A VKI a következőt mondja ki: „Egy felszín alatti víztest mennyiségi állapota hatással lehet a felszíni vizek ökológiai minőségére és

az azzal a felszín alatti víztesttel kapcsolatban levő szárazföldi ökoszisztémákra”. A VKI a tagállamok számára elemzések elkészítését javasolja a „jó állapot” elérésének érdekében, melynek meg kell határozni többek között a felszín alatti víztest vagy víztestek elhelyezkedését és határait és azokat a terheléseket, amelyek a felszín alatti víztestet valószínűleg érik, ideértve:

- a diffúz szennyezőforrásokat
- a pontszerű szennyezőforrásokat
- a vízkitermelést
- a mesterséges vízvisszapótlást
- a fedőréteg általános jellegét azon a vízgyűjtőn, ahonnan a felszín alatti víz az utánpótlását kapja
- azokat a felszín alatti víztesteket, amelyekről felszíni vízi- vagy szárazföldi ökoszisztémák közvetlenül függenek.

Munkámban megvizsgáltam a tájváltozások mértékét a 18. század végétől a 20. század közepéig. Összegyűjtöttem és értelmeztem a legfontosabb térképeket, amelyek bemutatják, hogy a tájváltozás hogyan alakult és milyen hatása volt a sziget talajának és hordalék anyagának szerkezetére. Munkám során felhasználtam az első, második és a harmadik katonai térképezést, illetve a kevésbé ismert Duna mappációt a 18-19. századi táj rekonstrukciójára. A beszkenelt térképlapokat digitalizáltam és vektoros tájtérképet készítettem belőlük. Ezeket összehasonlítottam az 1952-es és 1987-es topográfiai térképekből, illetve a 2012-es Corine Land Cover (CLC) téradatbázisból szintén általam készített tematikus tájtérképekkel. Az eredményeket táblázatban és diagramon is megjelenítettem. Vizsgálataimat néprajzi adatokkal is kiegészítettem. Megvizsgáltam az erdők természetességének változását. A 2017-es erdőtag adatbázisból készített természetességi térképet összehasonlítottam a KOVÁCS GY. és DEME T. (2008) által hasonló módszertani szempontok szerint készített tematikus térképpel.

A talajvíz a víztartó rétegen keresztül az egész szigeten még ma is kapcsolatban áll a Dunával. Az áradások ugyan már nem érik el a töltések miatt a sziget belsejét (csak a part menti árteret), de a felszín alatt a víz nyomásának terjedésével megnövelik a talajvizet. Ezáltal valamiféle vízutánpótlást biztosítanak az ott található területeknek. Ennek a kapcsolatnak a pontos felmérése, területi elterjedése rendkívül fontos feladat, mind az áradásokkor, mind az alacsonyabb vízállásokkor, melyet VKI is kiemel.

20 éves napi talajvíz adatsor állt rendelkezésemre 47 darab talajvíz figyelőkútra és Duna vízállás adatokra, illetve 10 éves idősor 25 darab termelőkútra a Mohácsi-sziget területén. Továbbá rendelkeztem 6 darab meteorológiai állomás különböző hosszúságú napi csapadéértékeinek idősorával. A figyelőkút adatait összehasonlítottam a Duna vízállásadataival. 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 segítségével kiterjesztettem a termelőkutak és a csapadék napi adatsoraira. Ezek segítségével térképet készítettem a különböző független változók (Duna, termelőkutak vízszintje és napi csapadék adatok) összhatásának bemutatására. Átnéztem a kutatási területen található vízföldtani fúrásnaplókat. Irodalmi adatok segítségével fedetlen földtani térképet szerkesztettem a vízzáró pannóniai réteg mélységének és a fedő agyagréteg vastagságának bemutatására. A középső termelőkútsor szélességében keresztzelvényt készítettem a geológiai rétegsorok szemléltetésére. A földtani térképet összehasonlítottam az általam interpolált Duna-hatás és talajvízterjedési térképekkel és ezek alapján kerestem földtani magyarázatot a területi különbségekre.

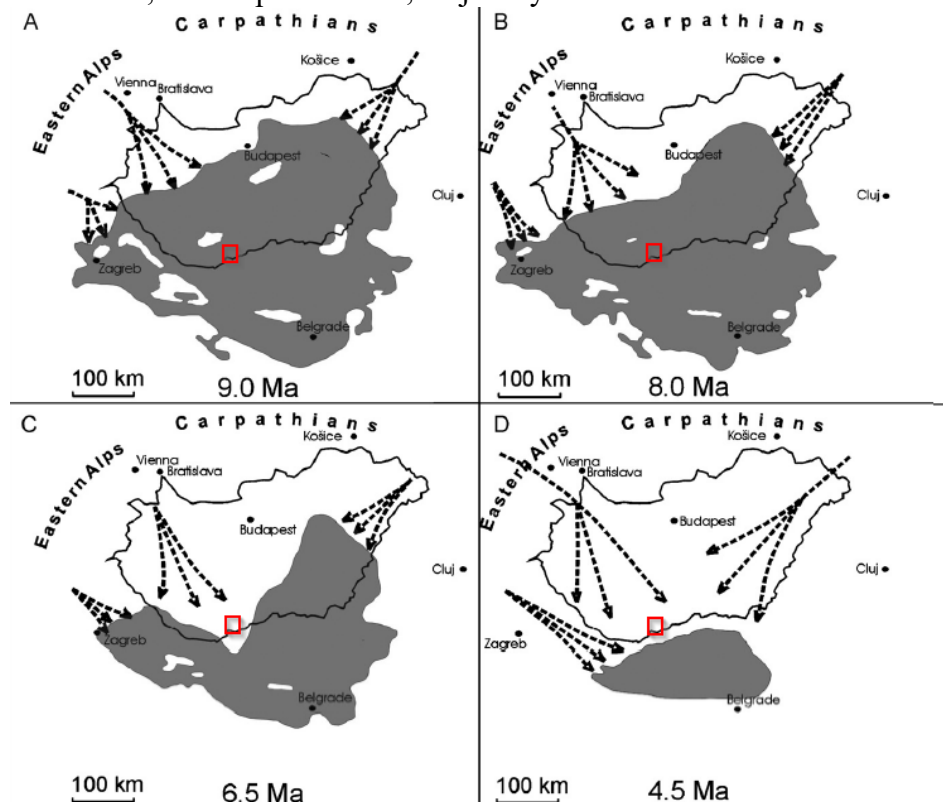
2. A szakirodalom áttekintése és értékelése

2.1. Mohácsi-sziget természetföldrajzi bemutatása

A Mohácsi-sziget (vagy Margitta-sziget) Baranya és Bács-Kiskun megye területén fekvő 322,0 km² kiterjedésű kistáj. Nyugatról a Duna, keletről pedig a Baracskai-Duna (ma már csak holtágak és csatornák rendszere), és a bácskai terasz határolja. A sziget ártéri síkság, melynek tengerszint feletti magassága 85 és 90 m között változik. A relatív relief értéke 2m/km², ami nagyon alacsonynak számít (ERDŐSI F. – LEHMANN A. 1974). A terület jórészt ártéri síkságból, ár- és belvízveszélyes alacsonyártérből tevődik össze, melyeket helyenként magasártéri ármentes felületek szakítanak meg. Felszínformái közt találunk morotvatavakat és morotvaroncsokat, melyek gyakran válnak mocsarassá a rossz lefolyás következtében. A felszínt és a közelében lévő rétegeket holocén folyóvízi üledék, iszapos hordalékrétegek borítják, kivéve az ÉNy-i peremet.

2.1.1. Kialakulása

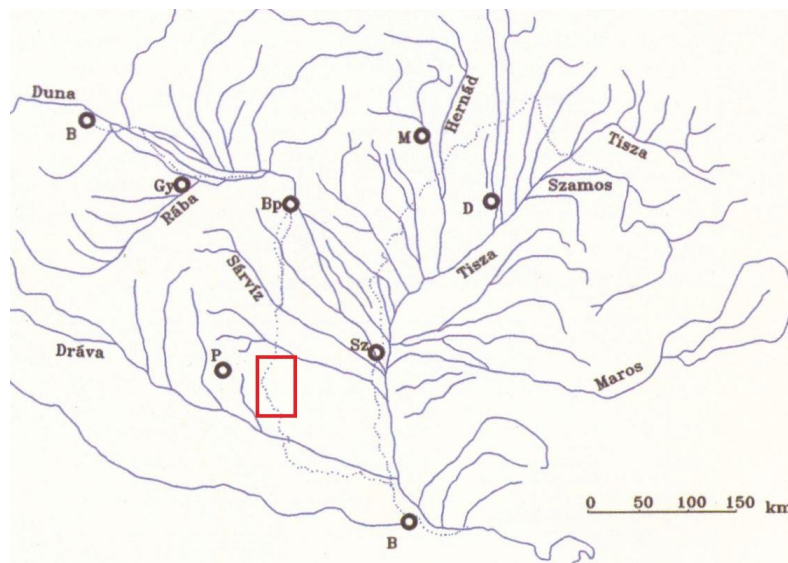
A pannóniai korszakban az Alföld jelentős részén a Paratethys tengerágból visszamaradt Pannon-tó terült el (3. ábra). A tó az időszak végére fokozatosan elzáródott és feltöltődött. A Duna a pliocén elejétől a pliocén végéig Brucki-kapun átlépve a mai Dunántúlon keresztül a Szlavón-beltő irányába folyt. A Mohácsi-sziget mai területe folyamatosan töltődött, eleinte pannon tavi, majd folyami üledékkel.



3. ábra – A Kárpát-medence vízhálózatának változása a miocénban és a pliocénban Magyar Imre szerint (a Mohácsi-sziget helyét piros téglalap jelöli; GÁBRIS Gy. – NÁDOR A. 2007 és MAGYAR I. et al. 1999 alapján)

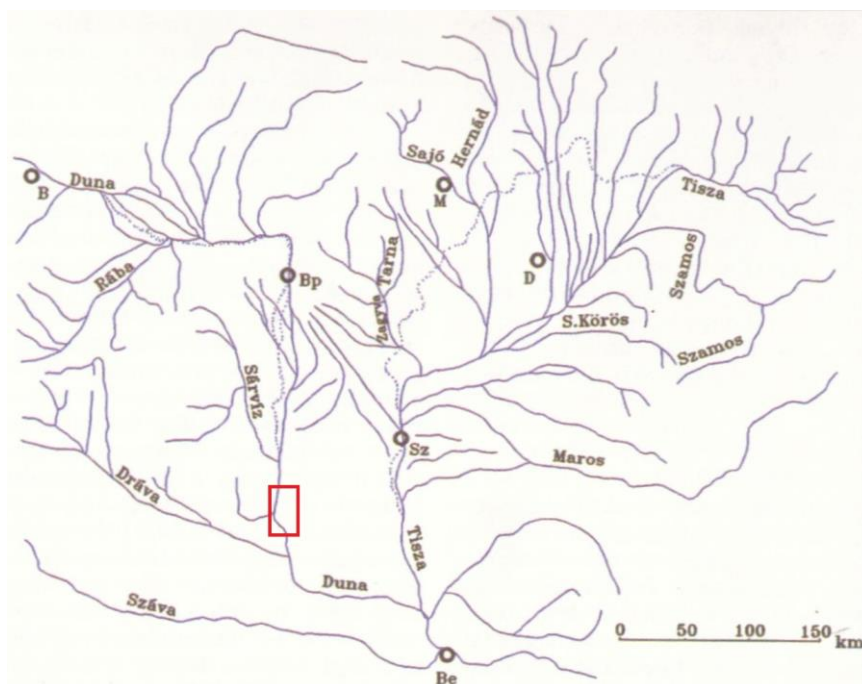
Az Alföld feltöltését ebben az időszakban a Tisza és a Kárpátokból érkező folyók végezték. A sziget mai területe ebben az időben már szárazulat lehetett egy fluvio-lakusztikus környezet részeként, de sem a Duna, sem a Dráva nem közelítette meg.

A pliocén-pleisztocén határán alakult ki a Duna visegrádi szakasza (amiről a Pesti-síkság hordalékkúpjai tanúskodnak). A Délnyugat-Dunántúl emelkedni kezdett, miközben a Tisza menti Alföld további erőteljes süllyedése ment végbe. A Börzsöny és a Visegrádi-hegység emelkedésével lépést tartva a folyó bevágódott és megtartotta útvonalát (4. ábra). A Duna még a mai Maros-torkolat vidékén elhelyezkedő erózióbázis felé folyt. A Mohácsi-sziget mai területéhez közeli Dávodról 96–98 méter mélységközből került elő Mollusca-fauna kíséretében a *Mimomys savini* Hinton faj, amely a korapleisztocén fiatalabb szakaszát (alsó-bihari) képviseli (KRETZOI M. – KROLOPP E. 1972).



4. ábra – Kárpát-medence vízhálózata a negyedidőszak elején – Borsy Zoltán szerint (a Mohácsi-sziget helyét piros téglalap jelöli; SOMOGYI S. 2003 alapján)

A pleisztocén végén a Ráckeve-Dömsöd-Kalocsa-Kecel-Mohács süllyedéssorozat kialakulása miatt (SOMOGYI S. 2003) a mai É-D-i iránnyal Mohács felé fordult a Duna (5. ábra). Ez a folyamat szakaszosan mehetett végbe, közben a dél-alföldi süllyedés intenzitása csökkent.



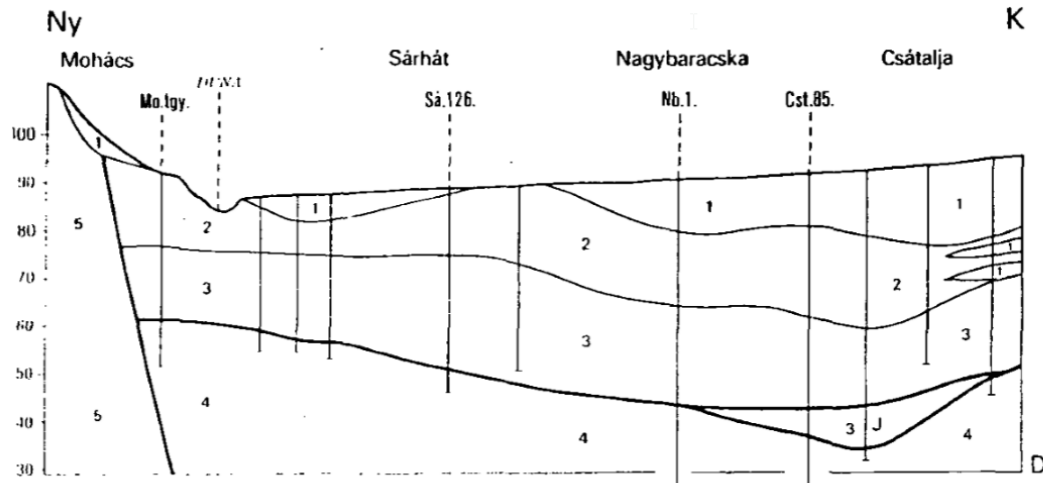
5. ábra – A Kárpát-medence vízhálózata a würm glaciális végén (mintegy 20-25 ezer éve) Borsy Zoltán szerint (A Mohácsi-sziget helyét piros téglalap jelöli; SOMOGYI S. 2003 alapján)

A kavicsos rétegek lerakódása a Mohácsi-szigeten csak a negyedidőszak egy részére szorítkozott és megszakítatlanul ment végbe (JASKÓ S. – KROLOPP E. 1991). Elterjedt az a felfogás, hogy ezek a kavics- és kavicsos homokrétegek már a késő-pleisztocénben létrejöttek, és csak a jelenlegi árteret borító felső iszap- és homoklerakódások holocén korúak (PÉCSI M. 1959, ERDÉLYI M. 1967, ALTNÖDER A. et al. 1988). A folyóvízi lerakódások fekélyében helyenként tarkaagyagok találhatóak. Egyesek ezeket a pleisztocén legidősebb képződményének tekintik (ERDÉLYI M. 1955). Mások a Nagyalföldi Tarkaagyag Formáció részeként hivatkoztak rá (JÁMBOR Á. et al. 1988), szerintük a réteg a pliocén legfiatalabb záróképződménye volt. A Nagyalföldi Tarkaagyag Formációt a mai rétegtani leírásokban felső-pannóniai képződménynek tekintik (GYALOG L. 2005).

Néhány kutató szerint a sziget kialakulásában közrejátszhatott, hogy az északi végénél egy mezozoos mészkőrög volt a felszínen (SZENTHE I. 2003, KONKOLY S. 2015) Váripusztá környékénél, amely ollószerűen két ágra nyitotta a Duna folyásának irányát. Ahol ez a mészkőrög állt korábban (Füzeséri–Holt–Duna-ág nyugati partján), ott a felszínhez nagyon közel ma is megtalálható ez a mecseki triász rétegekkel megegyező üledék. A víz itt részben karsztos víznyelőkbe távozik (SZEDERKÉNYI T. 1997). Az 1960-as években még szálaban álló kibúvás volt a felszínen.

A holocénben a Duna keletről haladt nyugati irányban a terület süllyedése miatt (LÓCZY L. 1912). Több középkori térképen tűnik nagyobbak a baracskai Duna-ág (FALUDI G. – NEBOJSZKI L. 2008), a római kori limes azonban a szekcsői Duna-part mellett található és a sziget jobb oldalán volt a római kori túlparti ellenerődítmény is. Ez a tény viszont arra utalhat, hogy már ebben a korban is a szekcsői ág lehetett a szélesebb (KONKOLY S. 2015).

A Duna és talajvíz közötti kapcsolatot elsősorban a vízzáró pannóniai rétegekre települő hordalékkúp vastagsága, szélessége és felépítése határozza meg.



6. ábra – A Mohácsi-sziget Mohács és Csátalja közötti földtani szelvénye. 1 – agyag; 2 – homok; 3 – kavics és homok; 4 – agyag és finom szemű homok (pannóniai); 5 – triász mészkő és dolomit; K – Kalocsai Tagozat; T – Tolnai Tagozat; J – Jánoshalmi Tagozat (JASKÓ S. – KROLOPP E. 1991 alapján)

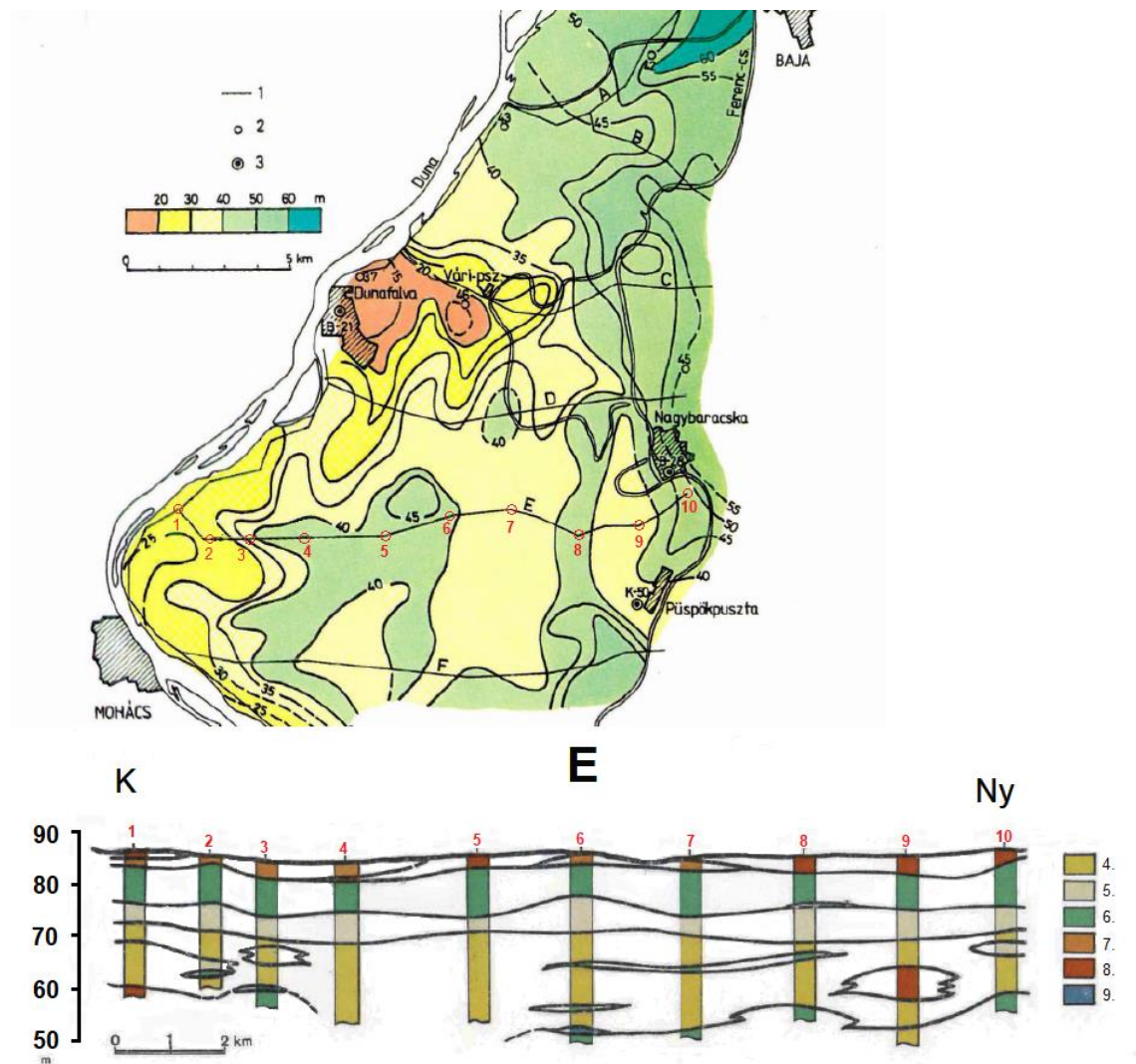
2.1.2. Felszíni képződmények

DRASKOVITS P. és JÓSA E. (1986) a 1980-as évek elején MGS (Mérnök Geofizikai Szondázás) és VES (Vertikális Elektromos Szondázás) méréseket végzett a területen. Eredményeik szerint a fedőt változatos kifejlődésű öntésképződmények – főleg agyag, öntésiszap, homoklisztes iszap és iszapos homokliszt – építik fel. A felszíni képződmények vastagsága általában csak néhány méter (6. ábra), mindenütt kisebb, mint 10 m (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986), anyaguk meglehetősen változatos. Elsősorban a talaj és a hordalékkúp talajjal egybeolvadó eltömődött rétegéből áll. Ellenállása a terület nagyobb részén 20-30 Ω m. Rossz vízvezető képességük miatt ezek a képződmények felszíni vízzáró védőösszletnek tekinthetők. A Mohácsi-sziget, amióta a Duna a pleisztocén végén ebbe az irányba fordult, ártéri táj volt. A területen ligeterdők és mocsarak, mocsárrétek voltak találhatóak. Az áradások az árterületre hordott apró szemcsék miatt gyakran eltömítik a felszín közeli hordalékot (WETT, B. et al. 2002, VEKERDY Z. – MEIJERINK, A.M.J. 1998). A part közeléből azonban az évenkénti többszöri áradások ki is söprik a homok és a kavicsos rétegek közül az agyagszemcséket. A Mohácsi-sziget felszíni képződményeinek tömörödöttségét a töltések létrejötte és a belvízelvezetés kialakulása között fellépő mocsarasodás alakíthatta ki (HERVAI A. et al. 2020b). A sziget lecsapolása után, amely a 20. század elejére tehető, intenzív mezőgazdaság jött létre a terület nagy részén (ERDŐSI F. – LEHMANN A. 1974). Így a talajtömörödés már legalább 100 éve folyik. DRASKOVITS P. és JÓSA E. (1986) egyedi pontokon történő VES mérése durva homok- és kavicsrétegekre utaló 100 Ω m körüli vagy még nagyobb ellenállású képződményeket mutatott ki, amelyek elősegítik a beszivárgást.

2.1.3. Hordalékkúp

A Mohácsi-szigetnél a Duna-völgy fiatal fluviális lerakódásai önálló kőzetformációt alkotnak, amelyet korábban Pestkörnyéki Kavics Formáció (PKF) néven illettek (JASKÓ S. – KROLOPP E. 1991). A PKF a mai rétegtani leírásokban már nem szerepel, az elnevezést a folyóvízi üledék, azon belül is a hordalékkúp váltotta fel (GYALOG L. 2005). Az 1980-as évek óta azonban nem történt részletes geológiai kutatás a szigeten, ezért én a dolgozatban továbbra is a korábbi kifejezéseket használom. A PKF

három tagozatra oszlott (Kalocsai, Tolnai és Jánoshalmi Tagozat), mindegyik a legdurvább szemcseméretű üledékkal kezdődik, majd felfelé haladva a szemcseméret finomodik. Ezek közül bizonyítottan csak a Jánoshalmi Tagozat jelenik meg a vizsgált területen közelében, 10-15 vastagságban, Nagybaracskától keletre. Gyakori eset, hogy alulról felfelé kavics, kavicsos homok, homok, iszap és agyag következik egymásra (6. ábra). A fúrások 33 méter alatt kora-pleisztocén rétegeket harántoltak őslénytani adatok alapján. A Jánoshalmi Tagozat idősebb kora-pleisztocén korú (alsó-bihari legalja – felső-villányi). A hordalékkúp ellenállása duplája a felszíni képződménynek, 40 és 70 Ω m közötti. Ellenálláscsökkenés csak a várpusztai aljzat kibúvás körzetében észlelhető, a Ferenc-csatornától keletre, tehát a szigeten kívül lényegesen növekszik. A hordalékkúp vastagsága (7. ábra) a várpusztai aljzat kibúvás körzetében a legkisebb, 10-15 m alatti (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986).



7. ábra – A Duna hordalékkúpjának vastagsága a Mohácsi-szigeten. 1 – mérnökgeofizikai szondázások nyomvonala; 2 – a kutatás során mélyített fúrás; 3 – aljzatot ért fúrás; 4 – durva homok, homokos kavics; 5 – aprószemcsés homok; 6 – finom homok; 7 – iszaposfinom homok; 8 – iszapos kőzetliszt; 9 – mocsári képződmények (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986 alapján szerkesztette: HERVAI A.)

Itt a hordalék és a pannóniai agyagok kevésbé határozottan különülnek el egymástól, ami az egész körzetnek a Dunával való vízföldtani kapcsolatát csökkenti. E részterülettől eltekintve a hordalékok vastagsága Dunafalva körzetében, valamint a mohácsi és attól délre levő 1-2 km-es parti sávban a legkisebb, de a 20-25 métert itt is

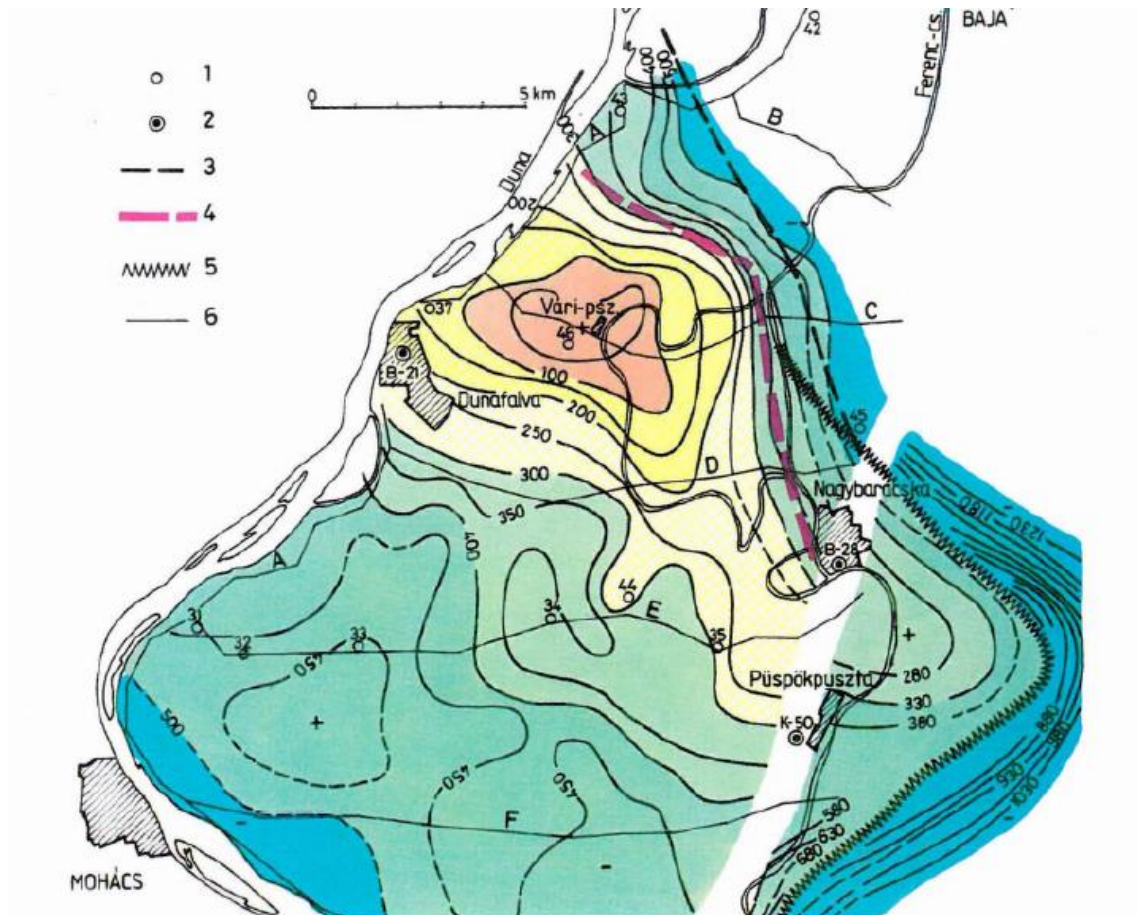
eléri. A vastagsága a Dunától kelet felé haladva általában növekszik: Nagybaracskától keletre, valamint Bajától északra az 55-60 m-t is eléri. A sziget legnagyobb részén a hordalékkúp geoelektromos szempontból egyetlen réteggént jelentkezik. Néhány helyen 2 vagy 3 rétegre bomlik, ami valószínűleg a Pestkörnyéki Kavics Formáció különböző tagozatait, elsősorban a Jánoshalmit tükrözi (JASKÓ S. – KROLOPP E. 1991).

Ugyanakkor a mérnökgeofizikai szondázások a hordalékkúpot két szakaszra bontják (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986). A felső szakaszt zömmel vízáramlás szempontjából kedvezőtlen szemcseösszetételű finomhomok rétegek építik fel. A szakaszon belül felülről lefelé haladva folyamatos szemcsenövedés tapasztalható. A homokban helyenként iszapos közbetelepülések, szerves anyagot tartalmazó mocsári üledékek fordulnak elő (7. ábra). Ennek a szakasznak a felszínét is a Duna pleisztocén végi feltöltése alakította ki. Az üledék felfelé finomodó folyóvízi ciklus. A Duna dél felé tolódott el, ezért a pleisztocén kavicsos homok vékonyodik északról délre.

Ezalatt következik az alsó alluvium, ahonnan a termelőkutak a vizet nyerik. Az MGS mérések csak a mérési pontok kisebb részén tudták a talpát is elérni (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986). Anyaga erősen rétegzett: homok, kavicsos homok, homokos kavics, néhol kavics alkotja, a hordalékkúpoknál megszokott szeszélyes településsel. Ebben a legkedvezőbb víztartó összetételben is található iszapos közbetelepülések és szintén mocsári üledékek (7. ábra). Ezek feltehetőleg a hordalékkúp képződése során kialakult lokális mocsarak maradványai. A hordalékkúp fekéjében helyenként előfordulnak teresztrikus tarkaagyagok. A kora-pleisztocén korú, édesvízi fáciesű faunát tartalmazó rétegek és a pannóniai korszak üledékei között nincs éles közzethatár (JASKÓ S. – KROLOPP E. 1991). A pleisztocén vastagságát Zomborban a sziget déli csücskénél mélyített fúrások 67 m-nek találták (ERDÉLYI M. 1967).

2.1.4. Pannóniai rétegek

A felszíni vízfolyás és a talajvíz közötti áramlást jelentősen meghatározzák a talaj alatti üledékretegek. A vízáramlás szempontjából elsősorban a fedőjük mélysége lényeges, de a vastagságukat is szükséges ismerni. A hordalékkúp alatt települnek a nagy vastagságú, vízzáró pannóniai agyagos képződmények. Ezek a terület legnagyobb részén egyetlen, zömmel 8-15 Ω m ellenállású réteggént jelentkezik. Néhány viszont – legnagyobb összefüggő foltban a Mohácstól K-re eső részen – 2 vagy 3 rétegre tagolódnak. Feltételezhető, hogy ezt a kivastagodó pannóniai üledékek homokosabb, több törmelékkel tartalmazó szintjei okozzák (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986).



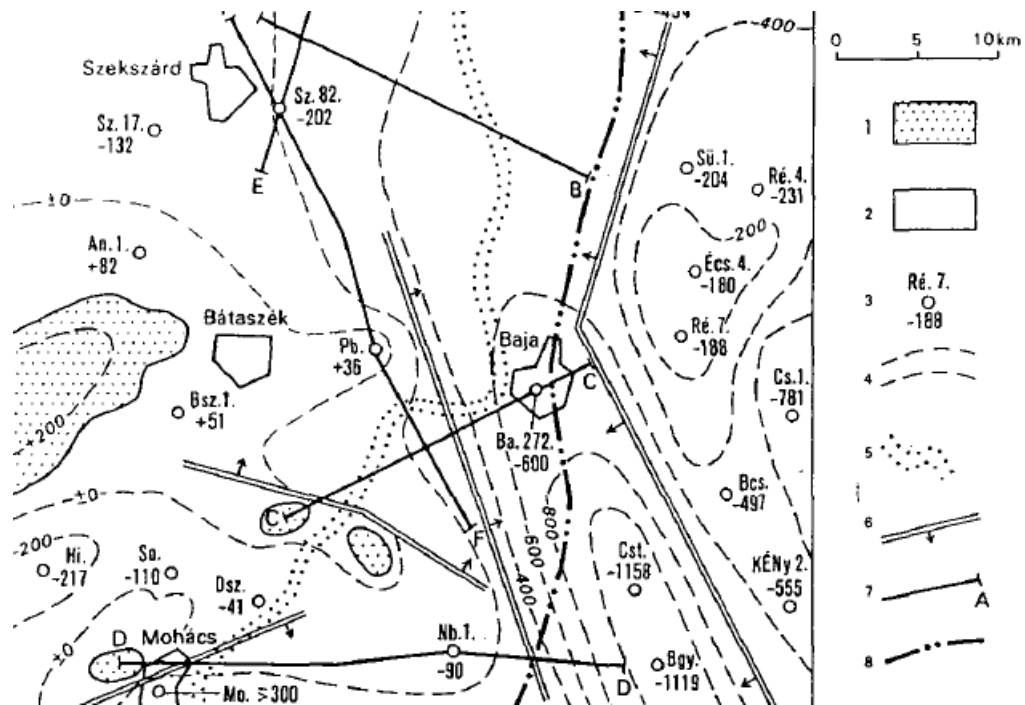
8. ábra – A nagy ellenállású aljzat közelítő mélysége a Mohácsi-szigeten. 1 – a geofizikai kutatás során mélyített fúrás; 2 – aljzatot ért fúrás; 3 – szondázási görbéken jelentkező közepes ellenállású képződmények (fúrás alapján miocén) elterjedések DNy-i határa; 4 – törésvonal a VES alapján; 5 – törésvonal a szeizmika alapján; 6 – mérnökgeofizikai szondázások nyomvonala (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986)

Taljuk csak Váripusztánál található a felszín közelében, dél felé haladva a mélybe süllyednek, és Mohácsi-sziget keleti és nyugati szélén éri el az 500 méteres mélységet, onnan tovább mélyül (8. ábra). A sziget ÉK-i sarkában az aljzatot el nem ért valamennyi fúrás görbéjén a pannóniai réteg alatt nagy vastagságú, az agyagoknál mintegy kétszer nagyobb ellenállású összlet észlelhető (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986). Ez minden bizonnyal miocén agyagmárga. A görbékből felismerhető miocén képződmények elterjedési határát a 8. ábrán vastag fekete szaggatott vonal jelzi. A tényleges elterjedési határ nyilván ettől DNy-ra húzódik, ugyanis a pannóniai-miocén aljzat középső rétege a szondázási görbékből csak akkor ismerhető fel, ha a réteg vastagsága legalább néhányszor meghaladja a felső (pannóniai) réteg vastagságát.

2.1.5. A sziget tektonikája

A víz áramlását a tektonikai eredetű formák is meghatározzák. A Duna folyásirányát megváltoztatta a Bajai-süllyedék. Ez a tektonikai forma Bajánál 8-10 km átmérőjű É-D-i irányban megnyúlt, 70 m mély, a Kalocsai-süllyedék folytatása (JASKÓ S. – KROLOPP E. 1991). Néhány km-rel DK felé, a Ferenc-csatornától és az országúttól K-re, ez a vető ÉK-DNy irányba fordul (a 9. ábrán a negyedidőszaki süllyedék tengelye). A kalocsai és a bajai süllyedékeket egymással összekötő szinklinális vonulat nyugati szárnya széles és enyhén emelkedik a Duna felé, a keleti szárnya pedig keskeny és meredekebb (JASKÓ S. – KROLOPP E. 1991). A pannóniai talpmélység térképen

megfigyelhető, hogy a Bajai-süllyedék aljában ebből az időszakból is megtalálható egy árok, amely a süllyedék tengelyét követi (9. ábra). Tehát egy idősebb tektonikai vonal továbbcsüllyedése hozta létre a bajai árkot. Ez a süllyedék határozhatta meg a Duna eredeti folyásának irányát, a Baracscai-Duna-ágot.



9. ábra – Mohácsi-sziget környezetében megfigyelhető tektonikai elemek a pannóniai üledékek megjelenésének mélységével. 1 – Pannóniai idősebb képződmények a felszínen; 2 – a pannóniai üledékek elterjedése; 3 – mélyfúrás jele, száma; 4 – a pannóniai talp szintvonalai a tengerszinttől számítva; 5 a Duna jelenlegi medre; 6 – törésvonal; 7 – szelvényirány; 8 – a negyedidőszaki süllyedék tengelye (JASKÓ S. – KROLOPP E. 1991. alapján)

Jellegzetes tektonikai forma a felszínen a bátai kiemelkedés, amelyik a Mórágyméző-hegységhez tartozik Bátánál egy háromszög alakú területen (JASKÓ S. – KROLOPP E. 1991). Itt elvékonyodnak a folyóvízi lerakódások (7., 8., 9. ábra). Ennek a kiemelkedésnek a része a váripusztai mészkőrög. Az itt található fúrásoknál gyakran hiányzik a kavics, néhány méter iszap harántolása után mindjárt az kora-pleisztocén (vagy késő-pliocén) korú vörös agyagot érték el (ALTNÖDER A. et al. 1988). Helyenként a felszínen, illetve a felszín közelében megjelenik a triász mészkő is, Mohácsnál azonban már nem figyelhető meg. A bátai kiemelkedést délről határoló törésvonal kiterjedését a Mohácson 1939-ben végzett artézi kútúrás adatai bizonyítják. Ez a fúrás 300-390 m mélységközből jellegzetes pannóniai Mollusca-faunát hozott fel, s ezután még 607 m mélységig hatolt le anélkül, hogy a triász kőzeteket elérte volna (JASKÓ S. – KROLOPP E. 1991). Itt tehát több, mint 600 m-t hirtelen süllyed az alaphegység a bátai kiemelkedés peremén. A terület süllyedése és a szerkezeti irányok ÉNy-DK-iek.

2.1.6. Morfológia

A würm végétől a sziget morfológiai jellemzőit a Duna korábbi felszín átalakító munkája határozta meg a folyószabályozásokig (PÉCZ T. 2016). A Duna és mellékágainak középszakasz jellegű, kanyarulatépítő és kanyarulatátvágó, hordalékfeltöltő tevékenységének eredményei a mai napig megfigyelhetők a felszín mikrodomborzatában (LÓCZY D. – GYENIZSE P. 2011). Az alacsonyártéri szint (84-85 mBf), amelyet majdnem

lehetetlen elkülöníteni a magasártéri szinttől, melynek átlagos magassága (86-87 mBf). A magasárterek, inaktív folyóhátak mozaikszerűen tagolják az alacsonyártereket. Korábban az áradásokkor ide terelték az állatokat, a szállások is itt voltak találhatóak (MOLNÁR G. 1993), mint ahogy a keményfás ligeterdők is (KOVÁCS GY. – DEME T. 2008). A hajdani folyómedrek helyéről árulkodnak a még jelenleg is vízzel teli morotvák: a Riha-tó és Földvári-tó. A legmélyebb térszínek az ártéri lapályok (LÓCZY D. – GYENIZSE P. 2011) és a morotvatavak.

A felszín fejlődése már nem kizárólag természetes úton történik, az emberi beavatkozások és társadalmi folyamatok is komoly befolyással bírnak, amióta védgátak és vízvezető csatornák épültek, amelyekkel a folyóvizet zárták ki a területről (ERDŐSI F. – LEHMANN A. 1974). Ilyen beavatkozásnak tekinthetjük például az új patakmedrek kiépítését és szabályozását, az állandóan ismétlődő talajmunkákat, melyek fokozzák az eróziót, lazítják és egyengetik a felszínt, vagy például a mélyebben fekvő részek mesterséges feltöltését.

A felszín a szántóföldi művelés, és a nagy esőzések talajra gyakorolt eróziós és akkumulációs hatása révén kisimult. A légi felvételeken és háromdimenziós domborzati modelleken azonban a mai napig megfigyelhető az övzátonyok és sarlólaposok sorozata, amelyek korábban az uralkodó morfológiai elemek voltak a szigeten (LÓCZY D. – GYENIZSE P. 2011). Jelenleg csak akkor végez a folyó átmenetileg felszínalakító tevékenységet, ha az árvizek következtében katasztrofális gátszakadások lépnek fel. A korábbi áradások miatt, ahogy az előző fejezetekben leírtam a Mohácsi-sziget felszínét iszapos hordalékrétegek borítják, míg a mohácsi kistérség árvízmentes keleti részein 15-20 m vastagságú lösztakaró található.

2.1.7. Talaj

Az alacsonyártér öntéstalajai – karbonátos humuszos öntés (Calcaric Humic Fluvisol), réti öntés (Gleyic Fluvisol), karbonátos öntés réti talajok (Fluvisol Calcic Gleysol) – adják a kistáj területének 90%-át. A Dunát kísérő nyers öntéseknek (Fluvisol) mindössze 20%-át hasznosítják szántóként (MAROSI S. – SOMOGYI S. 1990). A vályog mechanikai összetételű nyers öntéstalajokat 75%-a rét, 20%-a ligeterdő. Fennmaradó hányaduk vízborított. Az agyagos vályog fizikai féleségű öntéstalajokat a K-i, magasabb magasabb térszíneken vályog és homokos vályog fizikai féleségű réti öntéstalajok váltják fel. Szántóként 65%-uk, ligeterdőként 25%-uk hasznosított (DÖVÉNYI Z. et al. 2010). Ahol azonban a tájat a mezőgazdaság már százötven éve alakítja, a talajok is átalakultak. A sziget rendszeresen szántott területein már a karbonátos réti talajok (Calcic Mollic Gleysol) is gyakoriak (MOLNÁR I. – VANCURA Z. 1982).

2.1.8. Éghajlat

A kistáj meleg, mérsékelt száraz éghajlatú (MAROSI S. – SOMOGYI S. 1990). Az évi középhőmérséklet 10,5-10,8 °C. A legmelegebb nyári napok maximum hőmérsékletének éves átlaga 34,7 °C, a leghidegebb téli minimum pedig -16,0 és -16,5 °C közötti (KONKOLYNÉ BIHARI Z. et al. 2008). Az éves csapadékmennyiség 590-610 mm, ebből 330 mm jut a nyári félévre. Az ÉNy-i a legjellemzőbb szélirány (BIHARI Z. et al. 2011), 2,5 m/s-os átlagsebességgel. A napsütéses órák száma éves szinten 2060-2070 óra (a nyári időszakban 820-830 óra), ebből a szempontból Magyarországon itt találhatóak a legmagasabb értékek (KONKOLYNÉ BIHARI Z. et al. 2008). Mérsékelt száraz vízhiányos terület (MÁTRAI I. 2013), az ariditási index 1,14-1,24 közötti (DÖVÉNYI Z. et al. 2010). A csapadék és a párolgás különbségek vizsgálata alapján a márciustól októberig tartó időszakban negatív vízmérleg a jellemző. A jövőben is a nyári félévi

vízhiány növekedése várható a szigeten. A hosszú tenyészidőszak kedvező a legtöbb szántóföldi és kertészeti kultúra számára (MAROSI S. – SOMOGYI S. 1990).

A Borhidi-féle klímaelemzés szerint, mely a növények ökológiai igényeit veszi figyelembe, erdőssztyepp klíma uralja a térséget (KOVÁCS GY. – DEME T. 2008). A besugárzás és hőmérsékleti viszonyok ideálisak az erdőknek, de a csapadék mennyisége kevés. A 2021. évtől a 2050. évig terjedő időszakokra vonatkozó évi középhőmérsékletek változása biztosan nagyobb lesz az ország teljes területén, mint 1 °C és biztosan kisebb, mint 2,5 °C. Az évszázad végére csaknem teljes bizonyossággal mondható, hogy a melegedés mindenütt meghaladja a 3 °C-ot, de 5 °C-nál kisebb lesz (BARTHOLY J. et al. 2011).

A Duna menti élőhelyek szempontjából a szárazodás a leginkább veszélyeztető tényező. Hazánk területére vonatkozó csapadék-előrejelzés szerint kismértékű csökkenésre számíthatunk az ország déli részében (PÉCZ T. 2016). A nyári hónapok csapadéértékeit kiemelten súlyozó PÁLFAI-féle aszályossági index szerint (PÁLFAI I. 1989) a Mohácsi-sziget csapadék szempontjából a kritikus tartományba, hőmérséklet szempontjából a kritikus tartomány határához közeli zónába, aszályosság szerint pedig a jelentékeny (8–10°C/100 mm) aszályveszély zónájába tartozott a 2012. évi számítások szerint (PÉCZ T. 2016). Ez a hatás nem fog csökkenni az elkövetkezendő években. A lassú aszályosodás mellett nyári lehullott csapadék szélsőséges ingadozása is jellemző volt az utóbbi évtizedekben (MÁTRAI I. 2013).

2.1.9. Vízrajza

A terület vízfolyásait a Duna és annak lefűződött holtágai és élő mellékágai adják (KOVÁCS GY. – DEME T. 2008). A sziget felszíne a Ferenc-csatorna vízszintje alatt fekszik, az ottani belvizek áttemelését a 3,7 m³/s teljesítményű karapancsai szivattyútelep végzi. A vízutánpótlást a csatorna biztosítja a Baracska-Dunából. Összesen 26 állóvíz található a sziget területén: 3 mesterséges tó, 9 természetes tó és 14 holtmeder. A természetes tavak összfelszíne 170 ha, a Riha-tó a legnagyobb természetes tó (86,5 ha). A holtmedrek összfelszíne 281 ha, a Szeremlei-Holt-Duna a legnagyobb (70 ha). A mesterséges tavak 28 ha összfelszínnel rendelkeznek. A hercegszántói halastó önmagában 22,5 ha (DÖVÉNYI Z. et al. 2010).

Ahogy már korábban említettem, a folyamszabályozás óta közel másfél méterrel mélyült a Duna medre (TAMÁS E. – KALOCSA B. 2003) és ez a hullámtéren is érzékeltette káros hatását, mivel a talajvíz is alábszállt. Emiatt a termőhelyi igényüket már csak egyre közelebb a meder felé találták meg az ártéri élőhelyek bizonyos jellegzetes növényei, a távolabbi részokről eltűntek, kipusztultak.

A talajvíz 2-4 m között mindenhol elérhető, de a Baracska-Duna-ág mellett sekélyebben található a talajvíztükör (DÖVÉNYI Z. et al. 2010). Kiemelkedő számú fakadó víz figyelhető meg magas dunai vízállás esetén. A rétegvizeket szolgáltató kutak átlagos mélységük 100 m körüli, vastartalmuk magas. A településeken kiépült a közüzemi vízellátás (kivételt képez Dunafalva és Homorúd). A csatornázás azonban csak Sárhátton és Újmohácson megoldott, ezek Mohácshoz tartozó területek.

A Dunafalva és Mohács közötti partszakaszról több mint 100 ezer m³/nap ivóvízkészlet termelhető ki (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986). A vas-mangán-ammónia együttes általános magas koncentráció-értéke pangó víz jelenlétére utal. A sziget déli részén megnövekszik az összes oldott anyag mennyisége, azonban a megengedett maximumot ott sem éri el. A karbonáttartalom miatt jellemzően kemény a víz.

Az erdészeti termőhelyosztályozás szerint, amely a talaj vízgazdálkodásának jellemzésére az átlagos áprilisi talajvízszintjét veszi figyelembe (SZODFRIDT I. 1993), a területre az időszakos vízhatás a legjellemzőbb (több mint 50%). Azokat a területeket

soroljuk ide, ahol a talajvízszint 150-220 cm-re található, illetve a hullámterek közép magas fekvésű helyei. Jelentősek még (20% körüli kiterjedésben) az állandó vízhatású területek (ide tartoznak a 80-150 cm talajvízszintű termőhelyek és a hullámtér közép mély fekvésű területei) és a többlet vízhatástól független területek aránya. A felszínig nedves területek aránya alig haladja meg az 5%-ot (itt az áprilisi talajvízszint 50-80 cm). A váltakozó és a szivárgó vízhatású területek aránya kevesebb, mint 1 % (KOVÁCS GY. – DEME T. 2008).

2.1.10. Tájszerkezete

A Mohácsi-sziget felszínfejlődésében igen nagy szerepük volt a Duna szabályozása során kiépített part- és mederszabályozó műveknek. A védművek kiépítése után az agrotechnika vette át a felszínalakítás szerepét az ármentesített szigeten a folyóvíz helyett (ERDŐSI F. – LEHMANN A. 1974).

Az igen vízhiányos, mérsékelten száraz mohácsi-szigeti területen valójában két természetföldrajzi tájtypus váltja egymást. Az egyik fajta a gátakon kívüli, holtmedrekkel szabdaltsággal magasártér, melynek fő talajtypusa a réti öntéstalaj. Ennek a tájtypusnak a 2/3-án mezőgazdasági termelés folyik, a fennmaradó részeket mocsaras ártéri liget- és láperdő borítja. A másik tájtypus pedig a védgátakon belüli hullámtér (alacsonyártér), melyet a folyó fiatal nyers öntésanyaga fed. Ez a tájtypus legelőként kerül hasznosításra, rétek, ártéri liget- és láperdők borítják (MAROSI S. – SOMOGYI S. 1990).

A tájegység az Alföld flóraidékének (Eupannonicum) dél-alföldi flórajárásához (Titelicum) tartozik (KOVÁCS GY. – DEME T. 2008). A Mohácsi-szigeten a természetes erdőtársulások közül a tölgy-köris-szil ligeterdők a legjelentősebbek. Az alacsonyabb ártéri szinteket a fűz és nyár ligeterdők foglalják el. Helyüket gyakran telepített kultúrerdők vették át (feketediószok, nemesnyarasok, akácok, fehér fűz, fehér nyár és néhol kocsányos tölgy ültetvények) (DÖVÉNYI Z. et al. 2010).

A folyómedrekben korábban elhelyezkedő mocsaras élőhelyek, rétek és ártéri erdők egyre kisebb területekre szorulnak vissza a szántóterületek térhódításával. Ahol a terület ár- és belvízveszélyes, jelentős a talajvíz nitrátosodása is (ERDŐSI F. – LEHMANN A. 1974). A természetközeli növényzet inkább a Duna mentén maradt meg (DÖVÉNYI Z. et al. 2010).

A mezőgazdasági termelés térbeli elhelyezkedése is komolyan befolyásolta a sziget arculatát. Az ártér területe ideális volt a zöldség- és gyümölcsstermesztés számára, hiszen itt a talaj laza, és könnyen megmunkálható, valamint az öntözési lehetőség is adott volt (ERDŐSI F. – LEHMANN A. 1974). Az ármentes, magasabb fekvésű területek viszont a gabona- és kapásnövények termesztése számára voltak alkalmasabbak. Az imént felsorolt termelési térszerkezet-felosztás volt jellemző az ármentesítés előtt, később azonban az ármentesített területeken a hagyományos zöldség- és gyümölcsstermesztés mellett nagymértékű gabona- és kapásnövény-termesztés is folyt.

A tájszerkezet alakításában az utóbbi húsz évben jelentős szerepet játszott a Duna-Dráva Nemzeti Park, mely 1996-ban jött létre egy 50.000 hektáros területen. A Nemzeti Park dunai törzsterülete a Duna völgyében az 1498-1433 fkm között húzódik. A 28.480 ha kiterjedésű törzsterület 68%-a erdő (KÖVESI S. 2013). A 19.320 hektárnyi területből mintegy 1000 hektár erdőterület gazdája a Duna-Dráva Nemzeti Park Igazgatóság (továbbiakban DDNPI).

A DDNPI vagonkezelésében lévő erdőterületek szétszórtnak, illetve kisebb (max. 150-200 ha) tömbökben helyezkednek el. Összetételüket tekintve 70%-uk átalakítás alatt álló, vagy arra váró tájidegen ültetvény, jelentős invazív terheltséggel (KÖVESI S. 2013). A természeti értékek megőrzése természetvédelmi kezelés útján valósul meg a Mohácsi-szigeten. A korábban említett direktívák (madárvédelmi és élőhely-védelmi) keretén belül

végzi a DDNPI a fokrendszer újraélesztését és az ősi tájhasználat felkutatását. A terület két legnagyobb morotvatavában – a Földvári- és Riha-tóban – az utóbbi években komoly természetvédelmi munkálatokat hajtottak végre a Nemzeti Park vezetésével. Ma már több, mint száz védett madárfajnak nyújtanak fészkelő- vagy táplálkozó helyet. A fokrendszer újraélesztése (pl. az árhullámok vizének bevezetésével) segítene a kiszáradó erdők újjáélesztésében és az egyre magasabb árhullámok levezetésében is.

A sziget élővilága így is rendkívül változatos. Jellemző élőhelyeik az ÁNÉR besorolás szerint az állóvízi hínárnövényzet (A1) a láp- és ligeterdők (J6, J4) illetve a nádasok és mocsarak (B1a, BA, B5) csoportjaiból kerülnek elő. Gyakoriak a cserjések (P2a) és az ártéri magaskórósok (D6). A növényzet fajszáma az elérhető irodalom alapján: 500-600, ebből 30-40 védett. Fontos élőhely jelző védett növény a fűzligeteken a nyári tőzike (*Leucojum aestivum*), a tölgy-köris-szil ligeterdőkben a ligeti csillagvirág (*Scilla vindobonensis*) és a mocsári kockásliliom (*Fritillaria meleagris*), a mocsárréteken a réti iszalag (*Clematis integrifolia*) (DÖVÉNYI Z. et al. 2010). Jellegzetes liánjai a szigetnek a szubmediterrán elterjedésű jerikói lonc (*Lonicera caprifolium*) és a ligeti szőlő (*Vitis sylvestris*). A tájegységen előforduló orchideák közül a leggyakoribb a békakonty (*Listera ovata*) és a zöldes sarkvirág (*Platanthera chlorantha*). Az élőhelyek nagyrésze, ahogy már korábban említettem, leromlott. Nagyon gyakori özönfajok az ártereken a zöld juhar (*Acer negundo*), az amerikai köris (*Fraxinus pennsylvanica*) és a gyalogakác (*Amorpha fruticosa*). Továbbá a sziget teljes területén előfordul a bálványfa (*Ailanthus altissima*), az akác (*Robinia pseudoacacia*) és az aranyvessző-fajok (*Solidago spp.*) (DÖVÉNYI Z. et al. 2010). Kiírtásuk, elsősorban az ártéren, szinte reménytelen, hiszen a Duna, a teljes vízgyűjtő területéről ideszállítja a magvaikat. A dunai területeken 51 halfaj előfordulását bizonyították. Itt található a hazai legnagyobb fekete gólya (*Ciconia nigra*) populáció, melynek védelme a nemzeti park kiemelt feladatai közé tartozik. A Béda-Karapanca tájegységben gyakori még a barna kánya (*Milvus migrans*), mely indikátor fajnak tekinthető a környezeti változásokra való érzékenysége miatt.

Legnagyobb tava a Riha-tó, amely egy Duna-holtág és védett Ramsari terület. A tó különleges értéke a kis kócsag (*Egretta garzetta*) és a bakcsó (*Nycticorax nycticorax*) fészkelő telep (ÁNGYÁN J. et al., 2003). A Balaton vonalától délre csak itt ismeretes a nyári lúd (*Anser anser*) rendszeres költése. További érdekesség a néhány párban előforduló üstökös réce (*Netta rufina*).

2.2. Mohácsi-sziget tájtalakulásának kutatása

A táj a természet és a társadalom teljes komplexitását foglalja magába, megismeréséhez a különböző tudomány területek eredményeinek átfogó ismerete szükséges. A Mohácsi-sziget tájváltozását is többféle tudományos megközelítésben vizsgálták meg és írták le az elmúlt száz évben. IHRIG D. (1973) és TÖRY K. (1952) összefoglaló munkáiból a Duna szabályozásának teljes menetéről áttekintő képet kaphatunk. A földrajztudomány kutatói a nagy összefoglaló tájleírások részeként foglalkoztak a területtel (MAROSI S. – SOMOGYI S. 1990, DÖVÉNYI Z. 2010, ERDŐSI F. – LEHMANN A. 1974), de alkalmazták a modern tájértékelési módszereket is (LÓCZY D. 2008, HERVAI A. – LÓCZY D. 2009).

A kutatások egyik központi témája a korábbi térképek (Lázár deák, Marsigli, Müller, Pávai, Karpe) illetve az ezekhez kapcsolódó tudományos munkák feldolgozása volt. FALUDI G. és NEBOJSZKI L. (2008) átfogóan mutatták be a szigetet ábrázoló térképeket, de a felszíni vízrajz történelmi változását is kutatták. GLASER L. (1933) és DÓKA K. (1986) feldolgozták a karlsruhei levéltár térképeinek magyar vonatkozású

anyagát. Készült tudományos munka a katonai felmérések értékeléséről (JANKÓ A. 2007) és a Duna-mappációról (DÓKA K. 2006) is, mely térképek érintették a szigetet.

A történettudomány elsősorban a települések és helységnevek kutatásával kapcsolódik a sziget vizsgálatához (IVÁNYI I. 1906, GYÖRFFY Gy. 1966, PESTI J. 1982). Lényegesek azok a gazdaságtörténeti munkák, amelyek az egyes haszonvételek, tájhasználati módok gazdasági következményeit kutatják (MOLNÁR G. 1993, ZÓKA P. 2013), vagy éppen a vízmentesítő társulatok közgazdasági jelentőségét vizsgálják (KENESSEY B. 1931).

Természetesen a helytörténeti munkák is számos értékes információt tartalmaznak a tájatalakulásról és tájhasználatról (FÖLKÉR J. 1900, KOSZTA L. 1993, KONKOLY S. 2015). A néprajztudomány képviselői közül ANDRÁSFALVY B. (1973) kiemelkedő jelentőséggel bíró munkásságában a fokgazdálkodást a Duna mente népének, így a Mohácsi-szigetnek is, az előző évszázadok alapvető gazdasági erőforrásának tartja. ANDRÁSFALVY B. munkáiban a társadalmi változásokat az ármentesítési munkálatok után átalakult hasznosítási módok közvetlen következményének tekinti. Vizsgálatai részletesen érintik a Mohácsi-szigetet, külön tanulmányban foglalkozott az itteni állattartással is (ANDRÁSFALVY B. 1970).

A sziget állat- és növényvilága régóta kutatott a biológusok részéről (BOROS Á. 1922, KEVEY B. et al. 1992), körükben a vizes élőhelyek mellett az erdők jelentenek kiemelt kutatási témát (KOVÁCS GY. – DEME T. 2008, BIRÓ M. 2008). Az utóbbi időkben a mohácsi csatát és ennek részeként a Mohács-szigetet egy olyan kutatócsoport vizsgálta, amely interdiszciplináris megközelítésben természetföldrajzi, vízrajzi és tájrekonstrukciós módszereket ötvözött történeti és levéltári kutatással (PAP N. et al. 2019).

A Mohács-szigetet az átalakulása után sokféle módon hasznosította a társadalom. Elsősorban a mezőgazdaság, de az erdészet is komoly mértékben vette igénybe az erőforrásait. Ásványkincsei közül csak a víz került hasznosításra a folyószabályozások óta. Korábbi évszázadokban a felszíni mészkővagyont már letermelték (KONKOLY S. 2015). JASKÓ S. és KROLOPP E. (1991) részletes, összefoglaló geológiai leírást közölt a területről. Munkájukból az alapos rétegtani leírás mellett a sziget vízfolyásait döntően befolyásoló tektonikai jelenségeket és a különböző földtani rétegek kormeghatározásához rendkívül fontos őslénytani információkat is meg lehet ismerni.

A 1970-es, 80-as években a sziget területe alapos vízföldtani kutatások helyszíne lett. A pécsi körzet vízellátását célzó Duna jobb partjára telepített felszíni vízkivételi mű nem váltotta be a hozzáfűzött reményeket, ezért a hetvenes években a Pécsi Regionális Vízművet a Mohácsi-sziget közismerten jó vízadó képességű dunai alluviumára kívánták telepíteni. 1977-ben az ELGI komplex geofizikai-vízföldtani kutatást végzett a fúrásokkal feltárt Dunafalva-Mohács partszakaszon. A kedvező vízföldtani viszonyokat mutató mérésekre tekintettel készült el a sziget teljes területét vizsgáló komplex geofizikai-vízföldtani kutatási terv (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986). Kutatási céljuk a pleisztocén korú alluvium vastagságának és kiterjedésének megismerése volt és fel akarták mérni a vízvezető összetek és a Duna közötti kommunikáció mértékét. A Mohácsi-sziget vízföldtani viszonyainak megismerésére 1981-től négy éven keresztül tartó geofizikai kutatást végeztek (DRASKOVITS P. 1982, DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986). E feladatok megoldására négyparaméteres mérnök-geofizikai szondázásokat és gerjesztett polarizációs mérésekkel kombinált sekély- ($AB_{\max}=800$ m) és közepes mélységű ($AB_{\max}=4000$ m) ellenállás szondázásokat végeztek. A négy év során a sziget D-i részének kivételével közel egyenletes VES hálózatot alakítottak ki. A Duna partján húzódik egy hosszanti MGS szelvény, a háttérterületet pedig a közel egyenletes távolságra telepített harántszelvények tárták fel. DRASKOVITS P. és JÓSA E. (1986) határozták meg a területen

a felszíni képződményeket, a törmelékes folyóvízi összlete (hordalékkúp) vastagságát, vízzáró pannóniai agyagos képződményeket és nagy ellenállású aljzatot.

2009-ben stratégiai környezeti vizsgálatot végeztek a sziget területén (MAJOR V. – SASS J. 2009). A kutatók érdeklődése elsősorban a hajózási lehetőségek feltárására irányult, azonban részletes vízügyi, vízföldtani leírást is közöltek a területről. Környezeti vizsgálatuk a VKI elírásainak megfelelt, ezért a felszín alatti vizek, jelen esetben a Duna áradások talajban való terjedésének megismerésére is kiterjedt. Megállapították, hogy természetes állapotban a nagyvízi hatásterület a talajban 1550 m távolságig, míg az átlagos Duna hatásterület a talajban 700-900 m-ig érezhető. A termelőkutak talajvízre gyakorolt hatásáról is voltak észrevételeik. Vizsgálataik szerint a kiépített vízbázisok legjelentősebb hatása abban nyilvánul meg, hogy az üzemelő kútsorok az áradások idején leárnyékolják a háttér felé terjedő nyomáshullámokat, megakadályozva a talajvízszintek emelkedését. Így a termelő kútsorok mögött elhelyezkedő területeken a dunai kisvíznek megfelelő állapotok alakulnak ki. Megállapították, hogy a termelőkutak az utánpótlást nemcsak a Duna felől kapják, hanem a regionális talajvízből is, átlagosan kétharmad-egy harmad arányban. Kimutatták, hogy termelési üzemállapot során a háttérben jelentős talajvízszintsüllyedések következnek be és a terület ásott kútjai sokszor kiszáradnak.

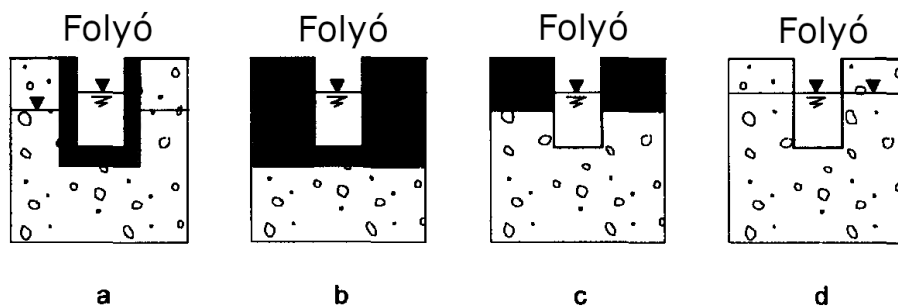
2.3. A folyómenti víztartó réteg fogalma és tipizálása

A Duna körüli ártéri nedves élőhelyek fennmaradásának egyik legfontosabb feltétele a megfelelő vízellátottság. Ahhoz, hogy fel tudjuk mérni a Duna és a talajvíz kapcsolatát, ismerni kell az alapvető fogalmakat és a kapcsolódás rendszertani típusait. A kavicsos ártér és annak hidrológiai rendszere egymással kapcsolatban lévő entitásokból áll (CLOUTIER, C. A. et al. 2014), amelyeket kölcsönhatások, a beszivárgás és a felszínre szivárgás kötik össze.

Egy folyó vízállásának ingadozásai a víztartó réteg talajvíz általi, nyomáscserén keresztül történő elárasztását idézhetik elő. A felszín alatti víz áradását, vagyis a felszín alatti víz exfiltrációját a talaj felszínén a következő tényezők vezérik az ártéri környezetben: az ártér domborzata, az elárasztás előtti mélység, a telítetlen zóna, az ártéri üledékek hidraulikus tulajdonságai, a folyó és az alluviális víztartó réteg közötti kapcsolat erőssége (MARDHEL, V. et al. 2007). A felszín alatti víz tartós emelkedéséhez vezethetnek a hosszantartó esőzések (amikor is a teljes a felszín alatti áteresztő rétegek telítetté válnak) és az áradások (CLOUTIER, C. A. et al. 2014).

A folyóvizet és a talajvizet a meder alatt és mellett lévő hiporeikus (hyporheic) zóna köti össze. A hiporeikus zónát általában olyan határzónaként tartjuk számon, amely mind a víztartó réteg, mind a folyó vizét tartalmazza (BENCALA, K. E. 1993). Tulajdonképpen egy aktív ökotónnak tekinthető, amely szabályozza az anyagvándorlást a folyóvíz-talajvíz rendszeren belül (BOULTON, A. J. et al. 1998). Áradáskor a talaj- és a folyóvíz között nyomásterjedésen alapuló kapcsolat alakul ki (WETT, B. et al. 2002). Kialakul kémiai kapcsolat, anyagvándorlás is, de az egy jóval lassabb folyamat és vízmércék adataira támaszkodó statisztikai vizsgálatokkal természetesen nem mutatható ki. Disszertációmban ezért csak az előbbivel foglalkoztam. A folyó áradása beszivárgást indukál, amelyet a víztartó réteg tározó üregeinek kitöltött és felszabadult vízmennyisége továbbít. Emiatt áradáskor a hiporeikus zónában, a talajvízszint görbéje is a folyóvízszint áradáskori görbéjéhez hasonlóvá válik. Apadáskor azonban a talajvízszint görbéje, a folyó vízállásának görbéjével összehasonlítva simított és késleltetett. Ezt a jelenséget késleltetett hozamnak nevezik (BEAR, J. – VERRUIT, A. 1987).

Ha a folyó menti víztározó réteg főleg durvaszemű üledékből áll, akkor alapvetően négyféle kapcsolat alakulhat ki a hiporeikus zónán keresztül.



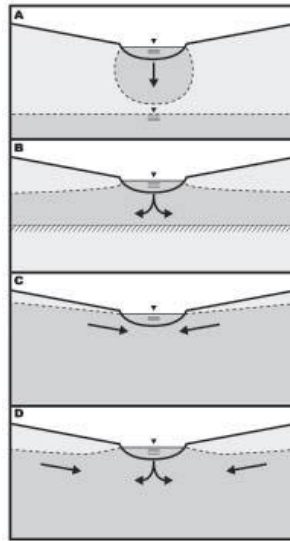
10. ábra – A folyó és a talajvíz lehetséges kapcsolatai alluviális területen (VEKERDY Z. – MEIJERINK, A.M.J. 1998 alapján). a) A folyómeder finomszemcsés üledékű; b) a folyó vízzáró rétegben folyik; c) a folyó finomrétegű vízzáró üledékben folyik, de a meder alja belevág a durvaszemcsés üledékbe; a meder durvaszemcsés; a hiporeikus zóna félig zárt; d) freatikus típusú meder kapcsolat a hiporeikus zónában; teljes meder keresztmetszet vízáteresztő

Az első kettőben (10. ábra a és b típusok) a hiporeikus zóna nem jön létre. VEKERDY Z. és MEIJERINK, A.M.J. (1998) szerint a harmadik és a negyedik típus a leggyakoribb. Ezeknek a különböző változatai fordulnak elő a nagy folyók mentén. A feláramló talajvíz területén a vízzáró réteg freatikus. A leszálló talajvíz területén a fedőréteg finomszemcsés, ezért félig zárt talajvíz alakul ki.

A növekvő nyomáshullám a freatikus vagy fedetlen víztartó rétegben a talajvíztest kiterjedését okozza. A víz kitölti a telítetlen vagy félig telített pórusokat. A megemelt víztábla továbbítja a nyomást. A hiporeikus zóna határait a telítettségi arány (TRISKA, F. J. et al. 1989) vagy a beszűrődött felszíni víz tartózkodási ideje (CARDENAS, M.B. 2008, GOOSEFF, M. N. 2010) határozza meg. Azonban a felszíni vizek és a talajvíz közötti nyomáscserék előfordulhatnak ebben a zónában áramláskeveredés nélkül is (WONDZELL, S.W. – GOOSEFF, M. N. 2013).

RAINS, M. C. és MOUNT, J. F. (2002) geokémiai eljárásokkal vizsgálták a sekély talajvíz eredetét a kaliforniai Little Stony Creek mentén lévő alluviális víztartó rétegben. Megállapították, hogy a sekély felszín alatti vizet a folyóvíz és a regionális felszín alatti víz töltötte fel. Kutatásuk szerint a nedves évszakban a folyóvíz, a száraz évszakban pedig a regionális talajvíz volt a kiemelkedő sekély talajvízforrás.

Ha a talajvíz feltöltődésnek iránya alapján különböztetjük meg a víztározó rétegeket, akkor is négy típust lehet megkülönböztetni (11. ábra):



11. ábra – Folyó víz és sekély talajvíz közti kölcsönhatás (RAINS, M. C. 2003)

A) a sekély talajvíz folyóvíz általi feltöltése oly módon, hogy csak kis mértékben vagy egyáltalán nem terjed oldalirányban;

B) a folyóvíz által feltöltött sekély felszín alatti víz, a sekély talajvíz kiterjedt oldalirányú terjedéssel;

C) a regionális talajvíz által feltöltött sekély talajvíz;

D) sekély felszín alatti víz, amelyet kevert folyóvíz és regionális talajvíz tölt be.

Ha a folyót alluviális teraszok határolják, akkor a víz nagy része visszakerül a folyóba alacsony vízállások esetén. Ezt parti víztározásnak nevezzük (HUNT, B. 1990).

2.4. Folyóvíz melletti víztartó réteg kapcsolatának kutatásai

Egy adott folyó és a folyópart környezetében lévő víztározó réteg között a talajvíz és annak változása biztosítja a kommunikációt. A hiporeikus zónán keresztül ható kapcsolatot, annak erősségét és hatását is számos kutatócsoport vizsgálta már. Egyes kutatók freatikus víztározóban vizsgálták (VEKERDY Z. – MEIJERINK, A.M.J. 1998, CLOUTIER, C. A. et al. 2014, MAUCLAIRE, L. – GIBERT, J. 1998, GARCÍA-GIL, A. et al. 2015, LEWANDOWSKI, J. et al. 2009, WETT, B. et al. 2002, KOVÁCS J. et al. 2015), míg mások (VEKERDY Z. – MEIJERINK, A.M.J. 1998, OH, Y.-Y. et al. 2016, CHIAUDANI, A. et al. 2017) félig zárt vagy fedett körülmények között (1. táblázat). Általánosan elmondható, hogy a nyomáshullám terjedése a freatikus víztartó rétegekben sokkal lassabb, mint a fedett víztartó rétegekben (WETT, B. et al. 2002).

1. táblázat – A folyóvíz és az alluvium közötti kapcsolat korrelációs és lineáris regressziós vizsgálatai

Kutató csoportok	Folyó	Part távolság	Mérés köz	Alluvium típusa	A. vastagsága	Konduktivitás (m/s)	r folyó	r csapadék	Késleltetés (m/nap)
Cloutier et al. 2014	Matane	21-257 m	15 perc	Freatikus	25 m	8,48×10 ⁻⁴ -től 2,1×10 ⁻⁵ -ig	0,89-0,98	0,2-0,3	160-260
Mauclaire et al. 1998	Rhône	50 m	15 perc	Freatikus	25 m	1-től 3,10 ⁻³ -ig			
Garcia-Gil et al. 2015	Ebro	100-2000 m	0.4 nap	Freatikus	5-40 m	2x10 ⁻¹ -től 2,7x10 ⁻² -ig			13-25
Vekerdy et al. 1998	Duna	fr: 250-8800 ff: 1600-5700	1 nap	Félig fedett és freatikus		1,7×10 ⁻¹ -től 2,7×10 ⁻⁴ -ig	ff: 0,6-0,9 fr:0,3-0,85		ff: 1500 fr: 200
Lewandowski et al. 2009	Spree	0 - 300 m	1 óra	Freatikus	20 m	1x10 ⁻⁵ -től 1x10 ⁻³ -ig	0,6-0,9	0,2	1550
Chiudiani et al. 2017	Pescara	170 - 1960 m	3 nap	Félig fedett	15-50 m	1x10 ⁻⁵ -től 1x10 ⁻³ -ig	0,2-0,37	0,16	
Wett et al. 2002	Enns	50 m		Freatikus	15 m	3,8×10 ⁻⁵ körül			55

A kutatók vizsgálati eredményeikben a többségében meghatározták a talajvíz nyomáshullám napi terjedési értékeit. A kutatások eredményei néhol közel állnak egymáshoz, néhol azonban igen távol. Természetesen minden esetben nagyon fontos ismerni a víztartó réteg geológiai felépítését. A nyomásterjedés sebességére nagyon különböző eredmények születtek. WETT, B. et al. (2002) fedetlen környezetben 55 m/nap haladási sebességet mértek, ugyanakkor LEWANDOWSKI, J. et al. (2009) szintén freatikus környezetben 1550 m/nap nyomáshullám haladási sebességet mutattak ki. VEKERDY Z. és MEIJERINK, A.M.J. (1998) a Szigetközben kutattak, ahol a fedőréteg vastagsága igen változékony, és textúrái is eltérőek, mivel az ártéri késleltetve lerakott üledékekből és csatornatöltő üledékekből is áll. Az említett szerzők két kútsort választottak ki a folyóra merőlegesen, a parttól folyamatosan távolodva. Az első freatikus víztartó réteg mentén haladt, a második félig fedett környezetben. Mindkét esetben tisztán kiolvasható volt a maximum időbeli késéshez tartozó r érték a diagramjaikban. A Duna félig fedett víztartója felett 1500 méter/napot meghaladó terjedési sebességeket mértek. Az ő megállapításaik szerint a megnövekedett nyomás csak a víztartó anyag rugalmas összenyomását és a nyomáshullám gyors terjedését okozza félig fedett víztartó rétegben. Ugyanez a kutatócsoport freatikus környezetben 200 méter/nap haladást mért. CLOUTIER, C. A. et al. (2014) által hasonló környezetben mért terjedési sebesség 160 méter/nap és 260 méter/nap között mozgott. GARCÍA-GIL, A. et al. (2015) kutatásukban összegyűjtötték azokat a faktorokat, amelyek meghatározzák a talajvízrendszert a városok alatt. Eredményeik szerint a nyomáshullám haladási sebessége 13 és 25 méter/nap értékek között váltakozik, azaz az előzőekhez képest lassabb érték. Pearson korrelációt és regressziót alkalmaztak annak megállapítására, hogy melyek azok a faktorok, amelyek a sebességre hatnak az Ebro folyó mentén. A belvizek szerintük nemcsak a folyó áradásaihoz köthetőek, hanem heves csapadékeseményekhez is.

Néhány kutatócsoport a talajvízáramlási sebességet is összehasonlította a nyomáshullám vándorlási sebességével. WETT, B. et al. (2002) négyszer gyorsabb, CLOUTIER, C. A. et al. (2014) kétszer-háromszor gyorsabb hullám terjedési sebességet mértek. LEWANDOWSKI, J. et al. (2009) viszont ezerszeres különbséget mértek e tekintetben.

A vizsgálatok másik általános eredménye a korreláció vagy regresszió értéke az árhullám teteje és a talajvíz hullám teteje között, vagyis az időbeli késés számítása. Tehát minden kutató időbeli eltolással számolta ki a legerősebb korreláció vagy regresszió értékét. A korrelációból valójában nem lehet biztosan megítélni a folyóvíz hatásának erősségét, de bizonyos kommunikációs szintre következtetni lehet. LEWANDOWSKI, J. et al. (2009) 0,9 és 0,6 közötti korrelációt mértek 0–300 m között. CHIAUDANI, A. et al. (2017) autokorrelációs és a keresztkorrelációs függvények segítségével azonosították a folyóvíz és a talajvíz kapcsolatát. Ők a Pescara folyótól 170 méter és 1960 méter közötti

távolságokban mértek. Az általuk mért korrelációk nem túl erősek, 0,2 - 0,37 közöttiek. VEKERDY Z. és MEIJERINK, A.M.J. (1998) freatikus környezetben 0,3 és 0,85 közötti r értékeket mértek, viszont félig fedett környezetben 0,6 és 0,9 közöttieket, de elég nagy, 5 km-es távolságban is. Ahogy az várható volt, kötött vagy félig kötött körülmények között a nyomásterjedés gyorsabb volt (azaz az alluviális meder leáramló részén), mint a telített (feláramló) részben. Az időbeli késés nőtt a folyótól való távolsággal.

Néhány helyen azonban differenciák jelentek meg. Ezek elsősorban a Mosoni-Duna befolyásának tulajdoníthatók. Egyéb tényezőket is – melyek hatással lehettek a térbeli különbségekre – összegyűjtöttek: az alsóbb rétegű kavicsok és homok térbeli változékonysága; a fedőréteg térben változó ellenállása; nem állandó áramlás a talajvízszint emelkedésének elején; és a fedetlen part átalakulása (félig) fedett körülményekké olyan helyeken, ahol az emelkedő talajvíz az alsóbb rétegű kavicsokból az emelkedés során bejut a fedőrétegbe.

Elemzésük kimutatta, hogy a talajvízszintek érzékenyek a folyótól való távolságra, a víztartó átjárhatóságára és a fedőréteg ellenállására, de kevésbé érzékenyek a víztartó réteg rugalmas tárolására (VEKERDY Z. – MEIJERINK, A.M.J. 1998). Ha az áradási csúcs nem haladja meg a folyóvízszint átlagos magasságát, a folyóvíz beszivárgása és a megfigyelőkutak közötti távolság meglehetősen állandó. A magasabb vízállások esetén az áradás elkezd terjedni az árterületen, először az ártéri csatornákon, majd később az ártér teljes szélességében, a töltésekig. A bonyolult geometria miatt ez a folyamat fokozatos, de a beszivárgás elülső részétől a kútig tartó távolság átlagosan rövidebb.

CLOUTIER, C. A. et al. (2014) szoros kapcsolatot mutattak ki a kanadai Quebec állambeli Matane folyó vízszint értékei és a piezométerek talajvízszint értékei között ($r > 0,89-0,98$) a maximális korrelációjú lagtime-nál. Megállapították, hogy a Matane-völgy freatikus alluviális víztartója elsősorban a folyó vízállásának ingadozásától, az árvíz időtartamától és nagyságától függ.

Voltak kutatók, akik a csapadék hatását is megvizsgálták a talajvízre. A csapadék és talajvíz korrelációjában CLOUTIER, C. A. et al. (2014) 0,2–0,3-as értékeket mértek, amely szignifikánsan alacsonyabb, mint náluk a folyó-talajvízszint korrelációjának r értéke. Véleményük szerint a csapadékból származó bemeneti értéket jelentősen csökkenti a nagy tárolási kapacitású telítetlen zóna. Ugyanakkor azt is megállapították, hogy a csapadék közvetlenül hozzájárul a telítetlen alluviális víztartó réteg feltöltéséhez. A helyszíni mérések azt sugallják, hogy az áradási hullám a kavicsos árterületen sokkal jobban terjed, mint a hiporeikus zónában. LEWANDOWSKI, J. et al. (2009) kimutatták, hogy a csapadék okozta a Spree folyó ártéri felszín alatti vizek ingadozásainak 20%-át, VIDON, P. (2012) szerint azonban nincs szignifikáns kapcsolat a csapadék és a talajvíz ingadozása között. CHIAUDANI, A. et al. (2017) csapadék és talajvíz között nagyon gyenge, 0,16-os korrelációt számított 6–9 napos időeltolással.

MAUCLAIRE, L. és GIBERT, J. (1998) a termelőkutak hatásának becslésére is vállalkoztak. Ők 25 m/nap talajvízáramlási sebességet mértek a folyó és a talajvízkutak között. Ha kitermelés is volt a talajvízkút közelében, az áramlás nagyon felgyorsult, néhány óra alatt a folyó vize elérte a talajvízkutat, freatikus környezetben. Modellvizsgálatuk szerint a víz visszatöltődése a Rhône melletti Gran Gravier mezőn 70%-ban a folyóból származik. GARCÍA-GIL, A. et al (2015) a talajvíz emelkedését is megmérték a folyó áradásának hatására. 260 méterre a parttól maximum 2 méteres emelkedést mértek, 1000 méterre maximum 1 métert.

3. Kutatási célkitűzések

Kutatásomban megpróbáltam felmérni a Mohácsi-sziget, a hajdani árterület vízrajzi átalakulásának mértékét a folyamszabályozások következtében. Ebből kifolyólag a kutatásom az első célja a Mohácsi-szigeti tájváltozás egyes lépéseinek összegyűjtése a 18. század végétől napjainkig. A második célom a sziget vízrendszere és a Duna folyó között megmaradt kapcsolat felmérése volt.

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 is a Duna, a sziget alluviális vízrendszerére?
- 4) Milyen mértékű kapcsolat maradt fent a Duna, illetve a Nagybaracsikai-Duna és Rihtó között?
- 5) Milyen a Duna árhullámok 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 a sziget alluviális vízrendszerére?
- 8) Milyen földtani tényezők hatnak a Mohácsi-sziget alluviális vízrendszerére?

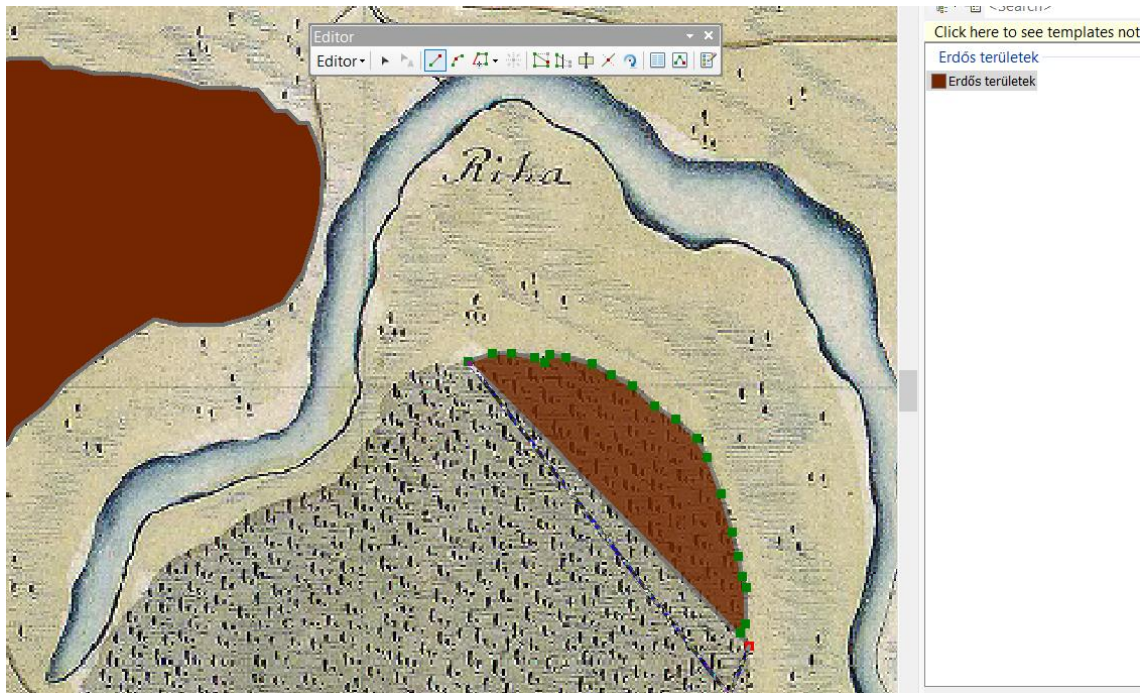
4. Az alkalmazott kutatási módszerek

4.1. A táj változásának felmérése

A Mohácsi sziget ár- és belvízmentesítés időszakának bő száz évéről négy időpontból (I. katonai felmérés, Duna-mappáció, II. katonai felmérés, III. katonai felmérés) állt rendelkezésemre térkép. Ezt a négy térképet összehasonlítva az 1952-es és 1987-es topográfiai térképekkel, illetve a 2012-es Corine Land Cover téradatbázissal próbáltam felmérni a tájváltozás mértékét. Az első katonai térképet 1782 és 1784 között készítették. A térképen még nem határolhatóak le túl részletesen a táji elemek. Továbbá maga a felmérés is viszonylag pontatlan volt (pl. a Riha-tó helyzete, 12., 25. ábra). A Duna-mappáció készítésének időpontja a valódi tájátalakítások kezdete volt. A térképezés a Duna délebbi részein 1820-as és az 1830-as években zajlott. A jobboldali ág környékének térképezése 1827-ben (DÓKA K. 2006) érte el Mohácsi-szigetet, a nagybaracsikai-ág viszont elég későn, 1836-ban lett felmérve. Ebből az időből tehát elég pontos és részletes tájtérképem volt, hiszen a cél éppen a táj átalakításának műszaki megtervezése volt. Az 1858-ban készült második katonai térképezés (JANKÓ A. 2007) a harmadik pillanat, amiből megvizsgáltam a tájat. Kevésbé volt részletes, mint a Duna mappáció, de azért jóval több információ volt gyűjthető róla, mint az első katonai térképről. A harmadik katonai térképezés mohácsi-szigeti lapjait 1884-ben készítették. Ez a térkép vetekszik a Duna mappáció részletességével. Az általam viszonyítási alapnak használt topográfiai térképek 1952-ben, és 1987-ben, illetve a Corine Land Cover téradatbázis pedig 2012-ben készültek el.

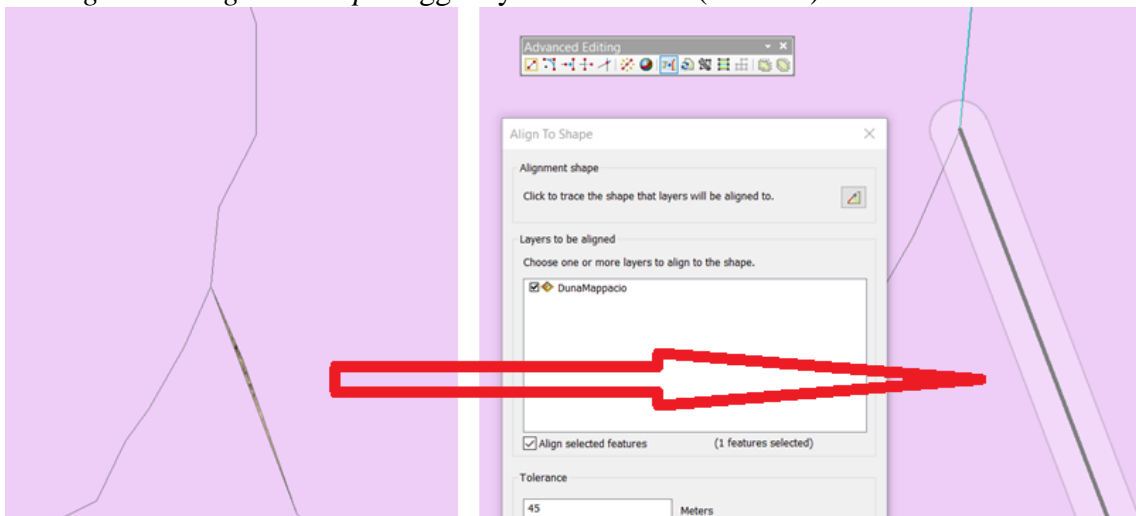
Mohácsi-szigeti táj kutatásom első lépéseként megpróbáltam számszerűsíteni a változás mértékét. A vizsgálatokat térinformatikai eszközök segítségével végeztem el. A felhasznált térinformatikai szoftver az ArcGIS 10.4.1. volt. A szoftver segítségével először a térképekről (az első, a második, a harmadik katonai térképekről, a Duna-mappációról, az 1952-es és az 1987 topográfiai térképekről), majd a CLC téradatbázisról válogattam le a tájhasználati adatokat.

A katonai térképeket a mapire.eu/hu, a Duna mappáció térképet a maps.hungaricana.hu oldalakról töltöttem le. A térképeket a *Georeferencing* menü eszközeivel forgattam és húztam szét, hogy megfelelően illeszkedjenek az alaptérképekre, az ún. gumilepedőnyújtás segítségével. 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 a helyükre kerültek és a koordináta-rendszerük is egységes volt, azonosítani kellett a területeken a felszínborítás-típusokat, hogy felmérhessem a változások mértékét. A raszteres térképekből ezért vektoros térképeket készítettem. A körberajzoláshoz az ArcGIS szoftver *Editor* menüjét használtam. Pontról pontra körberajzoltam az egyes tájfoltokat, és vektoros poligonokat készítettem belőlük (12. ábra).



12. ábra – Poligonok digitalizálása az 1782-1785-ös Első Katonai Felmérés mohácsi-szigeti térkép lapján (HERVAI A. et al. 2020b)

A digitalizálás során keletkezett forgácpolygonok hibáinak kijavítására az *Advanced Editing* menü *Align To Shape* függvényét használtam (13. ábra).



13. ábra – A forgácpolygonok eltüntetése (HERVAI A. et al. 2020b)

Miután az összes különálló területet körbejelöltem, meg kellett határozni azok pontos területét, hogy össze lehessen hasonlítani őket. Ehhez az ArcGIS *Calculate Geometry* műveletét használtam. *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 (32. ábra). Természetesen az internetről letölthető (<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>) CLC adatbázis esetében, amely egy vektoros állomány, a műveleteket rögtön a leválogatással kezdtem.

Átnéztem a térképi leírásokat a Duna mappációhoz és a katonai térképekhez. A Duna-mappáció térlapjaihoz tartozó leírásokat a Pécsi Tudományegyetem Néprajzi Tanszékétől kapott alkalmazásból másoltam ki. A katonai térképekhez tartozó

információkhoz és a jelkulcshoz JANKÓ A. (2007), a Duna mappáció értelmezéséhez DÓKA K. (2006) munkáit használtam fel.

4.2. Az erdőtagok változásának felmérése

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 üres vágásterületről nem volt megfelelő mennyiségű adat, ezért ilyet nem hoztam létre. A osztályaimba a következő fafajok tartoztak:

- 1) Agresszív: Az invazív fafajok területaránya eléri a 20%-ot. Az ide tartozó fajok elsősorban az akác (*Robinia pseudoacacia*), a zöld juhar (*Acer negundo*), az amerikai kőris (*Fraxinus pennsylvanica*), a bálványfa (*Ailanthus altissima*) és a nyugati ostorfa (*Celtis occidentalis*).
- 2) Tájidegen: egyéb, nem agresszív tájidegen fafajok eléri az adott erdőtag 20%-át. Az ide tartozó fajok elsősorban a fekete dió (*Juglans nigra*), a nemes nyár (*Populus x euramericana*), az erdei fenyő (*Pinus sylvestris*), a fekete fenyő (*Pinus nigra*), a juharlevelű platán (*Platanus x acerifolia*) és a lepényfa (*Gleditsia triacanthos*).
- 3) Kissé agresszív: az agresszív fafajok jelen vannak ugyan, de nem érik el az erdőtag 20%-át, az egyéb tájidegen fafajokkal együtt viszont arányuk meghaladja a 20%-ot.
- 4) Természetes (főként őshonos): a tájidegen fafajok aránya 20% alatti. Az ide tartozó fajok elsősorban a fehér fűz (*Salix alba*), a fehér nyár (*Populus alba*), a fekete nyár (*Populus nigra*), a magas kőris (*Fraxinus excelsior*), a magyar kőris (*Fraxinus angustifolia* subsp. *pannonica*), a kocsányos tölgy (*Quercus robur*), a gyertyán (*Carpinus betulus*), a vénic szil (*Ulmus laevis*), a vadalma (*Malus sylvestris*), a vadkörte (*Pyrus pyraeaster*), a hegyi juhar (*Acer pseudoplatanus*), a mezei juhar (*Acer campestre*), a nagylevelű hárs (*Tilia platyphyllos*) és a kislevelű hárs (*Tilia cordata*).

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.

4.3. A talajvíz Dunával való kapcsolatának vizsgálata

4.3.1. Az adatok összegyűjtése

A Mohácsi-sziget árterének átalakítása már több mint kétszáz éve elkezdődött és a munkálatok legfontosabb lépései (átvágások, töltések készítése, csatornák kialakítása, belvízszivattyúzás) már több mint száz éve befejeződtek. A Duna és a víztartó rétegek között még megmaradt kapcsolat felmérése, valamint az áradások hatásainak értékelése fontos feladat a táj egésze szempontjából, mint ahogy ezt a VKI is előírja (<http://www.ddvizig.hu/hu/viz-keretiranyelv-1>).

A nagyobb árhullámoknak a felszín alatti vízszintre gyakorolt hatását vizsgáltam meg 47 talajvízkút esetében. Az 1996 januárja és 2018 decembere közötti időszakra vonatkozó adatokat több szervezettől kaptam. A Duna vízszintjének és három jobbparti talajvízkútjának adatait a DDVIZIG (Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság), a balparti (mohácsi-szigeti) talajvízadatokat 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.

Az áradások összehasonlításánál a kiválasztott időszakok 40 napos időintervallumok voltak, amelyek közepe mindig az adott árhullám csúcsa volt. A korrelációs és a regressziós vizsgálatoknál mindig az áradás tetejének teljes karakterisztikáját akartam összehasonlítani a Duna vízállásánál és az adott talajvízkutaknál. Az eredmények elfogadhatóságára 5%-os szignifikancia küszöböt határoztam meg. A vízállás adatokat tengerszint feletti magasság értékre is átszámítottam. Minden talajvízkút esetében meg volt adva a csőperem magassága, ebből vontam ki a centiméterben mért értéket. A vízállásadatok esetében pedig a vízmérce nullapontjának tengerszint feletti magasságához hozzáadtam ezt az eredetileg mért értéket.

4.3.2. Többnapos adatok használhatóságának vizsgálata

Azoknál az idősoroknál, amelyek nem egy, hanem három- vagy négynaposak voltak egy saját szoftverrel készítettem el az interpolált egy napos verziót. Egy általam írt Excel VBA kóddal (3.1. forráskód) végig interpoláltam a 3-4 napos adatsorok hiányzó részeit. Az interpolációt leteszteltem. Kiválasztottam öt darab talajvízkutat egy hatvannapos szakaszban, ahol megvoltak a napi adatok. Ezt az adatmátrixot négynaposra ritkítotam, majd elkészítettem az interpolált megfelelőjét ezeknek a hatvannapos szakaszoknak. Az eredeti és az általam készített értéksorokat páronként összehasonlítottam Pearson korrelációval (1.1. táblázat). Négy esetben az r értéke meghaladta a 0,95-öt, ami azt jelenti, hogy a négynapos interpolált adat csak minimálisan tér el az eredetitől (2. táblázat). Egy esetben (az F-40-es kútnál) csak 0,86-os r érték lett a kapcsolat erőssége. Összeségében elmondható, hogy bár természetesen lehetnek 10%-os különbségek az interpolált és az eredeti adatok között, általában kisebb hibákra lehet számítani. A vizsgálatban csak a három utolsó kút (001459, 004481, 132048) volt az, ahol ténylegesen interpolált adatokat kellett használni. Ezek esetében mindig 0,98 felett volt a korreláció erőssége. Ennek az oka az, hogy az ADUVIZIG (és a DDVIZIG) kutak is messzebb, általában több kilométer távolságban találhatóak a Duna parttól, így nagyobb talajvíz hullámokra kevésbé kell számítani. Azonban a vizsgálat során minden egyes kútra nagy szükség volt a vízterjedés térbeli megismerése végett.

2. táblázat - A mesterségesen előállított és az eredeti értékek közötti korrelációk

F-12	0,96665
F-40	0,86387
001459	0,98395
004481	0,99532
132048	0,99026

A példában szereplő F-40-es kút esetében, amelyik egy tényleges termelőkút mellett található, természetesen nagyobb különbségeket lehet találni az interpolált és az eredeti adatok között, mert ez a kút nem csak egy termelőkúthoz, hanem a Dunához is közel van. Azonban az összes olyan kútnál, amelyik a termelőkutak vagy a Duna közelében található, valós napi adat állt rendelkezésemre.

4.3.3. Szoftverfejlesztés

Összetett hidrogeológiai helyzet esetén a víztartó réteg jellemzéséhez hosszú adatrekordra alkalmazott statisztikai módszerekre van szükség (NEVULIS et al. 1989). A kutatáshoz mintegy 270.000 napi talajvízállás és Duna-vízállás adat, 115.000 darab napi termelőkút vízállásadat és 50.000 napi csapadék adat állt a rendelkezésemre. A talajvíz adatokat, a Duna, a Riha-tó, a Nagybaracsikai-Duna vízállás adatait és a csapadék adatokat, ahogy már említettem négy szervezettől kaptam meg legalább tízféle formátumban.

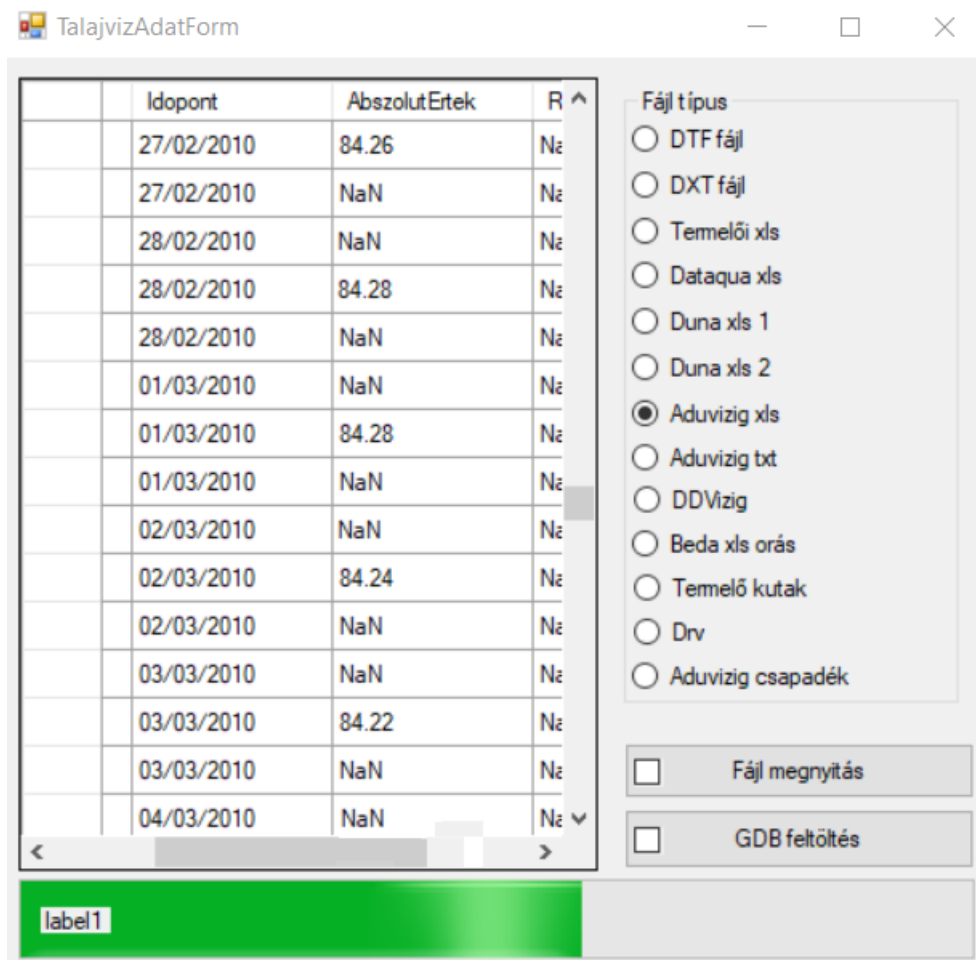
Ha csak a teljes időintervallumra vizsgáldtam volna, akkor nem lett volna szükséges külön szoftvert írnom, az SPSS vagy az R felhasználó felülettel rendelkező alkalmazásaival elkészíthettem volna a vizsgálatot. Azonban az áradások vizsgálata nagyon időigényes lett volna automatizálás nélkül. Először is, mert nem tudtam pontosan, hogy milyen hosszúságú idősávokban hívjam meg a CCF (keresztkorrelációs függvény) és aztán később a LM (lineáris regressziós model) függvényeket. A saját szoftverem segítségével azonban könnyedén meg tudtam határozni a megfelelő időintervallumot (amely végül 40 nap lett és a közepe az áradás tetőzésének időpontja volt). Miután ezt megállapítottam, új probléma merült fel. Mind a 31 áradási eseményre és a 47 kútra le kellett futtatnom a vizsgálatot. Az önmagában is 1519 keresztkorrelációs vizsgálat után még a legjobb korrelációs értékét és a hozzátartozó lagtime-ot külön-külön ki kellett volna olvasni, így hát az automatizálás nem volt megkerülhető. Az adatokat egy nagy Excel táblába is tölthettem volna, de az adatbázis műveletek minimum 10-szeres sebesség növekedést eredményeztek.

A lineáris regresszió vizsgálatánál még összetettebb problémával kellett szembenéznem. Ott nem csak a Duna és a talajvízkutak idősorainak, hanem az összes termelőkút és a csapadék idősoroknak is lagtime-mal kellett kiszámolnom az értékét, hogy a legerősebb determinációs együtthatót megkapjam. A lineáris regressziós modell függvényhez nem is tartozik lagtime lehetőség, sem az SPSS, sem az R szoftverekben (legalábbis szoftverfejlesztés nélkül). Ez a vizsgálat így a keresztkorrelációs vizsgálatnak is legalább a tízszerese lett volna szoftveres megoldás nélkül. Összeségében nem nagyon lehetett volna a kutatást megvalósítani.

Az általam készített szoftver C#.net nyelven íródott és Visual Studio 2017 fejlesztői környezetben készült el. Azért esett a C#-ra a választás, mert az eredményeket az ArcGIS 10.4.1. szoftver API-ján keresztül kívántam megjeleníteni, ez utóbbi pedig csak .NET környezetben vagy Pythonban programozható hatékonyan, de nem akartam script nyelven fejleszteni. A C# nyelv segítségével ugyanakkor az Excel API-t és a statisztikai vizsgálatokhoz R API-t is könnyedén el lehet érni. A statisztikai szoftverek

közül pedig azért választottam az R 3.6.0. szoftvercsomagot, mert könnyedén megbirkózik a nagy adathalmazokkal, gyors a kalkulációs motorja és jól fejleszhető.

Az összegyűjtött adatokból először is használható adatbázis rendszert készítettem. A kapott idősor adatokat az általam írt szoftver segítségével ArcGIS adatbázis táblákba töltöttem. Az általam írt célszoftver felhasználói felületén ki lehetett választani az adattípust, amelyiket adatbázisba szándékoztam betölteni (14. ábra), majd az Excel API, vagy szimpla fájlolvasó C# műveleteken keresztül a vízszint értékeket memóriába, lista típusú adatszerkezetbe töltöttem. Ezek után az ArcGIS API segítségével az adatbázisba másoltam az értékeket. Külön táblákat hoztam létre a talajvíz-, a csapadék- és a termelőkút-adatoknak. A mérőállomások pontszerű adataiból szintén az ArcGIS ArcMap 10.4.1. szoftverével talajvízkút-, termelőkút- és meteorológiai elemosztályokat (feature classes) hoztam létre. A térbeli adatok és az idősorok között a csatoló mező a „RENDSZAM” volt.



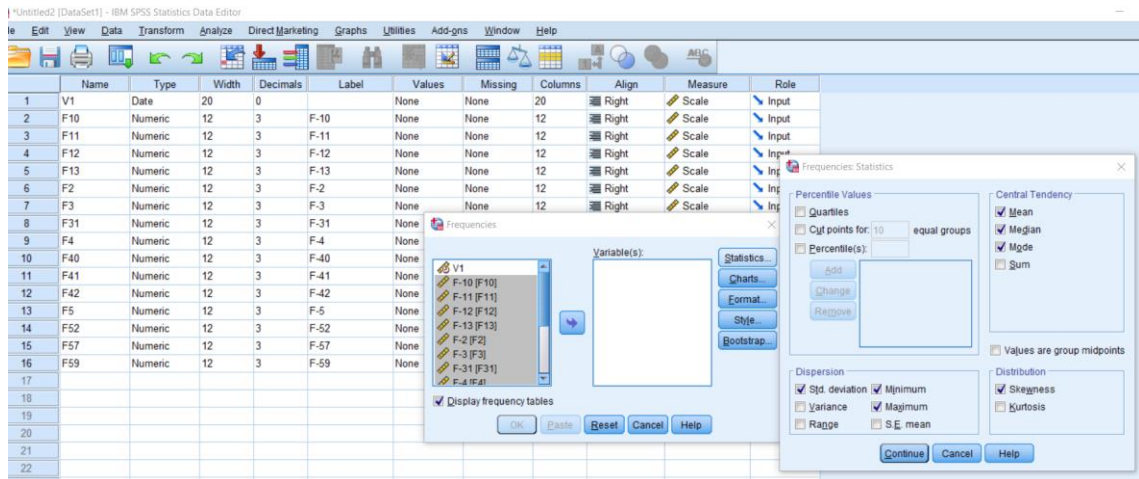
14. ábra – Adatfeltöltő modul felhasználói felülete (szerkesztette: HERVAI A.)

Az adatoknak mindenféleképpen tartalmazniuk kellett időpont- és vízállásértékeket, hogy a vizsgálatba bevonhatóak legyenek. Ha nem tartalmaztak, akkor nulla értékekkel (a 14. ábrán NaN) töltöttem fel az adatbázist. Később az R 3.6.0. függvényeket úgy kellett meghívni, hogy ezeket az értékeket ne vegye figyelembe.

	J	K	L	M	N	O	P
	F-40	F-41	F-42	F-5	F-52	F-57	F-59
5	85.314	85.28	85.242	84.698	85.751	84.473	85.026
9	85.327	85.294	85.246	84.653	85.755	84.479	85.013
3	85.332	85.314	85.234	84.67	85.764	84.475	85.081
6	85.334	85.303	85.245	84.662	85.764	84.479	85.04
7	85.33	85.303	85.239	84.663	85.766	84.47	85.058
6	85.199	85.328	85.161	84.674	85.771	84.481	85.154
4	85.047	84.621	84.532	83.938	85.794	83.421	85.115
7	85.205	85.25	85.183	84.665	85.813	84.475	85.15
9	85.088	84.657	84.564	83.974	85.844	83.443	85.169
8	85.717	85.48	85.426	84.479	85.865	84.428	84.872
7	85.687	85.443	85.418	84.463	85.87	84.399	84.862
8	85.603	85.399	85.307	84.45	85.873	84.378	84.854
8	85.114	84.676	84.586	84.003	?	83.452	85.214
4	85.144	84.699	84.612	84.034	?	83.468	85.262
3	85.176	84.726	84.639	84.065	?	83.482	85.309
2	85.202	84.747	84.661	84.093	?	83.494	85.354
5	85.238	84.779	84.69	84.128	?	83.516	85.401
7	85.274	84.814	84.718	84.163	?	83.539	85.448
6	85.296	84.832	84.738	84.189	?	83.549	85.486
8	85.324	84.855	84.763	84.222	?	83.565	85.533
7	85.354	84.882	84.788	84.253	?	83.583	85.573
7	85.377	84.901	84.807	84.283	?	83.595	85.609
3	85.407	84.931	84.831	84.316	?	83.617	85.648
7	85.437	84.962	84.855	84.35	?	83.641	85.686
6	85.46	84.983	84.877	84.378	?	83.656	85.715
6	85.484	85.005	84.9	84.408	?	83.673	85.745

15. ábra – Hiányzó értékek a talajvízadatsorok között

A vízállás értékeket kiolvasás után, az ismert csőperem-magasság vagy felszíni vízállások esetén a műszer nullapontja alapján, szoftveresen átalakítottam tengerszint feletti magasság értékekre (természetesen a csapadék adatokat leszámítva). A GDB feltöltés gombbal (14. ábra) már ezeket az átalakított értékeket másoltam az ArcGIS 10.4.1. megfelelő tábláiba. Az összegyűjtött adatokat egy nagy adatbázisba kellett rendeznem, mert az R 3.6.0. szoftver CCF és LM függvényeivel akartam vizsgálni. A már összegyűjtött adatoknál is meg kellett nézni, hogy nem hibásak-e (15. ábra). IBM SPSS Statistics 23 szoftver Frequency Statistics műveletével (16. ábra) leválogattam a kilógó (szórástól nagyon eltérő) értékeket, és ha úgy találtam, hogy nem fordulhatott elő az adott időpontban a mért érték (nagyon különbözik a környezete értékeitől), akkor töröltem azt.



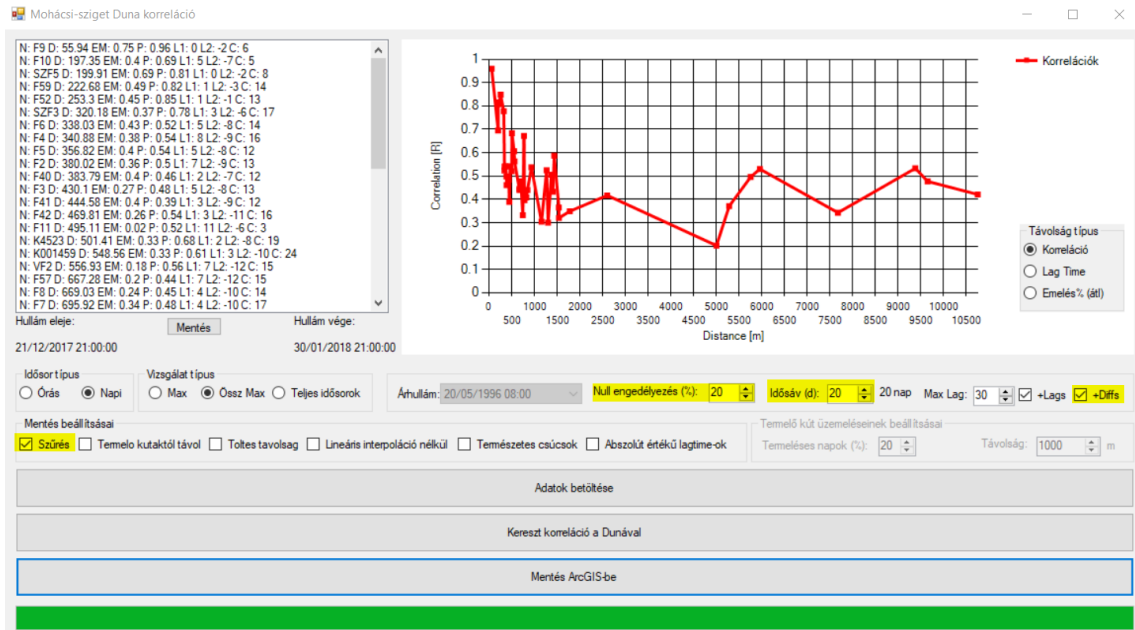
16. ábra – SPSS szoftver Frequency Statistics modulja

4.3.4. Duna és a talajvíz kutak keresztkorrelációs vizsgálata

A keresztkorrelációs vizsgálathoz kiválasztottam harmincegy nagyobb árhullámot (1.2. táblázat) a teljes időszakból. Olyan áradásokat választottam ki, amelyeknél a Duna vízállása folyamatosan (kvázi) lineárisan emelkedett (VEKERDY Z. – MEIJERINK, A.M.J. 1998), az árvíz előtt viszonylag stabil alacsony vízállású időszakok voltak és a vízállások legmagasabb értékei a mohácsi vízmércénél meghaladták a 600 métert. A DRV vízállásmérők (amelyek a parthoz közel helyezkedtek el) vízszintjei napi értékek voltak az ADUVIZIG és a DDVIZIG vízszintek részben napiak, részben 3-4 naposak voltak.

Az R 3.6.0. statisztikai szoftvercsomag keresztkorreláció (CCF) függvényének segítségével megvizsgáltam, hogy milyen nagyságú és mekkora időeltolódású kapcsolat található meg a talajvíz kutak és a Duna között az árvizek esetén.

Az ArcGIS API segítségével kiszámoltam a távolságot a talajvíz kutak és a Duna partja között. Megfelelő nagyságú és időintervallumú kapcsolatot szerettem volna találni a Duna és talajvíz kutak között. Az általam írt szoftver (17. ábra) segítségével ki lehetett választani egyesével az áradási időszakot, a vizsgált időintervallum hosszát és a lagtime hosszát. A kódom a háttérben meghívta az említett CCF függvényt a kiválasztott időintervallummal. A függvény visszatérési értékéből kiolvastam a korreláció erősségét (a 17. ábrán a baloldali listán „P”) és a lagtime-ot. Tulajdonképpen a visszatérési értékek egy objektum lista, amely minden lagtime-ra tartalmazza a korreláció r értékét. Egy általam írt maximum függvénnyel megkerestem a legnagyobb korreláció értéket és kiolvastam a hozzá tartozó lagtime-ot. A keresztkorrelációs függvénnyel tehát a kapcsolat erősségét tudtam meghatározni.



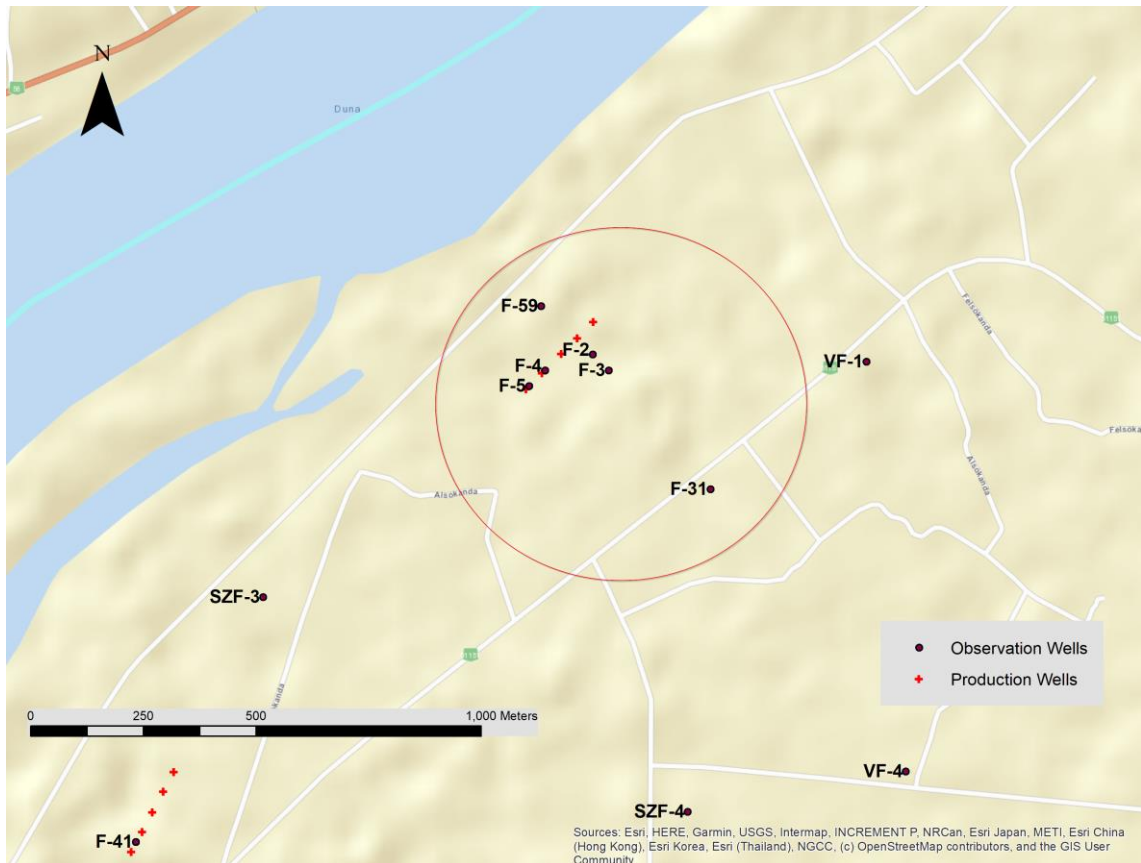
17. ábra – A talajvíz és a Duna közti korrelációt vizsgálató modul (HERVAI A. et al. 2019)

Összességében több száz keresztkorrelációs vizsgálatot tudtam lefuttatni másodpercenként. Saját szoftverem segítségével nem csak teljes idősoros kapcsolatot, hanem az áradási eseményeket külön-külön is meg tudtam vizsgálni. A keresztkorreláció függvény eredményét meg tudtam nézni teljes idősorokra és az áradási eseményekre is egyesével. A szoftverem segítségével meg tudtam változtatni az áradási eseményeknél azt az időszakot, amit figyelembe vettem a keresztkorrelációnál (17. ábra). A teszt vizsgálataim alkalmával és az áradási időszak környékén megfigyelhető Duna-víz és talajvíz görbék megfigyelésével arra a következtetésre jutottam, hogy a 40 napos időintervallum adja vissza legjobban a talajvíz-hullámok és a Duna-hullámok közötti kapcsolatot. A szoftverrel képes voltam arra is, hogy a keresztkorreláció maximum lag értékét is változtassam. Az adatok között rendszeresen előforduló hiányzó értékeket szintén egy, előre beállított százalékos értékkel lehetett szűrni. Ez a gyakorlatban azt jelentette, hogy egy állítható, de tapasztalat alapján 20%-nál több hiányzó értékkel rendelkező idősort már nem vontam be a vizsgálatba.

A talajvízhullám terjedési sebességének vizsgálatához karakterisztikus „lagtime” (VEKERDY Z. – MEIJERINK, A.M.J. 1998) értéket határoztam meg, amely a legmagasabb korrelációs együttható értéke volt az egyes megfigyelési mérőhelyekre. Csak azokat a kutakat vettem figyelembe, amelyeknek a korrelációs együtthatója meghaladta a 0,2-et, mivel az együttható alacsonyabb értékeinél nehéz volt meghatározni a karakterisztikus késleltetési időt.

4.3.5. Lineáris modellvizsgálat

A lineáris regressziós modell vizsgálatához öt áradást választottam ki. Ezek között volt az utolsó száz év legnagyobb, a 2013. június 13-ai csúcsú áradása, amely 964 m-es magasságot ért el Mohácsnál. További négy eseménynél megvizsgáltam a regressziót is. 2007. szeptember 16-ai csúcsú áradásnál, amely 776 méteren, a 2009. július 5-ei csúcsú áradásnál, amely 856 méteren, a 2010. június 11-ei csúcsú áradásnál, amely 925 és a 2011. január 21-ei csúcsú áradásnál, amely szintén 776 méteren tetőzött. Azért ezt az öt eseményt választottam, mert ebből az időszakból volt már termelőkút és csapadék adatsorom is és az áradásoknak önálló, jól kiemelkedő csúcsai voltak (1.2. táblázat).



18. ábra – Teszterület a lineáris regressziós modell vizsgálathoz (HERVAI A. et al. 2020a)

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 termelő kutak 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 termelőkutak átlagolt időszorának kombinációja volt. Azért kellett egymásra illeszteni az idősorokat, mert a termelőkutak nem függetlenek a Dunától, tehát nem szabad őket külön-külön a modellbe illeszteni. Azt is figyelembe kellett venni, hogy amikor egy adott termelőkútban nem volt termelés, akkor gyakorlatilag figyelőkútként 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 termelő kút vízszintértékeivel (HERVAI A. et al. 2020a). Első lépésben, megpróbáltam megtalálni a Duna legerősebb hatását. A Duna vízállásgörbéjét időben eltoltam és átalakítottam (1., 2. egyenlet, 19., 20. ábra), hogy megkapjam a Duna a valódi hatását a talajvízre. Az LM függvényt már ezzel a transzformált Duna időszorral hívtam meg (D_t , 3. egyenlet). Ennek eredményeként megkaptam a Duna optimális determinációs együtthatóját. Ezután kiválasztottam a vizsgált megfigyelőkút közelében található termelő kutakat, és hozzájuk is megkerestem az optimális determinációs együtthatót, illetve az optimális késési időket.

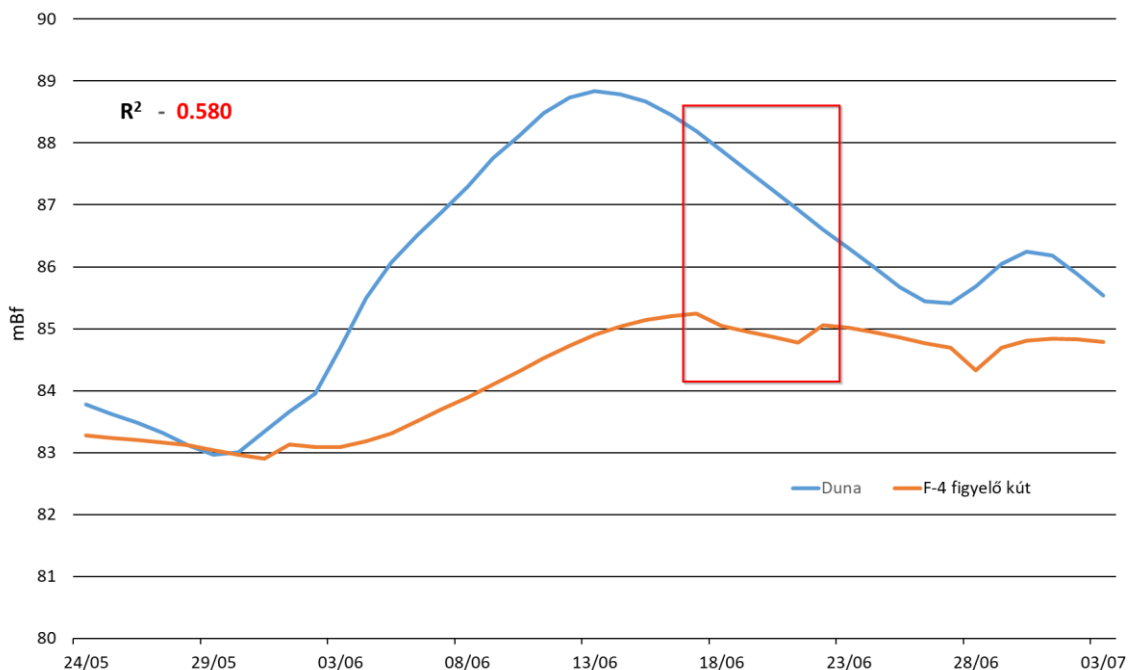
Csak a működő termelőkutak kerültek tehát be a statisztikai vizsgálatba, továbbá a nem szignifikáns kutak ki lettek zárva a végső egyenletből. A szűrés után a kiválasztott és napokkal eltoló időszorú termelőkutakat átlagoltam (P_{avg} , 4. egyenlet). Majd ezt az átlagolt értéket újra átlagoltam a napokkal eltoló Duna-időszorokkal (D_{avg} , 5. egyenlet, 21. ábra). Végül a kombinált idősorokat újra beillesztettem az LM-be (a szoftveren és az R

API-n keresztül). Miután megtaláltam a termelőkutakkal kombinált Duna idősorok optimális késési idejét, a csapadékidősort is hozzáadtam a lineáris regressziós modellhez, amely ebben az értelemben második független változó volt. Kiszámítottam a csapadék optimális késési idejét is.

4.3.6. A lineáris modellvizsgálat tesztelése

Hogy meggyőződjek arról, hogy a helyes eredményt mutatja a matematikai-statisztikai modellem, Excel szofver segítségével leteszteltem. A teszt időszaknak a 2013-as júniusi áradási eseményt, területnek pedig a középső termelőkútsor körüli figyelőkutakat választottam (18. ábra). Ezen a területen a figyelőkutak a Dunára nagyjából merőlegesen sorakoznak fel a sziget belseje fele haladva.

Első körben tehát Excel alkalmazás segítségével a figyelőkutak és a Duna-idősorok görbéi alapján megvizsgáltam, hogy van-e közöttük kapcsolat. A 19. ábrán a négyes számú figyelőkút és a Duna 2013. júniusi áradásakor mért vízállás értékei láthatók. Ez a kút 340 méterre található a Duna parttól. Az áradás körüli napok figyelőkút értékeit összehasonlítottam a Duna értékeivel. A 19. ábra alapján feltételezhető, hogy áradáskor van kapcsolat a Duna és a figyelőkút vízállásértékei között. Megpróbáltam kideríteni ennek a kapcsolatnak a mértékét.



19. ábra – A Duna és az F-4-es figyelőkút vízállás görbéje 2013. júniusában (HERVAI A. et al. 2020a)

Az Excel segítségével az áradási csúcs körüli napok környezetében megkerestem a legmagasabb talajvízállás napját, az időkülönbséggel megkaptam a “lagtime” nagyságát. Ezzel az értékkel eltoltam a Duna idősorát. Szintén a 19. ábra alapján azt feltételeztem, hogy a figyelőkút függvénye és a Duna függvénye többé kevésbé egymásba transzformálható y irányban. Meghatároztam az áradás hullám arányossági tényezőjét (S_r , 1. egyenlet). Ez az érték megmondja, hogy az adott talajvízkútban megjelenő talajvíz hullám amplitúdója hányad része a Duna hullám amplitúdójának.

Kiszámoltam a Dunára a minimum (D_{min}) és a maximum (D_{max}) értékeket, illetve az adott figyelőkútra is a minimum (S_{min}) és a maximum (S_{max}) értékeket és ezeknek vettem különbségeit. A figyelőkútak minimum maximum különbségeit elosztottam a Duna minimum maximum különbségével. Így megkaptam az arányossági tényezőt (S_r). Ez az érték megmondja, hogy egy Duna hullám saját magasságának hány százalékát emeli a talajvízen.

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

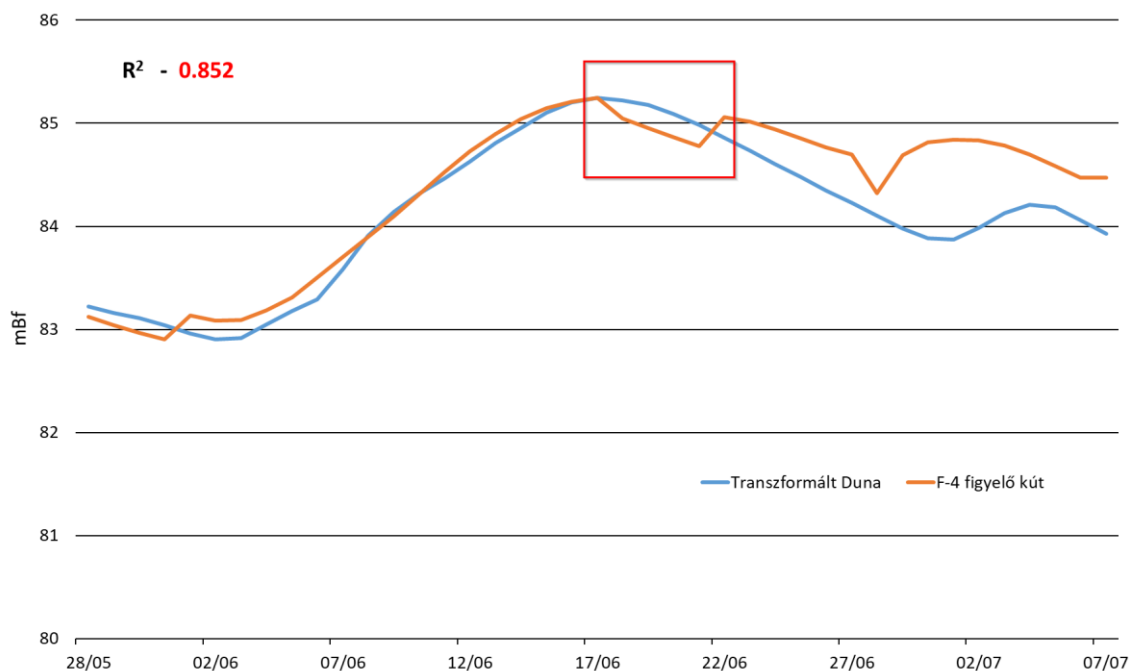
A Duna vízállás értékek függvénytranszformációját két lépésben állítottam elő. Első lépésben a vízállás értékeket az x tengelyen eltoltam az áradás csúcs napjától az adott talajvíz csúcsértékének napjáig (2. egyenlet).

$$D_{x\ lag} = (D_{x-lag}) \quad (2)$$

A már ismert arányossági tényezővel (S_r) és a lag ($D_{x\ lag}$) értékkel kiszámoltam a transzformált Duna értéket (D_t , 3. egyenlet). Duna minden lagtime-mal eltolt értékéből ($D_{t\ lag}$) kivontam a Duna áradáskori maximum értékét (D_{max}). Ezt az értéket megszoroztam az arányossági tényezővel (S_r), majd hozzáadtam a figyelőkút áradáskori maximum értékét (S_{max}).

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

A Duna és talajvízkútak magassági (y irányú) eltolására (S_{max}) természetesen csak a megjelenítés miatt volt szükség, a determinációs együttható erősségén nem változtatott. Az így elkészült transzformált Duna idősort és a talajvíz idősort együtt közös diagramra illesztettem, illetve kiszámoltam a közöttük lévő regresszió erősségét. A példában nagyon szoros ($R^2 = 0,831$) kapcsolatot találtam az x irányban eltoló és y irányban transzformált Duna- és a talajvízkút-idősorok között (20. ábra).



20. ábra – A transzformált Duna és az F-4-es figyelőkút vízállás görbéje 2013. júniusában (HERVAI A. et al. 2020a)

A parthoz viszonylag közeli (<500 m) kutaknál a Duna transzformáció egy a példában szereplő figyelőkúthoz hasonló görbét eredményezett. 5-600 m távolság után már nehéz volt a Duna áradását felismerni a termelőkutakon. Az arányossági tényező (S_r) és a lagtime sok mindent elárul a terület geológiai viszonyairól.

A Duna és a figyelőkút kapcsolatának megismerése után megpróbáltam a termelőkutakat hatását felmérni a talajvízre. A termelőkutaknak csak a vízállásértékeit ismertem, a konkrét termelési értékeket nem. A termelőkutak közül egyszerre több hathat a figyelőkutakra, tehát nekem ezt a közös hatást kellett kimutatnom.

A termelőkutak vízállásidősorai a Dunával nem alkotnak egyértelműen lineárisan független rendszert, hiszen többé-kevésbé a Dunától függenek. A vízállás értékei, mint vektorok egyesével nem vihetők be egy lineáris modelbe.

Duna és a termelőkutak közös hatását, mielőtt a lineáris modellbe bevitettem volna, matematikai módszerekkel összegeztem. Az Excelben a középső termelőkútsor kútjait egymás mellé helyeztem és készítettem egy átlagolt termelőkútsort az Excel átlagfüggvényével.

Az átlagból ki-berakosgattam a különböző termelőkutakat, illetve az oszlopaikat fel-letologattam (időben eltoltam) a lagtime-mal való számításhoz. A termelőkutak lagtime értéke csak 1-2 nap lehetett, hiszen a távolabbi figyelőkutakra már egyértelműen nem volt közvetlen hatásuk. Ahol figyelemre méltó volt a termelőkutak hatása, ott általában nem kellett lagtime-mal számolni.

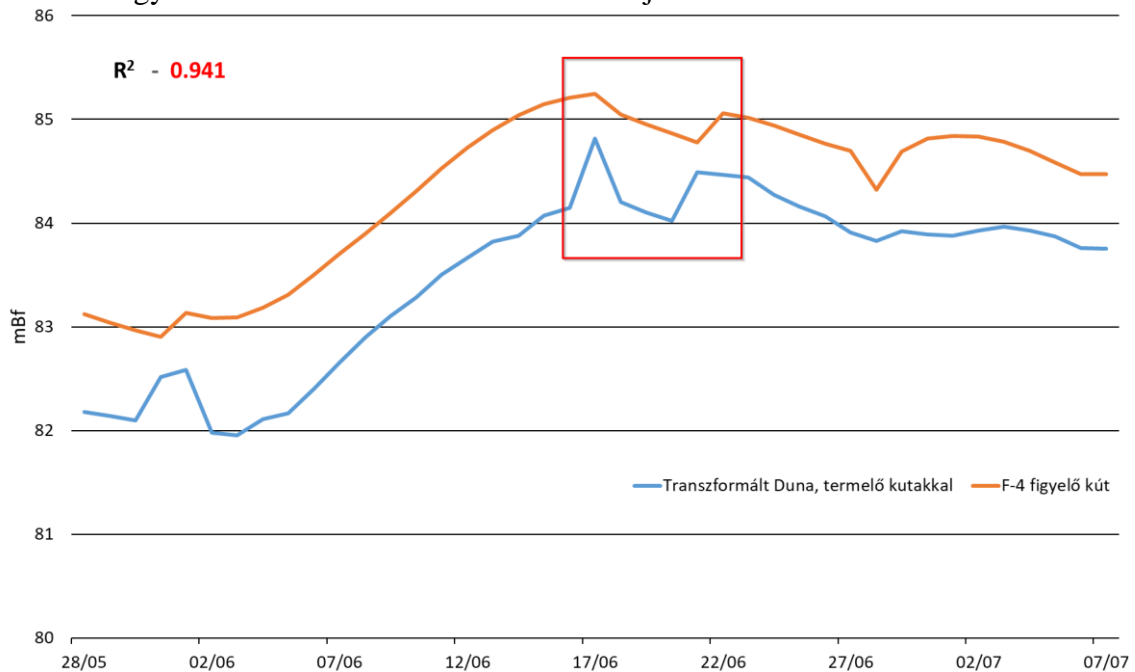
Az Excel lineáris regresszió függvényével néztem az átlagolt termelő sor függvény hatásának erősségét a példában szereplő 4-es figyelőkútra. Néhány próbálgatás után kiválasztottam a legerősebb termelőkút kombinációt (4. egyenlet).

$$P_{avg} = \frac{P_{x1} lag_1 + P_{x2} lag_2 + \dots + P_{xn} lag_n}{n} \quad (4)$$

Az átlagolt termelőkút idősornak és a transzformált Duna idősornak is egy közös átlagát képeztem (5. egyenlet).

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

Ezzel a módszerrel a termelőkút értékeket ráillesztettem a Duna-adatakra (21. ábra) és így egy új idősort hoztam létre. A termelőkutak és a Duna egymásra illesztésénél minden esetben megnéztem, hogy így erősödik-e a determinációs együttható értéke, tehát tudok-e nagyobb összhatást kimutatni az adott talajvízkúton.



21. ábra – A transzformált Duna közeli termelőkutakkal kombinált vízállás görbéje, illetve az F-4-es figyelőkút vízállás görbéje 2013. júniusában (HERVAI A. et al. 2020a)

A teszt vizsgálatom bebizonyította, ahogy a 21. ábrán is látszik, hogy ezzel a módszerrel elég jól meg lehet becsülni a talajvíz szintjét a négyes számú figyelőkútnál. A termelőkutakhoz közeli kutaknál (F-4, F-5, F-2, F-3) az összesített eredmények javítottak a determinációs együttható értékén. A kiválasztott esetünkben 10%-al erősebb hatást ($R^2 = 0,937$) tudtam kimutatni. Más esetekben azonban alig javítottak (F-59), vagy a távolabbi kutaknál rosszabbak lettek az eredmények (F-31, SZF-4), ekkor elvettem a kombinált görbe használatát és csak a transzformált Duna-idősorral dolgoztam tovább. A termelőkutaktól 100 méternél távolabb már nem lehetett kimutatni a hatásukat.

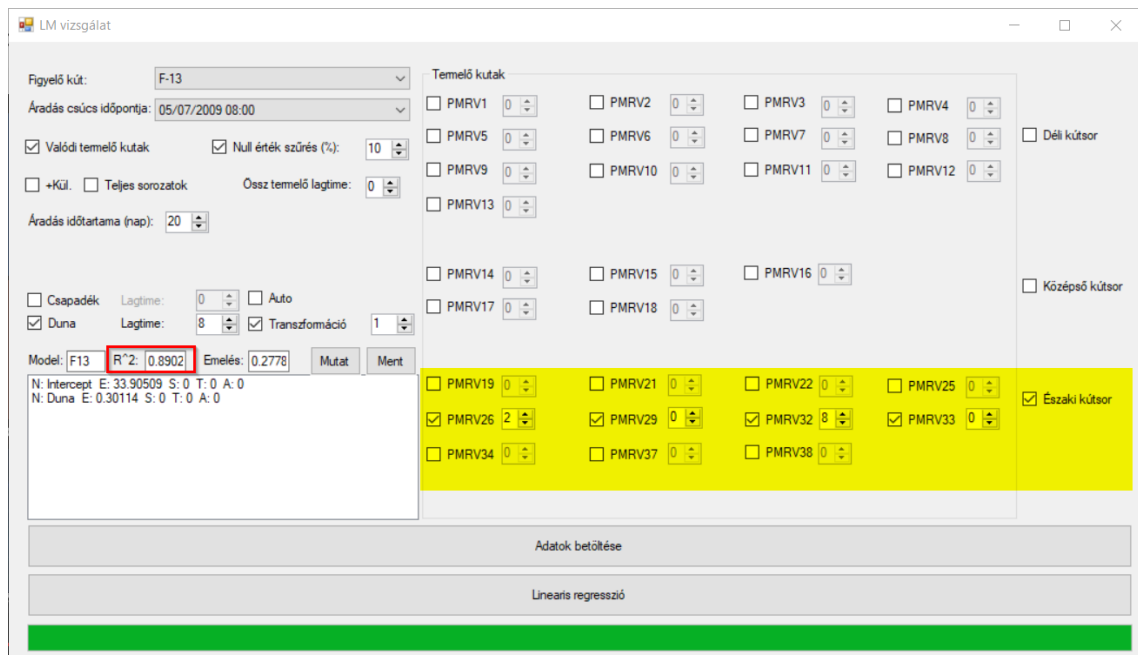
4.3.7. A lineáris modellvizsgálat automatizálása

A lineáris modellvizsgálatra is külön szoftvert írtam (22. ábra), amivel azonban a kiértékelését nem lehetett teljesen automatikusan elvégezni. Az R 3.6.0. API Linear Model (továbbiakban LM) függvényét hívtam meg kódból. Figyelni kellett rá, hogy a modellbe bevitt független és függő változók idősorai, a vektorok, pontosan ugyanolyan hosszúak legyenek. Az LM függvény érzékenyebb a hibás adatokra, mint a CCF, ezért csak 10%-os adathiányt engedtem meg. Az LM függvények közül a stepwise típusút választottam. Az általam fejlesztett felhasználói felületen először, mint a korrelációs szoftverben, be kellett tölteni az adatokat az ArcGIS táblákból memóriába, hogy gyorsabb legyen a vizsgálat. Első körben ki kellett választani a figyelőkutat és az áradási eseményt,

aminél meg akartam ismerni az LM eredményeket (22. ábra). A Duna melletti lagtime értéket állítgatva a Lineáris regresszió gomb megnyomásával folyamatosan meghívtam az R 3.6.0. szoftver LM függvényét és az eredménytömböt kiolvastam és megjelenítettem egy textbox és egy listbox komponensben. A textboxok megjelenítették az R^2 eredményeket (a 22. ábra bal alsó sarkában piros keret) és az arányossági tényezőt (S_T , 1. egyenlet) vagyis a talajvízemelési értékét (a 22. ábra bal alsó sarkában zöld keret). A listbox a végső Lineáris regressziós modellbe bevitt vektorokat (független változókat) jelenítette meg (a 22. ábra bal alsó sarkában kék keret). A független változóknak megjelenítettem az E – Estimation (becslés) értékét és a S – Significance (szignifikancia) értékét. Az Estimation (becslés) a végső lineáris egyenletben a változónak a szorzója. Az R^2 megmondja, hogy a lineáris egyenlettel mennyire biztosan lehet megjósolni a változó különböző értékeit. Az egyenletben szereplő független változók szorzója megmondja, hogy az adott független változó milyen súllyal szerepel a függő változó becslésében. A szignifikanciából pedig arra lehet következtetni, hogy a változó súlya mennyire biztos. Ahogy már a korrelációnál leírtam, 5%-os szignifikancia küszöböt határoztam meg az eredmények elfogadására.

22. ábra – A Duna hatásának vizsgálata a LM modul segítségével (szerkesztette: HERVAI A.)

Azért nem lehetett teljesen automatizálni ezt az eljárást, mert az R^2 -et, a szignifikanciákat és valamennyire az változó súlyát is egyszerre kellett figyelni. A 22. ábrán azt látjuk, hogy a Duna adatainak nyolc napi eltolása, az F-13-as kút és a 2009. júliusi áradás esetében 40 napos időintervallumot kiválasztva (áradási csúcs napjától mindkét irányban 20 nap a 22. ábrán) 0,81-es R^2 -et eredményezett. Ez erős érték és a modellben a Duna független változónak a szignifikanciája nagyon erős (hozzávetőlegesen 0,00001 %). Tehát a Duna hatása minden kétséget kizáróan jelen van, és alapjában véve magyarázza a talajvíz helyzetét áradáskor.



23. ábra – A Duna és a termelőkutak hatásának vizsgálata a LM modul segítségével (szerkesztette: HERVAI A.)

A következő körben bevontam a vizsgálatba a közeli termelőkutakat (23. ábra). Az F-13-as kút az északi termelőkutak közelében van (2. ábra). Amint már említettem, a termelőkutak közül csak a tényleges termelőket kombináltam a Duna idősorával, hiszen a termelőkutak vízállása is a Dunától függ. Különbség csak akkor van bennük a figyelőkutakkal szemben, ha az adott kútban tényleges termelés folyik. A felhasználói felületen természetesen akkor is ki lehetett választani a kutakat, ha nem volt bennük termelés, de a szoftverem kiszűrte őket. Ebben a konkrét vizsgálatban a nyolc (PMRV32) és kétnapos (PMRV26) távolság adott legerősebb eredményt. A változtatás 8 százalékos emelt az R^2 -en.

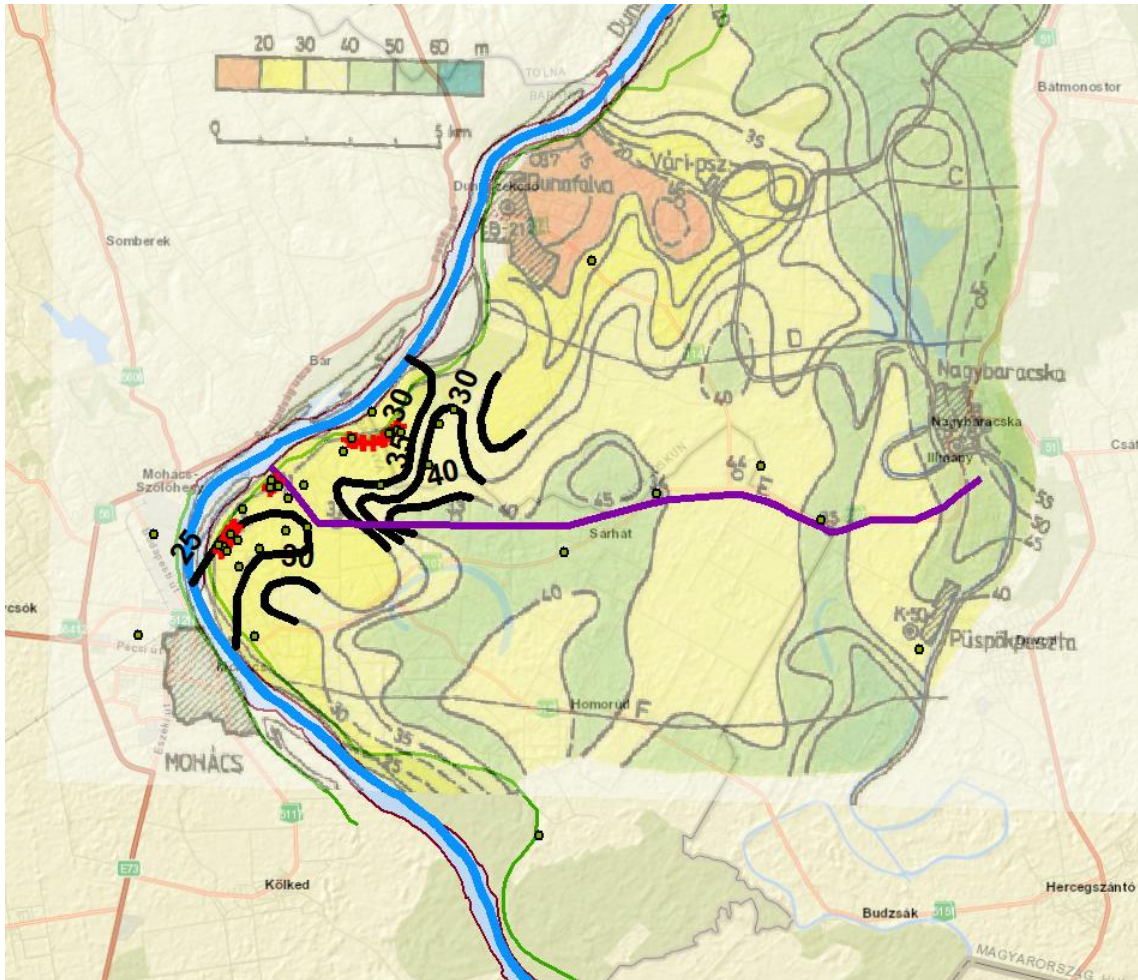
Harmadik körben a csapadékadatokat vittem be. A csapadékadatoknál is lagtime-mal számoltam. A csapadék léptető gombjával lehetett növelni a csapadék idősor napjainak eltolását. Így előállítottam egy 40 napos vektort, ami a csapadék lagtime-mal eltoló értékeket tartalmazta és ezt vittem be a modellbe. Ebben a konkrét esetben a csapadék nem emelt a determinációs együttható értékén, tehát nem került be a csapadék vektor a végleges LM-be.

4.4. Az eredmények megjelenítése

A korrelációs és regressziós vizsgálatok eredményét megjelenítettem Excel szoftverben készített diagramon. ArcGIS API segítségével felépítettem egy térinformatikai modellt. Kiszámoltam a talajvízkutak és a Duna távolságát. Ezután mind a keresztkorrelációból, mind a LM-ből kimutattott Duna és talajvíz kutak közötti kapcsolati erősségekből, késés időkből és talajvízszelvény hatásokról krigelt térképeket készítettem (HERVAI A. et al. 2017). A keresztkorrelációval nagyobb területre számolt térképekre az erdőtag térképeket is ráillesztettem.

A vizsgált területről földtani adatok, domborzatmodell, illetve jelentős részéről talajfúrás adatok álltak a rendelkezésemre. A 24. ábrán látható térképet (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986) a képernyőről kivágtam és az ArcGIS-be importáltam. A tájváltozás kutatása fejezetben leírt módon *Georeferencing* és az *Advanced Editing* menü eszközeivel

megfelelő pozícióba illeszttem 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) készítettem a szintvonalakból (24. ábra), ami a hordalékkúp alját, a pannóniai szintvonalakat tartalmazta. A már digitalizált szintvonalas térkép alá Gimp 2.10.10 szoftverrel illeszttem a DRASKOVITS P. (1982) munkájából szintén a képernyőről lementett keresztshelvény ábrát. Azokban az esetekben, ahol a Dunától való távolságukhoz képest túl alacsony, vagy túl magas volt az R^2 értéke geológiai és geomorfológiai háttérinformációkat, illetve magyarázatot próbáltam keresni.



24. ábra – A pannóniai korszak szintvonalainak digitalizálása (DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986 alapján szerkesztette: HERVAI A.)

5. Az eredmények ismertetése és értékelése

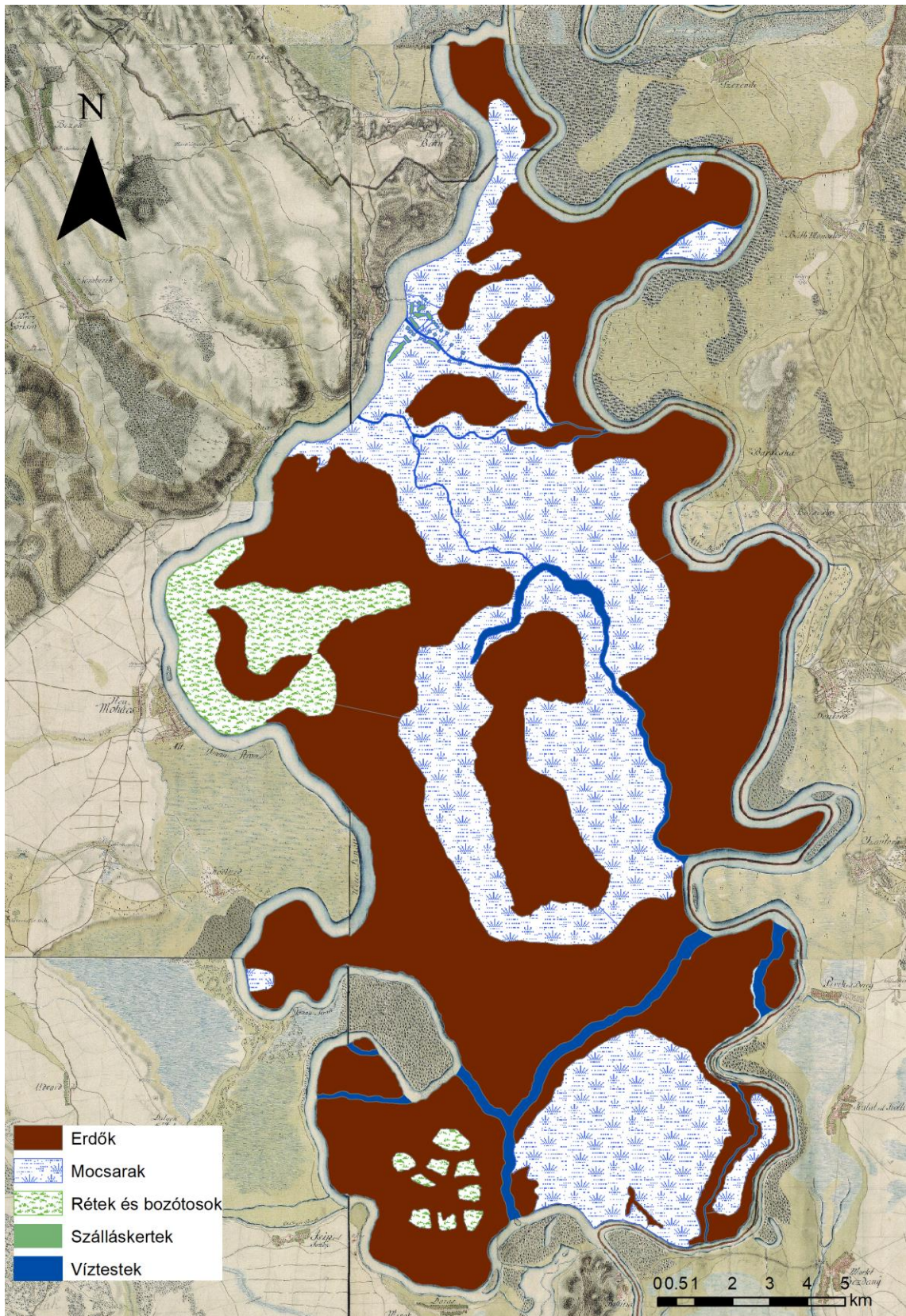
5.1. TáJVáltozás a Mohácsi-szigeten

A Mohácsi-sziget a Duna szabályozása előtt teljes mértékben ki volt szolgáltatva a folyó áradásainak és felszínalakító tevékenységének. Ennek megfelelően az emberi letelepedésre, állandó települések kialakulására csak korlátozott mértékben volt alkalmas.

A sziget északi részén lévő középkori településekről a Zichy-kódexből értesülhetünk (NAGY I. 1894), amely perekhez és határvitákhoz kapcsolódó helyszínbejárások során említ helyneveket (Lak, Vajas, Földvár, Sembecs, Paliport, Töttös). Ezek a települések megjelennek GYÖRFFY GY. (1966) az Árpád-korra vonatkozó történeti földrajzi munkájában is. A Mohácsi-sziget már ekkor is gyéribben lakott volt, mint az árvízzel nem veszélyeztetett magasabb térszínnek, valódi folyóteraszok. A fokgazdálkodás már ekkor megjelenhetett, tehát a táj nem volt teljesen természetes, bár mindenképpen természetközeli volt (ANDRÁSFALVY B. 1975, MOLNÁR G. 1993). A 15. század végétől a Dunán pusztító áradások sorozata vonult le, ez és a törökök megjelenése a települések eltűnését eredményezte (KISS A. – LASZLOVSZKY J. 2013). A török hódoltság idején a sziget sokak számára menedéket biztosíthatott, de a fokgazdálkodás megszűnt (ANDRÁSFALVY B. 1975). A táj tehát az újkor elején még a középkorinál is érintetlenebb lehetett a 17. század végéig, a nem kezelt fokok miatt mocsaras, vizenyős terület volt (MOLNÁR G. 1993). A török kiűzése után még hosszú időnek kellett eltelnie a Mohácsi-sziget újbóli betelepüléséig. A fokgazdálkodás lassanként újraindult és a halászat mellett az állattartás és gyümölcsstermesztés is jelentős volt (ANDRÁSFALVY B. 1975). A 18. század végén kezdődő folyamszabályozási munkálatok jelentős változásokat hoztak.

A térség vízrendezési munkálatai két szakaszra oszthatók. Első szakasz a Duna főágának szabályozása és az ezáltal szükségessé vált árvízvédelem, a második a belvíz elleni védekezés. Az 1777., majd az 1783. évben határozott a mohácsi elöljáróság a mohácsi-szigeti Kanda-fok (a mai Karapancai-főcsatorna) feltöltéséről, ezzel kezdetét vette a Mohácsi-sziget tájtalakítása. Később a mohácsiak részben megbánták ezt a döntést, a 19. század húszas-harmincas évtizedeiben a fokok készítésének újbóli elrendeléséről döntöttek a mocsaras legelők minőségének javítása végett (ANDRÁSFALVY B. 1975).

Az 1780-as években történt az első katonai térképezés a sziget területén. A felmérés elnagyolt volt, a kisebb fokok és morotvák nem voltak feltüntetve a térképén. A szálláshelyek egy nagy foltban jelentkeztek a Szekcsői-Duna bal partjához és Dunafalvához közel. A Riha-tónak azonban a térképen jól láthatóan még volt kapcsolata a Baracscai-Dunával, de a pozíciója biztosan nem volt jól felmérve, hiszen az 1825. évi Duna mappáció és a második katonai felmérés során már jóval közelebb volt a Szekcsői-Duna-ághoz (25. ábra, 26. ábra, 27. ábra).



25. ábra – Felszínborítottság-térkép a Mohácsi-szigetről 1780 körül (mapire.eu/hu alapján szerkesztette: HERVAI A.)

Az első katonai felmérés által készült térképet térinformatikailag is feldolgoztam (25. ábra, 32. ábra és 3. táblázat). Az eredmények szerint a 18. század végén a szigetet

nagyrészt természetes élőhelyek (erdők, mocsarak) uralták (92 %). Néprajzi kutatásokból tudjuk, hogy erre az időre újra kialakult a fokgazdálkodás (ANDRÁSFALVY B. 1975). A katonai felmérés térképlapjaihoz tartozó leírásokból kiderül, hogy a sziget ligeterdők, mocsarokból és egyéb nedves élőhelyekből állt. Majdnem minden térképlap leírása kiemeli, hogy az áradások az egész szigetet elöntötték. A leírásokból az is kiderül, hogy az azt megelőző évszázadokban lakott települések voltak a szigeten, de addigra már csak a szállások maradtak. Az említett települések a térképen Dunafalva körül vannak jelölve. A Riha-tó patakként szerepel a leírásban. Tutajokkal lehetett közlekedni a szigeten, a magasabb térszínek is nehezen járhatóak voltak. A fokgazdálkodás mellett még állattartás volt megfigyelhető. Magas bükk-, tölgy- és égerfákat írnak le a területről (www.mapire.eu, JANKÓ A. 2007), amelyek tipikusan a ligeterdők jellemzői.

1793 és 1802 között Kiss József és Kiss Gábor vezetésével megépült a Ferencsatorna (ebbe a csatornába vezették a Duna bal oldali ágának nagy részét). Az újonnan megnyílt vízi út a termékek olcsó szállítását tette lehetővé a lecsapolásokból remélt szántóföldekről (FALUDI G. – NEBOJSZKI L. 2008). Beszédes József „igazgató vízmérő” irányításával 1820-21-ben Fadd és Mohács között négy átvágást készítettek. A Duna folyását 33,4 km-el rövidítették meg. 1825 és 1830 között a szekcsői Duna-ág védelmére 6,5 km, a baracskai Duna-ág védelmére 12,5 km hosszú töltést építettek ki (IHRIG D. 1973). Az 1825-ös szabályozásról szóló jelentés azt írja, hogy a szabályozás előtt 180.000 hold föld volt kitéve az áradásoknak, utána csak 100.000 hold (ANDRÁSFALVY B. 1975). Ez azt jelenti, hogy 90%-ról 50%-ra csökkent le az elárasztott területek aránya. A töltésekre 1825-ben a mohácsi előljáróság szakadásokat rendelt el a fokrendszer életbentartásához.



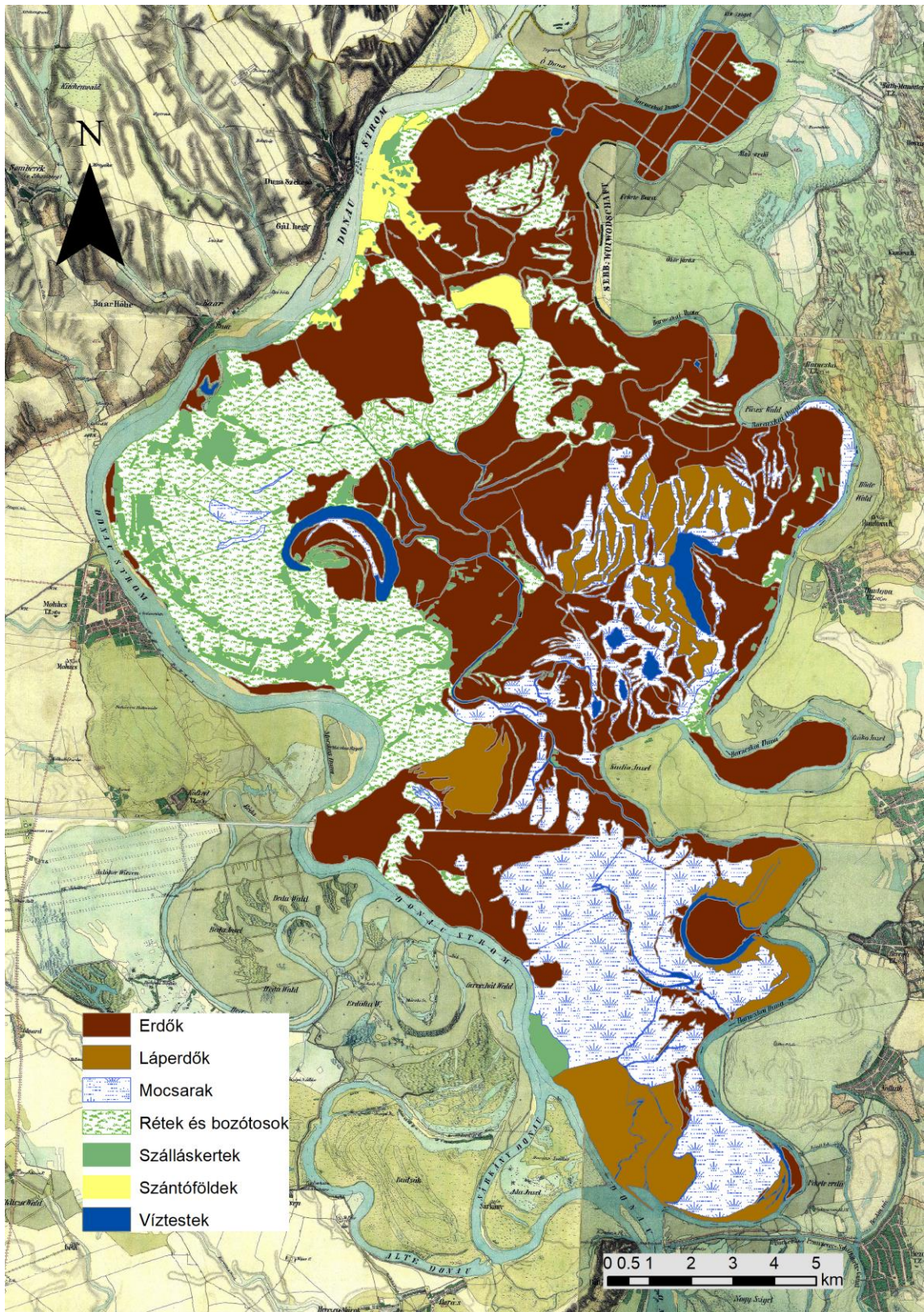
26. ábra – Felszínborítottság-térkép a Mohácsi-szigetről 1825 körül (maps.hungaricana.hu és alapján szerkesztette: HERVAI A.)

1823 és 1845 között került sor a Duna felmérésére, a mappációra (26. ábra). Pontos geodéziai és tájtérképet terveztek elkészíteni a Dunához kötődő folyószabályozások előkészítéséhez. A mohácsi-szigeti lapok jó része már 1825-ben elkészült. Azonban éppen a baracskai Duna-ág felmérésére csak 1836-ban került sor. A megvizsgált térképlapok és a hozzájuk kötődő leírásokból sok értékes információt lehet olvasni az első és második katonai térképezés közötti időszokról. A vizes élőhelyek aránya 33 %-ról 26 %-ra csökkent, amely azért még mindig jelentős volt. Ezen a térképen már meg lehetett különböztetni a vizes élőhelyeken belül a mocsarakat és a láperdőket. A tájhasználat típusairól sokkal pontosabb képet kapunk, mint az első katonai térképezésnél.

A szigetet holtágak és morotvák hálózták be. A közöttük lévő területeket mocsarak, rétek, ligeterdők és láperdők foglalták el. Szálláskertek jól láthatóan a sziget nyugati részén létesültek, elég nagy számban. A szántóföldi növénytermesztés még elenyésző volt ebben az időben. A mappáció nagyon részletes, így ez az első részletes térképes bizonyítéka annak, hogy milyen kiterjedt tórendszert köthetett össze a fokgazdálkodás a saját csatornarendszerével.

A 19. századi erdészeti üzemtervek jó növésű és természetesen újuló, zárt tölgy-, szil- és kőrisállományokról írnak Béda-Karapancsán (KOVÁCS GY. – DEME T. 2008). 1838. évi jeges árvíz, mely az egész Duna szakaszon katasztrofális pusztítással járt, megcáfolta a védekezés biztonságáról alkotott elképzeléseket. 1843 és 1852 között 11 átmetszés készült Beszédes tervei alapján, amely 96 km rövidülést jelentett (IHRIG D. 1973). A további munkálatok 1870-ig 52 km rövidüléshez vezettek. 1864-1870 között Mohácson „partvédezetet” építettek ki. A nagy árvíz utáni építkezések arról tanúskodnak, hogy védekezés sokkalta fontosabbá vált a hagyományos gazdálkodási formák megőrzésénél. A munkálatok jelentős tájtalakuláshoz vezettek. A sziget nagyrésze elveszítette természetes jellegét, a gátakon a fokrendszer életben tartásához szükséges átvágásokat nem engedélyezték a továbbiakban.

A hosszan tartó második katonai felmérés 1858-ban (27. ábra) érte el a Mohácsi-szigetet, amikor még a baracskai Duna-ág élő, természetes folyóág volt. A második katonai felmérésről készült térképet szintén feldolgoztam térinformatikai eszközökkel (32. ábra, 3. táblázat). A szálláskertek környékén a bozótos területek a sziget egynegyedét tették ki. Az átalakítások hatására a mocsaras területek, vizes élőhelyek aránya még jelentős volt (26%-ról 25%-ra módosult), az erdők aránya is majdnem ugyanakkora maradt (kissé növekedett 44%-ról 45%-ra). A fokgazdálkodás még viszonylagos elterjedtségét a szálláskertek magas aránya mutatja. A szigeten élők elsősorban az erdők, a legelők, a nádasok hasznosításával és fokgazdálkodással foglalkoztak (27. ábra).

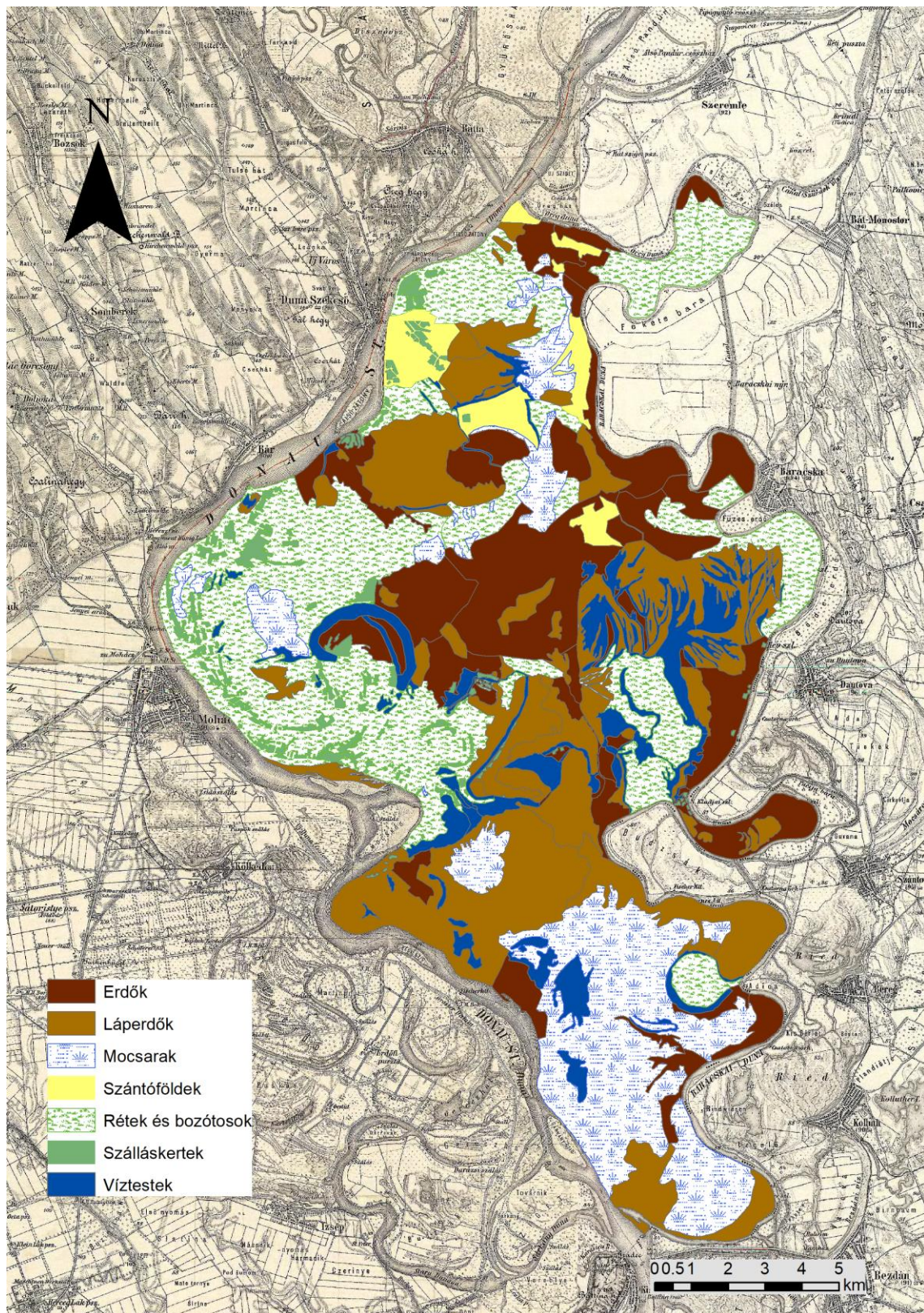


27. ábra – Felszínborítottság-térkép a Mohácsi-szigetről 1858 körül (mapire.eu/hu alapján szerkesztette: HERVAI A.)

1870-ben Szeremle alatt az Öreg-Dunát elzárták. Az 1876-os dunai árvíz azonban megint óriási károkat okozott. A tápcsatorna töltésein 16 szakadás keletkezett, ezután 1,25 m-rel magasították a töltéseket. A 19. század második felén, a Belyei uradalmat,

amely a sziget déli részét is magába foglalta, Albrecht főherceg irányította és már korszerű erdészeti gazdálkodást folytattak a területen. Ebben az időben telepítették a szederfákat selyemtermesztés céljából. Az uralkodó fafajta a kocsányos tölgy, cser, szil, gyertyán és fodros jávor voltak (ZÓKA P. 2013). Mesterségesen telepítették a luc-, erdei- és feketefenyőket, a közönséges- és amerikai diót, az amerikai tölgyet, a bükköt és az akácot.

A harmadik katonai felmérés 1884-ben készült el a szigeten (28. ábra). A Földvári-tó körüli fok, morotva és tórendszer még létezett. A sziget keleti felét a láp-, mocsár- és ligeterdők foglalták el. Az 1875-re kialakított, töltések között vezetett tápcsatorna miatt a természetes lefolyás a Baracscai-Duna felé megszűnt. Az általam digitalizált tájtérképről megfigyelhető, hogy a 19. század végére a táj a belvizek és a lefolyástalan holtágak miatt újra vizenyőssé vált. A vizes élőhelyek aránya a kezdeti 25–30%-ról 40%-ra nőtt a 19. század végéig (32. ábra, 3. táblázat). A Riha-tótól északra és nyugatra megnöttek a vizes, mocsaras területeket jelző foltok. 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.



28. ábra – Felszínborítottság-térkép a Mohácsi-szigeten 1884 körül (mapire.eu/hu alapján szerkesztette: HERVAI A.)

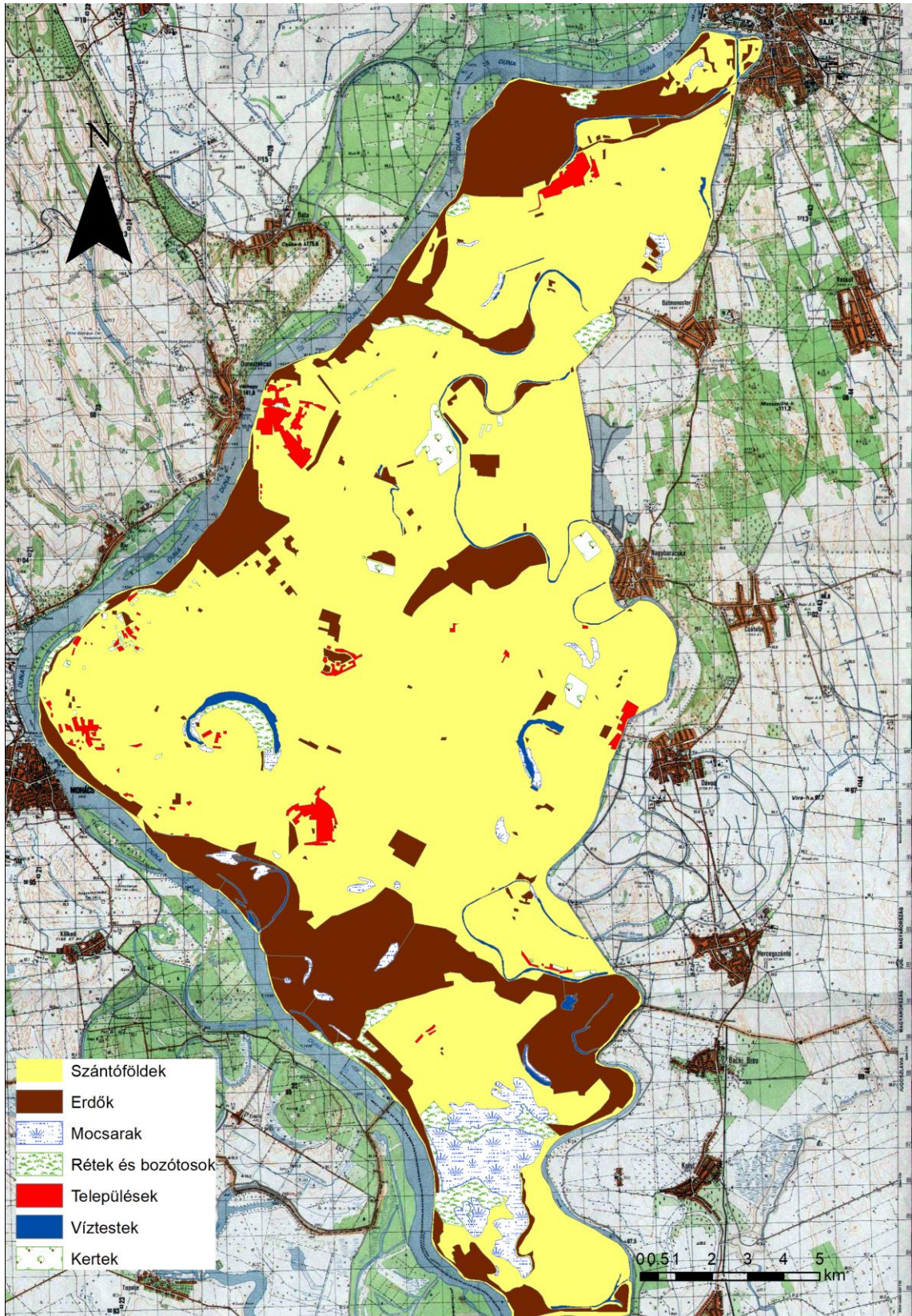
Az 1897-es árvíz újra elöntötte a területeket. A földművelésügyi miniszter 1899-ben a sziget teljes elmocsarasodása miatt (BUZETZKY GY. 2002) elrendelte a Margittaszegedi Ármentesítő és Belvízelvezető Társulat megalakítását, melynek igazgató

mérnöke Küzdényi Szilárd lett (FALUDI G. – NEBOJSZKI L. 2008). A társulat feladatkörébe immár a töltés építésén kívül a belvízmentesítés is bekerült.

1904-ben építették meg a karapancsai szivattyútelepet, melyet már a belvíz elvezetésére is terveztek. A teljesítménye 3 m³/s volt. Ez az árterület legnagyobb szivattyútelepe, és a vizet a Ferenc-csatornába vezeti. A belvíz levezetés 1905 és 1910 között készült el (Küzdényi Szilárd tervei alapján). A 32 ezer hektár nagyságú szigetből majdnem 1800 ha lett szivattyúzott (BUZETZKY GY. 2002). 1914-ben a szigeten már 96 km elsőrendű belvízcsatorna volt. 1925-ben elkészült a hercegszántói szivattyútelep. 1925 és 1927 között újabb 110 km belvízcsatornát építettek Porgányi Lajos vezetésével (IHRIG D. 1973).

A táj mezőgazdasági jellegűvé alakulása miatt a népességszám is növekedésnek indult. A 19. század végén a szigeten még csak mintegy 200 tanya állt itt összesen 1000 állandó lakossal. 1920-ra a lakosság szám megháromszorozódott és már 600 tanyát rejtett a sziget, 3000 lakossal (KENESSEY B. 1931). A vízpartokon élő tanyasiak szántóföldi növénytermesztéssel, erre épülő állattenyésztéssel, valamint gyümölcs- és zöldségtermesztéssel foglalkoztak (FALUDI G. – NEBOJSZKI L. 2008). Az első világháború után a sziget legdélibb része (kevesebb mint 10%-a) a Szerb-Horvát-Szlovén Királysághoz került.

A Mohácsi-szigeten lévő erdők két erdőgondnoksághoz tartoztak ebben az időben, az izabellaföldihez és a karapancsaihoz. A termelésük egyre korszerűbbé vált, ami azt jelentette, hogy egyre több gyors növekedésű fát ültettek. Az 1930-as években 40, 60 és 80 éves vágásfordulót is alkalmaztak. A 80 éves vágásforduló alá az ármentesített területek, elsősorban a magasárterek estek. A telepített fafajok között már jelentős mennyiséget ért el a tájidegen fenyő, csertölgycs és az invazív, de gazdaságilag értékes akác.



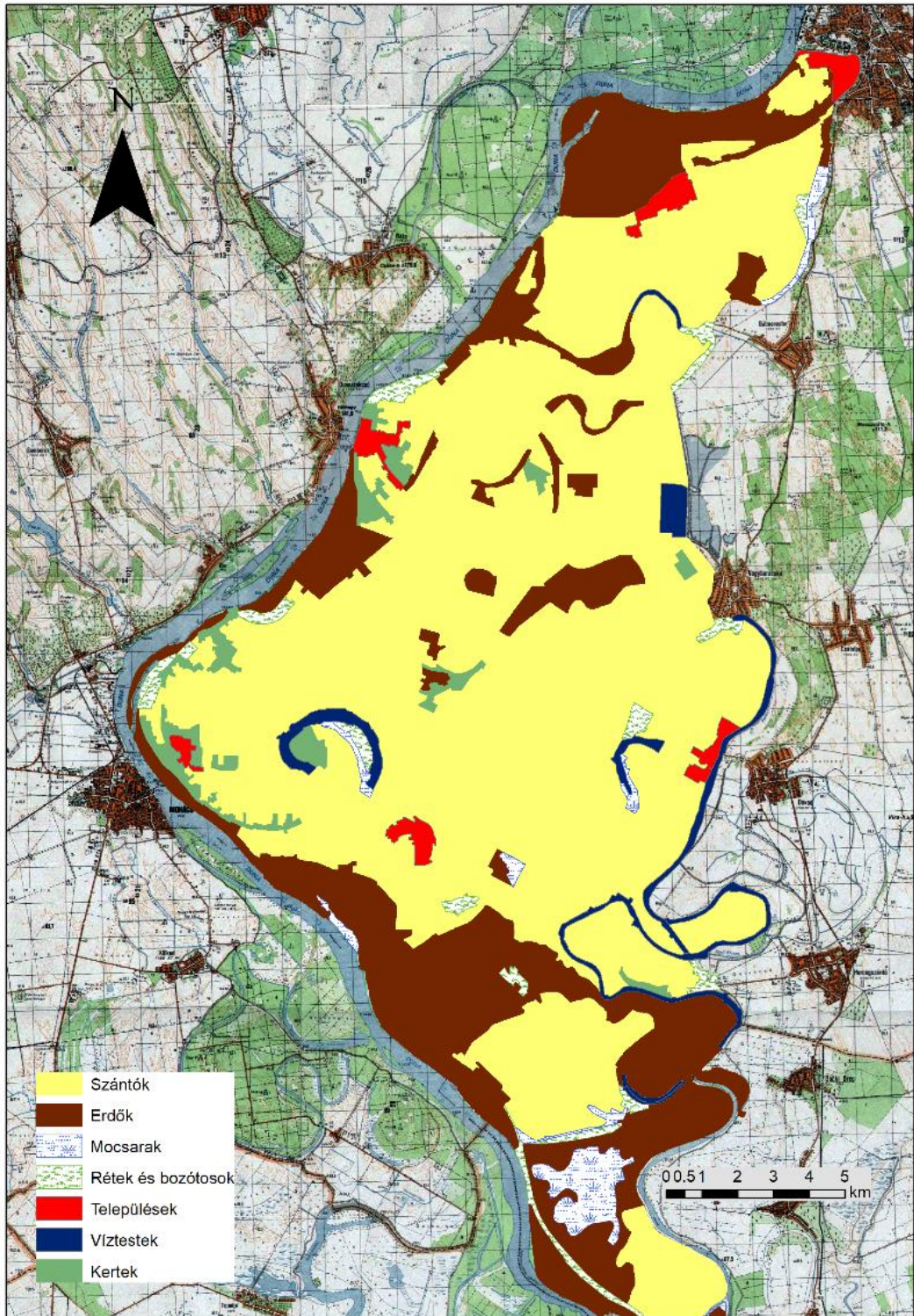
29. ábra – Felszínborítottság-térkép a Mohácsi-szigetről 1952 körül (1952-es topográfiai térkép alapján szerkesztette: HERVAI A.)

Emiatt, és a már korábban megkezdődött munkálatok hatására gyökeresen megváltozott a sziget tájszerkezete is. Térinformatikai vizsgálataim szerint (29. ábra, 32. ábra és 3. táblázat), az 1950-es évekig a mezőgazdasági területek a korábbi 3%-ról 71%-

ra nőttek. Később a szántók aránya néhány százalékot változott, de mindmáig 70% körül maradt (HERVAI et al. 2020b).

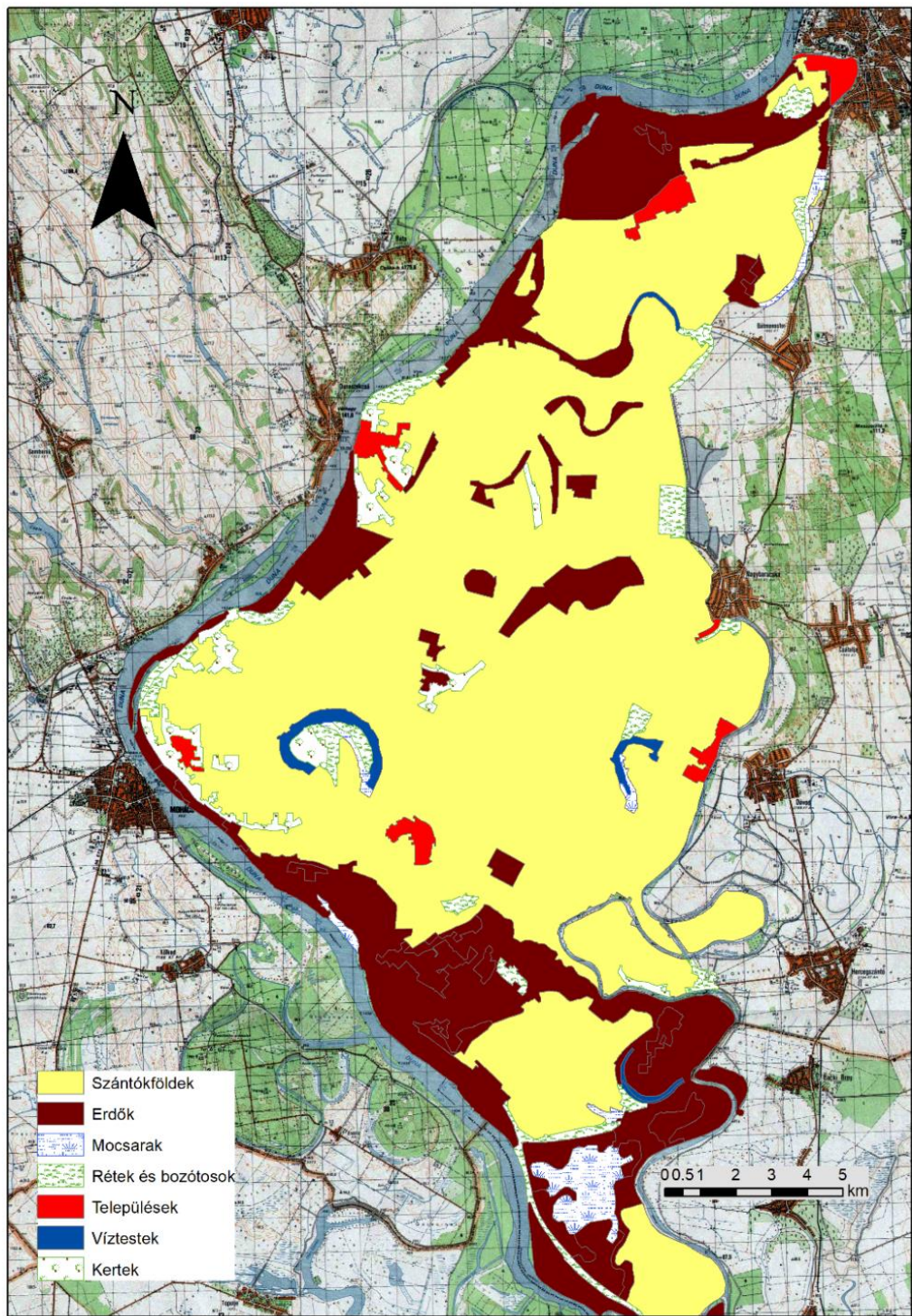
1956-ban több mint hatvan év után újra előntötte a szigetet a jeges ár, ezért 1957-ben az akkori árvízszinthez képest egy méterrel megemelték a töltések szintjét, a karapancsai szivattyú teljesítményét megnövelték 3,8 m³/s-ra (BUZETZKY GY. 2002).

Az 1987-es topográfiai térképről készített tájtérképen látszik, hogy a szocializmus 40 évében alig változott a táj makroszerkezete (30. ábra). Az erdők aránya valamelyest (4%-kal) nőtt ebben az időszakban. Nőtt a települések aránya is, de az általam számított 4%-os értékbe ekkor már beleszámítottak a kertek is (3. táblázat). A vizes élőhelyek aránya tovább csökkent, 2%-ra. A partvédő művek elvágták a fokokat a természetes vízutánpótlásuktól, így azok elkezdtek kiszáradni. A térinformatikai adatok alapján kijelenthetjük, hogy az 1800 körül még majdnem teljesen természetes ártéri tájat (BIRÓ M. 2008) 150 év alatt birtokba vette az ember.



30. ábra – Felszínborítottság-térkép a Mohácsi-szigetről 1987 körül (1987-es topográfiai térkép alapján szerkesztette: HERVAI A.)

A táj védelmében az utóbbi húsz évben jelentős szerepet játszott a Duna-Dráva Nemzeti Park, mely 1996-ban jött létre a Duna és Dráva mentén. Dunai alegysége a Duna völgyében az 1498-1433 fkm között húzódik.



31. ábra – Felszínborítottság-térkép a Mohácsi-szigetről 2012 körül (2012-es CLC adatbázis alapján szerkesztette: HERVAI A.)

A Mohácsi-szigeti táj egy része, de az erdők majdnem teljes területe védelem alá került. A vízügyi munkálatok egyik utolsó lépése az volt, hogy 2002-ben újból felújították a Karapancai szivattyútelepet, melynek teljesítménye elérte az $5,7 \text{ m}^3/\text{s}$ -ot.

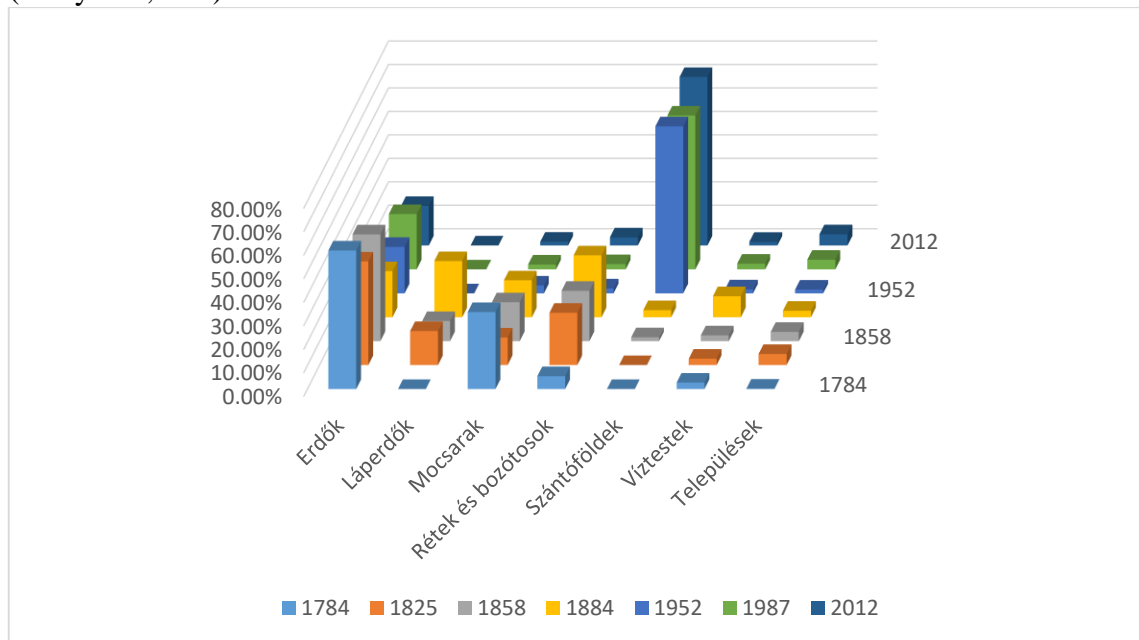
A rendszerváltás utáni időszakból a Corine Land Cover letölthető 1:50.000-es adatbázisait dolgoztam fel térinformatikai módszerekkel. Eredményeim szerint (31. ábra)

2012-re további mintegy 7%-ot csökkent az erdők aránya, és 16,82%-ot tett ki a sziget teljes területéből (32. ábra, 3. táblázat).

3. táblázat – A különböző felszínformák megoszlása a vizsgált térképeken

	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 a rétek és bozótosok, illetve a szántók aránya is valamelyest nőtt. A vizes élőhelyek (3. táblázat) a 20. század elejéig majdnem eltűntek (arányuk 1,67%).



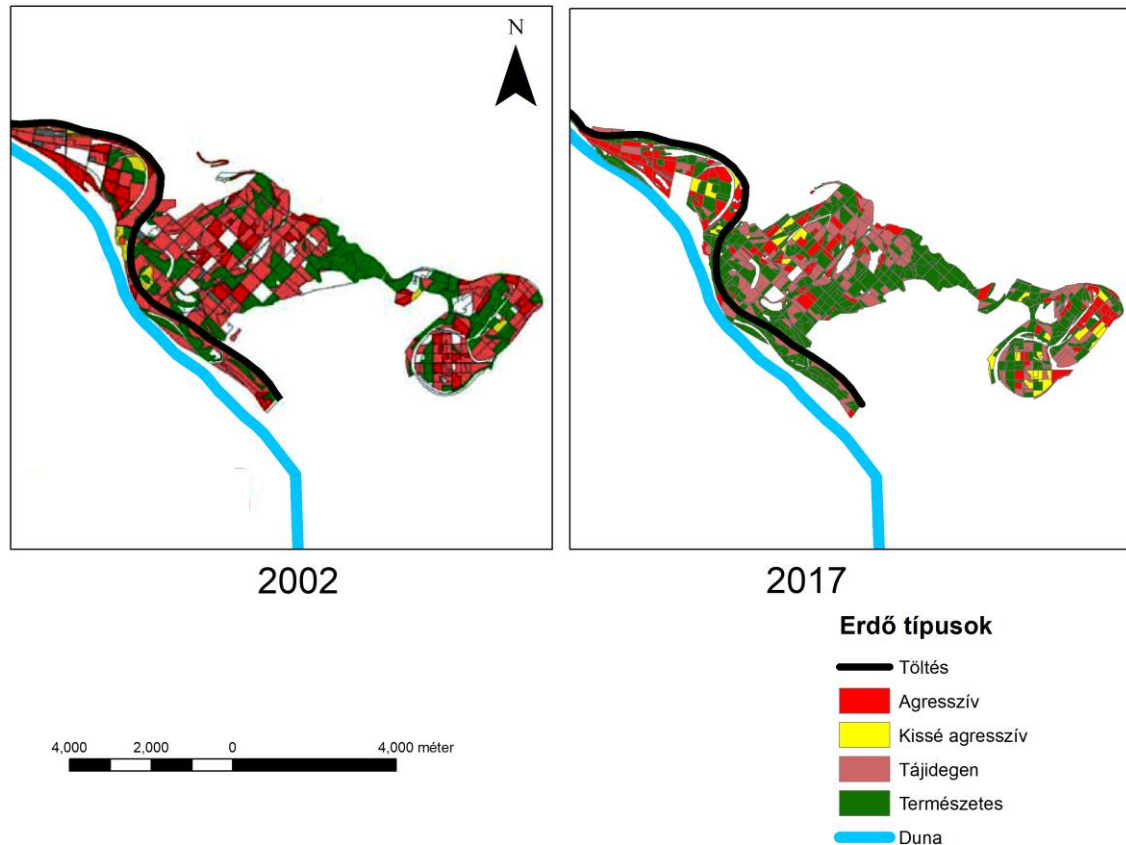
32. ábra – Felszínformák arányának változása az 18. század végétől (szerkesztette: HERVAI A.).

5.2. A táj természetességének változása a Mohácsi-szigeten 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-kóris-szil keményfás ligeterdők (*Fraxino pannonicae-Ulmetum*) után kutatva. A tájegység nem csak a Mohácsi-szigetet tartalmazza, a vizsgálatban is szereplő bédai rész a Duna jobb oldalán helyezkedik el. Adataik ezért nem teljesen egyeznek meg a Mohácsi-szigeten található Homorúdi-erdő és Karapancsai-erdő adataival, de a Duna két partján elhelyezkedő erdőségek nagyon hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek. Én csak a Mohácsi-szigeti erdőadatbázissal rendelkezem, de így is érdemesnek tartottam megvizsgálni a változásokat. KOVÁCS GY. és DEME T. (2008) kutatásuk eredményeként kimutatták, hogy az eredeti erdőállományból mindössze 2% maradt 2002-re. Vizsgálataik szerint az

élőhelyek területe egytizedét sem éri el a lehetségesnek. Sok esetben helyüket tájidegen fafajokból álló monokultúrák, pl.: fekete diósok (*Juglans nigra*), nemesnyárasok (*Populus x euramericana*) foglalták el. Megállapították, hogy az ártéri tölgy-köris-szil keményfás ligeterdők a potenciális élőhelyüknek csupán a felén fordulnak elő. Vizsgálataikat arra alapozták, hogy a nemesnyárasok (*Populus x euramericana*) és a fekete diósok (*Juglans nigra*) általában a kocsányos tölgy számára is kedvező termőhelyeken állnak.

Készítettek egy térképet (33. ábra), melynek megfelelőjét a módszertanban leírt módon én is elkészítettem, és az ő térképükkel összehasonlítottam.



33. 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 Karapanca-erdőket választottam. Az én vizsgálatom nem terjedt ki a bédai erdőkre, de a kezelésük hasonló módszerekkel történt az utóbbi 20 esztendőben, mint a szigeten lévő erdőknek. A két időpontot (2002 és 2017) összehasonlítva megállapítható (33. ábra és 4. táblázat), hogy a természetes erdők aránya megnőtt 32%-ról 52%-ra, köszönhetően az erdők védelmének és a WWF és a DDNPI tevékenységeinek. Ez a növekedés 15 év alatt, nagy arányúnak mondható. Ez a változás nagyjából az ábrán is látható és igazolja, hogy ha a két összehasonlított adatsor (4. táblázat) nem is ugyanazt a két területet fedi, hiszen az én számításomban a bédai oldal nincs benne, a tendenciák megfelelnek az általam számítottaknak. Ahogy azonban, elsősorban a táblázatban láthatjuk főleg az adventív fajok szorultak vissza a tájban. A tájidegen erdők faállományait ki lehet cserélni, újat lehet ültetni helyettük. A domborzat, a talaj és a környező élőhelyek segítséget nyújtanak az őshonos fafajok élőhelyeinek

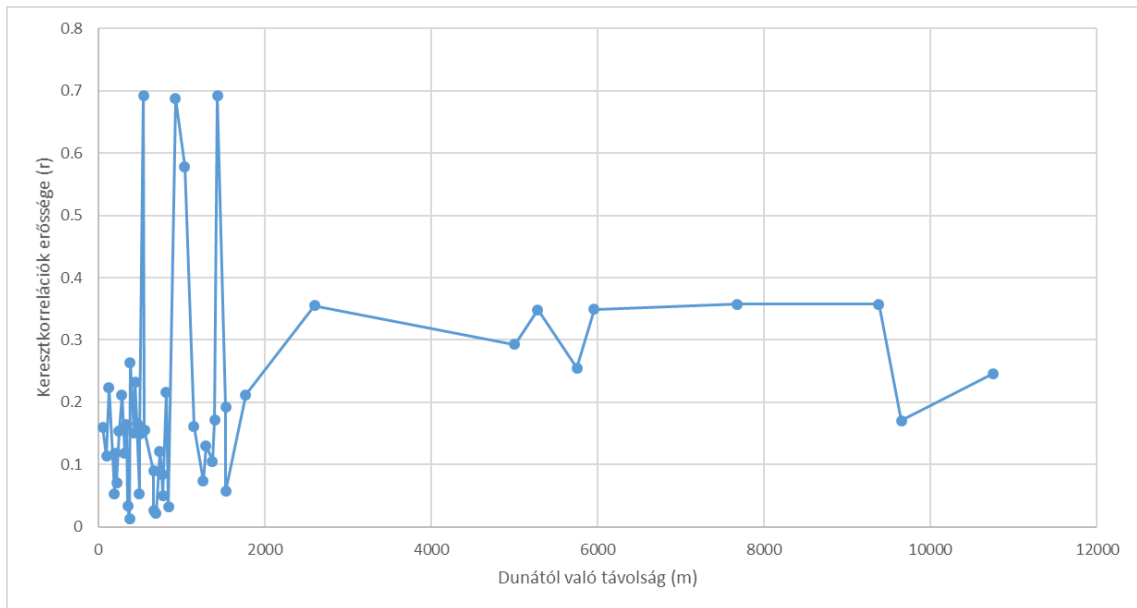
helyreállításához. Az agresszív fajok azonban, mint zöld juhar (*Acer negundo*), az amerikai kőris (*Fraxinus pennsylvanica*), a gyalogakác (*Amorpha fruticosa*) és a bálványfa (*Ailanthus altissima*) az árterületekről szinte kiirthatatlanok. Amennyivel az agresszív fajokból álló erdőtagok aránya csökkent (21%-ról 18%-ra), annyival nőtt a kissé agresszív fajokból álló erdőtagok aránya. Ez az egyébként pozitívnak mondható eredmény lehet, hogy csak számítási hiba. A magasabb árterületeken, a védett térszínen, pedig az ültetett, de invazív fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) aránya még mindig jelentős.

4. 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%

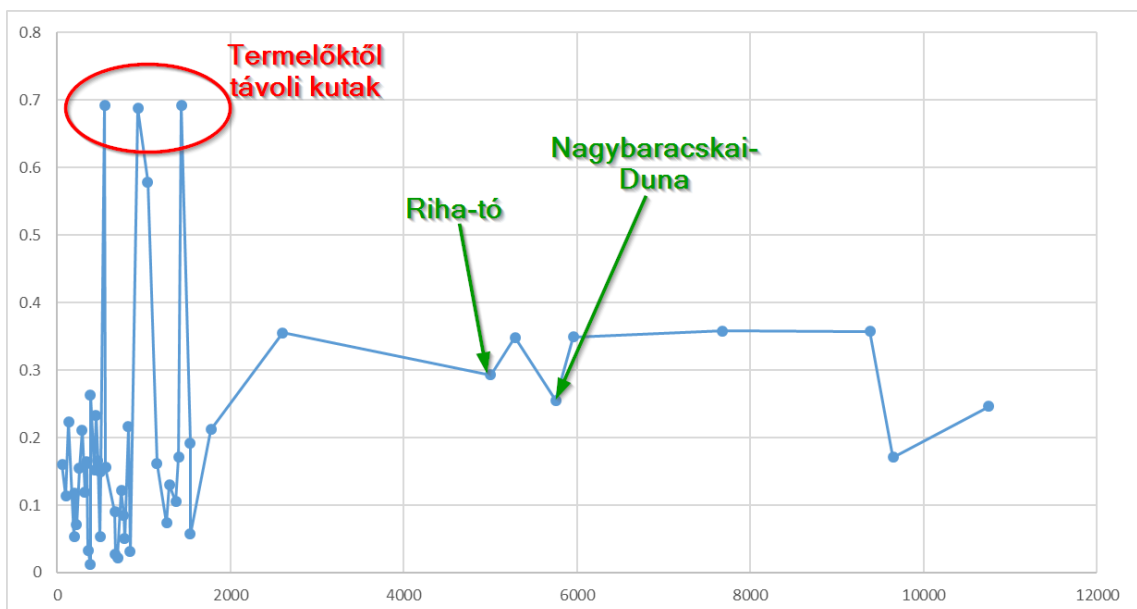
5.3. A Duna és a termelőketek korrelációs vizsgálata

A korrelációval meg lehet vizsgálni két adatsor közötti kapcsolat erősségét. Az idősoroknál a keresztkorrelációval, nem csak az adott nap, óra, perc stb. értékeket lehet összehasonlítani, hanem az egy bizonyos időintervallummal eltolt értékeket is. 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 szoftver API-jának CCF (Cross-correlation function) függvényének meghívásával a Duna és a talajvízkutak idősorai között. A Mohácsi-szigeten 47 talajvízkútra tudtam különböző hosszúságú idősort beszerezni. A legrövidebb idősor esetében is minimum 3 év talajvíz napi adatsorát hasonlítottam össze a Duna-vízállás idősorával. Ennyire rövid idősor csak a Riha-tó és a Baracska-Duna esetében állt rendelkezésemre. Általában 10 évnél is hosszabb idősorokra számoltam ki a kapcsolatot. Azonban három év is elegendő hosszúságú ahhoz, hogy megfigyelhessünk benne általános tendenciákat. A teljes idősoroknál is a kiválasztott korreláció a legerősebb kapcsolatú naphoz tartozott, ez volt a karakterisztikus érték (VEKERDY Z. – MEIJERINK, A.M.J. 1998). A lefutott keresztkorrelációk a maximális korrelációjú lagtime-oknál is nagyon gyenge kapcsolatot mutatnak még a Duna közvetlen közelében is (34. ábra). A legmagasabb korrelációs értékek természetesen a parthoz viszonylag közel található (a 0,7-es r érték), de érdekes módon nem közvetlenül a part mellett.



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

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 (35. ábra), akkor megállapíthatjuk, hogy ezek az ADUVIZIG gondozásában vannak és a termelőkutaktól távol helyezkednek el. Két kilométer után seholy 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.



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

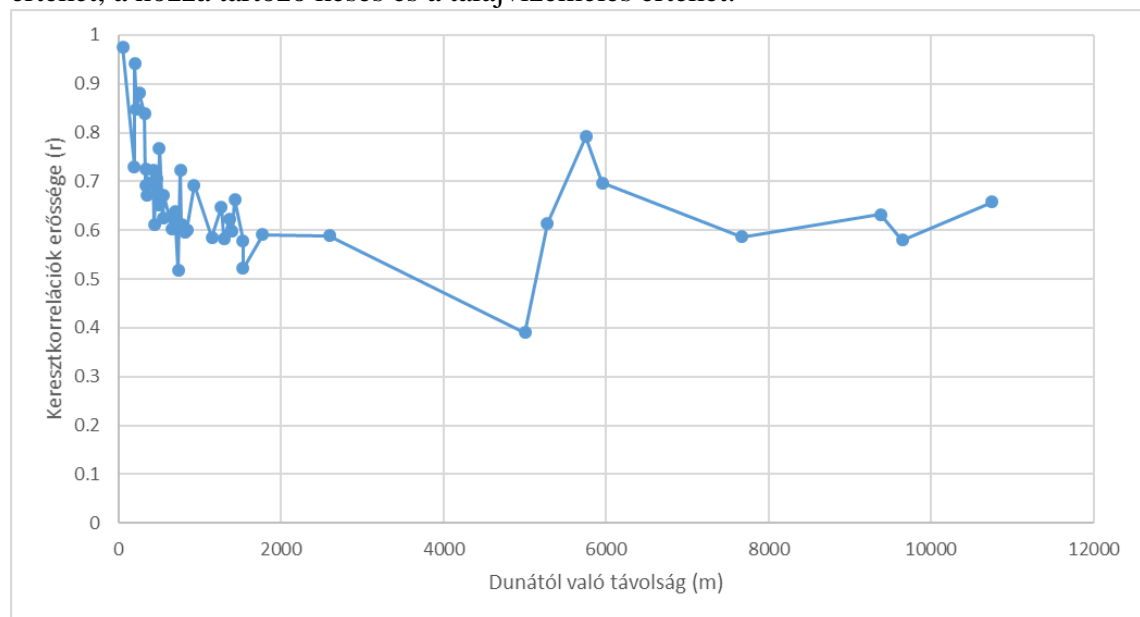
A teljes időszakoknál, ahogy az eredmény mutatja (35. ábra), a Duna és a talajvíz kutak között nincs túl erős kapcsolat. A kutatásomban azonban az áradások és a Duna kapcsolatát akartam elsősorban felmérni, a teljes időszakot csak az összehasonlíthatóság kedvéért vizsgáltam meg. A teljes időszakra bemutatott eredmény alapján eléggé különös,

hogy a part közeli kutak kapcsolata a Dunával általában gyengébb, mint a parttól távolabb, a sziget belsejében található kutaké. Ha megnézzük a korrelációk erősségét a felszíni vízfolyásokkal együtt is (35. 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.

A Duna terjedésének és vízemelésének értékét nem számoltam ki ezekből a teljes idősorokból, mert a kapcsolat erőssége nem tette ezt lehetővé, emiatt természetesen interpolált térképet sem készítettem belőlük.

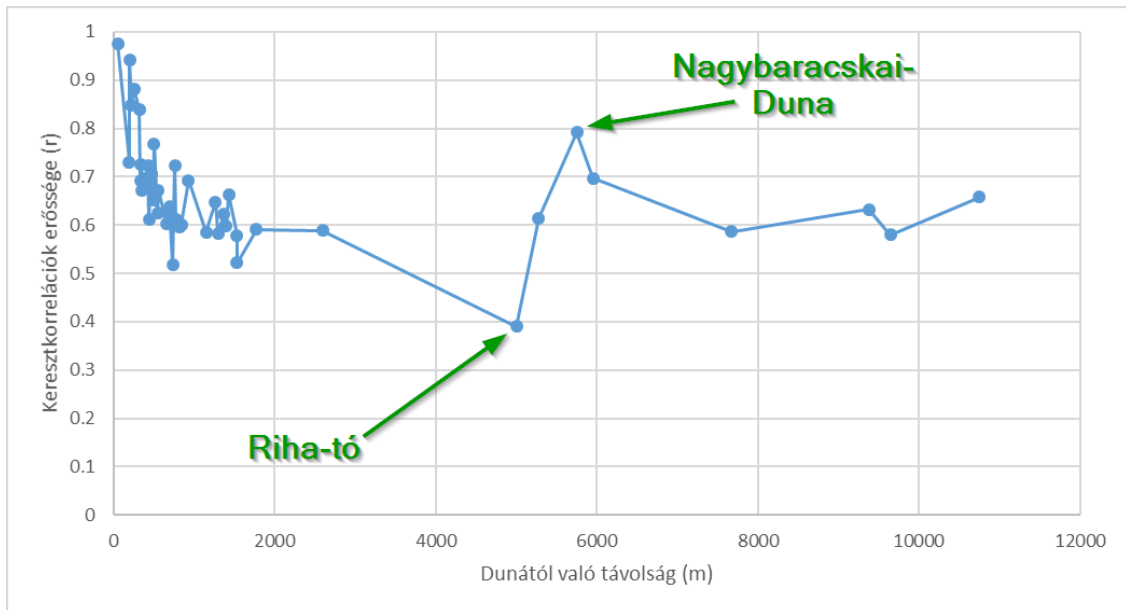
5.3.2. Áradási események átlagos korrelációja

Az ártéri élővilágnak a fennmaradáshoz szükséges talajvizet nemcsak a felszínről tudják szolgáltatni az áradások, hanem a part felől is. 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 (1.2. táblázat) megpróbáltam arra következtetni, hogy a még megmaradt élőhelyeken a szigeten milyen hosszán 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, a hozzá tartozó késés és a talajvízemelés értékét.



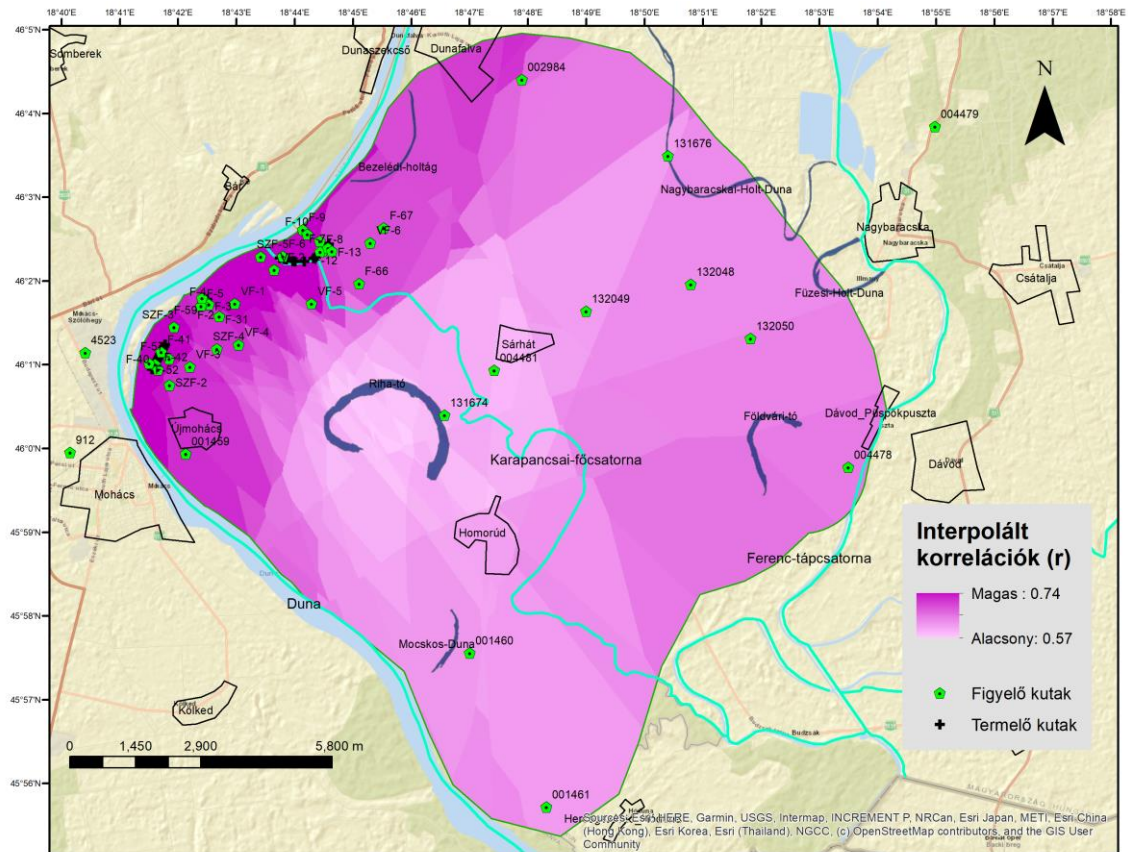
36. ábra – A Duna és a talajvízkutak közötti keresztkorrelációk (r) erőssége a Dunától távolodva (m) áradási időszakokban (szerkesztette: HERVAI A.)

A Dunával való korrelációs kapcsolat (36. 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.



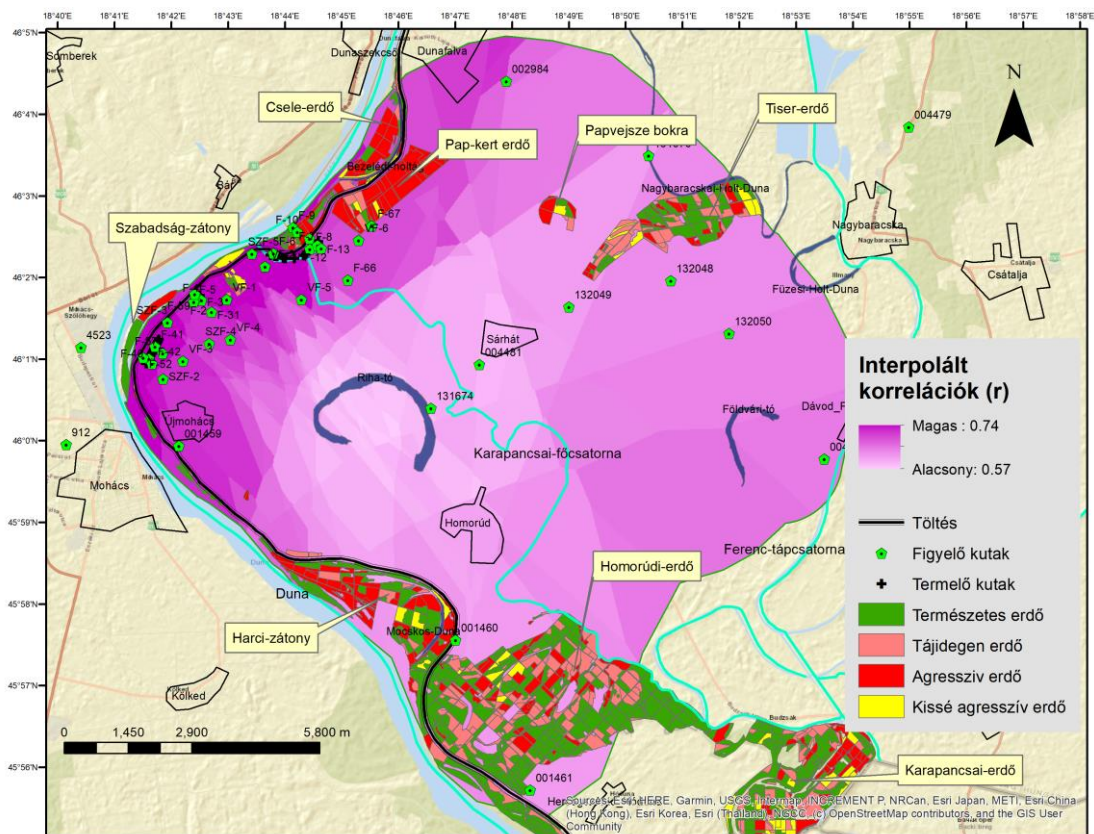
37. ábra – A Duna és a talajvízcutak közötti keresztkorrelációk (r) erőssége a Dunától távolodva (m) áradási időszakokban (szerkesztette: HERVAI A.)

A Riha-tónak még a környező talajvizeknél is gyengébb (0,4) az átlagos korrelációja a Dunával áradásokkor. Ehhez képest a Nagybaracscai-Dunának 0,8-es korrelációs erősségű az áradásokkor mért a kapcsolata a Dunával, tehát a közvetlen környezeténél is erősebb (37. ábra) és a Riha-tavinak a kétszerese. A korrelációs értékekből kriging interpolációval térképet készítettem (38. 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 Mohácsiig tartó kanyarulatban láthatunk, dacára annak, hogy ott rengeteg termelőkút található. A kanyarulat után ez az érték jelentősen csökken. Találhatunk egy korrelációkban fellépő depressziós térszint a középső termelőkutat mögött és a Riha-tó környékén is.



38. ábra – A Dunával való korrelációk (r) erőssége a talajvízkutak interpolált értékei alapján (szerkesztette: HERVAI A.)

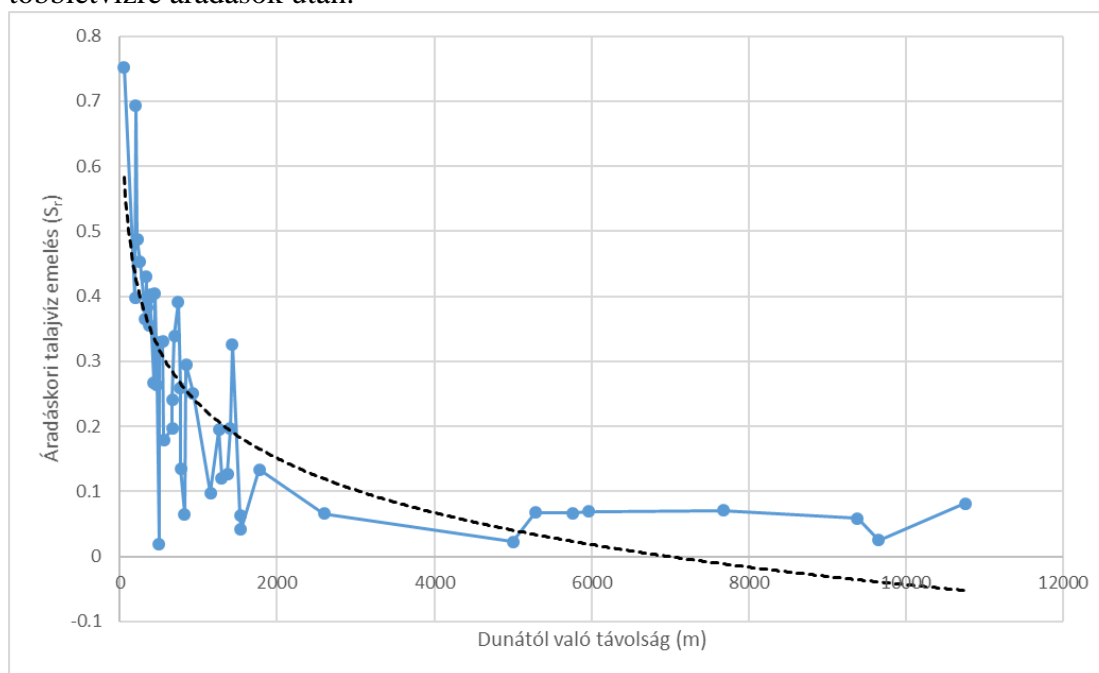
Ha megnézzük, hogy a különböző erdei élőhelyeknek milyen kapcsolata maradt fenn a nagyobb áradásokkal (39. ábra), akkor az látható, hogy a délen található nagyobb kiterjedésű erdőknek már szerényebb a kapcsolatuk áradáskor a Dunával, mint a természetességét elveszített kisebb kiterjedésű északabbi erdőknek (Csele-erdő, Papkerti-erdő). Ahogy korábban a 35. ábrán látni lehetett, a délebbi részen található három ADUVIZIG talajvízkút (001459, 001460, 001461) ha az egész esztendőt figyeljük, nagyobb kapcsolatot tart fenn a Dunával, mint a Mohács és Dunaszekcső között viszonylag sűrűn elhelyezkedő DRV talajvízkutak, de az áradáskori kapcsolatuk alacsonyabb. Az év egészében megjelenő erősebb kapcsolatnak az lehet az oka, hogy a termelőkutak folyamatos működése lesüllyeszti az északabbi területen a talajvizet.



39. ábra – A Dunával való korrelációk (r) erőssége a talajvízkutak interpolált értékei alapján, a területen található erdő tagokkal (szerkesztette: HERVAI A.)

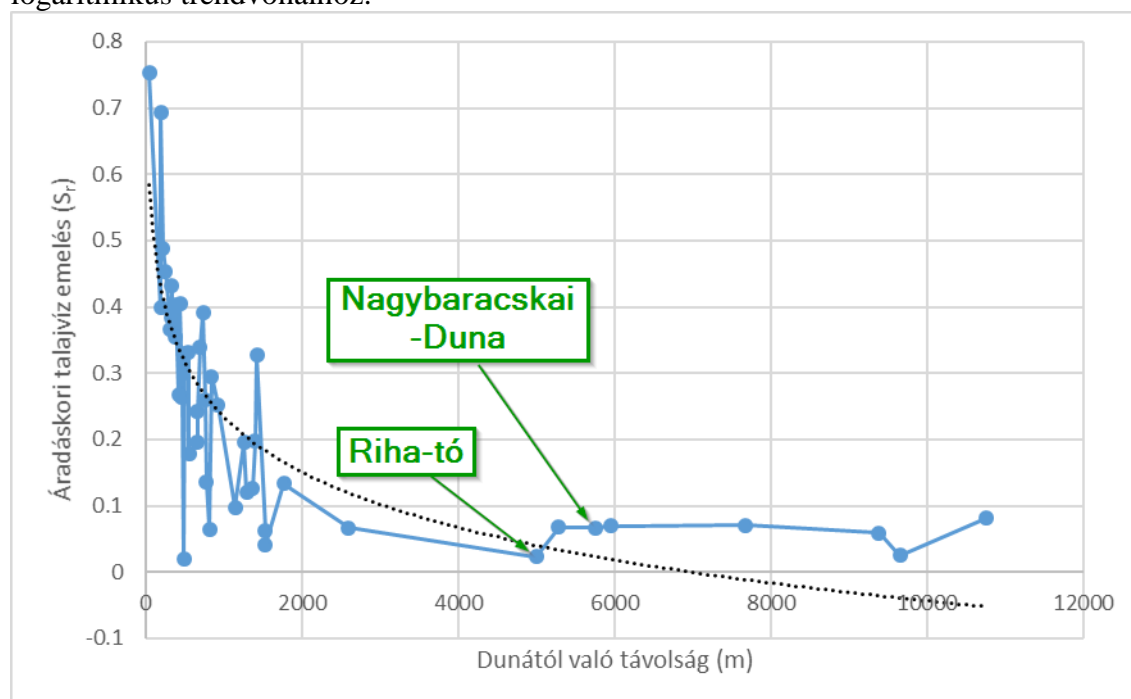
5.3.3. Az áradások talajvízemelő hatása a Mohácsi-szigeten

Az árvizek átlagos talajvízemelő hatása jelzi, hogy a természetes élőhelyek vagy a mezőgazdaság, a Dunától milyen távolságban és milyen mértékben számíthatnak többletvízre áradások után.



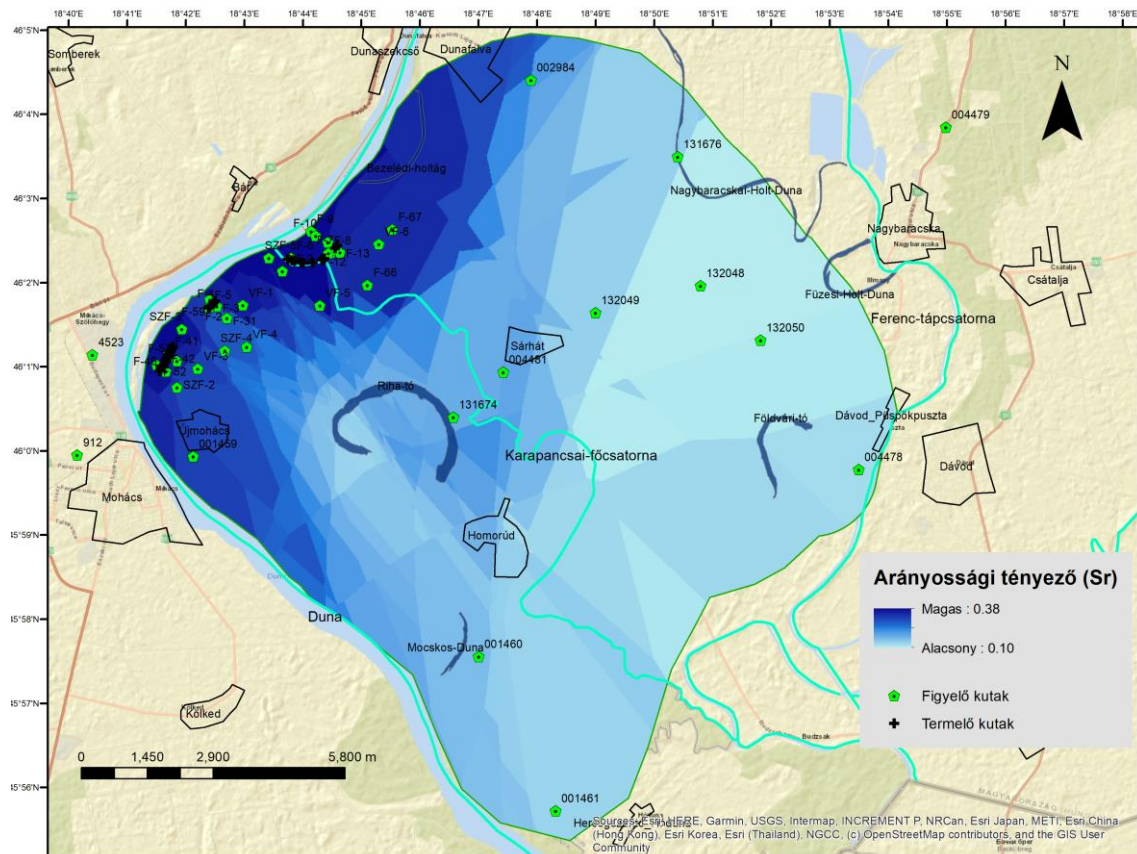
40. ábra – A Duna átlagos vízemlése áradásokkor az egyes talajvízkutakban a Dunától távolodva (m) (szerkesztette: HERVAI A.)

Az áradási események talajvíz-emelő hatásának mértékét a Duna parttól távolodva bemutató diagram (40. ábra) is egy erős fluktuációval ellaposodó görbét mutat. Megállapítható belőle a 31 darab áradási esemény alapján, hogy 2 km-re a parttól az áradások általában már nem, vagy csak nagyon minimálisan befolyásolják a talajvízszint emelkedését. A 40. ábrán azt láthatjuk, hogy az első 200 méteren még jelentősen, átlagban több mint 50%-kal emelik az áradások a talajvízszintet. Egy kilométer távolságra a Dunától a folyó ár hullám emelkedésének nagyjából 30%-át éri el talajvíz-emelkedés. Tehát, ha a Duna 3 méterre emelkedett az ismert középvízállásától (330 cm, 82,5 mBf), akkor az adott talajvízkútban 1 km távolságban 1 m emelkedést lehet megfigyelni. Érdekes jelenség, hogy a távolsággal való csökkenése többé-kevésbé illeszkedik egy logaritmusos trendvonalhoz.



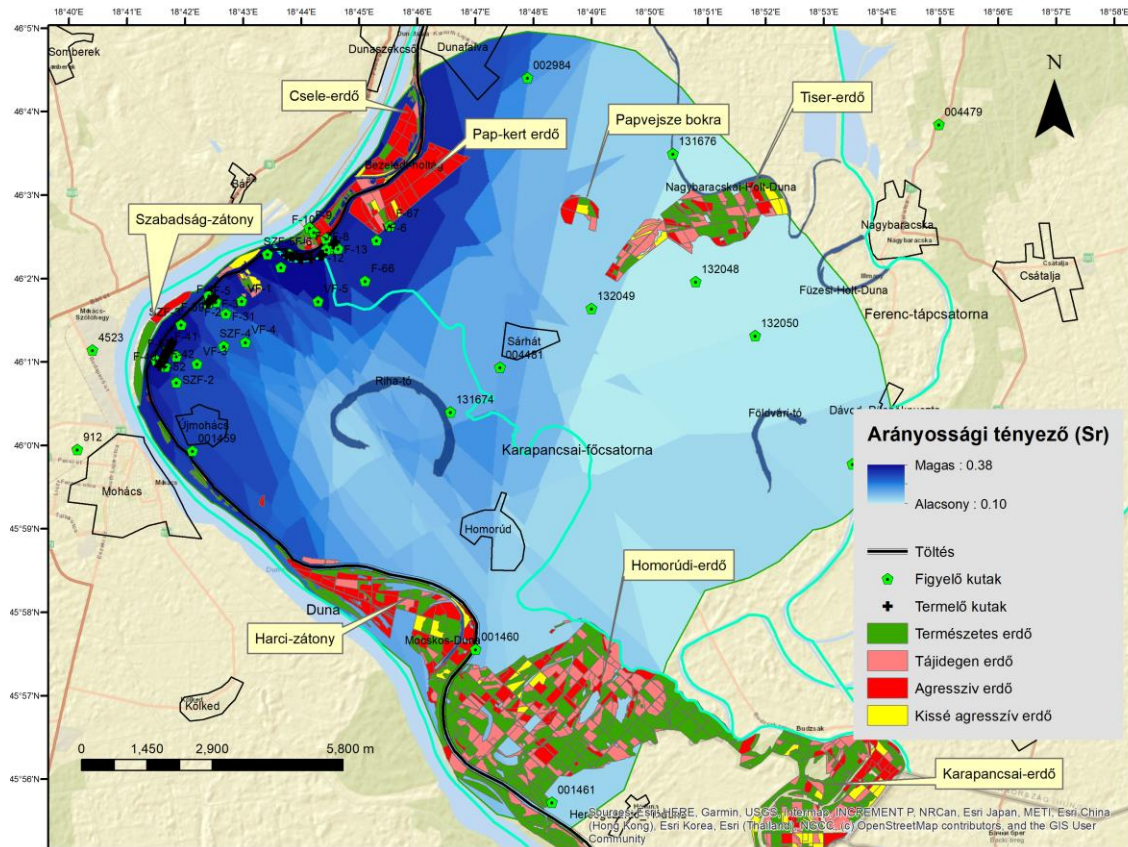
41. ábra – A Duna átlagos víz-emelése áradásokkor az egyes talajvízkutakban a Dunától távolodva (m) (szerkesztette: HERVAI A.)

Áradáskori talajvíz-emelés tekintetében a Duna jobb partján található talajvízviszonyok és a szigeten található felszíni víztestek (a Riha-tó és a Nagybaracscai-Duna) is a talajvízhez hasonlóan viselkednek (41. ábra). A Riha-tó itt is egy kicsit lefelé lóg ki a többi víz állás közül. Az átlagos talajvíz-emelés krigingelt interpolált térképe (42. ábra) a korrelációkhoz hasonló eredményt mutat. A különbség annyi, hogy a parttól csak rövidebb ideig érezhető ez a hatás. Az északi termelőkutak közelében Bárral szemben a legerősebb ez a hatás annak ellenére, hogy ott a termelőkutak vizet vonnak el a talajból. Az emelő kapcsolatban fellépő depressziós rész már Riha-tó nyugati végén megjelenik.



42. ábra – A Duna áradásainak talajvízemelő hatása (szerkesztette: HERVAI A.)

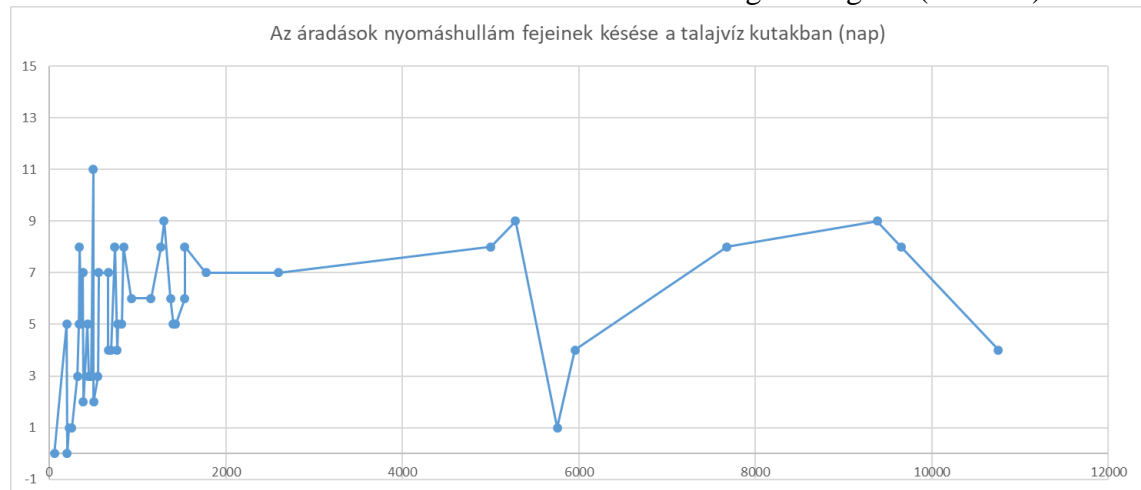
A Mohácsi-szigeten, ahogy a Duna árterein a part közelében elsősorban a puhafás és keménylombú ligeterdők (J4, J6), illetve ezeknek a leromlott állományai (RB, RC) találhatóak meg az ÁNÉR besorolás szerint. Az alacsony ártéri eredetileg fűz-nyár ligeterdős állományoknak évente 2 héttől 2 hónapig (KEVEY B. et al. 2011) tartó időszakban elöntésre van szükségük. Ilyen körülmények csak magas vízállás esetén és a töltésen belül alakulnak ki. Azonban a mentett árterületen belvízkor, vagy nagyon magas talajvíz esetén is hasonló mennyiségű víz fedti el az élőhelyeket. Az árterületen fás növényzet ma már csak a Csele-erdőben, a Szabadság- és a Harci-zátony erdeiben, valamint a Homorúdi-erdő part menti részein található (43. ábra). Ez utóbbit és a Szabadság-zátonyt leszámítva a part menti erdők állományai nem túl természetesek, nagyon magas bennük az invazív fajok aránya. A Szabadság-zátonyon a WWF és a DDNPI egy 2009-ben kezdődött Life+ program keretében állította helyre a természetes élőhelyeket (KÖVESI S. 2013). A part mentén eléggé nehéz is természetes erdőt kialakítani, hiszen a Duna áradásakor a teljes vízgyűjtő területéről összegyűjtött magvakat hordja ide, így a nagyon jól alkalmazkodó invazív fajok magvait is, mint a zöld juhar (*Acer negundo*), amerikai kőris (*Fraxinus pennsylvanica*) vagy bálványfa (*Ailanthus altissima*). A 18., 19., és a 20. század során telepített adventív fajok, mint a fekete dió (*Juglans nigra*) vagy a nemes nyár (*Populus x euramericana*), ahogy a 33. ábrán is látszik, az utóbbi évtizedek erdészeti beavatkozásainak következtében már visszaszorulóban vannak.



43. ábra – A Duna áradásainak talajvízemelő hatása (szerkesztette: HERVAI A.)

5.3.4. A Duna-áradások korrelációval számolt terjedési sebessége

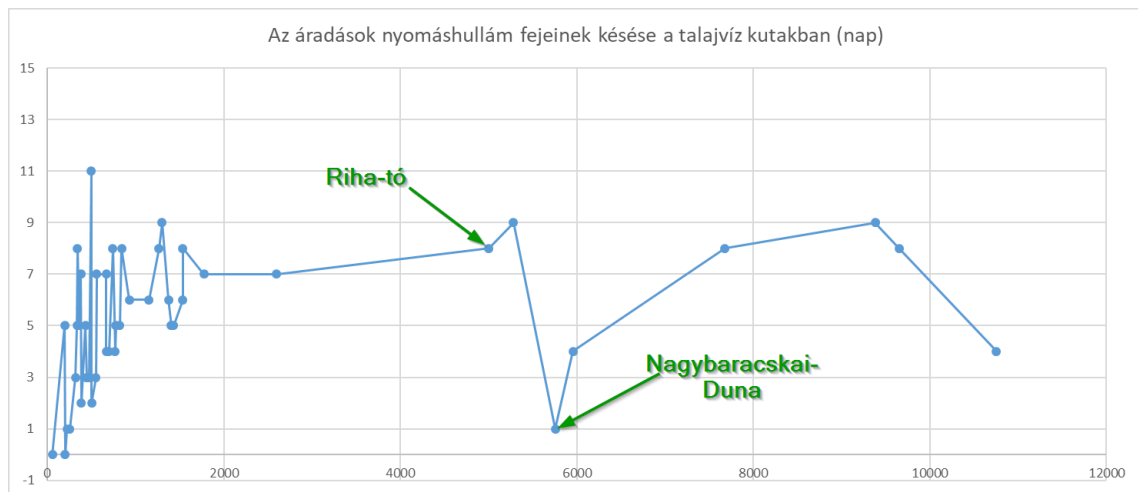
A Duna-áradások terjedését a talajvízben a legerősebb korrelációk időbeli késésével is ki lehet számolni. Az átlagos lagtime értékek eléggé meglepő eredményt mutatnak. Az első másfél kilométeren fluktuálva ugyan növekszik a késés 7-9 napra, azonban ezután ez az érték változatlan marad szinte az egész szigetre (44. ábra).



44. ábra – Az áradások nyomáshullámjainak késése a talajvízkutakban a Dunától távolodva (m) (szerkesztette: HERVAI A.)

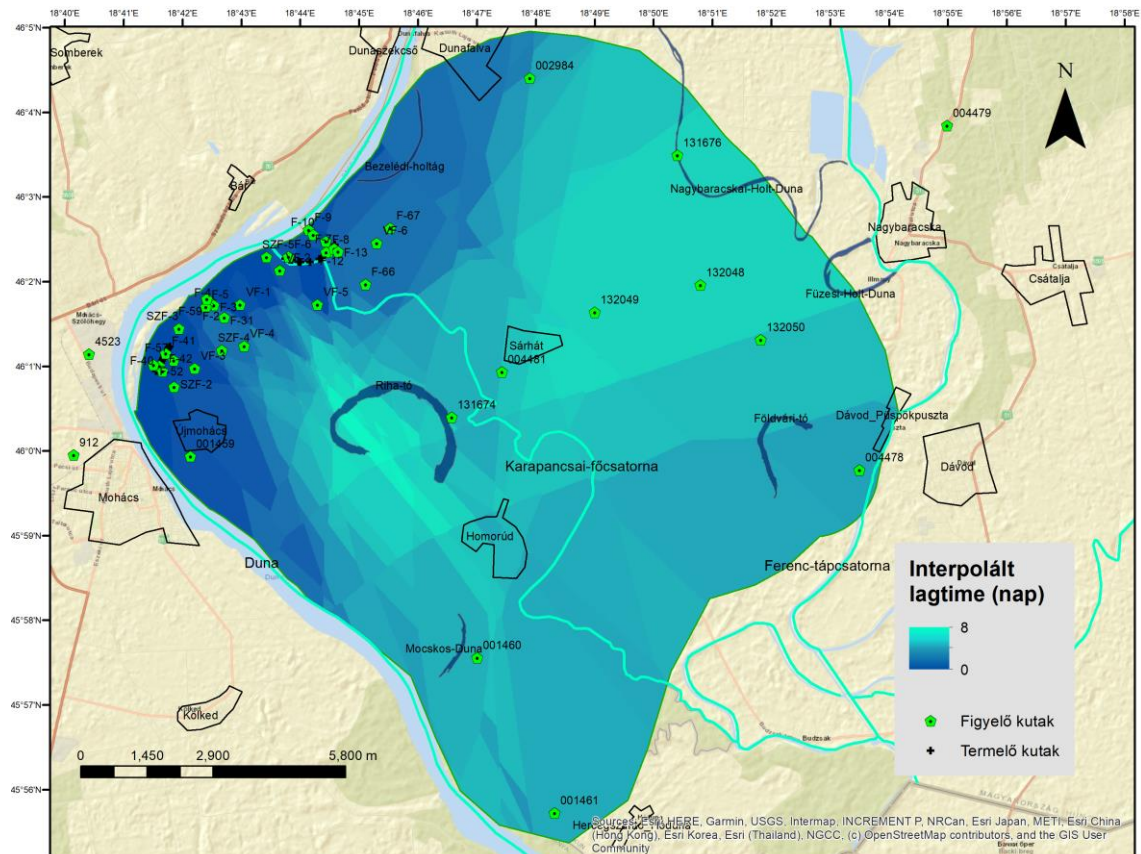
Annak ellenére, hogy a Nagybaracscai-Dunáról és a Riha-tóról csak háromméves idősor állt rendelkezésre, 5-6 áradást, köztük jelentősebbeket is, mégis meg tudtam vizsgálni. A sziget közepén futó Nagybaracscai-Dunába (illetve annak vízmércéjébe)

jóval gyorsabban ér oda a víz, mint a környező talajvizekhez (45. ábra). Az eredményből egyértelműen látszik, hogy áradásokkor jut át a víz a Ferenc-csatornával még kapcsolatban lévő Nagybaracscai-Dunába. A Riha-tóhoz nagyjából hasonló időben ér oda az árvíz, mint a környezetéhez. Azonban ahogy a korábbi 36. ábrán láthattuk 1000-1500 méter után lecsökken a talajvízkutak és a Duna közötti a hullámzásból áradásokkor kimutatható korreláció erőssége. Gyenge kapcsolatok esetén pedig nincs jó karakterisztikája a keresztkorrelációs eredmények görbéjének. Ez azt jelenti, hogy a kiválasztott érték, bár a legerősebb, nem biztos, hogy a legmegfelelőbb is. Ha nem jelenik meg az adott talajvízkútban egy kiemelkedő vagy karakterisztikus talajvízhullám, akkor a lagtime számítás nem túl pontos. Láthattuk azonban, hogy a Nagybaracscai-Dunának erős (0,8) kapcsolata volt a Duna áradásokkal (37. ábra). Az itt megjelenő lagtime értékben ezért jobban lehet bízni, mint a többi, a sziget belsejében levő piezométerében. Továbbá, ahogy a 40. ábrán láthattuk, a vízemelő hatás sem túl nagy. A Duna árhullám 10%-át sem éri el a sziget belseje felé. Az élőhelyek szempontjából gyakorlatilag közömbös, hogy mikor ér oda ez a kismértékű vízszintemelkedés.



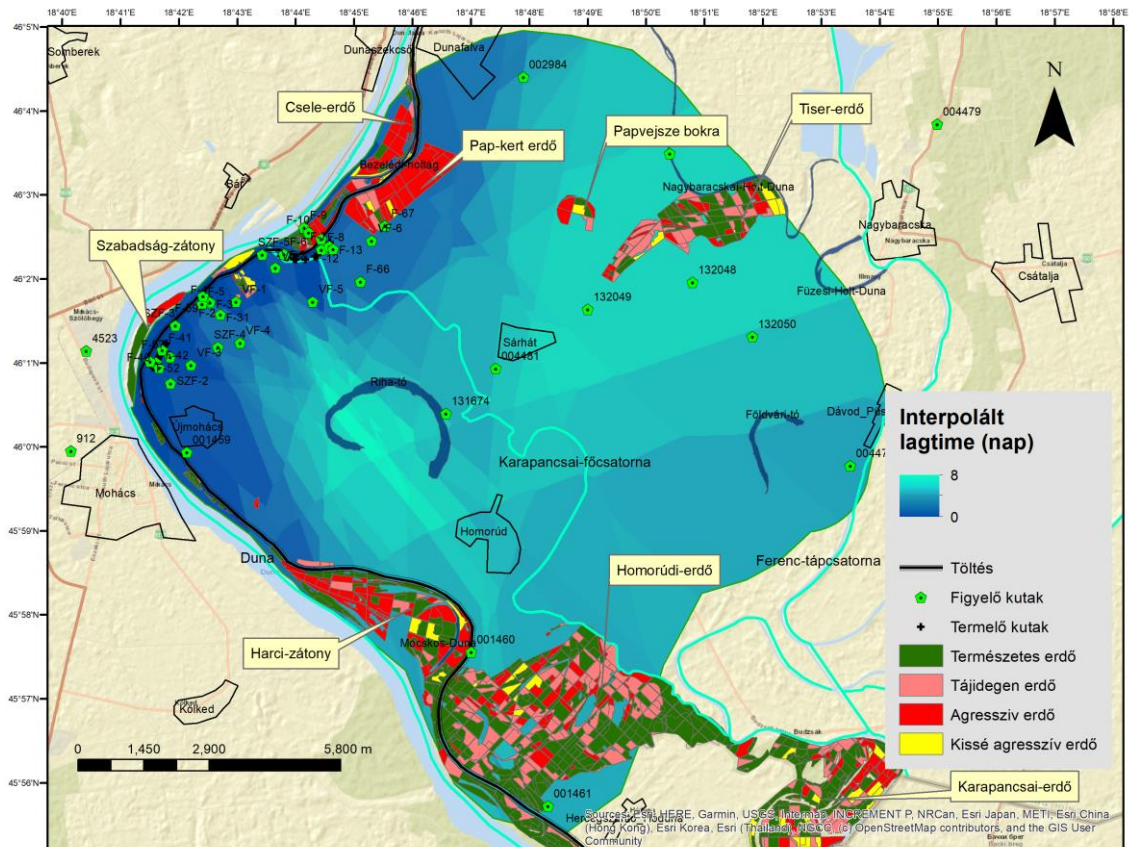
45. ábra – Az áradások nyomáshullámainak késése a talajvíz kutakban a Dunától távolodva (m) (szerkesztette: HERVAI A.)

A korrelációból számolt nyomáshullám-haladás interpolált térképe a térben viszonylag egyöntetű sebességet mutat (46. ábra). A part közelében viszonylag gyorsan halad, később úgy tűnik, legalábbis az áradáskori átlagos korrelációk alapján kiszámolt lagtime értékéből, hogy a sziget egészére viszonylag gyorsan elér a Duna áradása.



46. ábra – A Duna-áradások átlagos haladási sebessége a korrelációkból számítva (szerkesztette: HERVAI A.)

Az áradás talajvízben való haladásának sebessége nem döntő tényező a különböző élőhelyek fennmaradásában. Azonban, ahova hamarabb érkezik a nyomáshullám és ezért esetleg hamarabb alakul ki belvíz, ott a tovább is megmaradhat. Ebben a tekintetben is az északi invazív fajokkal terhelt erdőknek, délen pedig a Szabadság-zátony és a Harci-zátony erdeinek jobbák az életlehetőségei (47. ábra).



47. ábra – A Duna-áradások nyomáshullámának átlagos haladási sebessége a korrelációkból számítva (szerkesztette: HERVAI A.).

5.4. 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 a lineáris regressziós modellbe (LM). A LM vizsgálatot csak a parthoz közeli kutakra, és csak a 2007. esztendőre, illetve a 2009-től 2018-ig tartó időszakra folytattam le. Csak az említett időszakban állt rendelkezésemre olyan mennyiségű vízállás- és csapadékidősor, hogy a LM vizsgálatokat megfelelő pontossággal el tudjam végezni. A figyelőkút-ponthálózaton mért és összegzett adatokból kriging interpolációt készítettem (HERVAI 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.

5.4.1. A termelőkutak 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

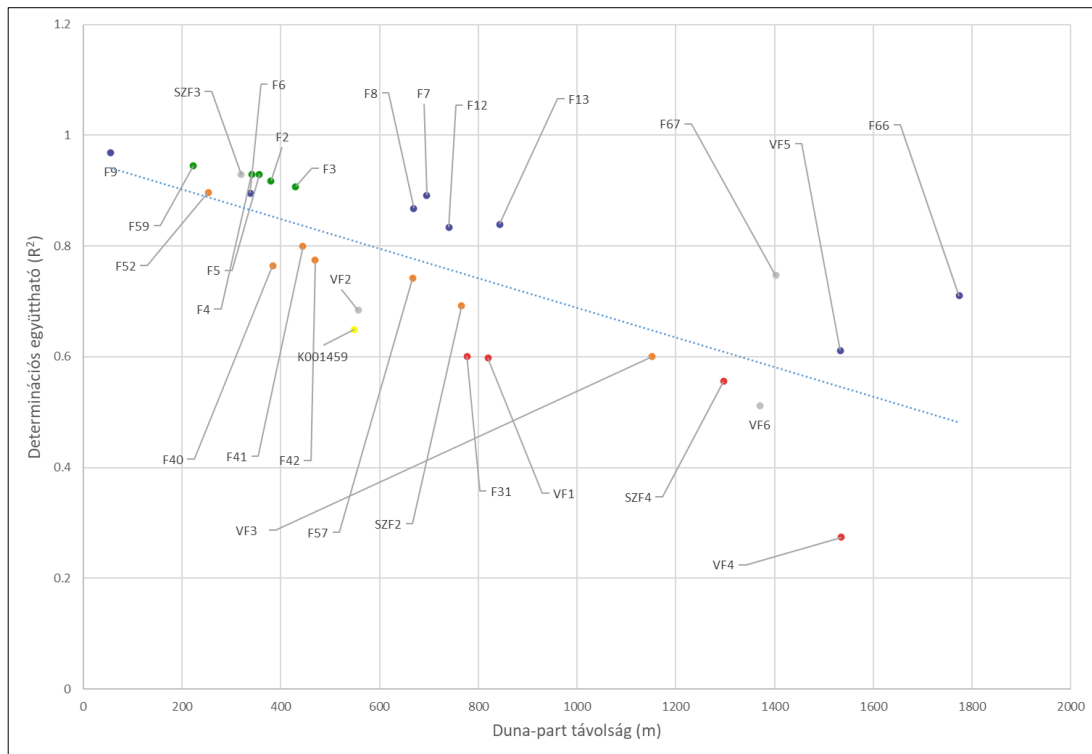
idősorainak és a transzformált Duna idősorának összegzésével egy kombinált eredménygörbét hoztam létre. Ezt az eredménygörbét az LM-be illesztve valójában a Duna teljes hatását mutattam ki minden figyelőkútra. A termelőkutak csak néhány százalékot “váganak ki” a Duna integráljának tetejéből (19. ábra). Ez az érték megegyezik a determinációs együttható értékének változásával is, ha a termelőkutakat is bevonjuk a lineáris modellbe (19. és 20. ábra). Vizsgálataim eredményeképpen kimutattam, hogy a termelőkutak közvetlen hatása áradáskor, csak legfeljebb néhány 100 m távolságig tart. Ez a hatás nagyon gyenge a part és a termelőkutak között, tehát inkább a sziget belsőbb részein érdemes ezzel a néhány száz méterrel számolni.

5.4.2. A csapadék hatása a sziget talajvízrendszerére

A csapadék közvetlenül hozzájárulhat a telítetlen alluviális víztartó réteg kitöltéséhez (CLOUTIER, C. A. et al. 2014). 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. 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 során. 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. Minden más esetben nem tudtam kimutatni a csapadéknak a talajvízre gyakorolt hatását, így ezek nem kerültek be az összesített lineáris regressziós modellbe.

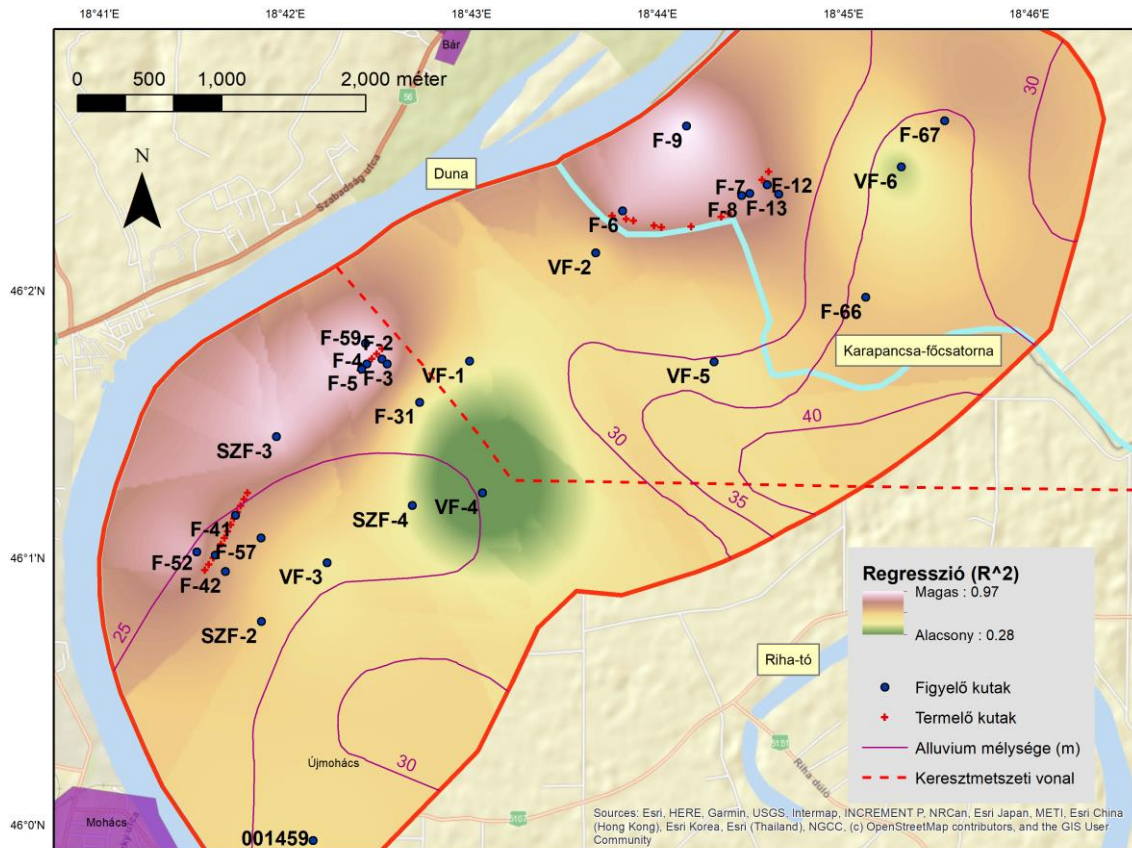
5.4.3. A LM összetett hatása a sziget talajvíz rendszerére

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 et al. 2020a). A LM számítás eredménye pontosabban leírja a Duna hatását, legalábbis ebben a part menti sávban, mint a korreláció és a sűrűbb ponthálózat miatt az eredményekből készült térbeli interpoláció is precízebb. Megállapítható ezért, hogy a LM-hez elkészült térképeken jobban meg lehet figyelni a Duna hatásában jelenkező területi különbségeket.



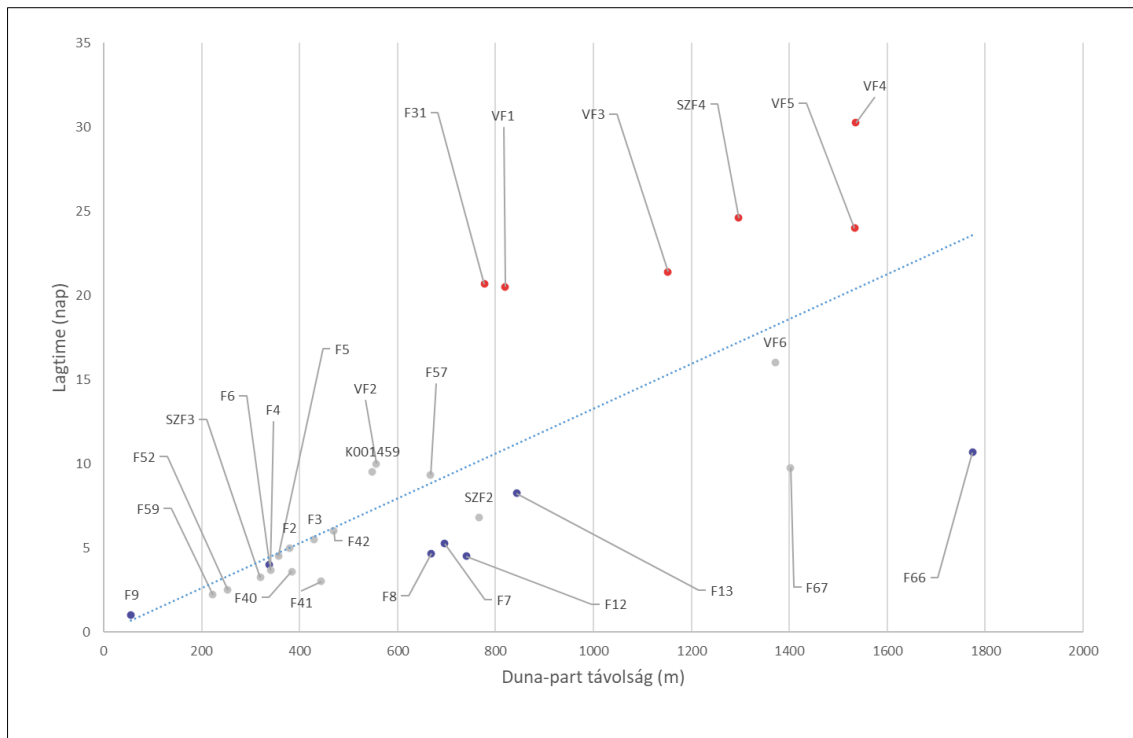
48. ábra – A Duna és a talajvíz közötti átlagos determinációs együttható (R^2) csökkenése a talajvízkutaknál a parttól távolodva (m). Zöld pontok: figyelőkutak a középső termelőkút-sor területén, 500 méter távolságon belül. Piros pontok: olyan figyelőkutak a középső termelőkút-sor területén, amelyek a parttól 500 méternél nagyobb távolságban találhatóak. Kék pontok: figyelőkutak az északi termelőkút-sor területén. Narancssárga pontok: figyelőkutak a déli termelőkút-sor területén. Sárga pont: a legdélebbi figyelőkút. Szürke pontok: minden más figyelőkút (szerkesztette: HERVAI A.)

Ha megnézzük a folyó és a talajvíz közötti kapcsolat erősségének változását a parttól távolodva (48. ábra) azt láthatjuk, hogy a regressziós érték egy lineáris trendvonalat nagy szórással követve csökken 1800 m-ig. Az ábrán több figyelőkút-csoportot lehet elkülöníteni, amelyek általában termelőkút-sorok körül csoportosulnak. Az északi figyelőkutaknak lehatárolható egy csoportja (kék színű pontok), amelyeknek sokkal erősebb a kapcsolata a Dunával, mint a többi kútnak. A déli termelőkutak (narancssárga színű pontok) kissé a trendvonal alatt helyezkednek el. A középső termelőkút-sor körüli figyelőkutak az első 500 m-en belül (zöld színű pontok) az átlagnál kissé erősebb kapcsolattal rendelkeztek a Dunával. A 400 m távolságban a parttól a számított átlagos determinációs együttható értéke itt még mindig 0,9 körül volt. Ettől a távolságtól kezdve azonban, a középső termelőkút-sor vonalában elhelyezkedő megfigyelőkutak egyre jobban elveszítik a kapcsolatukat a Dunával (piros színű pontok). 800 m-en az átlagosan 0,6-os R^2 figyelhető meg a Duna és az F-31-es figyelőkút kapcsolatában, míg 1500 méteren ez az érték már csak 0,25. A csökkenés sokkal gyorsabb, mint ahogy a távolság alapján várható lenne. A K001459 figyelőkút (sárga színű pont) a Duna-parthoz viszonylag közel helyezkedik el, de az átlagos determinációs együtthatója alapján szerényebben kapcsolódik a folyóhoz. Ez a talajvízkút abban is különbözött a többitől, hogy nagyon messze volt a termelőkutaktól.



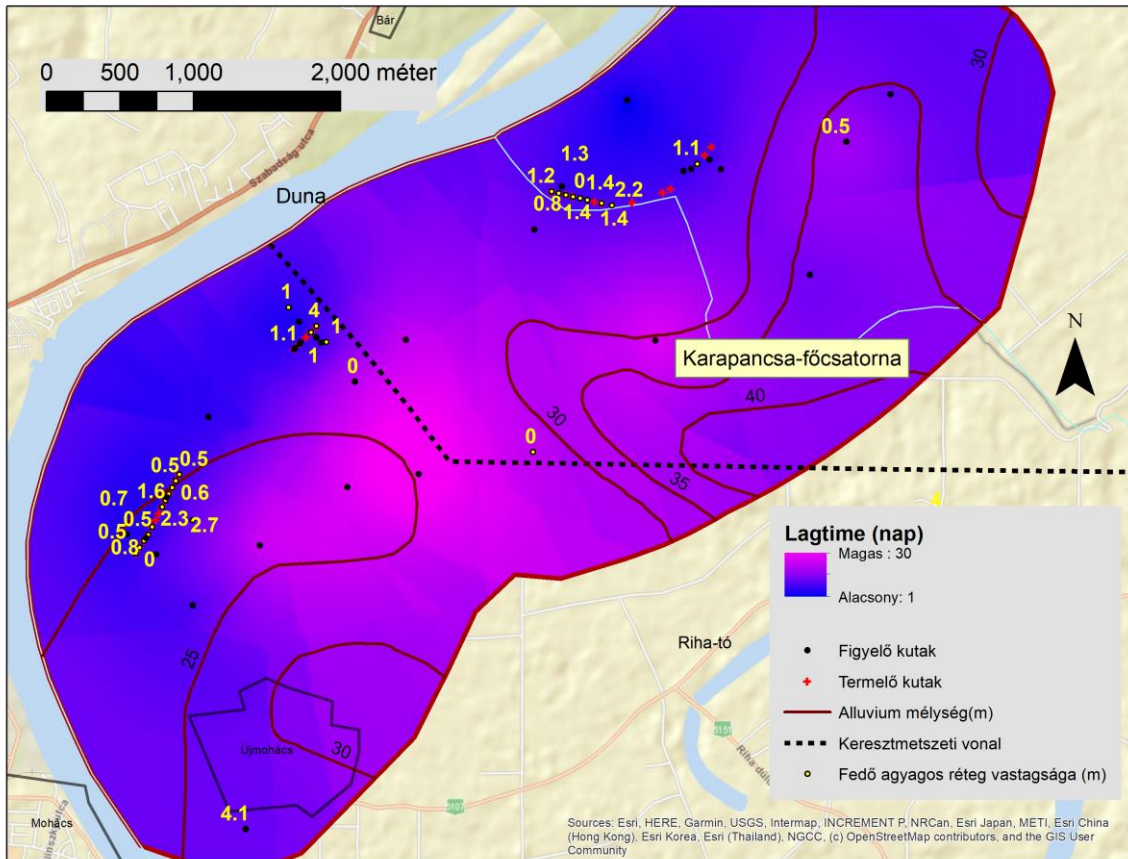
49. ábra – A Duna-áradások hatásának a regressziós értékkel (R^2) kimutatott interpolált térképe (szerkesztette: HERVAI A.)

A kriging módszerrel interpolált átlagos determinációs együttható térképen (49. ábra) a területi eloszlását is megfigyelhetjük annak, 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, éppen ott, ahol a fedő agyagréteg vastagsága két sekély földtani fúrás naplójában leírtak alapján 0 (ezek az értékek a 51. ábrán láthatók, a térképen sárga számok jelzik őket).



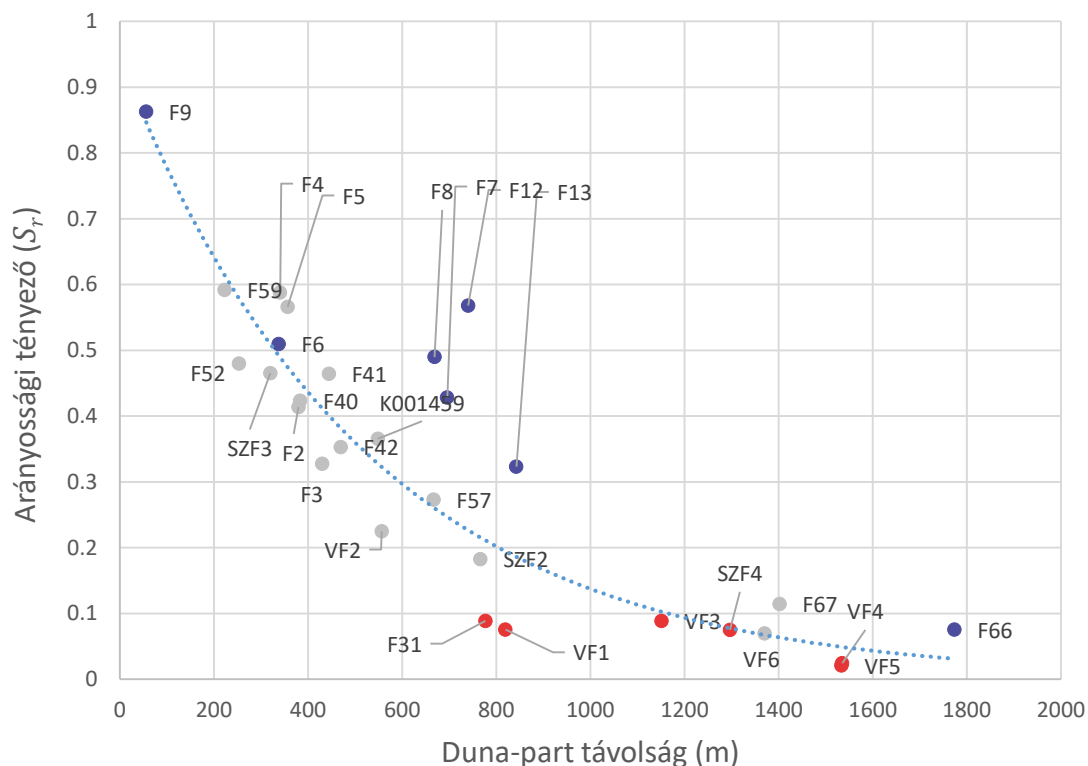
50. ábra – Az átlagos talajvíz hullám késések a parttól távolodva. Piros pontok: figyelőkutak a középső kútsor térségében több, mint 500 méter távolságban. Kék pontok: figyelőkutak az északi termelőkút-sor területén. Szürke pontok: minden más figyelőkút (szerkesztette: HERVAI A.)

Az átlagos talajvíz hullám késési diagramja (50. ábra) azt mutatja, hogy az értékek egyre jobban ingadozva növekednek a parttól távolodva. Egy lineáris trendvonalhoz nagyjából illeszkednek, de még kevésbé, mint a determinációs együttható esetében. Ahogy a regressziós eredményeknél, a késési diagramon is csoportosítani lehet a figyelőkutakat. Egy trendvonal alatti csoportban (kék színű pontok) egyértelműen azonosíthatók azok a kutak, amelyek az északi termelőkút szomszédságában találhatóak. A parttól távolodva ezek a pontok a trendvonal felé egyre jobban eltávolodtak. 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 termelőkút zónájához, annak ellenére, hogy a Dunától való távolságuk csupán kétszerese a termelőkút közelieknek.



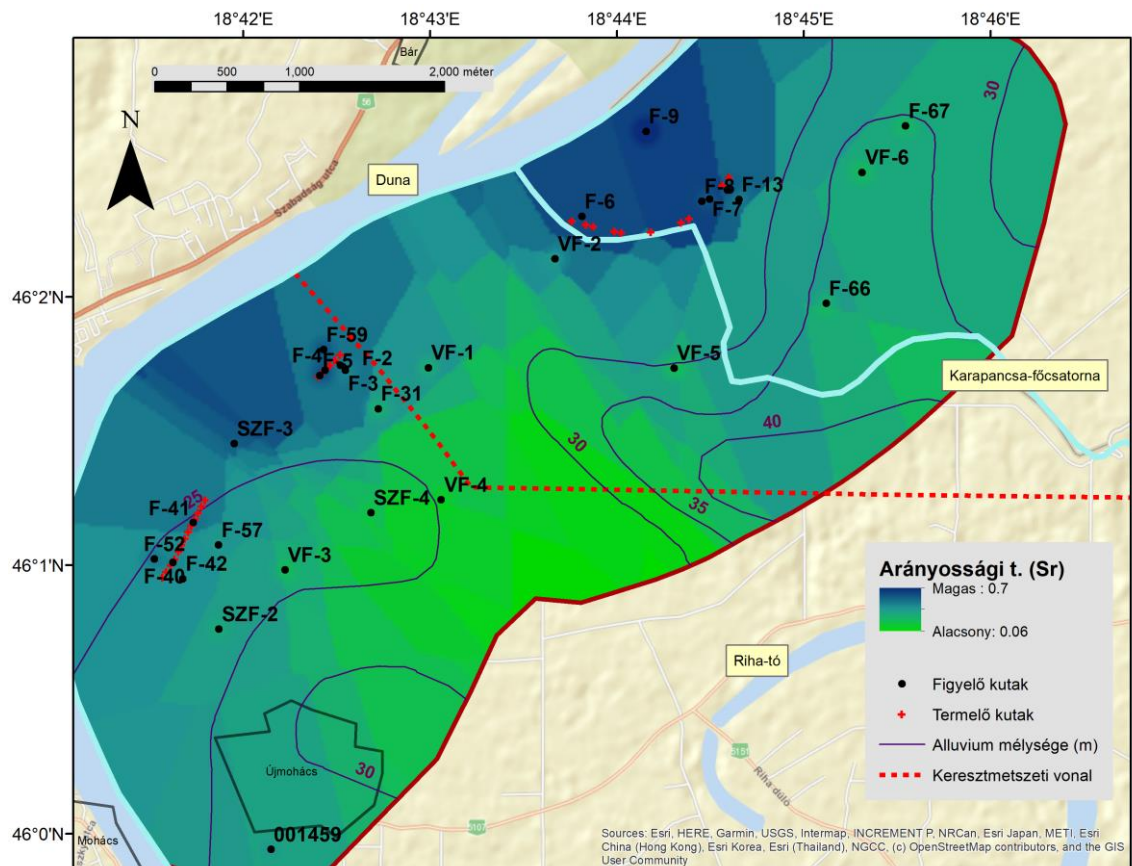
51. ábra – A Duna-áradások késési idejének interpolált térképe (szerkesztette: HERVAI A.)

Az átlagos késések kriging módszerrel interpolált térképén (51. 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.



52. ábra - A Duna és a talajvíz közötti arányossági tényező (S_r) csökkentése a Duna parttól távolodva. Piros pontok: figyelőkutak a középső és déli termelőkút-sor térségében több, mint 500 méter távolságban. Kék pontok: figyelőkutak az északi termelőkút-sor területén. Szürke pontok: minden más figyelőkút (szerkesztette: HERVAI A.)

Az áradások átlagos talajvíz emelő hatása (arányossági tényező (S_r), 1. egyenlet) megmutatja, hogy az árvíz során milyen mértékben és milyen távolságban számíthatnak a Duna természetes élőhelyei, illetve az agrárterületek többletvízre a talajból. Ha az arányossági tényező változását a parttól távolodva megfigyeljük (52. ábra) úgy tűnik, hogy a pontok egy exponenciálisan csökkenő trendvonalat követnek, és ebben az esetben, ellentétben a determinációs együtthatóval és a késési idővel, a szórások csökkennek a távolsággal. A korrelációra alapuló számításoknál a talajvíz emelő hatás inkább egy logaritmus trendvonalhoz illeszkedett, de abban a vizsgálatban a termőkutak miatt megjelenő fluktuáció még erősebb volt, ezért ez az exponenciális csökkenés mondható pontosabbnak. Ahogy a determinációs együttható és a lagtime esetében, itt is el lehet különíteni kútsoportokat a diagrammon (52. ábra). Az északi termelőkútak előtti piezométerek adatai egyértelműen és kiemelkedően a trendvonal felett (kék színű pontok) fekszenek. A Dunától 500 m-nél nagyobb távolságra lévő, középső és déli termelőkútak (vörös színű pontok) mögötti vízmércékben, általában kisebb volt a talajvíz emelkedése, mint az ugyanebben a távolságban az északi területen.



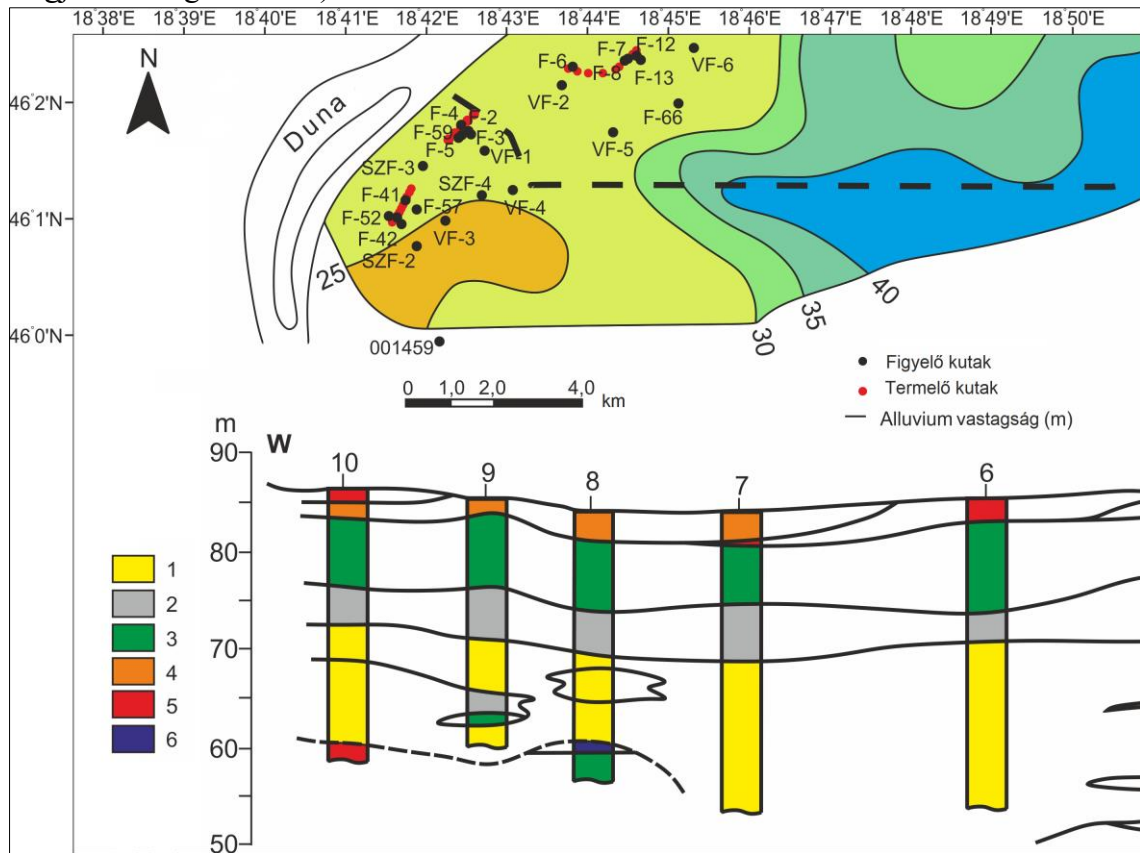
53. ábra – A talajvízmelő hatás vagy arányossági tényező (S_r) interpolált térképe (szerkesztette: HERVAI A.)

Az átlagos felszín alatti vízemelő hatásának kriging módszerrel interpolált térképe (53. ábra) az LM interpolált determinációs együttható térképéhez hasonló eredményt mutat. A talajvízmelő hatás a parthoz közel a legerősebb. A partközeli területeknél a legalacsonyabb átlagos arányossági tényezőt a délebbi részeken figyelhetjük meg. A parttól távolabb a talajvízmelő 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 termelő kutak egyértelműen vizet vonnak ki a talajból. A középső és a déli termelő kutak mögötti sávban, a Duna jóval alacsonyabb arányban emelte meg a talajvizet.

5.4.4. A földtani tényezők hatása a sziget talajvízrendszerére

Az interpolált térképek (49., 51. és 53. 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 termelő kutak mögött csökken le, ahol már 1000 méternél megszűnik. Ez természetesen annak is köszönhető, hogy a termelő kutak nagy vízmennyiséget termelnek ki. Mindazonáltal ez nem magyarázza a déli, középső és északi termelő kutak közötti területi különbséget. Ezenkívül az 19. és 20. ábra egyértelműen mutatja, a 2013. évi transzformált és a termelő kutakkal összegzett Duna és a talajvíz vízállás idősor alapján, hogy a termelő kutak hatása csak 10%-ot magyaráz a talajvíz variációjából a nagyobb árvízi események során. Ezért legalábbis ezekben az árvízi időszakokban a megszűnő kapcsolatot máshol kell keresni. A 54. ábra a pannóniai agyagréteg mélységét és egy földtani keresztmetszelyt mutat be geofizikai mérésekre támaszkodva (DRASKOVITS P. 1982, DRASKOVITS P. – JÓSA E. 1986) a középső termelő

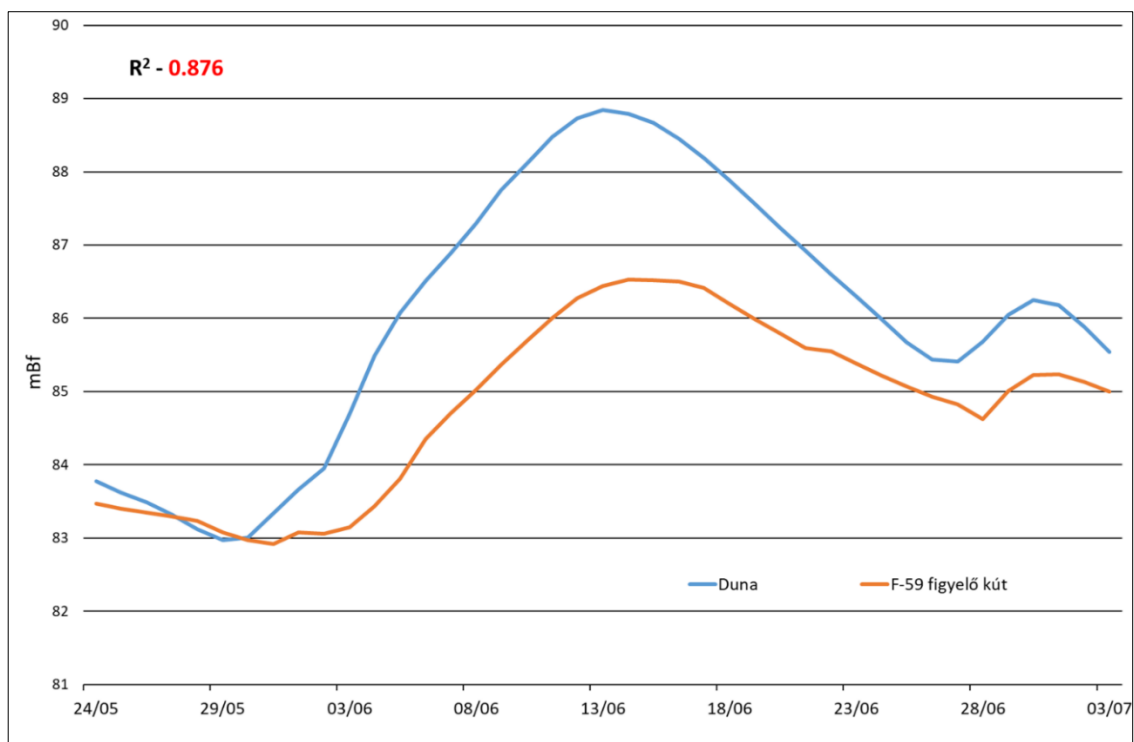
kútsor. A DRASKOVITS P. (1982) által közzétett geológiai keresztmetszeti ábra a figyelőkutak mentén, amely MGS mérések alapján készült. A keresztmetszeti ábra felszíni vetülete fel van tüntetve az interpolált térképeken (49., 51. és 53. ábra). A keresztmetszeti ábrán látható adatokat a vízföldtani fúrások leírásai is igazolják (51. ábrán megjelenő sárga számok).



54. ábra – Keresztmetszeti rétegsor és allúvium vastagság térkép a középső termelő kutak 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)

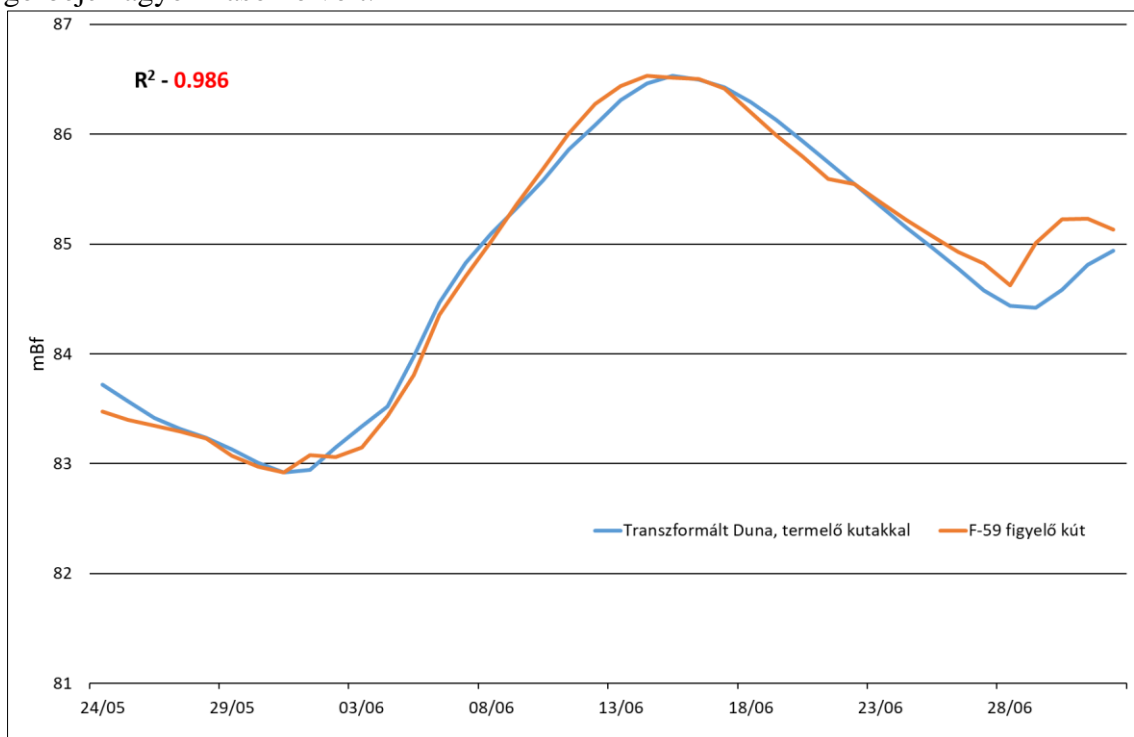
Ha jobban megfigyeljük a középső termelőkutak közelében elhelyezkedő figyelő kutak geológiai térképét (54. ábra) és a figyelő kutak kapcsolatainak erősségét a Dunával (49., 51. és 53. ábra), azt láthatjuk, hogy a parttól 500 m távolságra az agyagos záróréteg elvékonyodik, éppen ott, ahol a kapcsolat drasztikusan lecsökken. A parttól számított 500 m-es távolságon túl csak szórványosan álltak rendelkezésemre rétegtani adatok a területről. Ez a két fúrásnapló adatai (51. 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, majd 0,2–0,3-re 1500 méteren). Sőt, a késleltetési idő hirtelen egy hétről egy hónapra nő, mialatt a távolság csak megduplázódik.

Annak érdekében, hogy jobban megértsük, hogy a leírt geológiai tényezők hogyan befolyásolták a felszín alatti vízmozgást, érdemes részletesebben megnézni, hogy hogyan alakult a 2013-as a talajvízben árvízkor fellépő nyomáshullámnak sorsa a középső termelő kút közelében a partra merőlegesen.



55. ábra – A Duna és az F-59-es figyelő kút vízállás görbéje 2013. júniusában (szerkesztette: HERVAI A.)

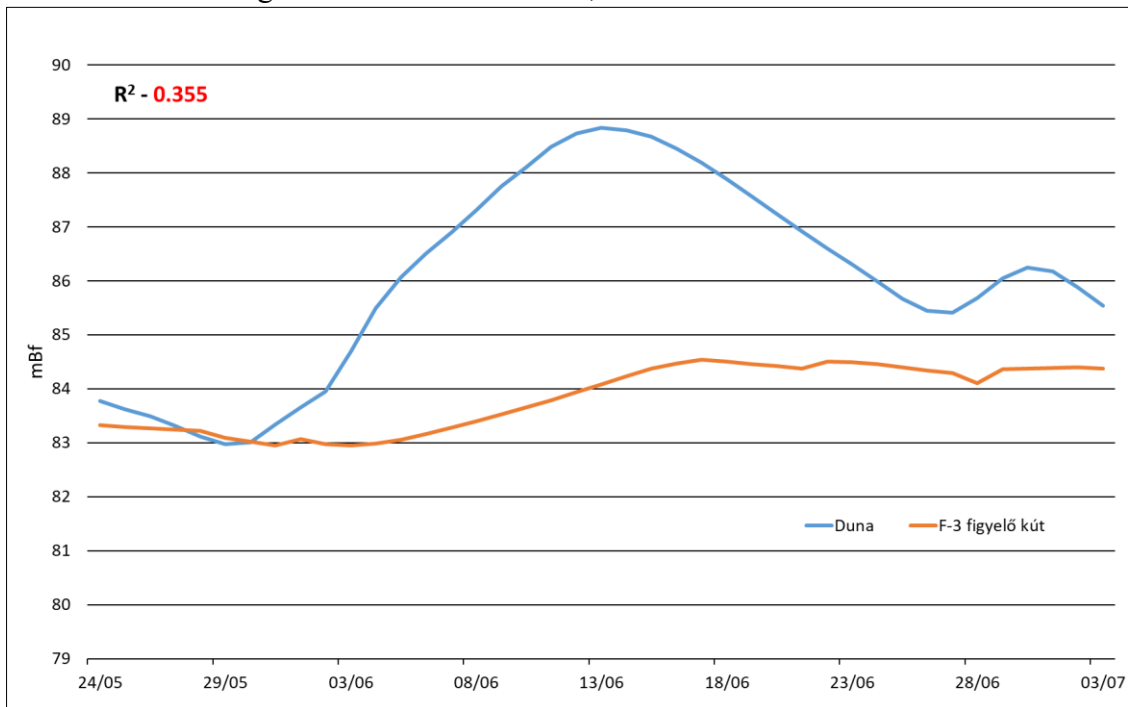
A 55. és 56. ábra azt láthatjuk, hogy a folyótól 222 m-es távolságban (F-59 kút), mind az eredeti, mind a transzformált diagramon, a Duna és a talajvíz kút vízszintjének görbéje nagyon hasonló volt.



56. ábra – A transzformált Duna és az F-59-es figyelő kút vízállás görbéje 2013. júniusában (szerkesztette: HERVAI A.)

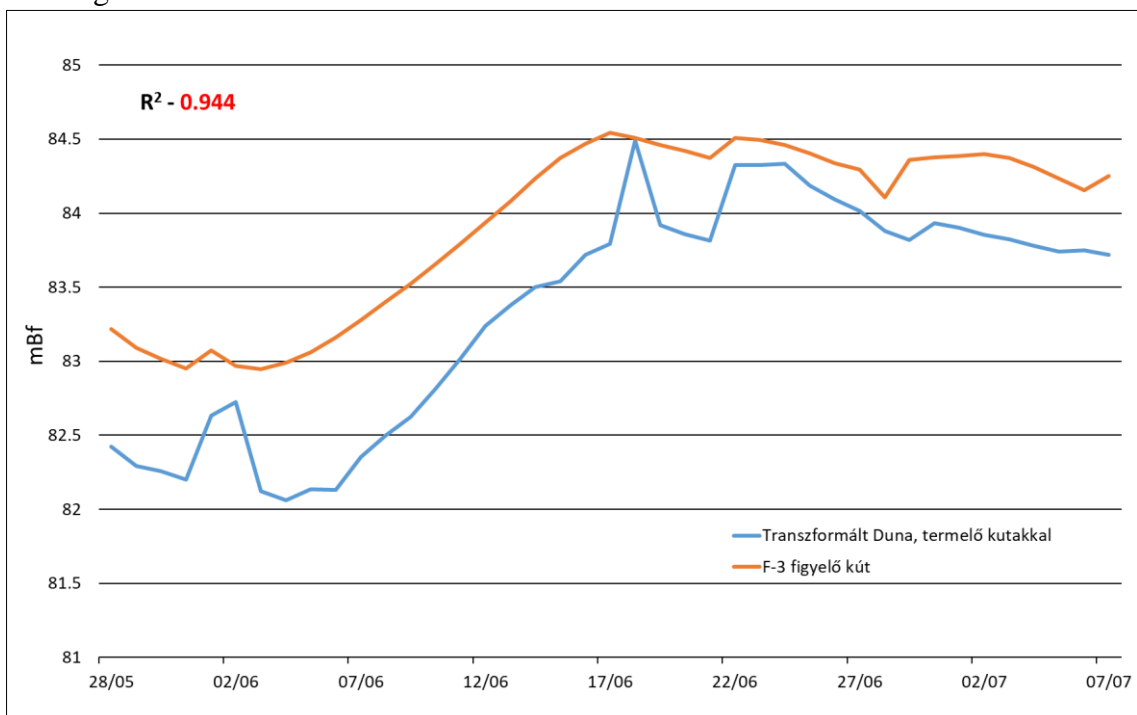
Amint a 19., 20. és 21. ábrán, a módszertani szakaszban látható, az F-4-es figyelő kút amplitúdója csökkent, de a görbék még transzformáció nélkül is rendkívül hasonlóak

voltak. A determinációs együttható értéke az F-4-es kút és a Duna transzformált és termelőkutakkal kiegészített vektorai között 0,941 volt.



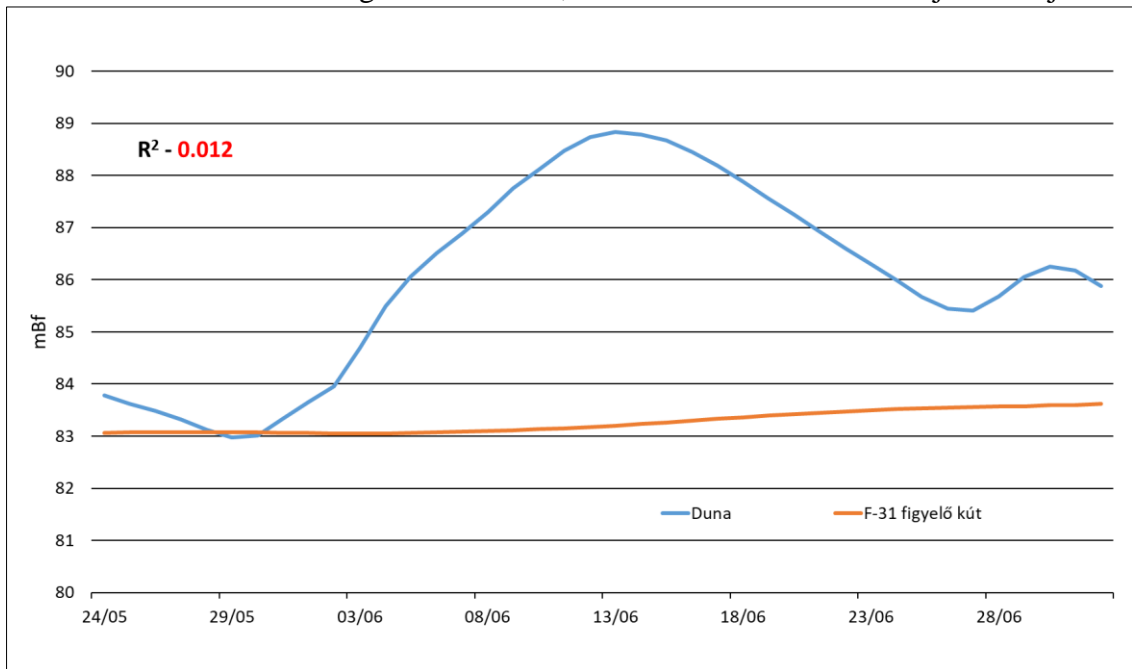
57. ábra – A Duna és az F-3-es figyelő kút vízállás görbéje 2013. júniusában (szerkesztette: HERVAI A.)

Ami még ennél is meglepőbb, hogy az F-3 kútnál, 430 m távolságban, (57. és 58. ábra) csak a hullám amplitúdójában figyelhető meg különbség a transzformált Duna és a talajvíz kút idősora között, a hullámhossz még mindig nem változott meg ebben a távolságban.



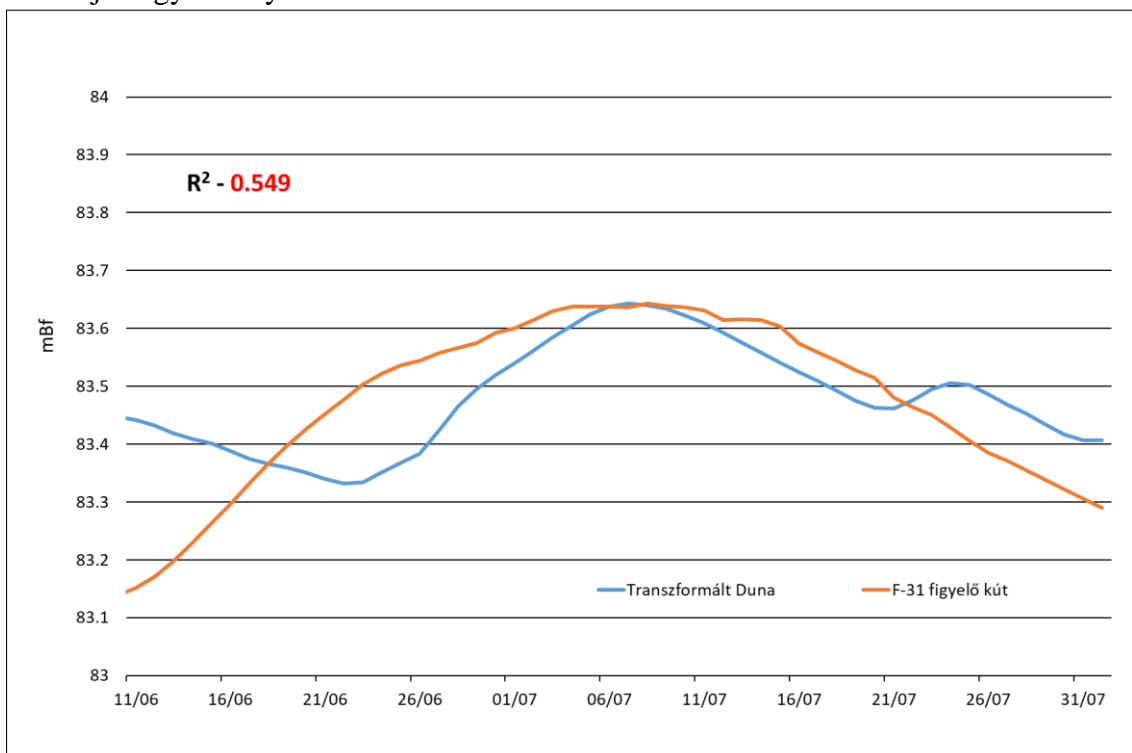
58. ábra – A transzformált Duna és az F-3-es figyelő kút vízállás görbéje 2013. júniusában (szerkesztette: HERVAI A.).

Ezzel szemben az F-31 megfigyelőkút görbéje, a parttól 777 m-re, már teljesen más jellegűvé vált. Ennél a kútnál, amelynek a távolsága a Dunától, kevesebb, mint kétszerese az F-3 kútnak, nem csak a hullám amplitúdója zsugorodott tovább, de a hullámhossz is csaknem megkétszereződött, amint azt a 59. és 60. ábrák jól mutatják.



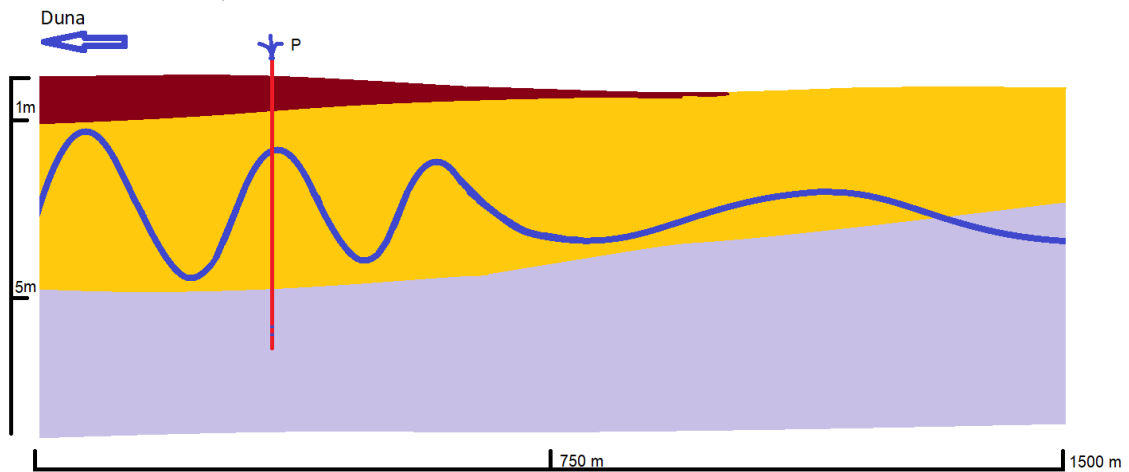
59. ábra – A Duna és az F-31-es figyelő kút vízállás görbéje 2013. júniusában (szerkesztette: HERVAI A.)

Nyilvánvalóan az itt megjelenő talajvízhullámot is a Duna áradása indukálta, de az alakja nagyon elnyúltta vált.



60. ábra – A transzformált Duna és az F-31-es figyelő kút vízállás görbéje 2013. júniusában (szerkesztette: HERVAI A.)

Összefoglalva elmondható, és egy sematikus ábrán szemléltetem is (61. 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 egy egyre inkább fedetlenné váló, vékonyabb homokos iszapréteget értek el 500 m távolságra a parttól, és elnyújtottá váltak. Ha megnézzük a késési idők diagramját (50. ábra), akkor kiszámolható, hogy az áradások által gerjesztett nyomásfejek átlagos sebessége fedett körülmények között 80 m/nap (F-2, F-3; 400 m-nél) volt. Ez a sebesség később napi 16 m-re csökken fedetlen körülmények között (F-31, VF-1; 800 m-nél).



A 61. ábra – A talajvíz hullámok megnyúlásának sematikus ábrája a középső termelő kutak területén a 2013-as áradás során, a parttól távolodva (HERVAI A. et al. 2020a)

6. Eredmények összefoglalása

Összegyűjtöttem a tájváltozás legfontosabb lépéseit a folyószabályozásoktól kezdve a 21. század elejéig. Megállapítottam, hogy a táj már a középkorban sem volt természetes, sőt több település volt található rajta, mint a török korban és utána egészen a 20. század első harmadáig. A gazdálkodás azonban folyamatosan a 19. század végéig természetközeli, elsősorban ártéri volt.

Elkészítettem az első, második és harmadik katonai térképezés, illetve a Duna-mappáció alapján egy-egy vektoros tájtérképet az ArcGIS szoftverrel. Hasonló módszerrel a 20. századi térképekről (az 1952-es és az 1987-es topográfiai térképekről), illetve egyszerű térinformatikai leválogatással egy 21. századi téradatbázisból, a CLC 2012-ből is készítettem tájtérképet. A térképekről Excel segítségével összesítettem a tájelemeket, a változásokról pedig diagramot készítettem. A térképek tájelemeinek százalékos változását összehasonlítottam 20. és 21. századi térképekkel, téradatbázisokkal. Kimutattam, hogy a több mint 150 évig tartó átalakító munkálatok miatt a 20. század közepére a vizes élőhelyek aránya 30%-ról 2-3%-ra, az erdők aránya 60%-ról 15-20%-ra csökkent, ugyanakkor a szántók aránya megnőtt 0-ról 70%-ra.

A tájalakítás folyamatáról megállapítottam, hogy a szabályozás első szakaszában kanyarulatokat vágtak át, töltéseket építettek és részben csatornákat hoztak létre. Emiatt a 19. század végére elmozdított a sziget. A 20. századtól a belvízmentesítés volt a tájalakítás elsődleges célja. A szabályozások következtében már 1825-re 90%-ról 50%-ra csökkent az elárasztott területek aránya. 1956 óta a felszínt nem éri el áradás, de a felszín alatt a talajvíz közvetíti az áradások nyomáshullámát.

Az áradások talajvízszintemelő hatását is megpróbáltam feltérképezni. Összegyűjtöttem 47 darab talajvíz mérőállomásnak, 2 darab Duna-vízállásmérőnek, 6 meteorológiai állomásnak, 25 termelőkútnak, a Riha-tónak és a Baracska-Dunának az 1996-tól 2018-ig tartó időszakban mért és elérhető napi vízállás vagy hullott csapadék adatait.

Fejlesztettem egy szoftvert a több mint tízféle vízállás- és csapadékadatsor adatbázisba töltésére, illetve az R statisztikai szoftvercsomag, az ArcGIS és az Excel API-jának meghívására. Készítettem felhasználói felületet a CCF függvény teljes idősorokra és az áradási időszakokra való beállítására. A CCF függvények esetében a lagtime számításokat R API kódból hívtam meg. Fejlesztettem egy másik szoftvert egy másik felhasználói felülettel az R API LM függvényének meghívására, azért, hogy a Duna, a termelőkutak és a csapadék együttes hatását tudjam vizsgálni. Ebben a kódban saját magam készítettem el a teljes idősorokból az áradáshoz tartozó adatsorokat és írtam meg a lagtime számítást a regressziós vizsgálatokhoz a Dunára, a csapadéokra és a termelő kutakra. A korrelációknál foglalkoztam a Riha-tó és Nagybaracska-Duna vizsgálatával is.

A talajvíz és a Duna szintje közötti a teljes idősorokra vonatkozó korrelációk nagyon gyenge kapcsolatot mutattak ki. A part közelében maximum 0,2 r értéket tudtam megállapítani a kutak és a Duna között. Kivételt képeztek az ADUVIZIG kutak (0,7 körüli r értékkel), melyek termelőkút-soroktól távol helyezkednek el. A sziget többi részén 0,3 és 0,4 közötti r értékeket számítottam. A Riha-tó és a Nagybaracska-Duna a keresztkorrelációs kapcsolat tekintetében kissé a környezete alatt maradt.

Keresztkorrelációs kiszámoltam 31 nagyobb áradásra és minden egyes kútra az általam írt szoftver segítségével. Ennek eredményeképpen kimutattam a kutak Dunával való kapcsolatát áradáskor. Az első 200-300 méteren nagyon erős (0,7 és 0,9 közötti) korrelációt mértem, ami megegyezik a LEWANDOWSKI, J. et al. (2009), CLOUTIER, C. A. et al. (2014), illetve VEKERDY Z. és MEIJERINK, A.M.J. (1998) által mért értékekkel. A

vizsgálatom a parttól távolodva 2 km-től a sziget majdnem teljes hosszában (a két tavat leszámítva) 0,6 körüli keresztkorrelációt mutatott. Ilyen távolságban csak VEKERDY Z. és MEIJERINK, A.M.J. (1998) mért hasonló erősségű kapcsolatot. Ők freatikus környezetben hoztak ki hasonló eredményeket, félig zárt víztározóban azonban jóval erősebb kapcsolatot mutattak ki.

Ha az állóvizek kapcsolatát figyeljük meg áradásokkor a Dunával, akkor kijelenthető, hogy a Nagybaracsikai-Dunának a kapcsolata meglehetősen erős ($r=0,8$), ezzel szemben a Riha-tó kapcsolata a legyengébb az összes többi mért értéknél ($r=0,4$). Holtág és folyó kapcsolatára LEWANDOWSKI, J. et al.-nak (2009) voltak vizsgálati eredményei, de ők a Spree-hez félig kapcsolódó és csak néhány száz méterre álló tóban vizsgáldták. Tulajdonképpen az általam a Baracsikai-Dunánál megállapítottához hasonló eredményt mértek. Az eltérő távolságok miatt korrelációs eredményeik tehát nem igazán összehasonlíthatók. A keresztkorrelációk kriginggel interpolált értékeiből készített térképen azt lehet látni, hogy a középső és déli termelőkút-sor mögött, illetve a Riha-tó környékén nagyon gyenge a Duna kapcsolata a víztartó réteggel. A legerősebb kapcsolat a Bárral szembeni kanyarulatnál található. A lagtime-okból készített diagramból az olvasható ki, hogy az első 500 métert egy átlagos árhullám a talajban 5 nap alatt tesz meg, 1 km-t viszont 7 nap alatt. 1 km után a lagtime értékeket nem célszerű figyelembe venni, mert azok nagyon alacsony korrelációhoz tartoztak. Ha az interpolált térképen nézzük meg a haladási sebességet, akkor azt látjuk, hogy a hullámterjedés viszonylag egyenletesen halad a Duna-partra merőlegesen. Az általam mért haladási sebességek VEKERDY Z. és MEIJERINK, A.M.J. (1998) és CLOUTIER, C. A. et al. (2014) freatikus környezetben mért eredményeihez állnak közel. LEWANDOWSKI, J. et al. (2009) freatikus és VEKERDY Z. és MEIJERINK, A.M.J. (1998) félig kötött körülmények között mért értékei nagyon különböznek ettől az eredménytől.

Az áradások átlagos talajvíz-emelésének vizsgálatát is elkészítettem. Ennek az eredménye azt mutatta, hogy 200 méterre a parttól legalább 50%-kal emelik a talajvíz a Duna vízállás emelkedésének arányában. 600 méterre már csak 30%-kal. Két kilométerre csak 5-10%-os emelkedés mutatható ki, amely azonban megmarad az egész szigeten. A Riha-tónál a talajvíz-emelkedés értéke is az átlagnál alacsonyabb. A jobbparti kutak és a Baracsikai-Duna úgy viselkednek e tekintetben is, ahogy a környezetük. GARCÍA-GIL, A. et al (2015) konkrét emelési magasságot mért, de ha az emelés távolságbeli csökkenését nézzük, akkor arányaiban nagyon hasonló értéket mutattak ki.

Az általam írt szoftver egy lineáris regressziós modell segítségével ki tudja mutatni a Duna árvíz-hullámok, a termelő kutakban megjelenő talajvízszintek és a csapadék együttes hatását a talaj vízszint ingadozásában. A LM-be minden független változó (Duna vízállás, termelő kutak, csapadék) értékeket változtatható időeltolódással lehet bevinni. A Mohácsi-szigeten ezeket az összesített hatásokat megvizsgáltam 30 talajvízkútra. A vizsgálat eredményeképpen megállapítottam, hogy a determinációs együttható értéke 0,9-ről 0,4-re csökkent a part első 2000 méterén. Az agyag és a finom szemcsés üledékek hatása a talajvíz ingadozására a Duna árhullámok késési ideje alapján megérthető. A hasonló távolságon belül a mért és átlagolt késési idő nulláról 25 napra nőtt. Azt is bebizonyítottam, hogy fedetlen környezetben a talajvíz áramlás sokkal lassabb volt, mint a félig zárt környezetben. Azokban a kutatásokban, amelyek célja az árvíz-hullámok és a talajvízben megjelenő nyomásfejek közötti kapcsolat intenzitásának meghatározása volt, csak nagyon kevés mérte meg a maximális determinációs együtthatót, még kevesebb a késési idővel együtt. Jung et al. (2004) nagyon hasonló eredményt állapítottak meg mind fedett, mind fedetlen körülmények között, bár ők csak a parthoz nagyon közel mérték (120 m-en belül).

Eredményeimet összehasonlítottam a szakirodalomban fellelhető, a folyó és talajvíz közötti kommunikációra irányuló korrelációs vizsgálatokkal. Ezekben az esetekben csak a kapcsolatok erősségének a nagyságrendjét vettem össze az általam mért értékekkel. Eredményeim nagyon hasonlók voltak a VEKERDY Z. és MEIJERINK, A. M. J. (1998) által mért korrelációkkal, akik 0,3 és 0,85 közötti értékeket kaptak vadózus környezetben. Félig fedett felszínközeli víztartó réteg esetben az r értékek 0,6 és 0,9 között változott náluk, amelyet azonban, a parttól 5 km-es távolságban is ki tudtak mutatni. Mivel kutatási területükön, a Szigetközben, a Duna partján a geológiai rétegsor (homokos, kavicsos alluvium, melyet agyagos réteg zár le a felszín közelében) nagyon hasonló a Mohács-szigetéhez, eredményeik számomra nagyon informatívak. A kapcsolat erősségében mért eredményeikkel ellentétben, a hullámterjedéssel kapcsolatos értékeik jelentősen különböztek az enyéimtől. Kutatásaik szerint a terjedési sebesség meghaladhatja a napi 1500 métert a félig fedett víztartó esetében és 200 métert freatikus környezetben. A számok különbözősége ellenére a két típus közötti arányok nagyon hasonlóak voltak.

Az általam mértek szerint a csapadéknak csak nagyon mérsékelt hatása volt a sekély talajvízre az egyes árvizekkor. Egyrészt megkérdőjelezhető, hogy volt-e egyáltalán jelentős esőzés ebben az időben. Ha még lett volna is, a nagy áradásokhoz képest még mindig jelentéktelen mennyiségű vizet szolgáltatott. Másrészt, a terület nagy részét agyag fedi. A csapadék átlagos eredménye mindenütt szinte nulla volt megfigyeléseim szerint. Egyes kutatók a csapadék hatását is megvizsgálták. Egyesek minimális hatást mutattak ki (CLOUTIER, C. A. et al. 2014, VIDON, P. 2012), míg mások nagyobb jelentőséget állapítottak meg (GARCÍA-GIL, A. et al. 2015, LEWANDOWSKI, J. et al. 2009) a csapadék sekély talajvízre gyakorolt hatásának vizsgálatokor. CHIAUDANI, A. et al. (2017) nagyon gyenge (0,16) összefüggést mutattak ki a csapadék és a talajvízszint ingadozás között hat-kilenc napos időeltolódással. Az eredmény nagyon közel áll az én általam mért átlagos eredményhez.

Végül feltártam geológiai tényezőket is, amelyek megmagyarázhatják a Duna-árvíz hatásának területi különbségeit az talajvízhullám nyomásfejeinek késési idejei között. Amint az eredményekben (61. ábra) leírtam, úgy tűnt, hogy a középső és a déli termelő kutak térségében a termelő kutak sávján túl a talajvíz hajlamos elveszíteni a kapcsolatot a Dunával. Természetesen elképzelhető lenne, hogy a termelő kutak annyi vizet termelnek ki, hogy a talajvíz-hullámok nem érik el a távoli kutakat, ahogyan azt MAJOR V. és SASS J. (2009) leírták. Ők megállapították, hogy a Duna hatása az árvizek idején a talajban a parttól mintegy 1500 méter távolságban érezhető, míg az átlagos hatásterület csak kb. 700–900 méter. Megvizsgálták a termelő kutaknak a sekély talajvízre gyakorolt hatását is. Eredményeik szerint a mesterséges vízbázisnak az a legjelentősebb hatása, hogy a működő termelő kutak leárnyékolják a talajvíz-hullámokat áradáskor, megakadályozva a talajvízszint emelkedését a termelő kutakól befelé, a sziget belseje felé. Ilyen módon a termelő kútsor mögött alacsony vízálláskor jellemző viszonyok alakulnak ki. Az én eredményeim szerint – legalábbis a nagy áradások esetén – nem a termelő kutak hatása volt az oka annak, hogy eltűntek a talajvízáramlás hullámai, hanem, hogy a záróréteg elvékonyodott, majd eltűnt az alluvium felett.

A 2013-as vizsgálataimban a nyomáshullám-fejek egy zárt víztartó rétegben haladtak a partról, ahogy a hullámok elérték a homokkal zárt, fedetlen alluviumot, hirtelen a víz sokkal nagyobb területet tudott kitölteni, és a vízáramlás lassult. A hullámhossz nagyon megnövekedett, a regresszió erőssége nagymértékben csökkent, mint ahogy azt SOPHOCLEOUS, M. A. (1991), VEKERDY Z. és MEIJERINK, A. M. J. (1998), valamint WETT, B. et al. (2002) leírták. Az egyik általam feltárt legfontosabb jelenség tehát a talajvíz nyomás hullámhosszának különbsége a parthoz közeli területek (<500 m)

és az attól távolabbi területek között a középső termelő kutak térségében. Azon a területen, ahol a víztartó réteg fedettről fedetlenre változott bebizonyítottam, hogy ez a változás gyakorlatilag az árhullám elvesztését okozhatja (61. ábra) a talajvízben. Ezt a véleményt megerősítette az a tény, hogy csak itt, és csak az 500-nél távolabbi a területen tudtam kimutatni a csapadék hatását. Ez azért fontos, mert a csapadék közvetlenül hozzájárulhat a telítetlen alluviális víztartó réteg kitöltéséhez (CLOUTIER, C. A. et al. 2014).

Más feltételezéseim is voltak a sziget geológiai felépítésével és annak talajvízhullámra kifejtett hatásával kapcsolatban. Ez északi termelő kutak területén egy eltemetett folyómeder (SOPHOCLEOUS, M. A. 1991, BURT, T. et al. 2002) és ezért a parttól távolabban is megjelenő fedő agyagos réteg lehet az erősebb determinációs együtthatók és a gyorsabb terjedési sebesség oka. A déli termelő kútsor területén alacsonyabb regressziót és alacsonyabb arányossági tényezőt (S_r) mértem, mint a középső és északi termelő kutak területén. Ennek oka a fedőréteg területileg változó vastagsága (VEKERDY Z. – MEIJERINK, A. M. J. 1998) vagy az alatta lévő kavicsok és homok térbeli variabilitása (az alluvium a vizsgált területen belül ezen a részen a legvékonyabb). Ezenkívül az eldugult folyómeder (TRÁSY B. et al. 2018) hasonló hatásokat okozhat, aminek az épülő, domború part lehet az oka a déli termelő kutak területén. Munkám fő eredményének tehát azt tartom, hogy tisztáztam a talajvízrendszer viselkedését a Mohácsi-sziget vizsgált területén, ezzel elősgettettem a vízzel kapcsolatos termelékenységi és variabilitási becsléseket.

7. A kutatás további irányai

A sziget talajvízrendszerének pontosabb megismeréséhez szükség lenne több talajvízkút adatsorát bevinni a vizsgálatba. Tervezem ezért a parttól távolabbi területekről, elsősorban a sziget délebbi részeiről új talajvízkutak idősorának beszerzését, vagy egy projekt keretében automata vízállásmérők telepítését. Az automata vízállásmérőkkel gyakoribb időintervallumokban is gyűlnének adatok a szigetről, amivel kisebb hullámok terjedését lehetne pontosabban megismerni. Ezáltal lényegesen több információt lehetne szerezni a vízgyűjtő és a Duna nagyvizeken kívüli kapcsolatáról. A nemzeti parknak több talajvízmérő állomása van elhelyezve a Duna balpartján Bédánál és Gemencen. Tervezem ezeknek az adatoknak 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 termelési adatainak és genetikus talajtérképeinek feldolgozásával fel lehetne mérni, hogy a talajok milyen mértékben alakultak át a tájatalakítás következtében és hogy a mezőgazdaság hogyan illeszkedik be az ártéri rendszerbe.

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. A csökkenés területi különbségeinek bemutatását is segíthetik eredményeim. Választ próbáltam adni arra 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 hosszan voltak a különböző típusú élőhelyek megtalálhatók. Miután nem telt el több ezer év a tájatalakítás óta, a talaj mint génbank még mindig tartalmazza az eredeti élőhelyek növénymagvait. A Duna, a talajvíz és a meteorológiai adatokból generált diagramokból és térképekből jól látszik, hogy mely területekre van még hatással a Duna áradáskor, illetve közepes vagy alacsony vízállásnál. Az elkészült térképek bemutatják, hogy mely területekre hatnak jelentősen a termelő kutak és mely területek vízállásában játszhat szerepet a csapadék. Kutatásom elősegítheti a Mohácsi-szigeten végzett mezőgazdasági tevékenységek felülvizsgálatának és átalakításának elméleti megalapozását (gyümölcstermesztés, turizmus és haltenyésztés fejlesztése). Végül a sziget történeti és régészeti kutatásának térinformatikai megalapozása is a lehetséges gyakorlati hasznosítási célok között szerepelhet.

8. Köszönetnyilvánítás

Elsősorban szeretném megköszönni Dr. Lóczy Dénes és Dr. Sisák István témavezetőimnek, hogy a nagyon hosszúra nyúlt kutatási időben mindvégig kiálltak mellettem, a lehető legnagyobb szakmai és emberi támogatást nyújtották a kutatás befejezéséhez, illetve az értekezés megírásához. Szeretném továbbá kifejezni hálámat a teljes családomnak, hogy ezt a hosszú, küzdelmes időt velem együtt kibírták, és támogattak. Ugyancsak szeretném megköszönni kitartó türelmét és támogatását Jørn Watwedtnak, a Widemore cég tulajdonosának.

Köszönettel tartozom a DDVIZIG-nek (Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság), az ADUVIZIG-nek (Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság) és a DRV-nek (Dunántúli Regionális Vízművek) és az OMSZ-nek (Országos Meteorológiai Szolgálat), a Baranya megyei Kormányhivatal Erdészeti Igazgatóságának, hogy a kutatáshoz nélkülözhetetlen adatokat a rendelkezésemre bocsátották. Szeretném megköszönni Omacht Zoltán és Stellik Endre természetvédelmi őröknek a tőlük kapott hasznos információkat, amelyek nagy segítséggel szolgáltak számomra a Mohácsi-sziget vízügyi és ökológiai rendszerének megismerésében. Továbbá köszönettel tartozom Dr. Farics Évának a rétegtani, Farkas Gábornak a térinformatikai és László Istvánnak a matematikai számításokkal kapcsolatos tanácsaikért.

9. Irodalomjegyzék

- ALTNÖDER A. et al. (1988): *Az Alsó-Duna völgy parti szűrésű víznyerési lehetőségei*. I-II. kötet. Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat kiadása.
- ANDRÁSFALVY B. (1970): *A mohácsiak állattartása 1686-tól 1848-ig*. A Magyar Tudományos Akadémia Dunántúli Tudományos Intézete, Pécs, pp. 1-3.
- ANDRÁSFALVY B. (1973): *A Sárköz és a környező Duna-menti területek ősi ártéri gazdálkodása és vízhasználata a szabályozás előtt*. Borítékcím: A Sárköz ősi ártéri gazdálkodása. Vízügyi Dokumentációs és Tájékoztató Iroda, Budapest, p. 42.
- ANDRÁSFALVY B. (1975): *Duna mente népének ártéri gazdálkodása Tolna és Baranya megyében az ármentesítés befejezéséig*. Tolna megyei levéltár, Szekszárd, pp. 159-231.
- ÁNGYÁN J. – TARDY J. – VAJNÁNÉ MADARASSY A. (szerk., 2003): *Védett és érzékeny természeti területek mezőgazdálkodásának alapjai*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, p. 625.
- BARTHA D. (2013): *Puhafás ligeterdők Magyarországon*. In: KERPELY K. – SIPOSS V. (szerk.): *Mellékágak és ártéri élőhelyek nagy folyóink mentén*. Konferencia-összefoglaló. 2013. november 18-19., Mohács, WWF Magyarország, Budapest, pp. 7-9.
- BARTHOLY J. – BOZÓ L. – HASZPRA L. (szerk., 2011): *Klímaváltozás 2011 – Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére*. MTA és ELTE Meteorológiai Tanszék, Fólium Nyomda Kft., Budapest, pp. 198–222.
- BEAR, J. – VERRUIT, A. (1987): *Modeling Groundwater Flow and Pollution*. Reidel, Dordrecht, pp. 86–87.
- BENCALA, K. E. (1993): *A perspective on stream-catchment connections*. Journal of the North American Benthological Society, 12 (1), pp. 44–47.
- BIHARI Z. - SZALAI S. - BOZÓ L. (2011): *Éghajlat*. In: KOCSIS K. – SCHWEITZER F. (szerk.): *Magyarország térképeken*. Magyar Tudományos Akadémia Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, pp. 46-51.
- BIRÓ M. (2008): *Duna-Tisza köze fásszárú vegetációjának átalakulása a 18. század óta, különös tekintettel a száraz homokterületekre*. In: KRÖEL-DULAY GY. – KALÁPOS T. – MOJZES A. (szerk.): *Talaj-vegetáció-klíma kölcsönhatások. Köszöntjük a 70 éves Láng Editet*. MTA ÖBKI, Vácrátót, pp. 23-38.
- BOROS Á. (1922): *Jegyzetek a Mohácsi sziget Flórájáról* – In: Magyar Botanikai Lapok, 21, p. 71.
- BOULTON, A. J. – FINDLAY, S. – MARMONIER, P. – STANLEY, E. H. – VALETT, H. M. (1998): *The functional significance of the hyporheic zone in streams and rivers*. Annual Review of Ecology and Systematics, 29, pp. 59–81.
- BÖHM A. (2011): *Nemzetközi jelentőségű vizes élőhelyek ökológiai jellegének változása Magyarországon*. PhD értekezés, Sopron, 136 p.
- BUZETZKY GY. (2002): *A Duna menti területek hidrológiája*. In: IVÁNYI I. – LEHMANN A (szerk): *Duna-Dráva Nemzeti Park*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 107-110.
- CARDENAS, M. B. (2008): *The effect of river bend morphology on flow and timescales of surface water-groundwater exchange across pointbars*. Journal of Hydrology, 362 (1–2), pp. 134–141.
- CHIAUDANI, A. – DI CURZIO, D. – PALMUCCI, W. – PASCULLI, A. – POLEMIO, M. – RUSI, S. (2017): *Statistical and Fractal Approaches on Long Time-Series to Surface-Water/Groundwater Relationship Assessment: A Central Italy Alluvial Plain Case Study*, Water, 9 (11) (doi: 10.3390/w9110850).

- CLOUTIER, C. A. – BUFFIN-BÉLANGER, T. – LAROCQUE, M. (2014): *Controls of groundwater floodwave propagation in a gravelly floodplain*. Journal of Hydrology, 511, pp. 423–431.
- DÉVAI GY. – NAGY S. – WITTNER I. – ARADI CS. – CSABAI Z. – TÓTH A. (2002): *A vízi és a vizes élőhelyek sajátosságai és tipológiája*. In: BÖHM A. – SZABÓ M. (szerk.): *Vizes élőhelyek: a természeti és a társadalmi környezet kapcsolata*. Tanulmányok Magyarország és az EU természetvédelméről, Budapest, pp. 11-73.
- DÓKA K. (1986): *A karlsruhei térképek vízrajzi tanulságai*. In: *Vízügyi Közlemények*, Budapest, 1. füzet, 64-77. p.
- DÓKA K. (2006): *A Duna-mappáció (1823–1845) történeti áttekintés*. In: *A Duna-mappáció*. Médiatér Kft., Pécs, DVD-issue.
- DÖVÉNYI Z. (szerk., 2010): *Magyarország kistájainak katasztere*. 2. kiadás. MTA FKI., pp. 43-88.
- 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.
- DRASKOVITS P. (1982): *Víz kutatás a Mohácsi-szigeten*. A Magyar Állami Eötvös Loránd Geofizikai Intézet 1981. évi jelentése, Egyetemi Nyomda, pp. 38-39.
- ERDÉLYI M. (1955): *A Duna-völgy nagyalföldi szakaszának víztároló üledékei*. Hidrológiai Közlöny, 35. (5-6), pp. 159-169.
- ERDÉLYI M. (1967): *A Duna-Tisza közének vízföldtana*. Hidrológiai Közlöny 47 (6), pp. 331-340, 357-365.
- ERDŐSI F. – LEHMANN A. (1974): *Mohács Földrajza*. Mohács városi Tanács V. B. Művelődésügyi Osztálya, pp. 29-32.
- FALUDI G. – NEBOJSZKI L. (2008): *A Mohácsi-sziget kialakulása és vizeinek történelmi változásai*. Hidrológiai Közlöny, 88 (4), pp. 47-57.
- FÖLKÉR J. (1900): *Mohács története*. Mohács, 189 p.
- GÁBRIS Gy. – NÁDOR A. (2007): *Long-term fluvial archives in Hungary: response of the Danube and Tisza rivers to tectonic movements and climatic changes during the Quaternary: a review and new synthesis*. Quaternary Science Reviews, 26, pp. 2758–2782
- GARCÍA-GIL, A. – VÁZQUEZ-SUÑÉ, E. – SÁNCHEZ-NAVARRO, J. Á. – LÁZARO, J. M. – ALCARAZ, M. (2015): *The propagation of complex flood-induced head wavefronts through a heterogeneous alluvial aquifer and its applicability in groundwater flood risk management*. Journal of Hydrology, 527, pp. 402-419.
- GLASER L. (1933): *A karlsruhei gyűjtemények magyar vonatkozású térképanyaga*. A Térképészeti Közlöny 6. sz. külön füzet, Budapest.
- GOOSEFF, M.N. (2010): *Defining hyporheic zones – Advancing our conceptual and operational definitions of where stream water and groundwater meet*. Geography Compass, 4 (8), pp. 945–955.
- GYALOG L. (2005): *Magyarászó Magyarország fedett földtani térképéhez*. Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, pp. 142–171.
- GYÖRFFY GY. (1966): *Az Árpád-kori Magyarország történeti földrajza 1*. Akadémiai Kiadó, Budapest, pp. 695-703.
- HARASZTY L. (szerk., 2014): *Natura 2000 fajok és élőhelyek Magyarországon*. Pro Vértes Közalapítvány, Csákvár. 955 p.

- 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*, 12 (5) (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.
- HUNT, B. (1990): *An approximation of the bank storage effect*, *Water Resources Research*, 26 (11), pp. 2769-2775.
- IHRIG D. (1973): *A magyar vízszabályozás története*. Országos Vízügyi Hivatal, Budapest, pp. 235-249.
- ISTVÁNOVICS V. – SOMLYÓDY L. (2002): *Ökológia és természetvédelem*. In: SOMLYÓDY L. (szerk.): *A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései*. MTA, Budapest, pp. 177-204.
- IVÁNYI I. (1906): *Bács-Bodrog vármegye földrajzi és történelmi helynév-tára*. Szabadka, 1906. pp. 135-136.
- JÁMBOR Á. (szerk., 1988): *A magyarországi pannóniai képződmények rövid földtani jellemzése*. Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése az 1986 évről, pp. 311-326.
- JANKÓ A. (2007): *Magyarország katonai felmérései*. Argentum Kiadó, Budapest, p. 196.
- JASKÓ S.—KROLOPP E. (1991): *Negyedidőszaki kéregmozgások és folyóvízi üledékfelhalmozódás a Duna-völgyben Paks és Mohács között*. In: *A magyar állami földtani intézet évi jelentése az 1989. évről*. Műszaki Könyvkiadó, pp. 65-82.
- KEDDY, P. A. (2010): *Wetland ecology: principles and conservation*. Cambridge University Press, New York, USA, p. 497.
- KENESSEY B. (szerk., 1931): *A csonkamagyarországi ármentesítő és lecsapoló társulatok munkálatai és azok közgazdasági jelentősége*. Magyar Mérnök és Építész Egylet Vízépítési Szakosztálya, Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, Budapest, pp. 38-39.
- KERÉNYI A. (2003): *Európa természet- és környezetvédelme*, Nemzeti Tankönyvkiadó Rt., Budapest, p. 534.
- KERTÉSZ Á. (2003): *Tájökológia*. Holnap Kiadó, Budapest, p. 160.
- KEVEY B. – MOLNÁR ZS. – BÖLÖNI J. – BARTHA D. – Tímár G. – Horváth D. (2011): *J4 – Fűz, nyár artéri erdők*. In: BÖLÖNI J. – MOLNÁR ZS. – KUN A. (szerk.): *Magyarország élőhelyei. A hazai vegetációtípusok leírása és határozója*. ÁNÉR 2011. MTA ÖBKI, Vácrátót, pp. 242-246.
- KEVEY B. – OROSZNÉ KOVÁCS ZS. – TÓTH I. – BORHIDI A. (1992): *Adatok a Béda–Karapancsa Tájvédelmi Körzet flórájához*. In: UHERKOVICH Á. (szerk.): *A Béda–Karapancsa Tájvédelmi Körzet*

Élővilága. Dunántúli dolgozatok (A) Természettudományi Sorozat 6, Studia Pannonica (A) Series Historico-Naturalis, Baranya megyei Múzeumok Igazgatósága, Pécs, pp. 13–25.

KISS A. – LASZLOVSZKY J. (2013): *Árvíz hullámok a Dunán? A Duna árvizei és a visegrádi ferences kolostor a késő középkorban és kora újkorban*. Korall, 53, pp. 36-65.

KIRÁLY G. – MOLNÁR ZS. – KEVEY B. – BÖLÖNI J. – BARTHA D. – Tímár G. (2011): *J6 – Keményfás ártéri erdők*. In: BÖLÖNI J. – MOLNÁR ZS. – KUN A. (szerk.): Magyarország élőhelyei. A hazai vegetációtípusok leírása és határozója. ÁNÉR 2011. MTA ÖBKI, Vácrátót, pp. 252-256.

KONKOLYNÉ B. Z. – LAKATOS M. – SZALAI S. (2008): *Magyarország éghajlatáról: változás, változékonyság térben és időben*. Országos Meteorológiai Szolgálat, Budapest, 23 p.

KONKOLY S. (2015): *Középkori vár vagy római erőd? Rejtélyes romok a Mohácsi-szigetről*. In: TERNOVÁZ B. (szerk.): Tanulmányok az I. Kárpát-medencei Szakkollégiumi Konferencia előadásaiból. Móra Akadémia, pp. 93-117.

KOSZTA L. (1993): *Az Árpád-kori falutól a püspöki mezővárosig*. In: ÓDOR I. (szerk.) Tanulmányok Mohács történetéből. Mohács, pp. 11-48.

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.

KOVÁCS J. – MÁRKUS L. – SZALAI J. – SZÉKELY KOVÁCS I. (2015): *Detection and evaluation of changes induced by the diversion of River Danube in the territorial appearance of latent effects governing shallow-groundwater fluctuations*. Journal of Hydrology, 520, pp. 314–325.

KÖVESI S. (2013): *Erdei élőhelyek állapotának javítása a DDNPI dunai területein*. In: KERPELY K. – SIPOSS V. (szerk.): Mellékágak és ártéri élőhelyek nagy folyóink mentén. Konferencia-összefoglaló. 2013. november 18-19., Mohács, WWF Magyarország, Budapest, pp. 14-16.

KRETZOI M. – KROLOPP E. (1972): *Az Alföld harmadkor végi és negyedkori rétegtana az őslénytani Adatok alapján*. Földrajzi értesítő, 22 (2-3), pp. 133-158.

KUIPER, J. J. – JANSE, J. H. – TEURLINCX, S. – VERHOEVEN, J. T. A. – ALKEMADE, R. (2014): *The impact of river regulation on the biodiversity intactness of floodplain wetlands*. Wetlands Ecology and Management, 22 (6), pp. 647-658.

LAKATOS GY. (1998): *Javaslat a hazai vizes élőhelyek osztályozására*. In. Hidrológiai Közlöny, 78 (4), pp. 348-349.

LEWANDOWSKI, J. – LISCHIED, G. – NUTZMANN, G. (2009): *Drivers of water level fluctuations and hydrological exchange between groundwater and surface water at the lowland River Spree (Germany): field study and statistical analyses*. Hydrological Processes, 23 (15), pp. 2117–2128.

LÓCZY D. (2005): *A folyóvizek felszínformálása*. In: LÓCZY D. – VERESS M. Geomorfológia I. Dialóg Campus Kiadó, Budapest - Pécs, pp. 17-130.

LÓCZY D. (2008): *Fluvial landscape pattern in an agricultural Danubian floodplain*. In: KERTÉSZ Á. (szerk.): Dimensions in Hungarian Geography. Geographical Research Institute Hungarian Academy of Sciences, Budapest, p. 101-109.

LÓCZY D. – GYENIZSE P. (2011): *Fluvial micromorphology influenced by tillage on a Danubian floodplain in Hungary*. Zeitschrift für Geomorphologie, Supplementary Issues 55 (1), pp. 66-75.

- LÓCZY L. (1912): *A Villányi és Báni hegység geológiai viszonyai*. Földtani Közlemények 42 (9-10), pp. 672–695.
- MAGYAR I. – GEARY, D.H. – MÜLLER, P. (1999): *Paleogeographic evolution of the Late Miocene Lake Pannon in Central Europe*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 147, pp. 151–167.
- MAJOR V. – SASS J. (2009): *Stratégiai Környezeti Vizsgálat „Tanulmányok a Duna hajózhatóságának javításáról” program*. Vituki. p. 67.
- MARDHEL, V. – PINAULT, J. L. – STOLLSTEINER, P. – ALLIER, D. (2007): *Etude des risques d'inondation par remontées de nappe sur le bassin de la Maine*, Rapport 55562-FR, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans Cedex 2, France, p. 156.
- MAROSI S. – SOMOGYI S. (szerk., 1990): *Magyarország kistájainak katasztere I*. MTA földrajztudományi Kutató Intézet, Budapest, pp. 58-62.
- MÁTRAI I. (2013): *Baja környéki vizes élőhelyek helyreállításának tájökölógiai vizsgálata*. PhD értekezés, Pécs, pp. 4-53.
- MAUCLAIRE, L. – GIBERT, J. (1998): *Effects of pumping and floods on groundwater quality: a case study of the Grand Gravier well field (Rhône, France)*. Hydrobiologia, 389, pp. 141-151.
- MOLNÁR E. – CZÚCZ B. (szerk., 2009): *Élővilág és éghajlatváltozás*. MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet, Vácrátót, p. 28.
- MOLNÁR G. (1993): *Az ártéri gazdálkodás. A Kárpát-medencei gazdasági-politikai kontinuitás alapja. VII. rész*. Országépítő, (3), pp. 52-61.
- MOLNÁR I. – VANCSURA Z. (1982): *Magyarázó az Újmohácsi „Dunavölgye” MGT SZ, területéről készített üzemi (genetikus) talajtérkép anyagához*. MÉM, Kaposvár, 52 p.
- NAGY I. (1894): *A zichi és vásonkeői gróf Zichy-család idősb ágának okmánytára*. Codex diplomaticus domus senioris comitum Zichy de Zich et Vasonkeo. VI., Budapest, p. 127.
- NEVULIS, R.H. – DAVIS, D.R. – SOROOSHIAN, S. (1989): *Analysis of natural groundwater level variations for hydrogeologic conceptualization*. Water Resources Research, 25 (7), pp. 1519–1529.
- OH, Y.-Y. – HAMM, S.-Y. – HEESUNG Y. – H. KIM G.-B. (2016): *Analytical and statistical approach for evaluating the effects of a river barrage on river–aquifer interactions: Lateral and subsurface flows impact arctic lake water budgets*. Hydrological Processes, 30 (21), pp. 3932–3948.
- PAP N. – KITANICS M. – GYENIZSE P. – SZALAI G. – POLGÁR B. (2019): *Sátorhely vagy Majs? : Földvár környezeti jellemzői - a mohácsi csata centrumtérképének lokalizálása*. Történelmi szemle, 61 (2), pp. 209-246.
- PÁLFAI I. (1989): *Az Alföld aszályossága* – In: *Alföldi Tanulmányok*, 13, pp. 7–25.
- PÉCZ T. (2016): *A Riha-tó természetvédelmi értékelése az Európai Unió Víz Keretirányelve alapján*. PhD értekezés, Pécs, pp. 1-72.
- PÉCSI M. (1959): *A magyarországi Duna-völgy kialakulása és felszínalkata*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 345 p.
- PESTI J. (szerk., 1982): *Baranya megye földrajzi nevei*. Baranya Megyei Levéltár, Pécs, pp. 240-241, p. 249., p. 251., p. 472.
- 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.

- RAINS, M. C. (2003): *Hydrogeologic principles useful in predicting the effects of stream flow alterations on shallow groundwater and associated riparian vegetation*. Steam notes, Stream Systems Technology Center USDA, Forest Service, pp. 3-6.
- RAKONCZAI J. (2006): *Klímaváltozás – aridifikáció – változó tájak*. In: KISS A. – MEZŐSI G. – SÜMEGHY Z. (szerk.): *Táj, környezet és társadalom. Ünnepi tanulmányok Keveiné Bárány Ilona professzor asszony tiszteletére*. SZTE, Szeged, pp. 593-603.
- SANDU, C. (2005): *The side-effect of river regulation – loss of biodiversity*. In: BLOESCH, J. – GUTKNECHT, D. – LORDACHE, V. (szerk.): *Hydrology and Limnology – another boundary in the Danube River Basin*. UNESCO IHP-VI Technical Documents in Hydrology, 75, pp. 60-65.
- SCHWEITZER F. (2001): *A magyarországi folyószabályozások geomorfológiai vonatkozásai. Folyóink hullámterének fejlődése, kapcsolatuk az árvizekkel és az árvízvédelmi töltésekkel*. Földrajzi Értesítő, 50 (1-4), pp. 63-72.
- SIPKAY CS. (2010): *A klímaváltozás lehetséges hatásainak modellezése dunai fitoplankton adatsor alapján*. PhD értekezés, Corvinus Egyetem, Budapest, p. 130.
- SOMOGYI S. (2003): *Ősvízrajz*. In: KARÁTSON D. (szerk.): *Pannon Enciklopédia*. Kertek 2000 Kiadó, Budapest. pp. 238-241.
- SOPHOCLEOUS, M. A. (1991): *Stream-floodwave propagation through the Great Bend alluvial aquifer, Kansas: field measurements and numerical simulations*. Journal of Hydrology, 124, pp. 207–228.
- SZEDERKÉNYI T. (1997): *A Vári-pusztá 1. számú fúrás fúrómagjainak földtani, közettani leírása*. In: Zárójelentés a Vári-pusztá 1. sz. vizkutató fúrás vizsgálati eredményeiről. Baja, Bajavíz Kft.,
- SZENTHE I. (2003): *Adalékok a Mohácsi-sziget földtani felépítéséhez*. <http://www.kbfi-triasz.hu/Adalekok-a-Mohacsi-sziget-foldtani-felepitesehoz/23/>, elérés: 2020.01.11.
- SZILÁGYI F. (2007): *Vizes élőhelyek*. In: SZILÁGYI F. – ORBÁN V. (szerk.) *Alkalmazott hidrobiológia*. Vízközmű Szövetség, Budapest, pp. 491-517.
- SZODFRIDT I. (1993): *Erdészeti Termőhelyismeret-tan*. Mezőgazda Kiadó, Budapest, p. 320.
- TAMÁS E. – KALOCSA B. (2003): *A Rezéti- Duna feltöltődésének vizsgálata*. In: *Élet a Duna-ártéren* tudományos tanácskozás tanulmánykötete. BITE, Baja, pp. 43-49.
- TAUBER Á. (2009): *A vízügyi jogszabályok felülvizsgálata az EU irányelvek követelményeivel összhangban, különös tekintettel a vizes élőhelyek ökológiai szerepére, jelentőségére*. In: MHT XXVII. Országos Vándorgyűlése, Baja, 9/5.
- TÓRY K. (1952): *A Duna és szabályozása*. Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 454.
- TRÁSY B. – GARAMHEGYI T. – LACZKÓ-DOBOS P. – KOVÁCS J. – HATVANI I. G. (2018): *Geostatistical screening of flood events in the groundwater levels of the diverted inner delta of the Danube River: implications for river bed clogging*. Open Geosciences, 10, pp. 64–78.
- TRISKA, F. J. – KENNEDY, V.C. – AVANZIO, R. J. – ZELLWEGER, G. W. – BENCALA, K. E. (1989): *Retention and transport of nutrients in a third-order stream in northwestern California: Hyporheic processes*. Ecology, 70 (6), pp. 1893–1905.
- VANEK, V. (1995): *Water flows through the river Rhône sediments near Lyon, their effect on groundwater chemistry and biology*. Folia Fac. Sci. Nat. Univ. Masarykianae Brunensis, Biologia, 91, pp. 149–157.
- VANNEUVILLE, W. – WOLTERS H. – SCHOLZ, M. (2016): *Flood risks and environmental vulnerability*. Publications Office of the European Union, Luxembourg, pp. 23-26.

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.

VIDON, P. (2012): *Towards a better understanding of riparian zone water table response to precipitation: surface water infiltration, hillslope contribution or pressure wave processes*. Hydrological Processes, 26 (21), pp. 3207–3215.

WETT, B. – JAROSCH, H. – INGERLE, K. (2002): *Flood induced infiltration affecting a bank filtrate well at the River Enns, Austria*. Journal of Hydrology, 266 (3-4), pp. 222–234.

WONDZELL, S. W. – GOOSEFF, M. N. (2013): *Geomorphic controls on hyporheic exchange across scales: watersheds to particles*. In: SHRODER, J. F. (szerk.), *Treatise in Geomorphology*. Academic Press, San Diego, USA, pp. 203-218.

ZÓKA P. (2013): *A bellyei uradalom a 19. század végén*. In: BORSY J. B. (szerk.): *Uradalmak térben és időben*. Baranyai történelmi közlemények 5. A Baranya Megyei Levéltár Évkönyve, Pécs, pp. 337-362.

Függelékek

1. függelék. Táblázatok

1.1. táblázat – Az interpolált és az eredeti adatsorok az interpoláció teszteléséhez (az L végződésű oszlopok tartalmazzák az interpolált adatsorokat)

Duna	F12	F12L	F40	F40L	1459	1459L	4481	4481L	132048	132048L
85.8	83.7	83.7	83.7	83.7	84.2	84.2	83.1	83.1	83.8	83.8
85.9	83.7	83.8	83.2	83.7	84.2	84.2	83.1	83.1	83.8	83.8
85.7	83.8	83.8	83.6	83.8	84.3	84.3	83.1	83.1	83.8	83.8
85.4	83.9	83.9	83.8	83.8	84.3	84.3	83.1	83.1	83.8	83.8
85.1	84.0	84.0	83.8	83.8	84.3	84.3	83.1	83.1	83.8	83.8
84.9	84.0	84.0	83.7	83.8	84.4	84.3	83.0	83.0	83.8	83.8
84.8	84.1	84.0	83.9	83.9	84.4	84.3	83.0	83.0	83.8	83.7
84.8	84.1	84.1	83.9	83.9	84.4	84.3	83.0	83.0	83.7	83.7
84.9	84.1	84.1	83.9	83.9	84.3	84.3	83.0	83.0	83.7	83.7
84.9	84.0	84.1	83.3	83.7	84.3	84.3	83.0	83.0	83.7	83.7
84.8	84.1	84.1	83.3	83.5	84.4	84.4	83.0	83.0	83.7	83.7
84.5	84.1	84.1	83.2	83.3	84.4	84.4	83.0	83.0	83.7	83.7
84.0	84.1	84.1	83.2	83.2	84.4	84.4	83.0	83.0	83.7	83.7
83.6	83.6	84.0	83.0	83.2	84.3	84.3	82.9	82.9	83.7	83.7
83.2	83.5	83.9	83.0	83.2	84.3	84.3	82.9	82.9	83.6	83.6
83.1	83.8	83.8	83.3	83.2	84.3	84.3	82.9	82.9	83.6	83.6
83.2	83.7	83.7	83.2	83.2	84.2	84.2	82.9	82.9	83.6	83.6
83.4	83.8	83.6	83.1	83.2	84.2	84.2	82.9	82.9	83.6	83.6
83.3	83.5	83.5	83.2	83.3	84.2	84.2	82.9	82.9	83.6	83.6
83.3	83.3	83.3	83.3	83.4	84.1	84.1	82.9	82.9	83.6	83.6
83.4	83.2	83.2	83.4	83.4	84.1	84.1	82.9	82.9	83.6	83.6
83.6	83.2	83.2	83.3	83.5	84.1	84.1	82.9	82.9	83.5	83.6
84.0	83.1	83.2	82.9	83.6	84.0	84.1	82.9	82.9	83.5	83.6
84.8	83.1	83.1	83.5	83.6	84.0	84.1	82.8	82.9	83.5	83.5
85.5	83.1	83.1	83.7	83.7	84.0	84.0	82.8	82.8	83.5	83.5
85.8	83.0	83.2	83.9	83.8	84.1	84.1	82.8	82.8	83.5	83.5
85.9	83.1	83.3	83.4	83.9	84.2	84.2	82.8	82.8	83.5	83.5
85.9	83.4	83.4	83.8	84.0	84.3	84.3	82.8	82.8	83.5	83.5
85.7	83.5	83.5	84.1	84.1	84.3	84.3	82.8	82.8	83.5	83.5
85.4	83.6	83.6	84.1	84.1	84.4	84.4	82.8	82.9	83.5	83.5
85.0	83.7	83.6	83.6	84.1	84.5	84.4	83.0	83.0	83.6	83.6
84.8	83.7	83.7	84.0	84.1	84.5	84.4	83.1	83.1	83.6	83.6
84.6	83.8	83.8	84.1	84.1	84.5	84.5	83.2	83.2	83.6	83.6
84.4	84.1	83.9	83.8	83.9	84.5	84.5	83.2	83.2	83.7	83.6
84.3	84.3	84.0	83.5	83.7	84.5	84.5	83.2	83.2	83.7	83.6
84.0	84.0	84.2	83.4	83.5	84.5	84.4	83.2	83.2	83.7	83.7
83.8	84.3	84.3	83.3	83.3	84.4	84.4	83.2	83.2	83.7	83.7
83.7	84.4	84.4	83.2	83.3	84.4	84.5	83.2	83.2	83.7	83.7
83.6	84.4	84.5	83.2	83.2	84.5	84.5	83.2	83.3	83.7	83.8

83.5	84.7	84.6	83.1	83.2	84.6	84.5	83.4	83.3	83.9	83.8
83.5	84.6	84.6	83.1	83.1	84.5	84.5	83.4	83.4	83.9	83.9
83.5	84.2	84.5	83.0	83.2	84.5	84.5	83.4	83.4	83.9	83.9
83.4	84.4	84.4	83.0	83.4	84.4	84.5	83.4	83.4	83.9	83.9
83.2	84.1	84.3	83.0	83.5	84.4	84.4	83.4	83.4	83.9	83.9
83.1	84.2	84.2	83.7	83.7	84.4	84.4	83.4	83.4	83.9	83.9
83.0	84.4	84.3	83.7	83.7	84.4	84.4	83.4	83.4	83.9	83.9
82.8	84.4	84.3	83.7	83.7	84.3	84.3	83.4	83.4	83.8	83.9
82.7	84.5	84.4	83.7	83.7	84.3	84.3	83.4	83.4	83.9	83.9
83.0	84.5	84.5	83.7	83.7	84.2	84.2	83.4	83.4	83.9	83.9
83.4	84.4	84.5	83.7	83.7	84.2	84.2	83.4	83.4	83.9	83.9
83.5	84.4	84.4	83.8	83.8	84.2	84.2	83.4	83.4	83.9	83.9
83.6	84.4	84.4	83.8	83.8	84.1	84.1	83.4	83.4	83.9	83.9
83.5	84.4	84.4	83.8	83.8	84.1	84.1	83.4	83.4	83.8	83.8

1.2. táblázat – A kutatáshoz kiválasztott áradási események.

(Oszlopok: Áradás csúcsának időpontja; Mohácsnál mért legnagyobb vízállás; a legnagyobb vízállás tengerszint felett (balti) mért centiméter értéke)

Csúcs dátum	cm	cmBf
20/05/1996 08:00	714	8634
28/10/1996 08:00	697	8617
27/07/1997 08:00	878	8798
17/11/1998 08:00	744	8664
01/03/1999 08:00	776	8696
01/06/1999 08:00	798	8718
06/04/2000 08:00	766	8686
31/03/2001 08:00	730	8650
30/03/2002 08:00	816	8736
22/08/2002 08:00	924	8844
17/11/2002 08:00	698	8618
10/01/2003 08:00	692	8612
26/03/2005 08:00	733	8653
18/07/2005 08:00	732	8652
31/08/2005 08:00	762	8682
08/04/2006 08:00	931	8851
13/08/2006 08:00	697	8617
16/09/2007 08:00	776	8696
12/04/2009 08:00	711	8631
05/07/2009 08:00	856	8776
11/06/2010 11:00	925	8845
12/08/2010 21:00	671	8591
07/09/2010 18:00	675	8595
21/01/2011 16:00	776	8696
13/06/2013 11:00	964	8884
22/05/2014 00:00	667	8587
29/10/2014 01:00	657	8577
16/01/2015 22:00	659	8579
27/02/2016 13:00	607	8527
19/07/2016 12:00	638	8558
10/01/2018 21:00	623	8543

2. függelék. Forráskódok

a. forráskód – A hiányzó adatok pótlása

```
Sub HianyzoAdatokInterpolálása()  
Dim i As Long  
Dim j As Integer  
Dim oraKulonbozet As Integer  
Dim vizKulonbozet As Double  
Dim elsoDatum As Date  
Dim masodikDatum As Date  
Dim elsoViz As Integer  
Dim masodikViz As Integer  
i = 2 'A második sortól indul a számítás  
'Do while ciklussal mentem végig az értékeken, hiszen nem tudtam, hogy pontosan  
hány sor hiányzik az adatbázisból  
'A kilépési feltételnek az üres sort adtam meg.  
Do  
    elsoDatum = FormatDateTime(Worksheets("Kiegeszített").Range("A" +  
CStr(i)).Value)  
    masodikDatum = FormatDateTime(Worksheets("Kiegeszített").Range("A" + CStr(i +  
1)).Value)  
    'A Date diff függvény képes napi különbséget számolni két dátum változó között  
    oraKulonbozet = DateDiff("d", elsoDatum, masodikDatum)  
    'Ha kimaradtak adatok akkor az óra különbség nagyobb mint négy  
    If oraKulonbozet > 1 Then  
  
        For j = 1 To oraKulonbozet - 1 Step 1  
            'Annyi új sort szúrtam be két meglévő sor közé, ahány hiányzó nap volt egy for  
ciklusban  
            'A for ciklusban DateAdd függvénnyel adtam az óra értéket a dátum értékhez,  
hiszen ez a függvény precízen egy napot adott hozzá a függvényhez  
            elsoDatum = DateAdd("d", 1, elsoDatum)  
            i = i + 1 'A sorok számát csak eggyel léptetjük  
            Range("A" + CStr(i)).EntireRow.Insert  
            'Az "A" oszlophoz hozzáadtam az új órát  
            Worksheets("Kiegeszített").Range("A" + CStr(i)).Value = elsoDatum  
  
        Next  
  
    End If  
    i = i + 1  
Loop Until Worksheets("Kiegeszített").Range("A" + CStr(i + 1)).Value = vbNullString  
End Sub
```