

A rácalmási Nagy-sziget környezettörténete és geofizikai vizsgálata

Szerzők:

Vitai Ákos

Csernyik Laura

Témavezetők:

Dr. Székely Balázs

Dr. Visnovitz Ferenc

ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszék



Tartalomjegyzék:

Absztrakt	3
Bevezetés.....	3
Kutatási terület bemutatása.....	4
Terület geológiája.....	4
Terület geomorfológiája.....	7
Terület mozgásvizonyai.....	8
Terület hidrogeológiája és folyódinamikája.....	10
A Nagy-sziget ábrázolásai történelmi térképeken.....	11
Módszertan.....	20
Szintezés.....	20
Mederrajz.....	20
Goelektromos tomográf mérések.....	21
CW-FEM mérések.....	21
Eredmények.....	22
Archív térképek összehasonlításának eredményei.....	22
Terepi megfigyelések.....	27
Goelektromos mérések eredményei.....	31
Diskusszió.....	38
Konklúzió.....	43
Kitekintés.....	45
Köszönetnyilvánítás.....	45
Irodalomjegyzék.....	46

Absztrakt

Tanulmányunkban a rácalmási Nagy-sziget fejlődéstörténetére keresünk magyarázatot geofizikai vizsgálatokkal. Azért figyeltünk fel elsősorban a szigetre, mert az addig vélt keletkezésének ellent mond, mivel eredetileg az volt a teóriánk, hogy tektonikus úton keletkezett. A vizsgált sziget Budapesttől délre, a Csepel-sziget déli sarkában van, ott, ahol a Soroksári-Dunaág beletorkollik a főágba. Az 1930-as években a sziget virágzott, közel 100 különféle gyümölcsfajta kapott otthont a szigeten. A terület földtanilag kifejezetten aktív helyen van, ugyanis a Közép-Magyarországi Mobilis Öv széle és a Ráckevei-(Soroksári-) Dunaág itt találkozik össze a sziget északi részén. Megfigyeltünk jellegzetes mikrodomborzati struktúrákat terepen és történelmi térképeken, ezért azt feltételeztük, hogy ezek kapcsolatban állnak a Nagy-sziget környezettörténeti fejlődésével. Továbbá tudni akartuk, hogy ezek a domborzati mintázatok hogyan folytatódnak a felszín alatt, ezt geoelektromos mérésekkel vizsgáltuk. Feltárult számunkra, hogy a terület igen gyorsan kezdett el gyarapodni a folyószabályozások után. A geoelektromos tomográfiai méréseink rámutattak arra, hogy sok-sok övzátony maradványa van a felszín alatt, ezt megerősítette az elektromágneses mérésünk is. A sziget keletkezésére állítottunk fel különböző forgatókönyveket, melyekből a későbbi méréseinket követően egy végleges scenárió lát majd napvilágot. Arra következtettünk, hogy a Nagy-sziget fejlődésének és épülésének tektonikus, csuszamlási, övzátonyos és áradásokkal kapcsolatos komponensei lehettek, melyek különböző régiókra jellemzőek. Ezek alappillérei a történelmi térképek, megfigyeléseink és méréseink eredményei. A mérések eredményeivel és történelmi térképek tanulmányozásával az elmúlt 250 év eddig soha nem látott részletességű szigetnövekedést sikerült rekonstruálnunk. Valamint a méréseink által az írásos emlékek előtti időszakokra is interpretációkat tehetünk.

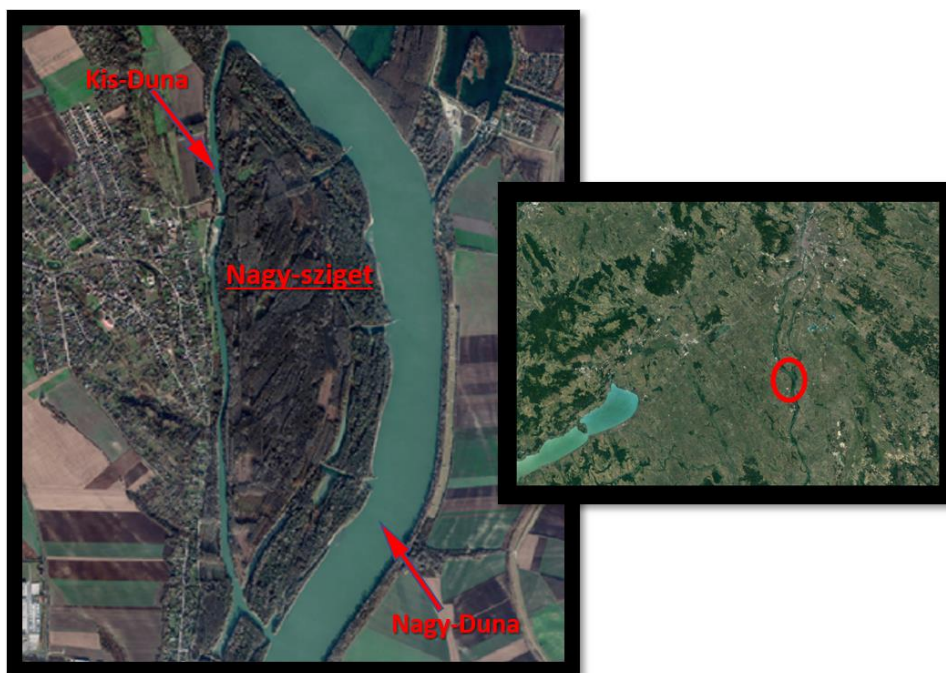
Bevezetés

Jelen tudományos diákköri munkában a rácalmási Nagy-Sziget környezettörténetének geofizikai vizsgálatát mutatjuk be. A terület több szempontból is kitüntetett helyen van, hiszen itt torkollik a Ráckevei-Soroksári-Dunaág (RSD) a Nagy-Dunába, a Kulcs–Dunaföldvár között húzódó löszplató peremének vonalán van, melynek környezetében ma is aktív csuszamlási zónák vannak, például Kulcs területén, ahol több komolyabb eset is történt az utóbbi években.

A Közép-Magyarországi Mobilis Öv is ezen a területen halad át. Tehát ezen terület környezettörténetét szeretnénk reprodukálni, és geoelektromos mérések segítségével kibővíteni az értelmezési időskálát, mely eddig csak az utóbbi 320 év írásos emlékeire korlátozódott. Így a Nagy-sziget sokkal idősebb állapotaiba tekinthettünk be, mint eddig valaha. Dolgozatunkban bemutatjuk a vizsgálati területet, mind geológiai, geomorfológiai, tektonikai, hidrológiai és történelmi aspektusokat figyelembe véve tárgyaljuk. Ezen belül áttekintjük az írásos és térképi anyagokat, adatokat, melyekből a sziget fejlődéstörténete az utóbbi 250 évre nézve rekonstruálható. Ezt követően röviden szót ejtünk azon mérések metodikájáról, melyek segítségével a korábbi, archív ismereteket pontosítottuk, majd bemutatjuk a helyszínen végzett méréseink eredményeit és saját megfigyeléseket, melyeket a diszkusszióban összevetünk az összegyűjtött írásos bizonyítékokkal és a korábbi térképek alapján felvázolható környezettörténettel. A dolgozat végén konklúziókat vonunk, melyekben különböző múltbéli forgatókönyveket vázolunk fel. Az ezek közötti választást lehetővé tevő jövőben tervezett mérések terveivel zárjuk a munkát.

A kutatási terület bemutatása

A vizsgálati terület a Csepel-sziget déli vége mellett a Duna nyugati partjához közelebb, Kulcs településtől déli irányban 3 km-re helyezkedik el, a dunai főág keletről enyhe kanyarral kerüli meg. Területe 4,1 km², tengerszint feletti magassága 95 mBf, többségében sűrű ártéri erdő borítja. A vizsgálati terület Natura 2000 védettségű és a Duna-Ipoly Nemzeti Park része.

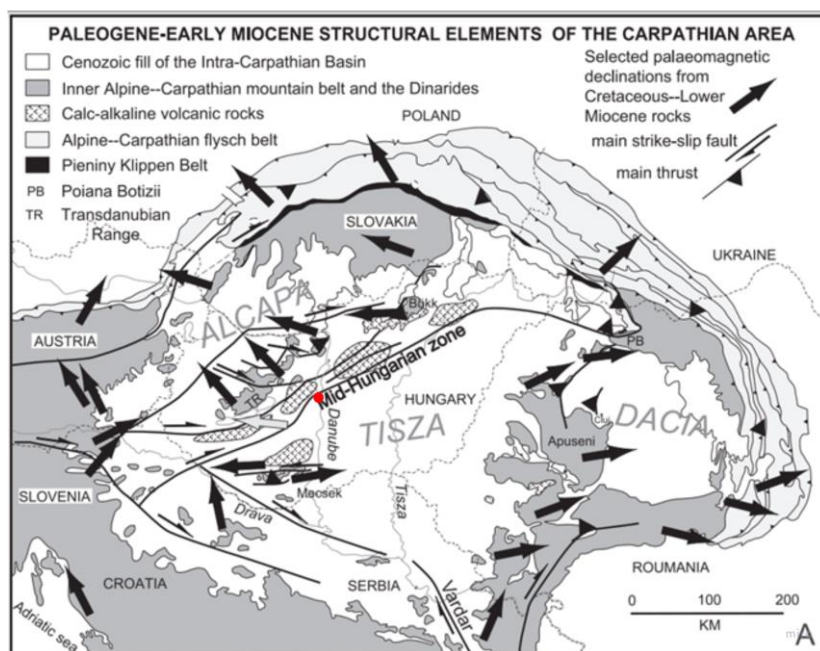


1.ábra: Nagy-sziget térképi helyzete és annak környezete

A rácalmási Nagy-szigeten napjainkban többnyire erdőgazdálkodás zajlik, de alig 100 éve a gyümölcsstermesztés nagy teret kapott és több mint 60 almafaj, körte, mandula, dió, szilva és egyéb gyümölcsfák tarkították a szigetet (Szávost-Vass, 2015), melyek mára már alig lelhetők fel. Meg kell említeni, hogy a szigeten több 100 kisebb birtok volt a történelem során, ezek közül a Jankovich-birtok az egyik legnagyobb volt. Emellett az 1970-es években a sziget területén háttérbe szorult a gyümölcsstermesztés és libatelepek váltották ki, melyek mára teljesen eltűntek (Szávost-Vass, 2020). Fontos tudni azt is, hogy a Második Világháború idején a Nagy-szigeten hosszú ideig komoly fegyveres megmozdulások voltak. Több helyen is fellelhetők még fel nem robbant bombák, gránátok.

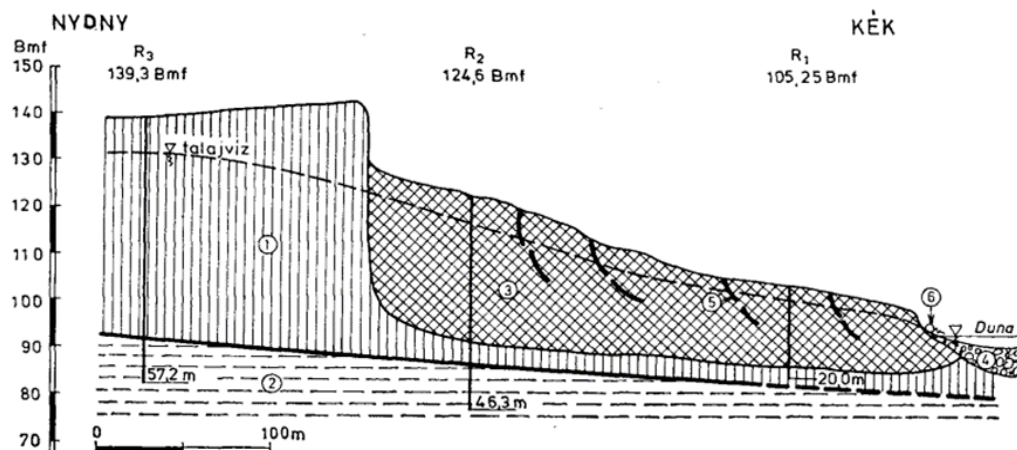
Terület geológiája

A Kulcs, Rácalmás, rácalmási Nagy-sziget geológiáját fogjuk bemutatni a következőkben (2., 3. és 4. ábra). A Kárpát-medence egyik főbb tektonikus vonala a Közép-Magyarországi-Mobilis öv. Ennek mentén ma is aktív tektonika zajlik, mely vizsgálataink szempontjából azért is érdekes, mert ennek vonala éppen a Nagy-sziget északi oldalát metszi.



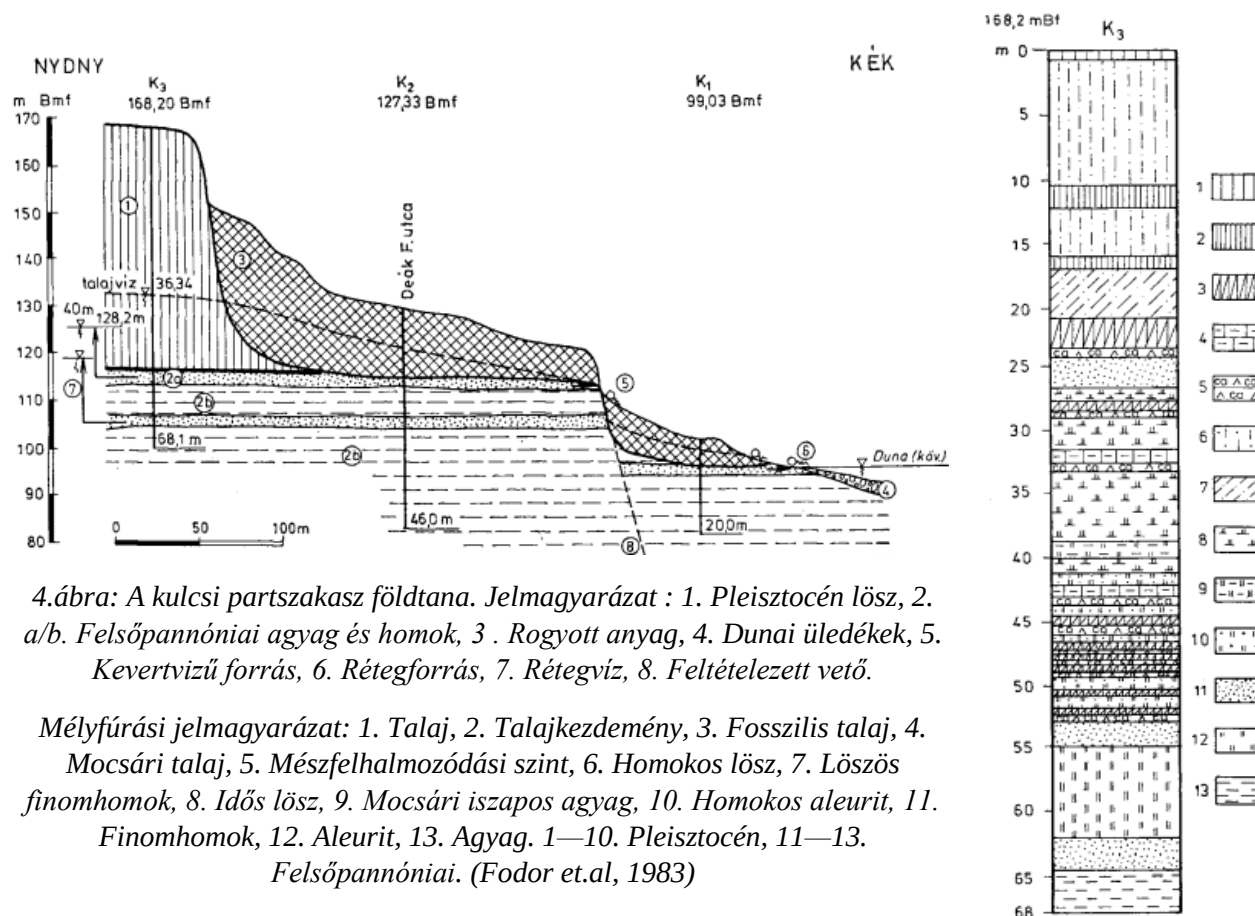
2.ábra: Magyarország tektonikus térképe (pirossal a rácalmási Nagy-sziget)(Csontos & Vörös 2004)

A térségre jellemző egy partközeli plató melynek fő alkotórészei az agyag, homok és a lösz (Fodor et al. 1983). Ez szintjeiben regionálisan eltérő, de kőzetösszetételileg hasonló.



3.ábra: rácalmási partszakasz földtana. Jelmagyarázat: 1: Pleisztocén lösz, 2: Felsőpannóniai agyag, 3: lesuvadt anyag, 4: Dunai üledék, 5: másodlagos mozgások helye, 6: talajvíz forrás. (Fodor et.al, 1983)

A rácalmási területen közel 50-80 m magas plató emelkedik, melyet lösz, homok, agyag és ezeknek összeletei alkotnak (Fodor et.al, 1983). A partok környékét alluviális üledékek alkotják. Az ábrán láthatóak ezek az üledékek és azok helyzetei. A kulcsi területen is hasonló a kőzetösszetétel:



4.ábra: A kulcsi partszakasz földtana. Jelmagyarázat : 1. Pleisztocén lösz, 2. a/b. Felsőpannóniai agyag és homok, 3. Rogyott anyag, 4. Dunai üledékek, 5. Kevértvízű forrás, 6. Rétegförrás, 7. Rétegvíz, 8. Feltételezett vető.

Mélyfúrási jelmagyarázat: 1. Talaj, 2. Talajkezdemény, 3. Fosszilis talaj, 4. Mocsári talaj, 5. Mészfelhalmozódási szint, 6. Homokos lösz, 7. Löszös finomhomok, 8. Idős lösz, 9. Mocsári iszapos agyag, 10. Homokos aleurit, 11. Finomhomok, 12. Aleurit, 13. Agyag. 1—10. Pleisztocén, 11—13. Felsőpannóniai. (Fodor et.al, 1983)

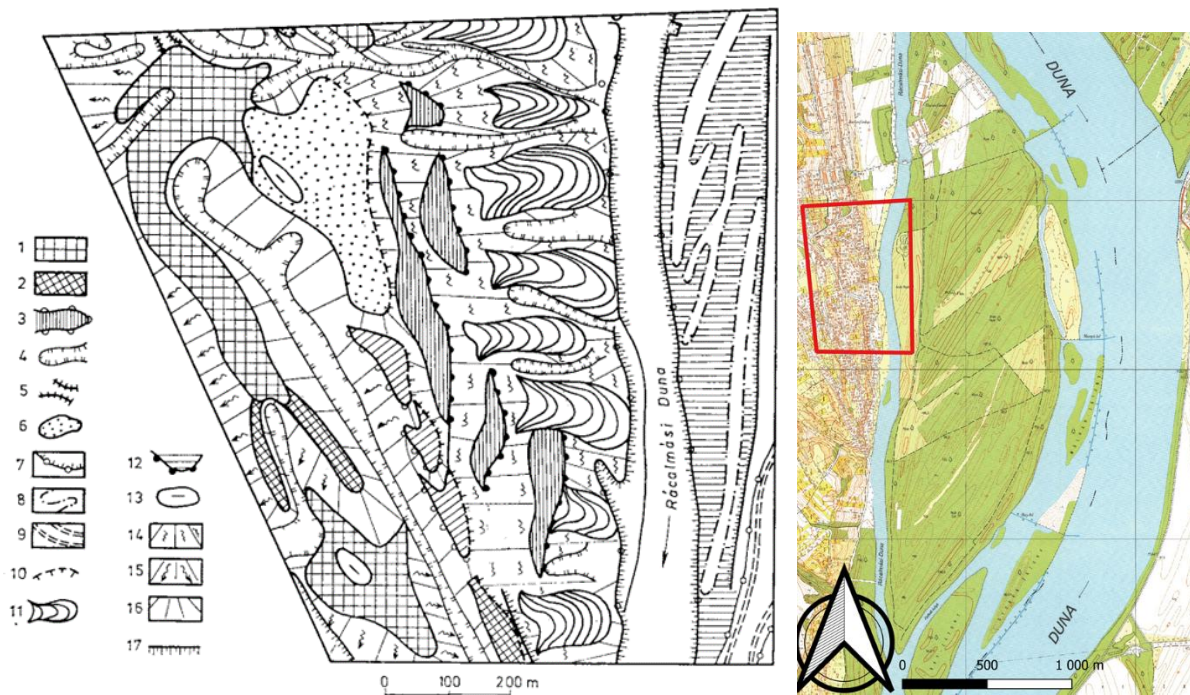
Itt vannak jellemző agyagos, homokos rétegek is, míg Rácalmásán két szint különböztethető meg, itt három. A 4.ábra tanúsága szerint Kulcsnál egy vető is feltételezhető (szaggatott vonal) (Fodor et.al, 1983). A fúrási eredményekből látszik, hogy 13 különféle kőzet tagolja a partfalat, ezek közül mindegyik ugyanazon 3-4 törmelékes kőzetnek valamilyen válfaja. A két földtani szelvény csak egy közelítés, pontosabb adatok a fúrásból nyerhetők ki.



5.ábra: Ma már nem működő egykori kavicsbánya (piros karika) a rácalmási Nagy-szigeten. A rácalmási Nagy-sziget geológiájáról biztosan tudjuk, hogy a jelenlegi hídtól délre kavicsot bányásztak, bővebb információk reményében méréseket végeztünk a sziget területén, melyeket később tárgyalunk.

Terület geomorfológiája

A terület geomorfológiája rendkívül sokszínű. Először a rácalmási partot tekintve a Kulcs-Dunaföldvár plató és annak különböző szintjei rengeteg különféle felszíninformát foglalnak magukba (6.ábra).



6.ábra: Rácalmási magaspart geomorfológiája: 1. Lösshát, 2. Derázióval alakított völgyközi hát, 3. Deráziós lépcső, 4. Deráziós völgy, 5. Deráziós nyereg, 6. Kötött futóhomok, 7. Magas ártéri szint pereme, 8. Dunameder maradvány, 9. Óholocén Dunameder, 10. Csúszási szakadásfront, 11. Nem mozgó terület, 12. Csúszási felszín, 13. Szuffóziós mélyedés, 14. Mozgásveszélyes lejtő, 15. Erózióval veszélyeztetett lejtő, 16. Stabil lejtő, 17. Természetes és mesterséges tereplépcső. (Fodor et.al, 1983)

Az 6.ábrán látható a rácalmási partvonal mentén, hogy számos, már lesuvadt terület van (íves legyező szerű formák), ezeken kívül deráziós képződmények, deluviális völgyek és egykori patakmedrek is gyakoriak. Az egykori patakok környékén is vannak instabil területek, melyek a lankás U alakú völgyek felé mozdulnak el. Magán a Nagy-szigeten látunk néhány érdekes felszíni formát. Ezek nyúlványszerű, hosszúformák, melyek az 6.ábrán a dunameder-maradványnak vannak jelölve, illetve a jobb alsó sarkában látható nagyobb területű formát a szerző óholocén dunamedernek jelöli. Ma egykori dunaágak maradványmedrei, morotvatavak és sekély öblök tagolják a sziget keleti partját. Nyugati partját pedig két egymást követő szintlépcső határolja, melyek egyenként 2 m magasak.

Terület mozgásviszonyai

A területtől északi irányban elterülő Kulcs település partvonalát aktív csuszamlási zónák tagolják. A történelem során itt több csuszamlás és felszínmozgás is volt. Az utóbbi néhány évben voltak érdemi felszínmozgások (7.ábra), ezért még ma is egy viszonylag aktív területnek mondható.



7.ábra: Balra: Kulcsi csuszamlások a Vöröspart utcában (Stiller, 2011). Középen: 2011 csuszamlás kulcsan Vöröspart utca Duna felőli oldalán (Balogh et al, 2014), jobbra: Vöröspart utca csuszamlásos szakasza

Ezek a csuszamlások általában nagy, akár több száz vagy néhány ezer tonna tömegeket mozgatnak meg és a 7. ábrán látható, hogy komoly károkat is okoznak. A Vöröspart utca egy szakaszán a vízvezeték is ki van kötve a tektonikus mozgások miatt. Előbbi csuszamlások jellemzőek a rácalmási területekre is.

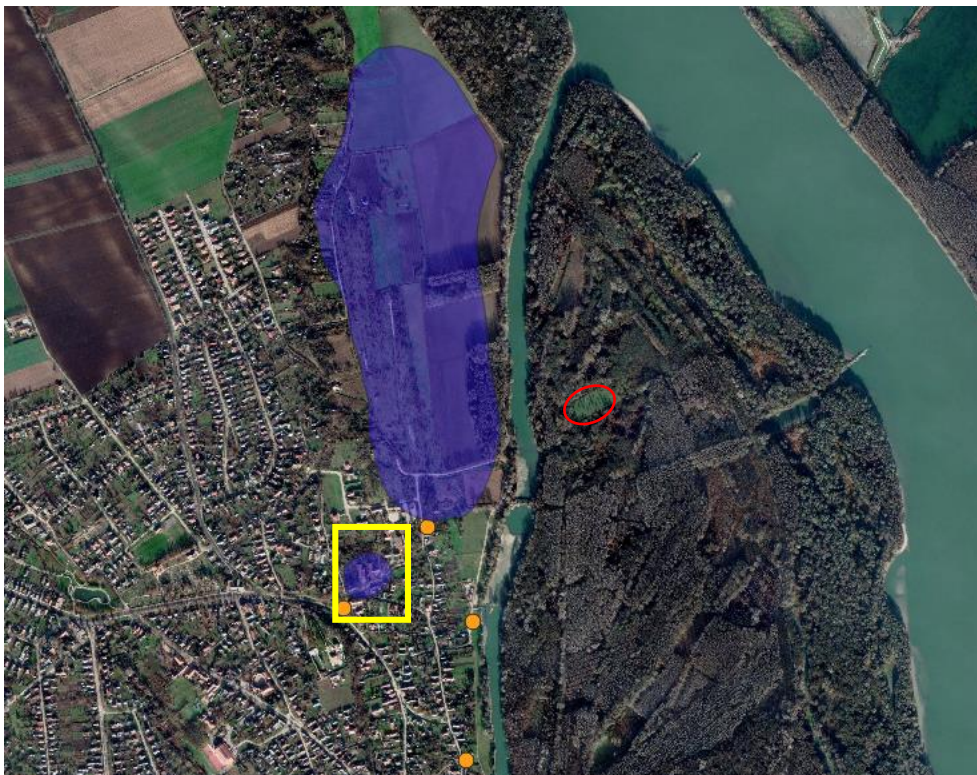


8.ábra: Magyarország felszínmozgási térképe (2021). Rácalmási terület. (Grenerczy et.al, 2021)

A 8.ábrán látható adatok kékes színekkel a keleti irányú mozgásokat jelölik, melyek a magaspart Duna irányába történő mozgásának feleltethetők meg. Láthatjuk, hogy több mint 1 km hosszan évente mintegy 10-25 mm-t csúszik a partfal a Duna felé. Ennek háttérében a kutatók szerint a talajvíz felgyülemelés mellett a Közép-Magyarországi Mobilis Öv áll, mely feltehetően destabilizálja magaspart peremét. Valamint a kulcsi régióban feltételezett vető is van.

Terület hidrogeológiája és folyódinamikája

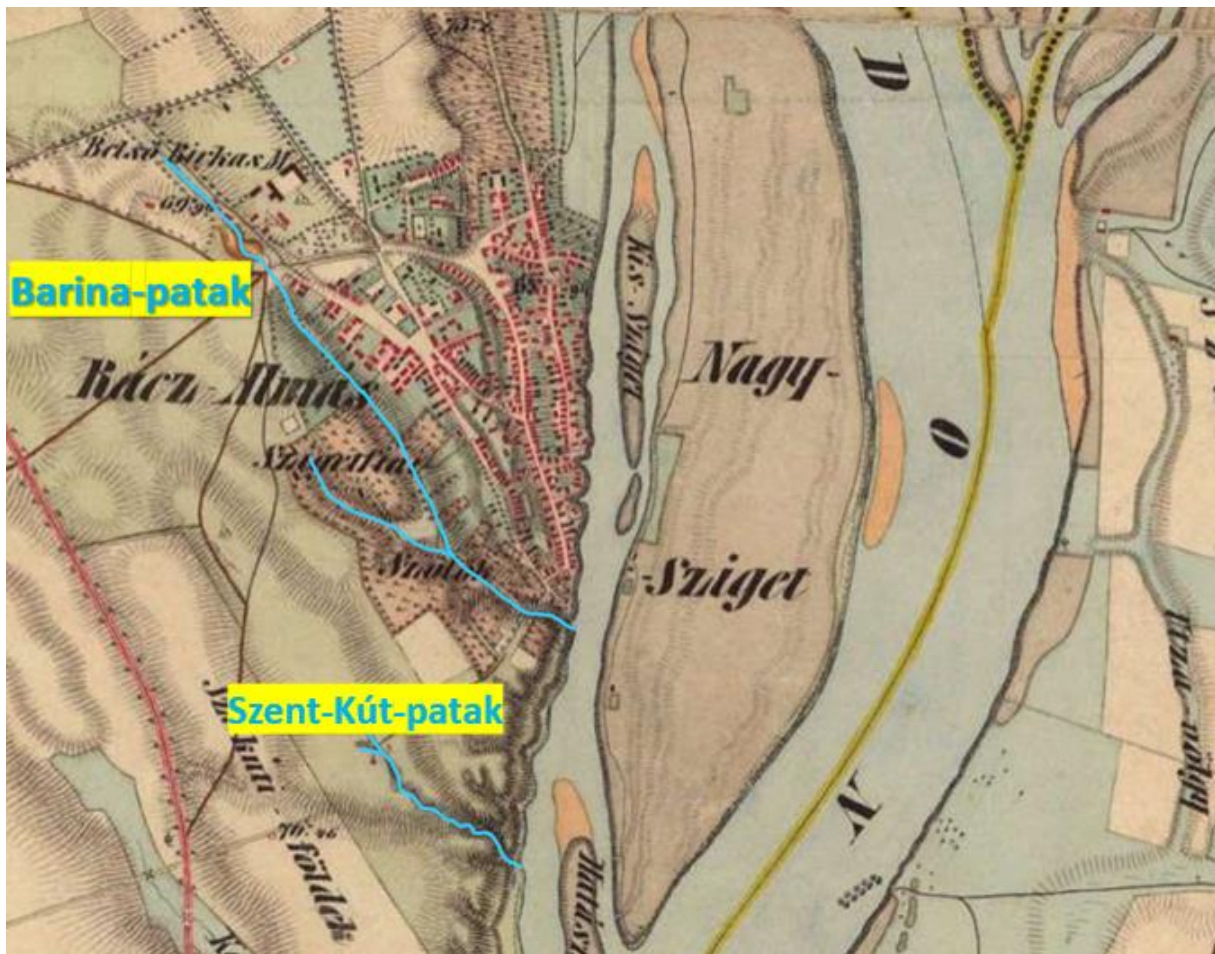
A terület hidrogeológiai szempontból is érdekes. A rácalmási területen ugyanis előfordul termálvíz és rétegvíz több helyen is (9. ábra). A Jankovich-kúriában (citromsárga téglalap) is van rétegvízi kút, valamint termálvíz a Jankovich Hotelben.



9.ábra: Termálvizes területek (kék), ártézi kutak (sárga), piros körön belül sekély kutak, Jankovich-kúria (citromsárga téglalap)

A nagyobbik kék folt déli részén termálfürdő építésének a terve is felmerült. A piros körön belül pedig 5 sekély kút van. Valamint több ártézi kút is van. Továbbá a Szabályozott Tevékenységek Felügyeleti Hatósága (SZTFH) adatbázisa szerint a sziget területén a talajvíz 8 méteres mélységben van. Itt visszautalunk az előbbi alfejezetben említett kulcsi csuszamlásokra, melyek esetén a tektonika mellett a talajvíz és rétegvíz felhalmozódásnak is nagy szerepe volt. A talajvíz felhalmozódás komoly problémákat jelen Kulcs déli részein legfőképp a pincék miatt. Rácalmásan ez sokkal mérsékeltebb.

Folyódinamikai és felszíni hidrológiai szempontból láthatjuk, hogy a Duna partfalépítő oldalára esik a sziget. Egy kisebb ág, a Kis-Duna választja el a rácalmási partoktól. Itt több sekély terület van a mederben, amit szépen lassan feltölt a Duna, és zátony képződik a helyükön.



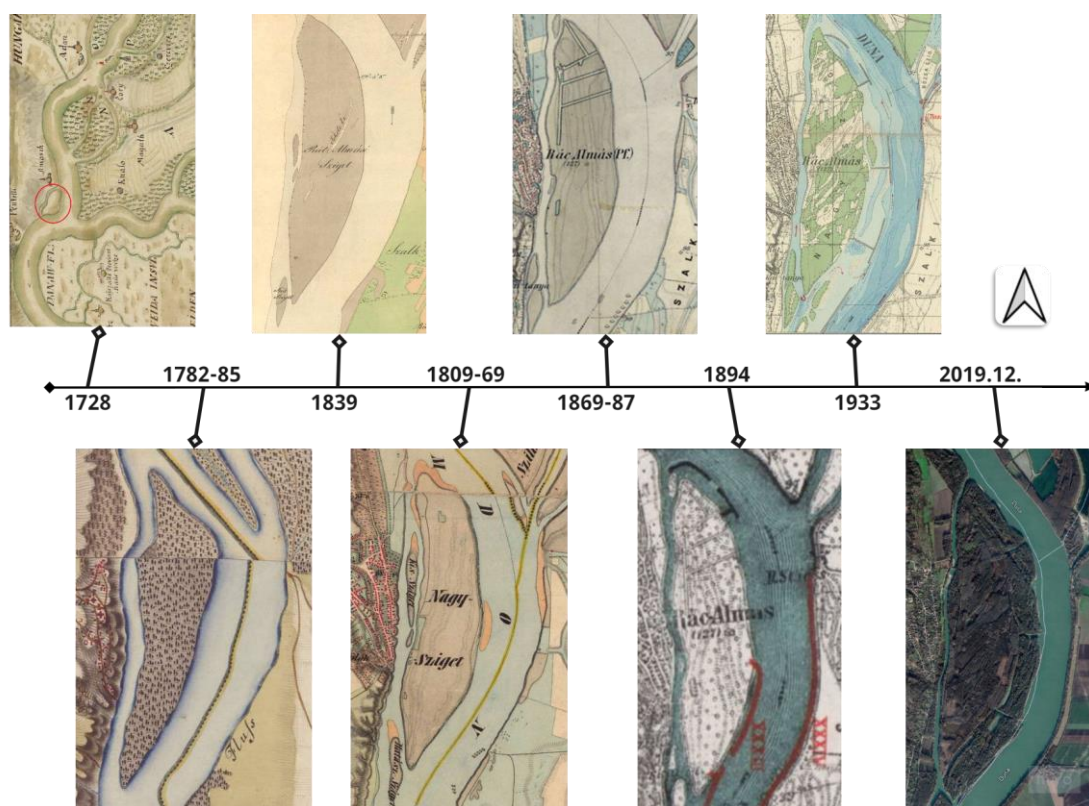
10.ábra: Szent-kút-patak és Barina-patak Rácalmás területén. (Második Katonai Felmérésen)

Emellett számos patak és ér szabdalta egykor a löszplatót a rácalmási oldalon, de ezekből sok nagyobb még ma is létezik, például Barina-patak, Szent-Kút-patak melyek a Nagy-sziget melletti partszakaszon torkollottak (10.ábra), míg a Kender-patak, Dombali-patak attól délebbre. Számos egykori patak medrét is megtaláljuk a Duna rácalmási oldalán. Egyes helyi beszámolók szerint egykor a Nagy-szigeten is volt egy forrás, mely kis ér formájában tört a Nagy-Duna felé. Fontos megemlíteni, hogy a kulcsi felszínmozgások hátterében nem csak a tektonikus folyamatok játszanak szerepet, hanem a kulcsi területek talajvíz és rétegvíz tartalma, valamint ezek helyzete és mozgása. Rácalmásra ugyanakkor a város északi határához érve megszűnik ez a magas talajvízszint.

A Nagy-sziget ábrázolásai történelmi térképeken

Az alábbiakban a Nagy-sziget térképi ábrázolásait és a róla szóló írásos adatok áttekintését mutatjuk be. A térképekből levezethető eredményeket, következtetéseket és azok diszkusszióját a későbbi Eredmények és Diszkusszió fejezetek tartalmazzák, majd konklúziót

is vonunk belőlük. Összesen 12 térképet találtunk, melyek közül a legfontosabb 8 a 11.ábrán látható. Ezek többnyire Katonai felmérések, folyószabályozási, vízisport- és hajózási térképek. De ezek mellett vannak még várostérképek is.



11.ábra: Elsődleges térképek, melyeket munkánk során használtunk (1782-2019)

Az első térkép amit találtunk a Nagy-szigetről 1728-as (12. ábra). Ez a Csepel-sziget alját ábrázolja (térképen: Knalo, Magath városok itt helyezkednek el). Ekkor még nem igazán léteztek szabványos vetületek és a méretarány és irány sem kapott akkora hangsúlyt. Ez látható a Duna kanyarulatain és a települések helyzeti viszonyain.



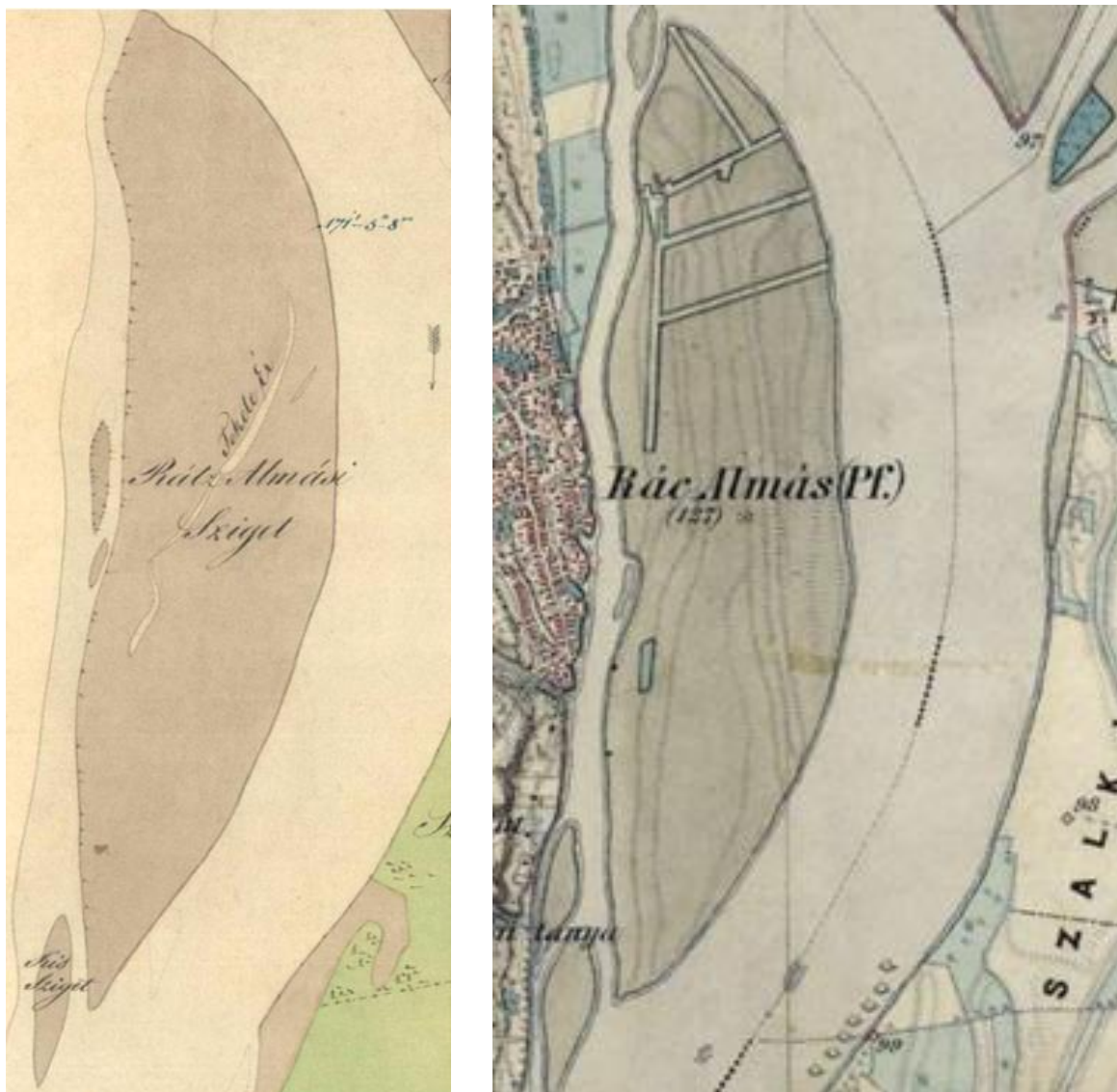
12.ábra: 1728-as térkép a Csepel-sziget déli részéről (Arcanum, Csepel-sziget átnézeti térképe, 19.sz.)

A Katonai Felmérések közül az első kettő már lényegesen precízebb és itt már az irány és a méretarányok is nagy hangsúlyt kapnak (Timár et al. 2006). Ezek kifejezetten pontos térképek a korukhoz képest.



13.ábra Első Katonai Felmérés (1782-1785), (Arcanum, Magyarország Első Katonai Felmérés, 1782–1785) és Második Katonai Felmérés (1806-1869), (Arcanum, Második katonai felmérés, 1806-1869)

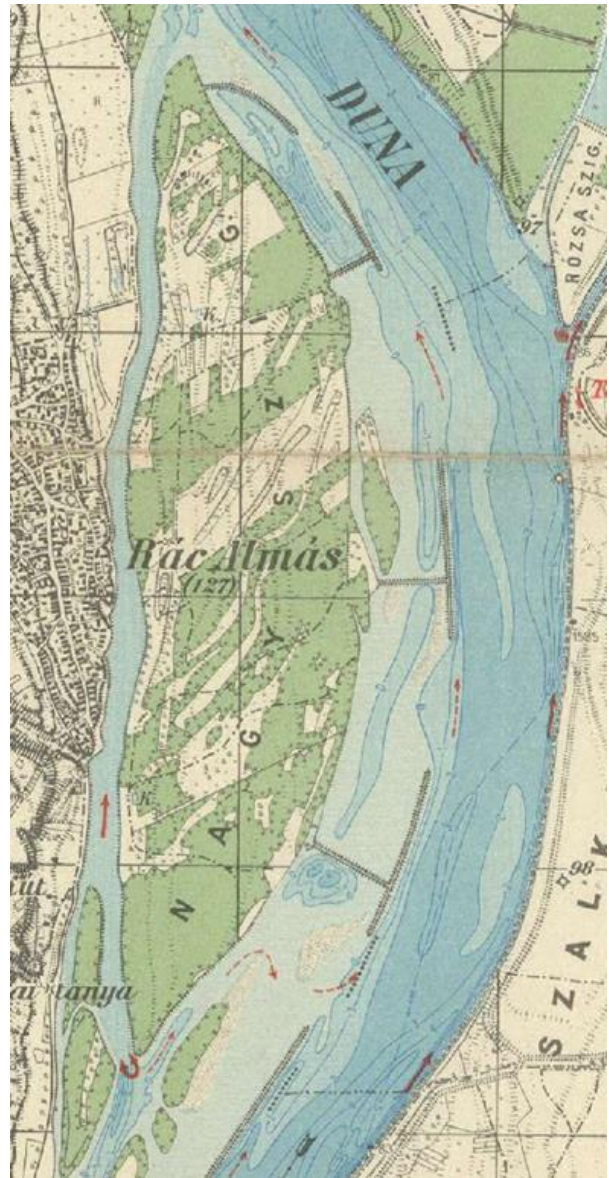
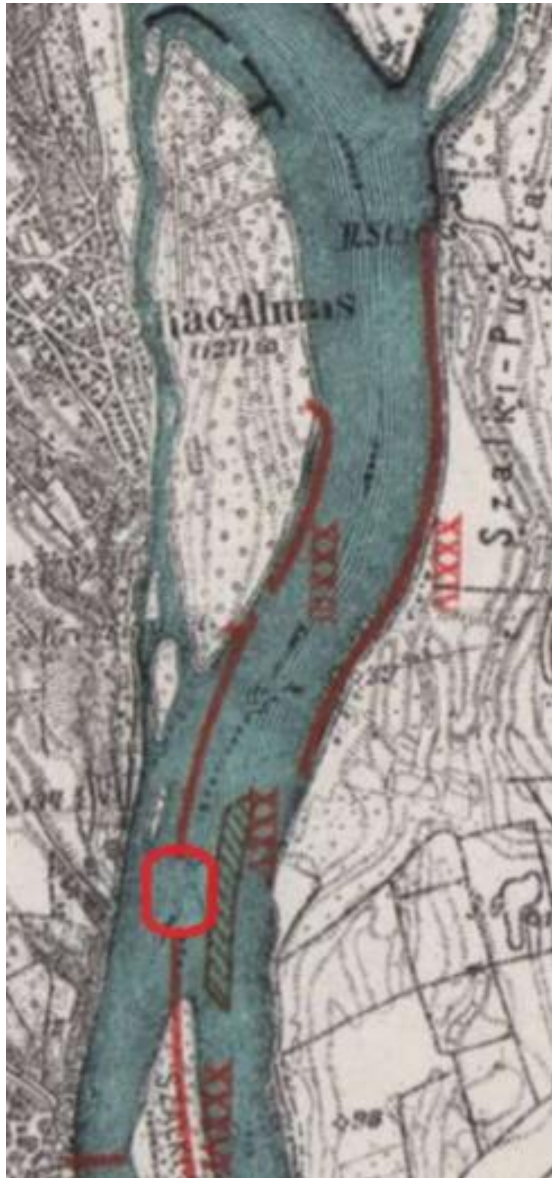
Az egyik legfontosabb térkép, amit a Nagy-szigetről találtunk az 1839-es Fekete-ér térkép (14.ábra). A Nagy-szigetet nagyobb részletességgel rajzolták meg, mint az Első Katonai Felmérésen, de közel sem annyira pontos, mint a Második Katonai Felmérés.



14.ábra: Fekete-ér az 1839-es vízhelyzeti térképen (Királyi Dunamérési Intézet, 1839) és a Harmadik Katonai Felmérés 1869-1887,(Arcanum, Harmadik Katonai Felmérés, 1869-1887)

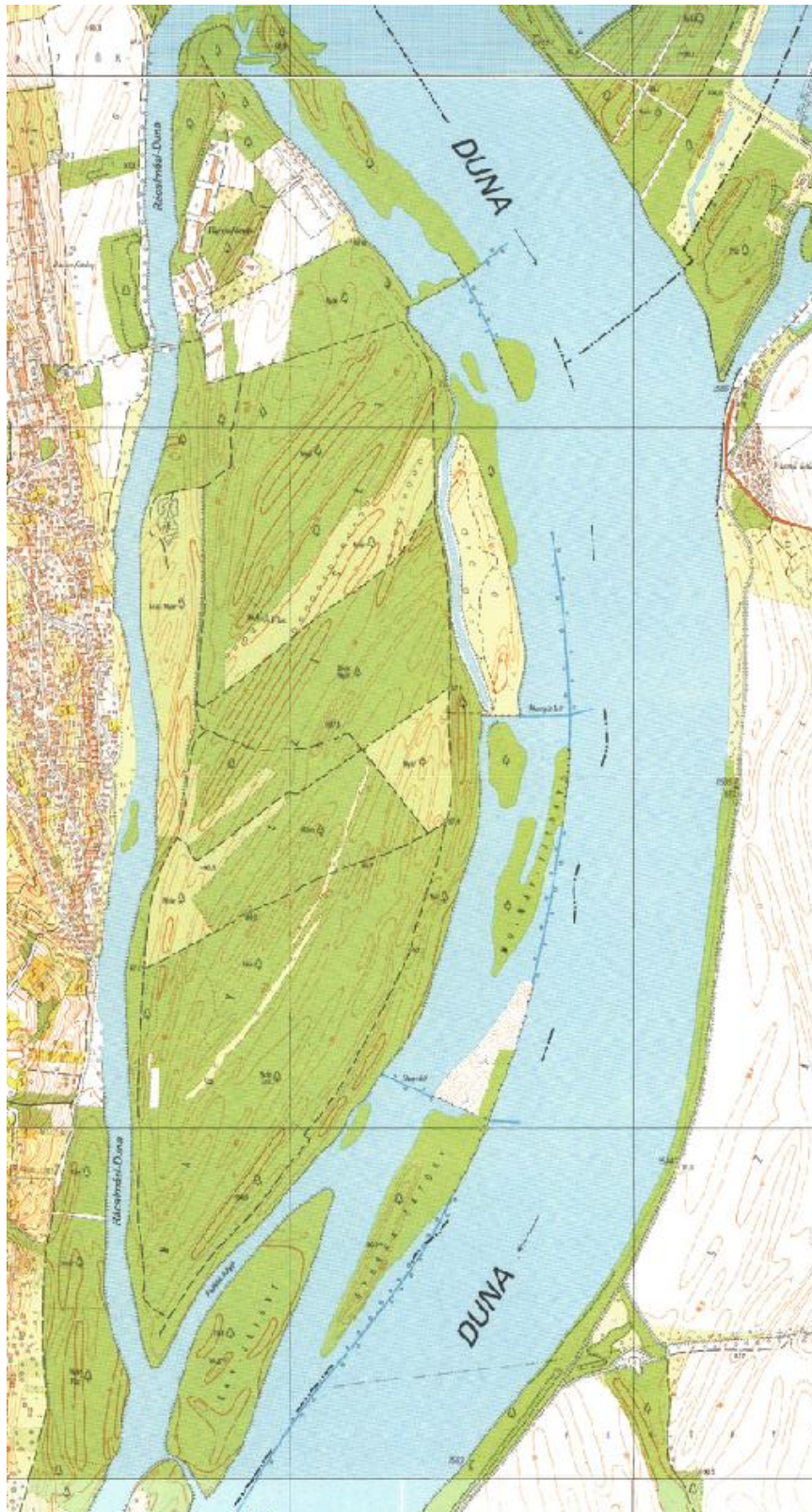
A Harmadik Katonai Felmérés az előbbieknél még pontosabb, itt már a geodéziai pontosság kritériumrendszerét használták a térképezés során (14.ábra).

A következő térkép a Nagy-sziget déli részénél a Duna medrében elhelyezkedő épületromot mutatja be, melyet a régészek ma is vizsgálnak. Ez egy sekély zátonykezdemény területén helyezkedik el. Ehhez hasonló romok megtalálhatóak Bölcskén is a Duna medrében.



15.ábra: Bal oldalon: Rácalmási-szigettől délre lévő rom (1894) (piros kör),(Vízügyi Közlemények, 1894. (8. füzet)), Jobb oldalon: 1933-as vízisport-térkép. (Magyar Királyi Állami Térképészet, 1934)

Valamint egy 1933-as vízisport térkép a jobb oldalon (15.ábra). Ez kellő részletességgel ábrázolja a Nagy-sziget partvonalát és, ami miatt érdekes volt számunkra az a mederrajz, valamint a sziget belső területeinek részleges topográfiai ábrázolása.

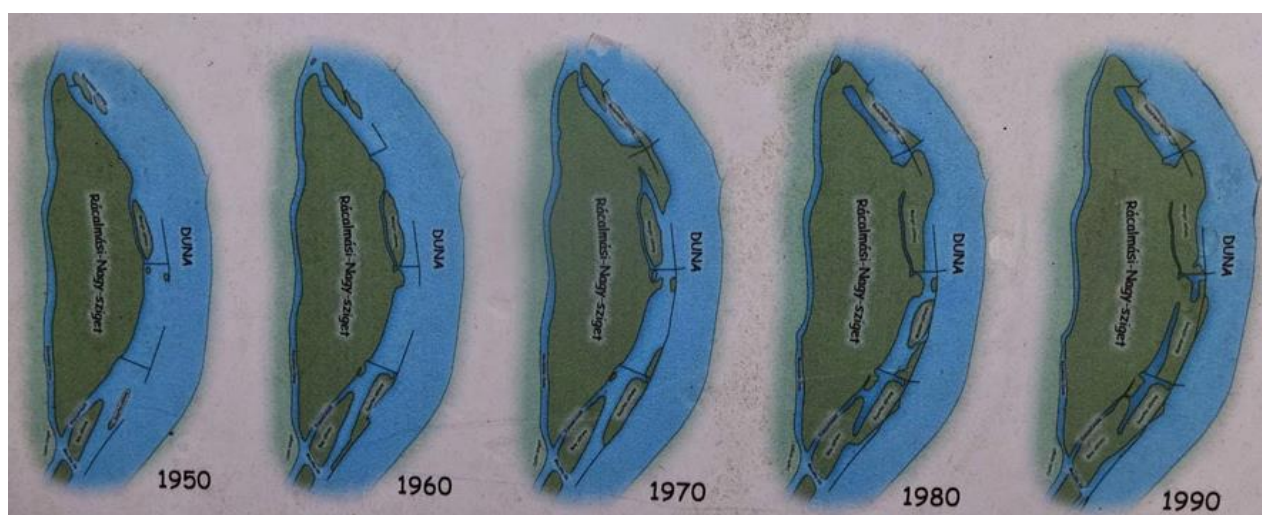


16.ábra: A Nagy-sziget EOTR topográfiai térképe

A 16. ábrán egy szintén nagyon fontos topográfiai térképet látunk, mely nagy részletességgel ábrázolja a Nagy-sziget domborzati viszonyait. Ez alapul szolgált méréseink megtervezéséhez.



17.ábra: 2006-os Hajózási térkép, (Vízügyi Igazgatóság, 2006, 39-40-es kép)



18.ábra: A folyószabályozások általi területnövekedés 1950-1990 között. (Szávost-Vass, 2015)

Látható, hogy 1950-ben a Nagy-sziget keleti partján már létezett a Resutsek-zátony északon, a Margit-zátony tőle délre, a Molnár-zátony, délebbre Gyurka-zátony, majd ettől is délre a Bay-zátony (18. ábra).



19.ábra: Bal oldalon a rácalmási Nagy-sziget főbb zátonyai (saját szerkesztés). Resutsek-zátony (narancs), Margit-zátony (citromsárga), Molnár-zátony (piros), Gyurka-zátony (lila), Bay-zátony(kék). Jobb oldalon a 2019-es állapot.

Ezek a zátonyok az idők során egyre inkább összeforrtak a Nagy-szigettel. Időközben 1970-ben bővült egy sarkantyúval a sziget. 1950-es években megépítették a Trencsényi-gátat, ami a Bay-zátony déli részét kötötte össze a rácalmási partokkal. Így a Kis-Duna torkolatát egy ággá redukálták.

A szigetre 4 sarkantyú épült és ezek közötti mederszakaszok már most is kimondottan sekélyek. 1990 után a növekedés mértéke lecsökkent és a sarkantyúk területeire korlátozódott. Ezek után a Duna teljesen betemette a sarkantyúk 1/3-ad részét, melyek ma már a sziget területén a vékony üledékréteg alatt vannak.



20.ábra: Felső: Északi sarkantyú 2021-ben (saját fotó), Alsó: Margit-zátony alatti holtág és a Margit-kő sarkantyú sziklái (19.ábra). (Saját fotó)

A folyószabályozási előtti partszakaszról már csak néhány morotvtató és holtág ad emléket, melyek az sarkantyúk sziklás töveinek vonalát kötik össze.

Az 1838-as pesti árvíz után a Duna ráckevei ágát Pestszenterzsébet magasságában lezárták, de a későbbi árvizek a Duna-ágot alulról továbbra is elöntötték, így 1926-28 között megépült a Tassi-zsilip. Az 1956. március 10-én pusztító dunai jeges árvíz szinte teljesen lerombolta a zsilipet, ezért újjá kellett építeni, ez 1962-ben készült el és töltötte be újra régi szerepét. Azóta 2013. júniusi árvíz volt az egyik legmagasabb vízállás, bár ez már nem okozott komoly károkat a zsilipben. Az új zsiliprendszer ma már Bács-Kiskun megye nemzeti értékei közé tartozik.

Módszertan

Az alábbiakban áttekintjük a kutatásunk főbb módszereit, valamint a geofizikai mérések elvi háttérét tekintjük. Elsőként archív térképeket gyűjtöttünk és a megbízhatóbbakból területet számítottunk, melyeket később összevetünk. Továbbá írásos emlékekből is gyűjtöttünk információkat. Ezek mint a kronológiai megismeréshez járultak hozzá. Terepbejáráskor talajt, növényzetet, domborzatot elemeztünk. Valamint a rácalmási oldalon saját mérésekből mederrajzot is szerkesztettünk. Majd ezt követték a geoelektromos mérések, melyeket az alábbiakban fejtünk ki.

Szintezés

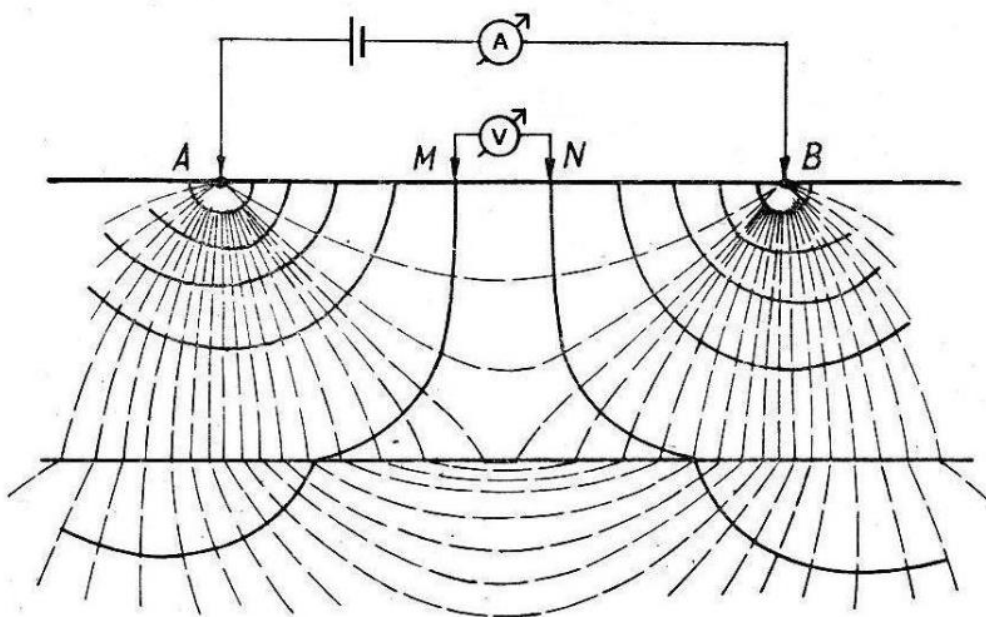
Teodolit és mérőléc segítségével adott szakaszon reprodukálni tudjuk a domborzatot. Ennek menete, hogy adott szelvény elejére kihelyezni a teodolitot, melyet irányítani és vízszintezni kell, valamint meghatározni a fix magasságát a műszernek. Ezt követően meghatározott lépésközzel haladunk a mérőléccel, melyről leolvassuk az adott magasságot. Hosszabb szelvény esetén a teodolittal mérőállomást válunk, és a legtávolabbi lemért pontra helyezve a műszert visszamérést végzünk 3-5 pontban. Ezt követően haladunk tovább a mérési irányba. Ennek feldolgozása egy egyszerű táblázatkezelővel könnyen elvégezhető.

Mederrajz

Esetünkben mérőpálcával adott nyomvonalon (általában a part és túlpárt közötti legrövidebb egyenes szakasz) adott távolságonként megmértük centiméteres pontossággal a meder mélységét. Ezeket az adatpontokat összekötve egy jó közelítést lehet kapni a meder keresztmetszetéről. Interpolációval pedig ki lehet terjeszteni az értékeket 2D-ra.

Geoelektromos tomográf mérések (ERT)

Az ERT egy felszíni egyenáramú mérés mellyel a mérési vonal alatti közegek fajlagos elektromos ellenállások (FEE) eloszlásának változása határozható meg két dimenzióban. Ez úgy zajlik, hogy a mérőműszerre csatlakoztatott intelligens kábeleket a mérési vonal mentén kiterítjük és meghatározott távolságokként leföldelt elektródákhoz csatlakoztatjuk. Az elektródák között lesznek tápelektrodák melyek egyenáramot vezetnek a felszín alatti közegbe, melyek által keltett potenciáltér eloszlását a mérőelektrodák mérik a felszínen (21.ábra). A mérő- és tápelektrodák távolsága meghatározza a felbontást, valamint a terítési hossz a behatolás mélységét. Megfelelő inverzióval jó képet kapunk a felszín alatti FEE-ok eloszlásáról és mélységéről.

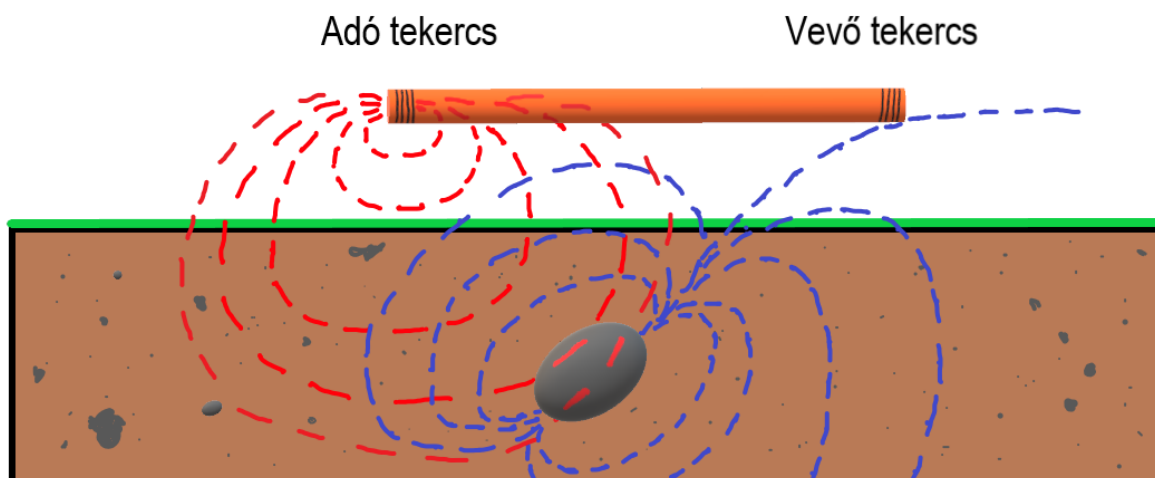


21.ábra: Kétpólusú elektróda elrendezés réteghatár fölött, ahol A, B a táp és M, N a mérő elektródák. A tápelektrodákból kiáramló elektromos áramot szaggatott vonal jelöli és az áramokhoz tartozó potenciálfelületeket folytonos vonal jelöli. (Pethő & Vass, 2011.)

CW-FEM mérések

Ez egy continuous wave elven működő indukciós elektromágneses mérés. Ennek menete, hogy egy tekercssel elsődleges elektromágneses teret keltünk, melynek hatására a felszín alatti közegekben másodlagos tér indukálódik (22.ábra). Ezáltal az eredő elektromágneses tér mágneses komponenseit mérjük egy vevőtekercssel. Eredményül a fix adó-

vevő távolságnak és a többfrekvenciás jelnek köszönhetően három különböző mélységből kapunk konduktivitási (látszólagos fajlagos vezetőképesség) értékeket.



22.ábra: CW-FEM mérés fix adó-vevő távval. Piros szaggatott vonal jelöli a primer teret és kék szaggatott vonal a szekunder teret. (saját ábra)

Eredmények

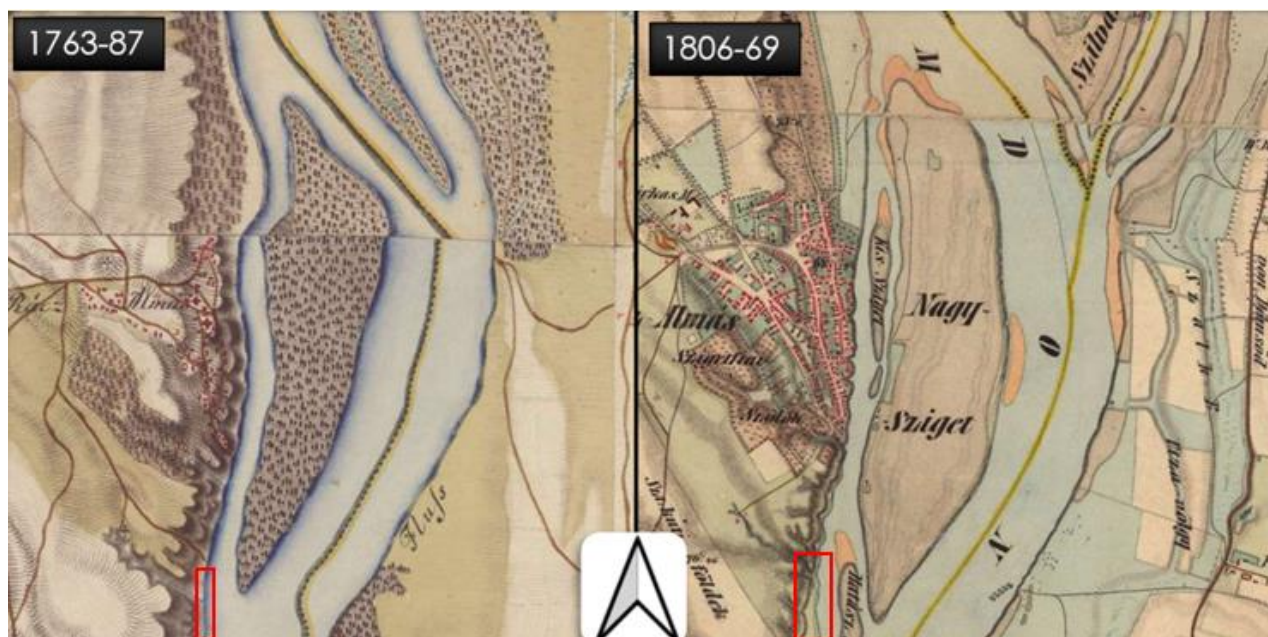
A következőkben külön ismertetjük a térképi eredményeket, terepi megfigyeléseket és mérési eredményeinket. Majd ezeknek részletes elemzése után konklúziót vonunk belőlük, mely alapján meghatározzuk a forgatókönyveket.

Archív térképek összehasonlításának eredményei

A következőkben végigvesszük azokat a térképi és írásos megfigyeléseket, melyek alapot adtak az elméletek megalkotásához.

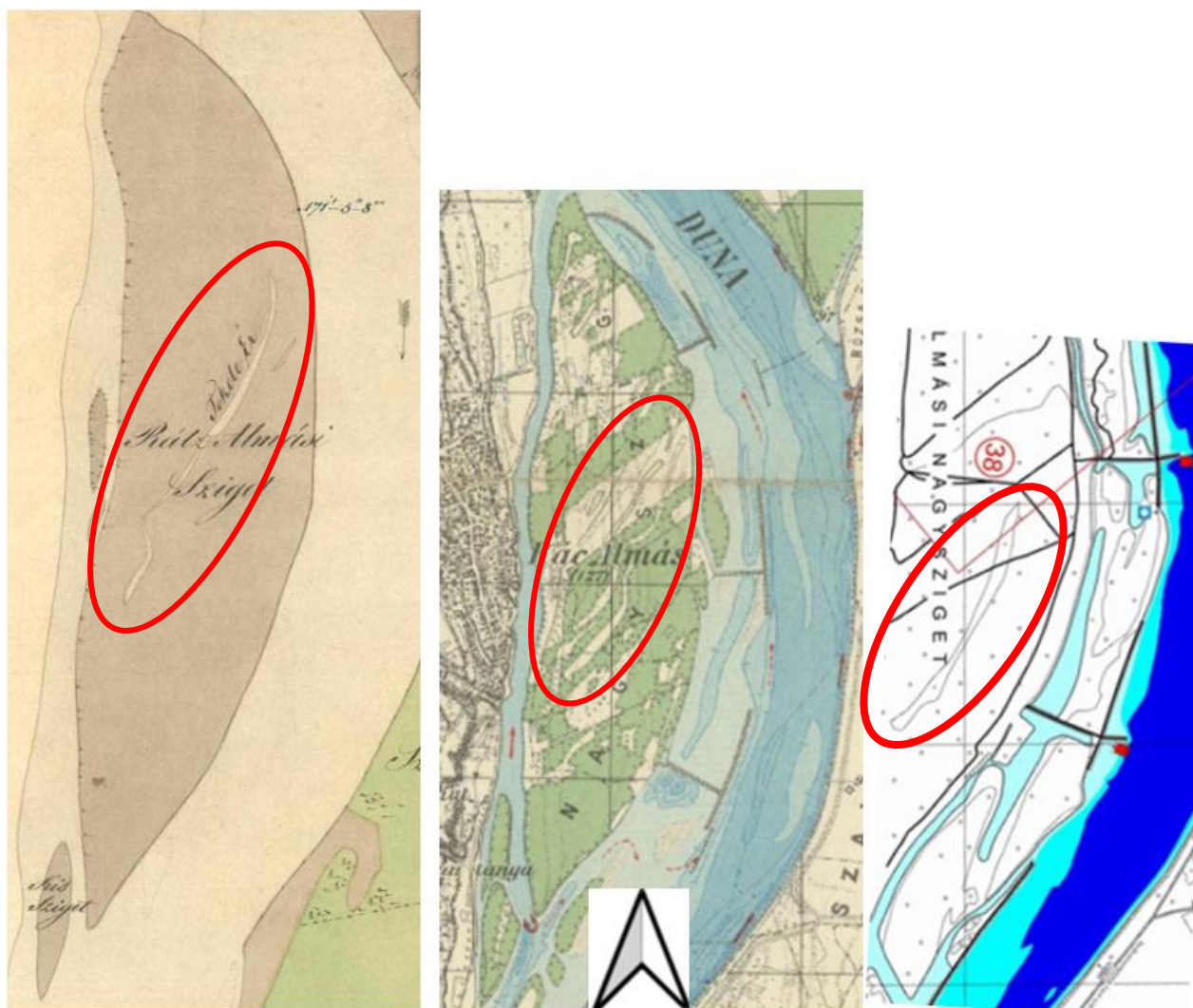
A Nagy-sziget legkorábbi térképi megjelenítését az 1728-as években kiadott térképen találtuk meg (12. ábra). Ezen jól látszik, hogy a ma is jellemző kanyarulatait és formája már az 1700-as években is hasonlóan nézett ki. Méreteiben sem látni túl nagy változást. A térkép hibáitól eltekintve, mint például kevésbé pontos irányok és méretarányok, ez látszik a Duna kanyargásán, még így is kifejezetten hasonlít a mai állapothoz. Az Első Katonai Felmérés térképszelvényét (EKF) összehasonlítva a Második Katonai Felmérés szelvény (MKF), megfigyelhetjük, hogy a rácalmási oldalon húzódó alluviális terasz egyre inkább keleti irányba épül, valamint kialakul mellette a Halász-sziget. A Halász-sziget pedig a MKF-en ábrázolva

van, de az EKF-en nincs. A két felmérés között durván 40-50 év telt el. A Halász-sziget déli végének területén ma az Egyfás-sziget terül el.



23.ábra: EKF és MKF összehasonlítása és az alluviális terasz (piros téglalap)

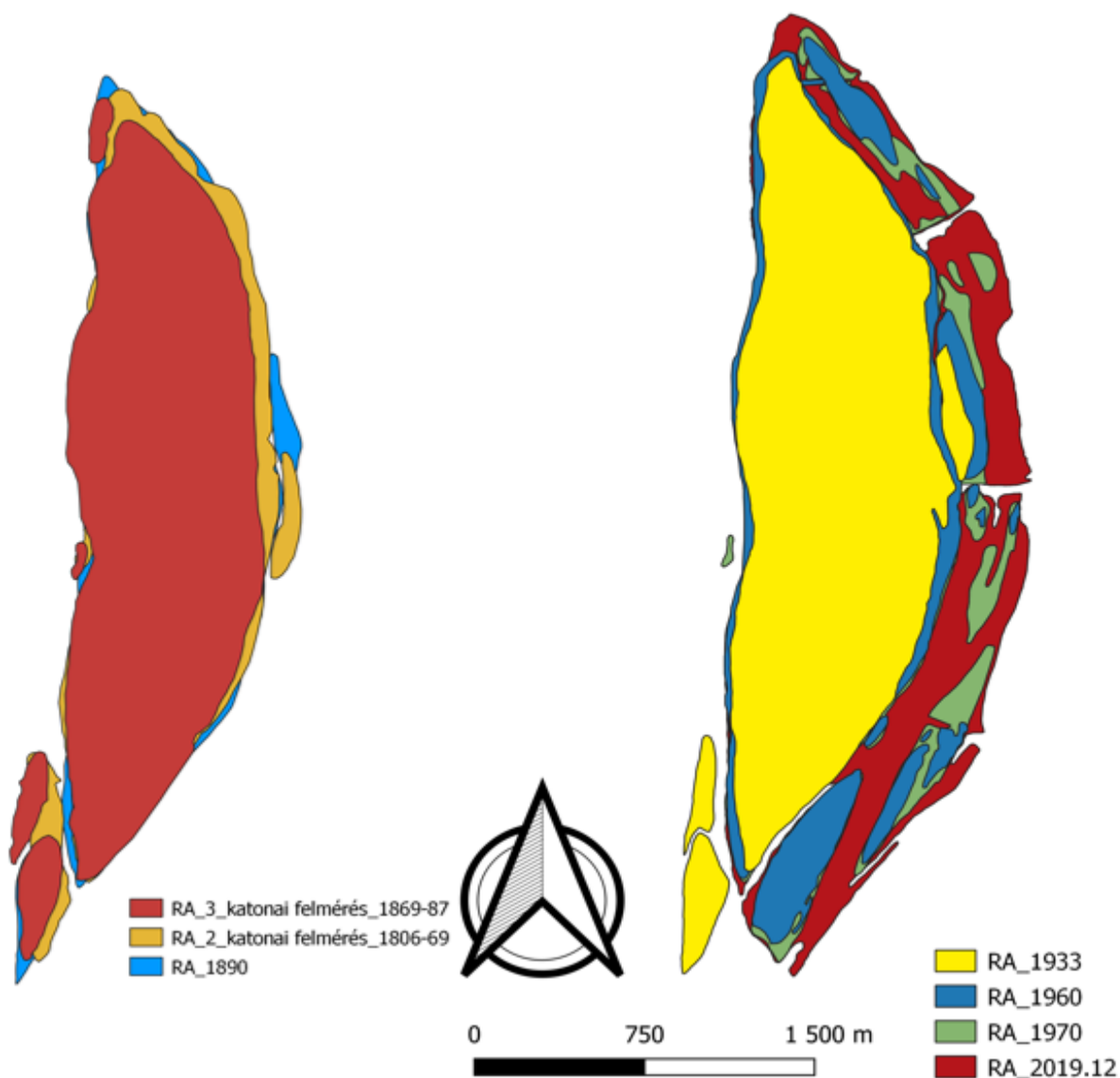
Az EKF-en több szint is jelölve van a térképen. Egy egészen közel a parthoz (23.ábra). A MKF-en viszont a partközeli szint eltűnik, és a part csipkézetté válik. Ezen a területen az EKF-n nincsenek utcák, épületek, de a MKF-en már igen. Ugyanakkor megjelenik az eltűnt szinttel párhuzamosan a Kis-sziget (23.ábra), mely 0,91 km² területű. A két felmérés között 50 év telt el. Szintén megfigyelhetőek a MKF-en kisebb zátonyok a Nagy-sziget északi és keleti oldalán, valamint a szigeten árokszerű domborzati struktúrák is fellelhetőek. EKF-en nem voltak még térkép szerint sem utak, sem épületek a sziget területén, MKF-en viszont már igen. Északon látható egy szögletes forma, ott egykor libatelep volt (Szávost-Vass, 2020), majd gyümölcsös, melynek ma is megvannak a maradványai. Egy út is megfigyelhető, mely egy északi révtől indul egészen dél felé, ahol egy nagyobb szögletes terület van, majd délebbre kettő kisebb. A második katonai felmérésen látható Kis-sziget a Harmadik Katonai Felmérésen (HKF) már hozzáért a Nagy-szigethez (24.ábra), de Kis-szigettől délre elterülő még kisebb sziget még különálló, ma már ez is a Nagy-sziget része.



25.ábra: A Nagy-sziget egykori medreinek áttekintése az 1839-es Fekete-ér, az 1933-as vízisport és a 2006-os hajózási térképeken. Piros ellipszisek jelölik az említett medreket

Több más térképen (pl.: 1933-as vízisport-térkép, 2006-os hajózási térkép) is holtágakat, medreket, árkokat figyeltünk meg, melyek a domborzati térképen is jól láthatóak voltak. A térképeket összehasonlítva látjuk, hogy több is megegyezik a Nagy-sziget területén. Az említett Fekete-ér az egyik, viszont emellett van még az 1933-as vízisport-térképen is szintén több meder és árokrendszer van megjelölve. Emellett pedig egy 2006-os hajózási térképen is van egy medermaradvány jelölve a szigeten.

Végül az 1800-as évek elejétől napjainkig georeferáltuk és összehasonlítottuk a rendelkezésünkre álló térképeket, majd kiszámoltuk, hogy milyen mértékben növekedett a sziget az utóbbi 220 évben (26-27. ábra).



Név	Terület (km ²)
RA_2_katonai felmérés_1819-69	2,18
RA_3_katonai felmérés_1869-87	2,24
RA_1890	2,39
RA_1933	2,42
RA_1960	2,6
RA_1970	2,71
RA_1999	3,41
RA_2004	3,6
RA_2009	3,82
RA_2011	3,89
RA_2019.12.	4,09

26.ábra: Felső: a rácalmási Nagy-sziget területi növekedése 1806-2019 között (saját számítás és szerkesztés), Alsó: a táblázatban vastagon kiemelt adatok vannak a felső ábrán jelölve.



27.ábra: A rácalmási Nagy-sziget területi növekedésének tendenciája

Láthatjuk, hogy a Nagy-sziget az utóbbi 220 évben majdnem kétszeresére nőtt. Azonban az 1890-es évig csupán 0,24 km²-rel növekedett a területe. Majd kezdtek épülni a párhuzamművek és sarkantyúk. Ezután a sziget 1,68 km²-rel lett nagyobb. Ezek mellett a kisebb szigetek területe is változik (26.ábra).

Terepi megfigyelések

A Nagy-sziget bejárásakor először a felszíni üledékeket és azok eloszlását vizsgáltuk.



28.ábra: Balra: a belső területekre jellemző felszíni üledék, jobbra: északi parti övzátony

A partvonalon haladva látható volt, hogy a keleti partoknál sekély kavicsos meder a jellemző, ami 60-70 méterig is benyúlik a Dunába. Leginkább az északi partokon figyelhető meg a nagyobb mértékben halmozódott üledék a sarkantyúk miatt. A sziget északi végén fúrt 5 sekély kút már mind betemetődött, ugyanakkor ez az egyetlen hely a szigeten, ahol még van gyümölcsös. Ezt követően megbizonyosodtunk róla, hogy a topográfiai térképen ábrázoltak ma is megállják helyüket és négy különböző mikrodomborzati trendet figyeltünk meg.



29.ábra: Nagy-sziget jellemző mikrodomborzati irányai (saját szerkesztés).

A sárga területen ÉK-DNY irányokat figyeltünk meg, melyek közel párhuzamosan futnak. A rózsaszín területen É-D irányú mikrodomborzati trendek lelhetőek fel, melynek oka a Kis-Duna. A szürkés-lila terület ívelt irányokat tartalmaz. A narancssárga területen egy ellipszissé nyújtott örvényszerű domborzat jelenik meg. Az északi területeken vagy nagyon kis lokális irányok jellemzőek, ami szintén lényeges, vagy teljesen kaotikus. A több területen nincsenek jellemző domborzati irányok (29.ábra). Eközben a Nagy-sziget felszíni üledékeinek vizsgálatakor bebizonyosodott, hogy agyagos és homokos üledékek váltakoznak, helyenként kavics tartalommal. A magaslatokon vizsgált felszíni üledék jellemzően száraz agyagos-iszapos üledék helyenként érdemi finom homoktartalommal (28.ábra).

A rácalmási partfal mozgásának elemzése végett helyieket kérdeztünk az utóbbi évek csuszamlásairól, felszíni mozgásairól. Helyi tapasztalatok alapján megtudtuk, hogy a rácalmási partfal mozgása két területre koncentrálódik, de egy nagyjából 1 km-es partszakaszon nincsenek komolyabb mozgások.



30.ábra: Aktív csuszamlási zónák és inaktív lapályos terület (kék), (saját szerkesztés)

Itt a piros területeken helyi beszámolók szerint évente 2-3 cm-t csúszik a házuk kiváltképp a déli területeken, ahol 2011-ben egy helyi állítása szerint 17cm-et csúszott az egész házuk egy pillanat alatt. Állítások szerint ez leginkább a tavaszi és az esősebb őszi időszakokban jellemző. Emellett a 2. ábrán a 3-mas számmal jelölt agyag tömeg partközeli felszínén, azaz a lösz

peremétől távol is találtunk löszös-homokos üledéket. Újabb csuszamlási adatok gyűjtése miatt bejártuk Kulcson a csuszamlásveszélyes területeket is.



31.ábra: Balra: kulcsi löszbabák (saját kép), a piros vonal 10 cm. Jobbra: rácalmási Egyfás-sziget zátonyai.

A kulcsi területeken nagy mennyiségű löszbabát találtunk, viszonylag nagy méretűeket is. Helyenként kisebb darabok Rácalmásan is megtalálhatóak az Egyfás-sziget melletti időszakos zátonyokon (31.ábra).

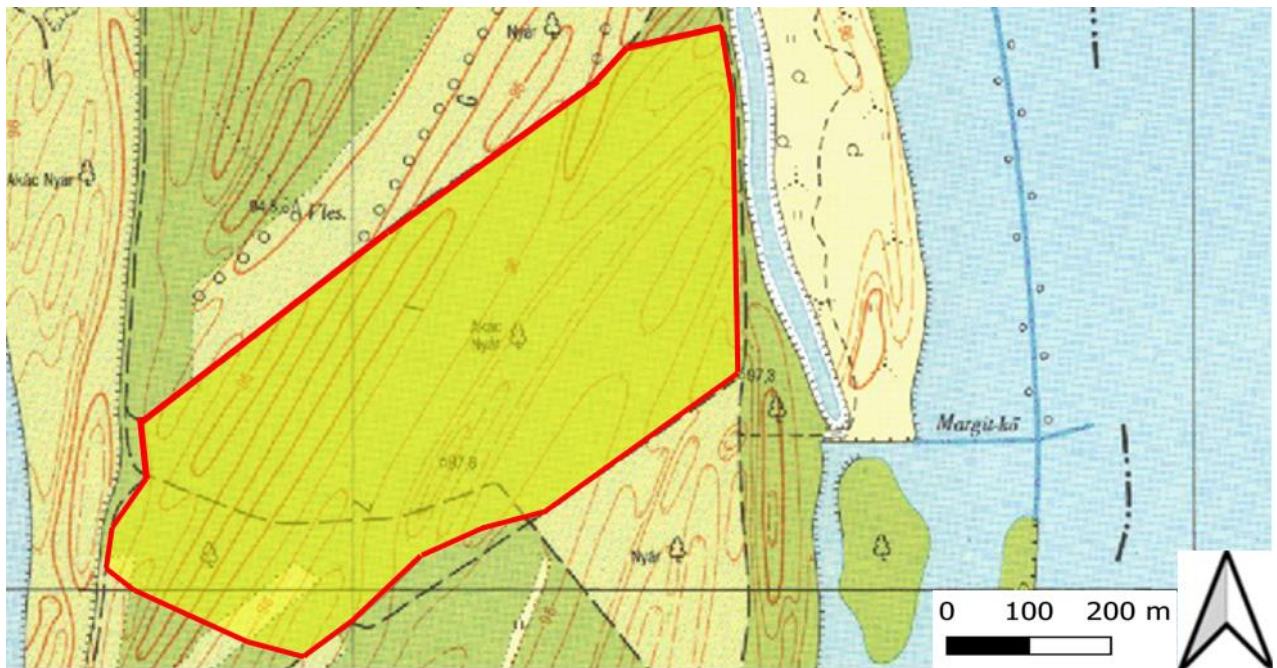
Fontos megfigyelés, hogy ez egykor erdőgazdálkodási terület volt, ahogyan az látszik az alig 10-20 éves fákból álló sűrű ártéri erdőben helyenként előforduló, akár több száz éves magzófákból (32/A ábra). Az is fontos, hogy a korábban említett árkokban, medermaradványokban, kiváltképp a sárga területen (29.ábra) nem fordul elő magzófa, és ott a növényzet is teljesen megváltozik (32/C ábra). Míg a magaslatokon fásszárú sűrű növényzet dominál a vadszőlő és cserjék mellett, az árkokban csupán fél méteres aljnövényzet fordul elő és ettől nagyobb bokrok, csemeték elvétele csak.



32.ábra: A: magzófák, B: sűrű ártéri növényzet, C: árkok és medrek növényzete, D: átmeneti zónák (árok és magaslat közötti) növényzete (Saját képek. A, B: Dr. Székely Balázs, C: Csernyik Laura, D: Vitai Ákos)

A geoelektromos mérési eredményei

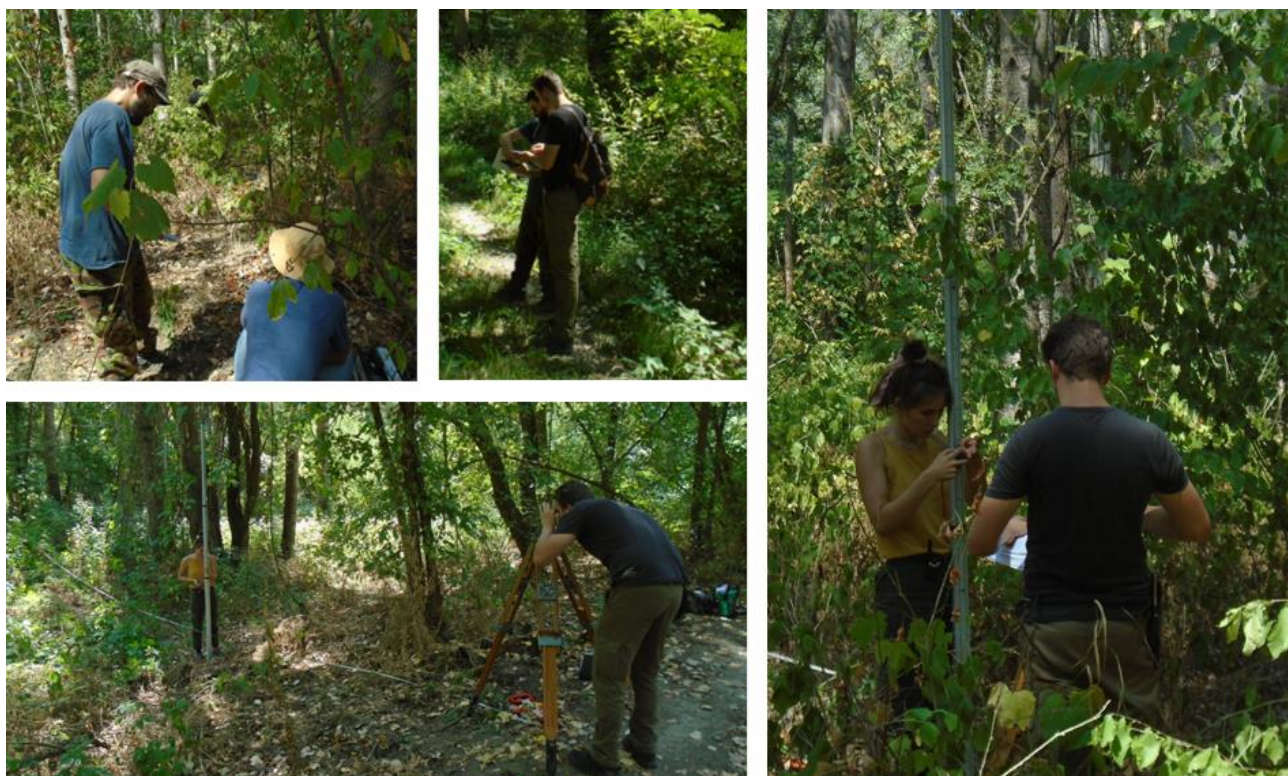
A méréseinket elsősorban a topográfiai valamint vízhelyzeti térképek és a terepbejárások alapján terveztük meg. A topográfiai térképen egy jellemzően nagy kontrasztú hosszanti árkokkal tarkított területet figyelhetünk meg, mely a többi topográfiai irányhoz mérten szokatlannak számít. A Pest megyéről készült vízhelyzeti térkép nyugati szélén látható a Nagy-sziget, melyen egy Fekete-ér nevű holtág van jelölve a már említett területen (14.ábra), valamint az összes térképen itt haladnak át az árkok, maradvány medrek, holtágak. Méréseinkkel azt kívántuk megvizsgálni, hogy a főbb topográfiai struktúrák és a felszín alatti ellenállások eloszlása között találunk-e kapcsolatot, valamint a mikrodomborzat összefügg-e a Nagy-sziget fejlődésével. Végezetül a felszín alatti közegek kőzetanyagára is becslést szeretnénk volna adni. Az alábbi területen (33.ábra) végeztünk geoelektromos méréseket, melyek elméleti háttérét a módszertan bekezdésben tárgyaltunk.



33.ábra: A kiválasztott mérési terület (piros körvonalon belül, zöldessárga)

Geoelektromos tomográfiát (ERT) és continuous wave elvű elektromágneses szelvényezést (CW-FEM) végeztünk ARES és CMD műszerekkel. Ezekkel a felszín alatti fajlagos ellenállásokat és fajlagos vezetőképességeket mértük.

A következőkben az ERT és EM mérések eredményeit mutatjuk be. Az ERT szelvényeken szintezéseket is végeztünk melyek mentén 150-270 cm közötti szintkülönbségek voltak. Ezek jól illettek a mikrodomborzatra, melyek a topográfiai térképen látszottak. A terület árkokra és magaslatokra tagolódik, nagyjából 2-3 m relieffel. Az ERT mérések során rendkívüli és hosszan tartó szárazság volt (augusztus közepe). Az EM mérések során viszont már csapadékos időszakra estek (november közepe). A mérést akadályozó tényezők egyike volt a hőség, emellett a sűrű növényzet is nehezített, mely főként cserjékből, csalánból, mérgesszömörceből, vadszőlőből, és fásszárú növényekből állt. Akadály volt még, hogy néhány nagyobb kidőlt farönk helyére esett volna egy-egy elektróda pozíció, így kissé néha eltértünk az iránytól, de nagyjából egyenes vonalat tudtunk tartani. Az EM mérések nehézségeit a telefonos GPS hátrányai, a csúszós növényzet és a rossz látási viszonyok nehezítették. Valamint a területen a mérés napján favágás zajlott, melynek okán nagy ívben kerülni kellett a munkagépeket.

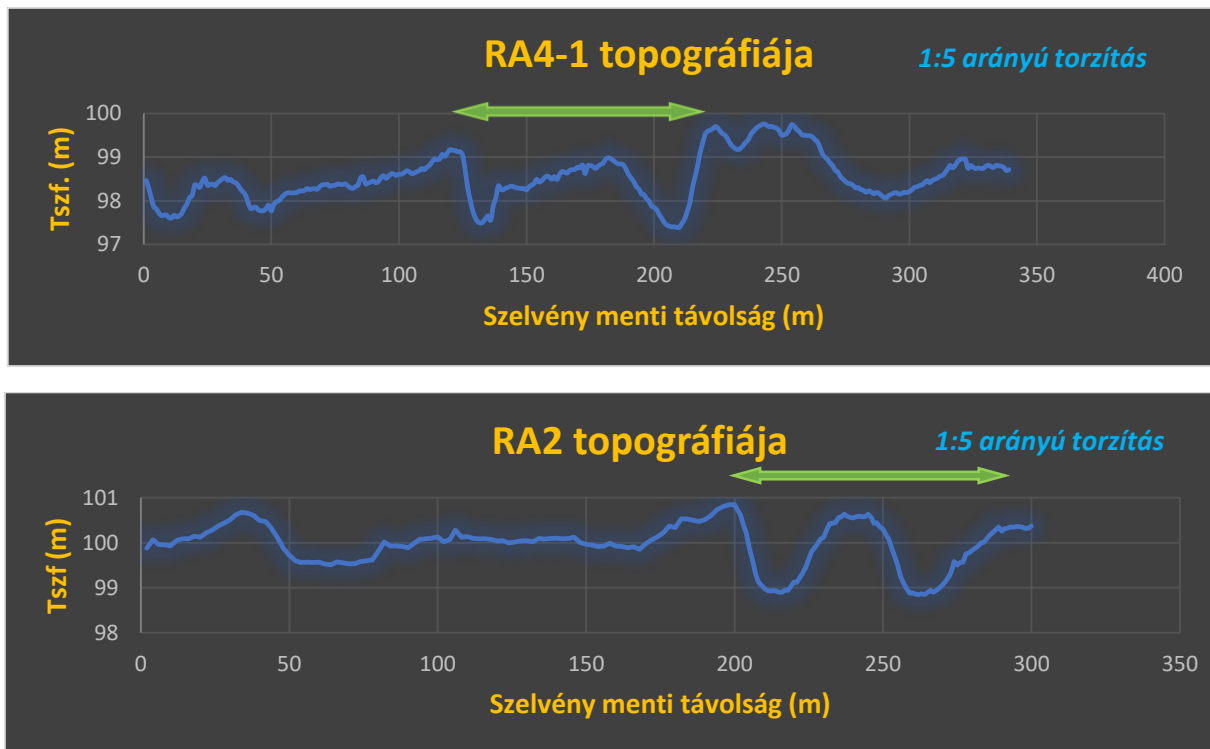


34.ábra: szintezés (alul) és ERT mérés a Nagy-szigeten (saját képek. Dr. Székely Balázs)

Méréseink során két ERT szelvényt mértünk, melyekre a későbbiekben RA4-1 és RA2 néven hivatkozunk. Az ELTE TTK Geofizikai és Űrtudományi Tanszék ARES műszerével mértünk. A RA4-1 szelvény két azonos nyomvonalú mérési eredményeiből lett egyesítve. Ezek 1 m-es és 4 m-es elektródaközzel lettek mérve, mely biztosította a jó felszín közeli (~8-10 m-ig) felbontást és a nagyobb behatolást. A RA2 mérés 2 m-es elektródaköze kompromisszumszerű választás volt, mivel ez a felbontás és behatolás elegendő ahhoz, hogy a RA4-1 szelvényen mért felszín alatti eloszlások folytatódását ellenőrizhessük. Ehhez szükséges volt, hogy a két szelvény párhuzamos legyen, távolságuk 155 méter. Az ERT méréseket Wenner-Schlumberger elrendezéssel végeztük. A mérési vonalon szintezést is végeztünk 1 m-es mérésközzel.

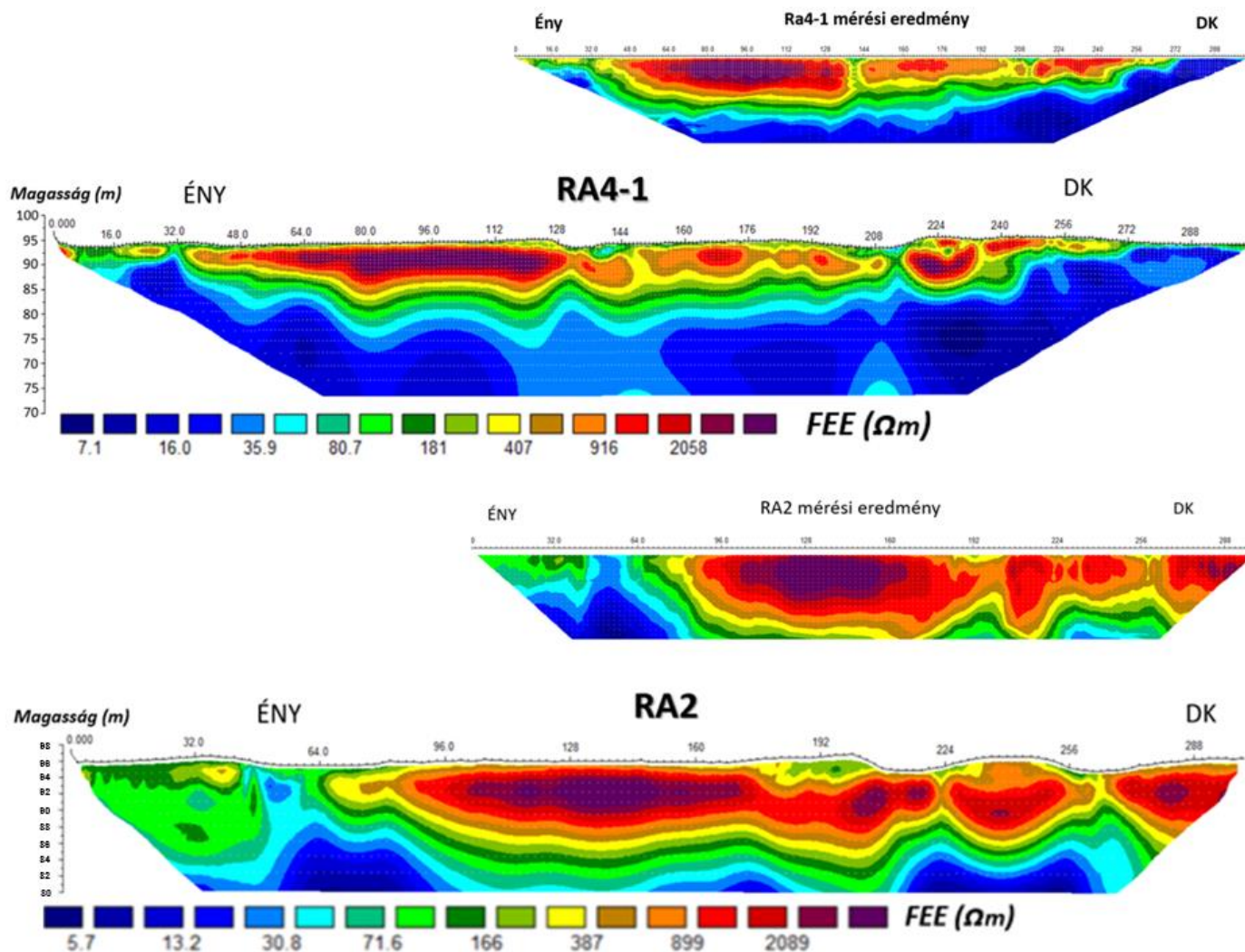
Szelvény	Hossz (m)	Irány	Elektróda táv (m)
RA4-1	303	ÉNY-DK	1 és 4
RA2	302	ÉNY-DK	2

35.ábra: ERT szelvények paraméterei



36.ábra: RA4-1 és RA2 szelvények szintezési eredményei 1:5 horizontális torzításban, zöld nyíl jelzi az azonos árokrendszert

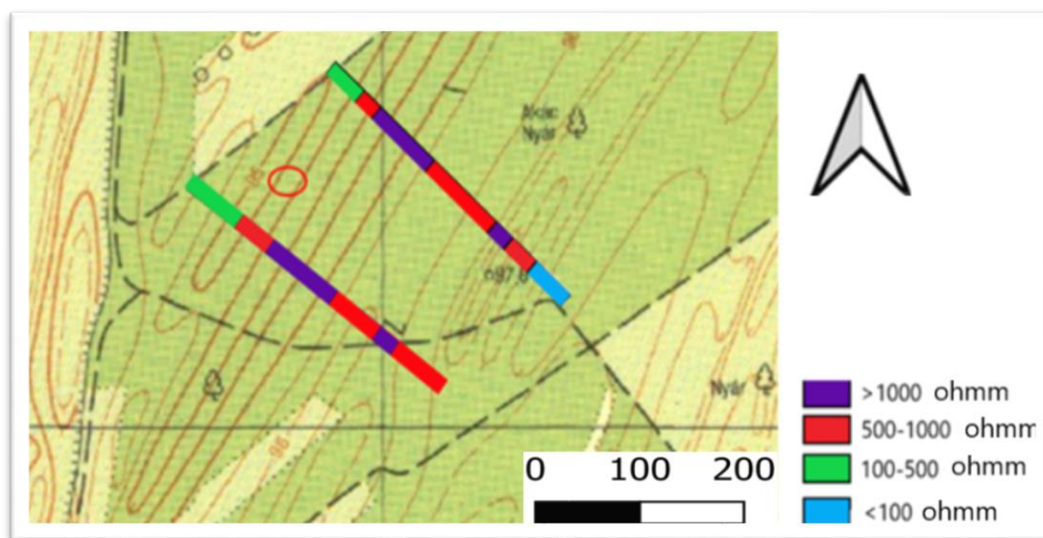
Megfigyelhető a szelvények mentén, hogy geometriailag a párhuzamoshoz képest el van csúsztatva a két szelvény egymáshoz viszonyítva. Ennek ellenére látszik a kettős árokrendszer a RA4-1 szelvényen 125-225 m között és a RA2 szelvényen 200-300 m között. A RA2 délebbre van és ott az árkok kimélyülnek nagyjából fél métert, valamint a két árok közti lapályos öv oldalai egyre meredekebbé válnak. Ezen kívül megfigyelhető, hogy a két árok a RA4-1 esetén 75 m távolságra vannak egymástól, míg a RA2 szelvényen már csak 50 m választja el őket. Ezt a két árok közötti magasság keskenyedése okozza, ugyanis a RA4-1 esetén 10 m szélesek az árkok, a RA2 esetén viszont már 20 m szélesek. Ezeket a strukturális változásokat a felszín alatti közegek is nyomon követik, ami az alábbi ábrán látható (37.ábra).



37.ábra: A RA4-1 és RA2 szelvények mérési eredményei (első, harmadik) és inverzióinak (második, negyedik) összehasonlítása. A piros nyíl jelzi az azonos árkot.

A két szelvény combined inverzióval lett feldolgozva, ahol a sarokpontok hatását csökkentettük. A RA4-1 szelvény esetében ez 7 iterációval 6,1% inverziós hibát kaptunk, ez teljesen jó közelítés. Ezzel 35 m-ig látunk be a felszín alá. A RA2 szelvény esetén 6 iteráció 2,4% hibát adott, ami szintén megfelelően jó, főként ilyen változékony ellenállású közegben. Ezzel 26 m mélyre látunk le. Részletesebben a RA4-1 szelvényt elemeztük, mivel jobb a felbontása, a RA2 egy jó viszonyítás, mellyel meggyőződhattünk arról, hogy ezek a struktúrák folytonosnak mondhatóak. Alapvetően látható, hogy a felszín alatti első méter kifejezetten változatos ellenállások tekintetében, de ez egy ártéri szigeten nem meglepő. Megfigyelhető továbbá, hogy a magaslatokon 4-5 méter vastag, nagy ellenállású (1500-2500 ohmm) tömeg van. A két árok között közepes ellenállások vannak (500-1000 ohmm néhol lokálisan akár 2000

ohmm is lehet). Ezen tömegek alatt egy 3-4 méter vastag átmeneti zóna van, ahol egységes ellenállás nem alakul ki.

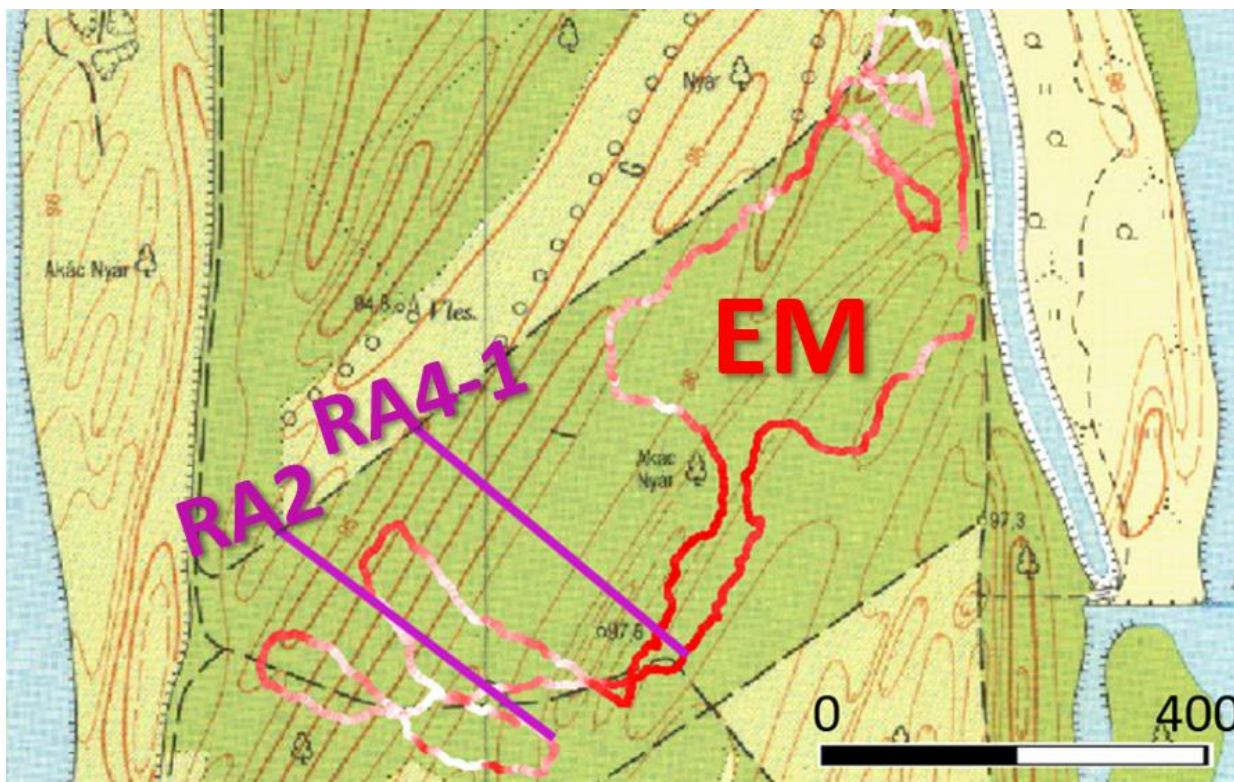


38.ábra: RA4-1 és RA2 szelvények ellenállásainak összehasonlítása a domborzattal, piros ellipszis: nádas. (saját szerkesztés)

Az ábrán zölddel jelölt közepes ellenállású területen egy ponton magasan lehet a talajvíz, vagy lokálisan magas víztartalmú közet-üledék jelenik meg. Ha összevetjük a szelvények ellenállásértékeit a domborzattal, akkor látszik, hogy az ÉNY-i végén közepes ellenállások uralkodnak, majd az első magaslatnál megközelítik az 1000 ohmm-t és ezután egy magasabb térszínen az nagy ellenállások jelentkezők, melyek az első árkot elérve vissza csökkennek 600-800 ohmm közé, majd a következő magaslaton szintén 2000 ohmm feletti ellenállások jelentkezők, és ezt ismét 500-800 ohmm közötti értékek váltják fel. A két szelvényen látszik is (RA4-1 → 32m-en, RA2 → 50m-en), hogy egy kis ellenállású közeg felszín közelébe tör fel. Az ábrán piros karika jelzi azt a területet, ahol EM mérés során nagyjából 10 m² ritkás, de nagyra nőtt nádat találtunk. Itt nem csak a mért ellenállások voltak alacsonyak, hanem a mért konduktivitás értékek is magasak voltak. Ez az úttól 35 méterre volt és a két szelvény között. Különbség még, hogy a két szelvény DK-i vége nagyon különböző ellenállású. Ami viszont meglepő, hogy a RA4-1 DK-i vége minden eddigéhez képest meglepően kicsi ellenállás-értékeket produkál. Ez egy nagy kiterjedésű lankás völgy területére esik.

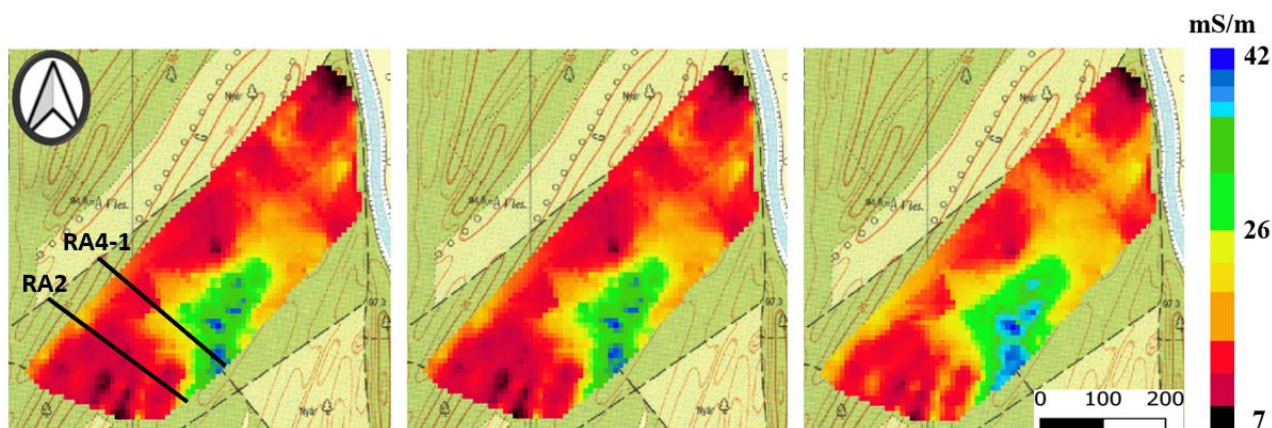
Méréseink során a fent említett mérési területre nyomvonalat állítottunk fel, mely az ERT szelvényeket is érinti a mérési értékek összekapcsolása miatt. Erre azért volt szükség, mert az ERT mérések augusztus közepén zajlottak nagy szárazságban. Az elektromágneses mérések

pedig november közepén hosszú csapadékos időszakban. A bejárt nyomvonalon gyűjtött adatokból interpolációval konduktivitási térképeket készítettünk a mérési területre.



39.ábra: ERT szelvények (lila) és a CMD nyomvonalon mért konduktivitás-értékek (fehér kicsi, piros nagy), (saját szerkesztés)

A nyomvonal ÉK-i részén más mintázatot adnak a mérések, de ott a domborzat is más. A RA4-1 szelvény DK-i végénél két egymás mellett futó nyomvonal részleten mértük a legnagyobb konduktivitás értékeket.



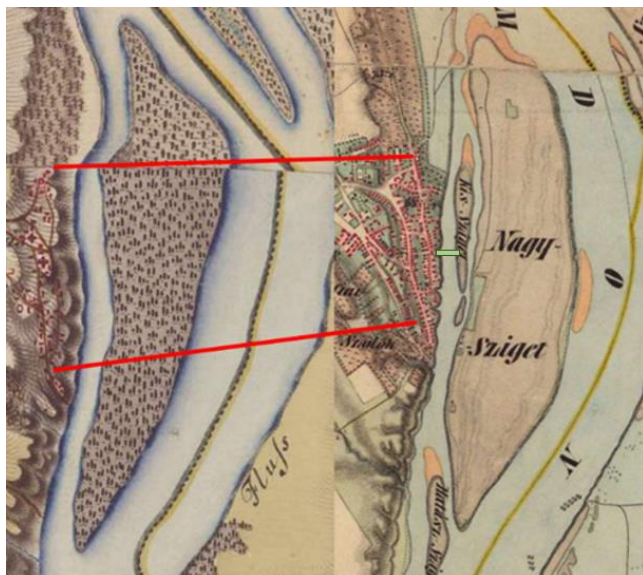
40.ábra: Az elsődleges vizsgálati területet lefedő konduktivitás-modell ~2 m mélységen (bal), ~4 m mélységen (közép), ~6 m mélységen (jobb) mért konduktivitás-értékeinek összefüggése az ERT szelvényekkel, (saját szerkesztés)

Látható, hogy az első kettő között szinte semmi változás nem történik, de a harmadik esetben a konduktivitás már több területen nagyobb értékeket vesz fel. Ez már a 5-6 méteres mélység, ahol az ellenállás elkezd drasztikusan csökkenni. Összesítve az értékek 4,96-36,12 mS/m között mozognak. Az EM méréseink eredményei validálják az ERT eredményeket.

Diszkusszió

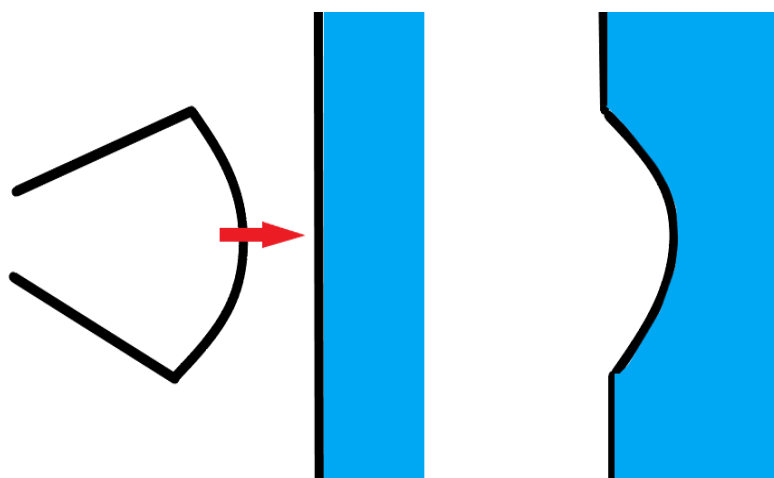
A következőkben az eddig felsorolt adatokat vetjük össze az eredményeinkkel. Az 1728-as legrégebbi térképünk egyértelműen jelzi számunkra, hogy ekkor már létezett egy jelentősebb méretű sziget, amelyet érdemesnek tartott rá a térkép készítője, hogy megrajzoljon, bár ezt a Csepel-sziget földrajzi térképének szánta. Jól megfigyelhető a sziget a ma is ismert jellegzetes alakja és a partvonalban a két jelentősebb kanyarulat. Ez továbbá azt jelentheti, hogy a sziget kora több ezer éves nagyságrendű. Ezt a feltételezést megerősíti egy 1839-ben keletkezett térkép (14.ábra, bal oldal), melyen a sziget ábrázolása sokkal pontosabb és nem lehelők fel rajta párhuzamművek, sem sarkantyúk, tehát a sziget még mindig természetesen fejlődött, s mérete látszólag nem változott. Valamint ha visszatekintünk a sziget növekedésének mértékére, akkor csak a folyószabályozás után kezdett el intenzíven növekedni. Előtte 110 év alatt 9%-al növekedett a területe, utána 110-130 év alatt 41%-os növekedést mutatnak az adataink. Ez első esetben 0,0218 ha/év, második esetben 1,4 ha/év növekedést jelent. Sajnos időben visszafelé haladva egyre kevésbé megbízhatóak a térképek geometriailag. Ha ezt a növekedési tendenciát akarjuk visszaszámolni, akkor is legalább 1000 éves lenne a sziget, de mint tudjuk, abszolút lineáris folyamat ritka a természetben. Emellett ha a növekedési görbét megfigyeljük (27.ábra), akkor látszik, hogy 1800-tól 1930-ig a görbe dőlése nagyjából $5 \cdot 10^{-4}$ [km²/év], ami 1870 környékén megnövekszik $1,2 \cdot 10^{-3}$ [km²/év]-re, utána pedig ismét ellaposodik a görbe. Ennek a kiugrásnak egyik oka lehet, hogy nem azonos vízállásnál térképeztek. Lehetséges az is, hogy egy üledékhozamot időszakosan megnövelő esemény játszódtott le, mely lehetett akár egy kulcsi csuszamlás. A görbe lapultsága tehát azt jelzi, hogy az 1800-as években a Nagy-sziget és Duna bontó-építő egyensúlya kezdett beállni. Ha a görbe meredeksége elkezd nőni, akkor az intenzívebben sziget épül, mint ahogyan azt láthatjuk a görbén 1950-2000 között. 2000 környékén figyelhetünk meg egy inflexiós pontot a görbén, mely után a görbe ismét kezd lesimulni. Azt gondoljuk, hogy 40-50 éven belül ismét $5 \cdot 10^{-4}$ [km²/év] alatti lesz a görbe meredeksége, azaz a Nagy-sziget növekedésének üteme jelentősen lecsökken.

Figyeljük meg az EKF és MKF rácalmási partvonalát. Ahogy már azt említettük az EKF-en a partvonal sima, és van egy partközeli szabdalt magaslat. A MKF-en ez a magaslat eltűnik és szabdalttá válik a part, még hozzá tartósan, mert HKF-en is látszik még (41.ábra).



41.ábra: Első katonai felmérés és második katonai felmérés összehasonlítása. Piros vonalak jelzik a feltételezett csuszamlás határait a két térképen, zöld vonal: medermetszet. Tízfasz sziget. (Szávost-Vass, 2021)

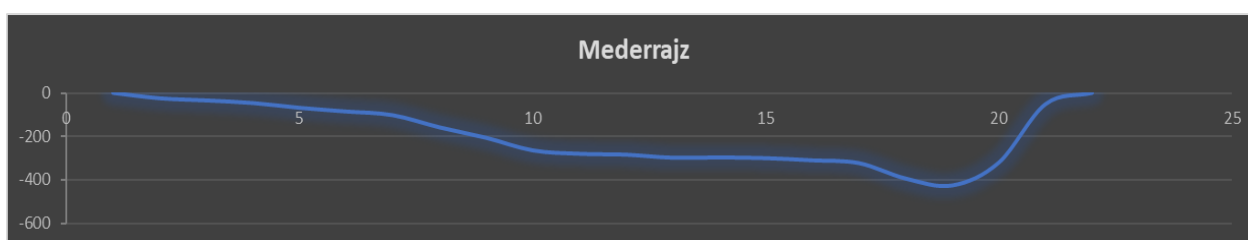
Elképzelhető, hogy a partmenti szabdalt magaslat belecsúszott a Dunába. A MKF-en látható szabdalt part mintái még össze is illenek viszonylag az EKF-en látható magaslat mintázatával. Alapvetően azt várnánk, hogy szétterülés történik a csuszamláskor, de mivel ezek legyező formájú tömegek így a közepük indul meg elsőként, ami húzza maga után a többi szélső tömegeit. Így megmaradhat a forma.



42.ábra: Legyező formájú testek csuszamlásának partmenti mintázata. Első fázis a csuszamlás, második a csuszamlott tömeg formája. (kék: víz), (saját szerkesztés)

Ezt persze később a Duna alakíthatja. Emellett a csuszamlás mellett szól az is, hogy azon a vonalon a rácalmási part felőli meder meglehetősen sekély. Valamint az EKF-en ott nem épültek házak feltehetően nem véletlenül.

Azt gondolhatjuk továbbá, hogy a Kis-sziget egy csuszamlási termék. Emellett szól, hogy meglehetősen hosszú és nagy kiterjedésű, valamint a feltételezett csuszamlási vonal mentén van. 50 év pedig meglehetősen kevés egy közel 1 km² nagyságú sziget kialakulásához. Ha úgy tekintjük, hogy megcsúszott a tömeg, akkor annak egy része a partnál rakódik le, a többi pedig egy csúszási síkon a Dunába, melynek a végén feltorlódik az üledék egy ponton és szigetként emelkedik ki. Ezt alátámasztja a területen mért meder keresztmetszet (41.ábra, zöld vonal).



43.ábra: Rácalmás-Kis-sziget mederviszonyai (2022), (39.ábra), (saját mérés és szerkesztés)

Két méterenként megmértük a medermélységet és a fenti tendenciát mutatta. A Nagy-szigethez hozzá olvadt Kis-sziget a térképek alapján úgy csatlakozott, hogy a kettő közötti átfolyás feltöltődött. Azt gondoljuk, hogy ez a Kis-sziget egy kicsit dél-keleti irányba is mozgott, ugyanis itt megtalálható a Tízfás-sziget. Ez a sziget maradványszigetnek látszik, nagyon meredek a partja és a környező zátonyokhoz képest 1,5-2m magas. A fenti csuszamlásokra közvetett bizonyíték, hogy a Magyarország Felszínmozgási Térképe alapján (2021) (8.ábra) itt 10-20 mm csúszás van évente, ezt helyi beszámolók is igazolták. Természetesen a csuszamlások ettől jóval gyorsabb és nagyobb mértékű folyamatok. Feltehetően a Halász-sziget ezen csuszamlás elhordott üledékeiből épült fel, legalábbis biztosan nagy szerepet játszott a kialakulásában. Emellett a patakok, erek, melyek a Dunába folynak, a deluviális völgyek mellett szintén üledéket juttatnak a Dunába melynek egy része itt halmozódhatott fel. A HKF-en ez két szigetre tagolódik. A felsoroltakhoz vegyük hozzá azt is, hogy három hídról biztosan tudunk, melyek a Nagy-sziget és Rácalmás között húzódtak, ebből ma már csak egy van. Ezek is hozzájárulnak az üledék felhalmozódásához, hiszen megváltoztatják lokálisan a folyó sebességét. Illetve amikor ezek épültek valószínűleg leszűkítették vagy elterelték a Kis-Dunát időszakosan. Ezek egy része később a Nagy-szigethez csatlakozik. Tehát ezek mind szerepet játszanak a Nagy-sziget fejlődésében. 1885-ben megépült az első párhuzammű, de ez előtt már

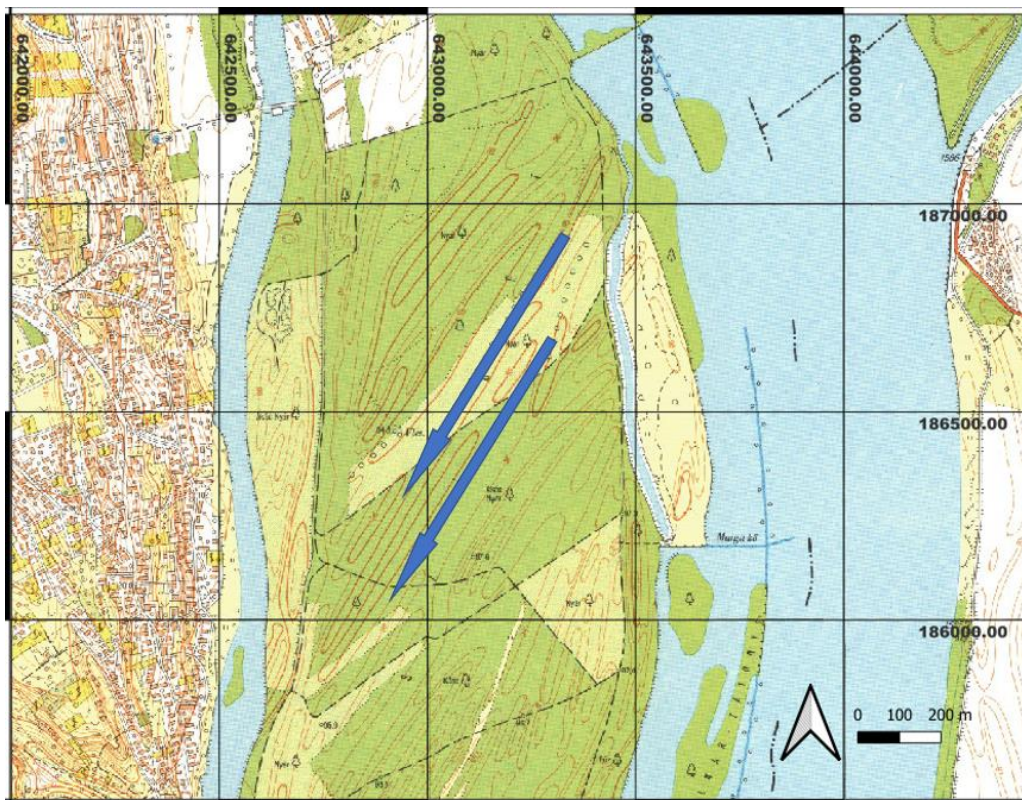
a déli kulcsi partokon is voltak párhuzamművek. Innentől nevezzük a sziget fejlődését mesterséges növekedésnek. Ez előtt azonban több csuszamlási esemény is történt a kulcsi területeken. Ezek a csuszamlások folyamatosak és nagymértékűek, ugyanis a kulcsi partokon gyakran találni löszbabát. Amiről tudjuk, hogy a vastagabb löszrétegek alján képződik. Csak úgy kerülhetett a felszínre, ha több nagymértékű suvadás történt a térségben. Emellett az utóbbi 20 évben is legalább 4 komolyabb eset volt Kulcson. Ha megfigyeljük a Nagy-sziget északi csücskét, akkor azt látjuk, hogy folyamatosan épül, méghozzá gyors léptekben (26.ábra). Ennek egyik fő okát a kulcsi csuszamlásokban látjuk, melyek során nagy mennyiségű üledék kerül a Dunába. Tudjuk még azt is, hogy a Nagy-sziget déli része mellett az Egyfás-sziget környezetében szintén fordul elő löszbaba, de kismértékben. Ez akár Rácalmásról is származhatna, ugyanakkor a keleti parton is találtunk már, ami semmiképp nem származhat Rácalmásról.



44.ábra: Struktúramentes terület (piros), (saját szerkesztés)

A szigetet domborzati szempontból is elemeztük. Látható, hogy a domborzati trendek medreket és övzatonys struktúrákat mutatnak, kivéve a Nagy-sziget északi részét, mely a legmagasabb és nem tartalmaz struktúrákat. Ez utóbbiról gondolhatjuk, hogy a sziget egyik legidősebb része. De ha többi területre koncentrálunk, akkor feltehetően ezek az árkok egykori átfolyások medrei. Erre a legjobb érv a Fekete-ér, mely a térképen is vízjárta. Hogy ennél többet tudjunk, nézzük

meg a méréseinket. Az árkok közti magaslatokon 4-5 méter vastag, nagy ellenállású tömeg feltehetőleg száraz kavics, sóder. A két árok között közepes ellenállások vannak, ami eltehetően szintén lehet kavics, csak nedves kavics, illetve lehet agyagliszt és nedves kavics, folyami homok összlete is. Ezen tömegek alatt egy 3-4 méter vastag átmeneti zóna van, ahol egységes ellenállás nem alakul ki. Viszont lehetséges, hogy itt egy vékony agyagréteg húzódhat nagyjából 10-15 méter mélyen. Ha ez létezik, akkor ez a fentiek fekéje, melyet 150 ohmm környékére becsülünk és feltételezhető, hogy alatta egy vastag vizes agyagréteg húzódik, illetve ez lehetővé tenné a talajvíz magyarázatát is, hiszen elzárná a sódertől a vizet, így az ottani kiugróan magas ellenállásoknak lenne értelme. Emellett szól az is, hogy a mérésekkor nagy szárazság volt, ez produkálhatta a felsőbb rétegek nagy ellenállását. Illetve a novemberi méréseink során nedves körülmények között a mért konduktivitás nem mutat akkora kontrasztot, mint az ellenállás augusztusban, ahogyan azt vártuk is. Az SZTFH adatai szerint itt 8-10 m mélyen jellemző a talajvíz. A sziget kőzetösszetételi dinamikája alapján ez feltehetően lokális pontokra igaz, melyet láthatunk is a RA4-1 szelvény jobb oldali részén. Ezek az adatok feltehetően a sziget északi részén levő kutak fúrásából származnak. Ezek már mind betemetődtek. Ugyanakkor az is lehetséges, hogy itt talajvíz helyett egyszerűen vizes agyag van. Kijelenthetjük, hogy a vizsgált területen a magaslatok nagy ellenállásokat tartalmaznak, míg az árkok ezeknek a felét vagy még kisebb értékeket. A szelvények között az úttól nem messze egy nádas van az erdőben egy árokban. Ez a pont egybe esik a kis ellenállású feltöréssel. Az ERT szelvények DK-i végének alacsony ellenállása magyarázható a domborzati változásokkal, ha elfogadjuk az előbbieken említett kapcsolatot a domborzat és ellenállás között. Ez csak lokálisan igaz természetesen. Az EM mérések eredményei a nyomvonalon nagyon jól tükrözik az árkok és magaslatok konduktivitási és ellenállási dinamikáját. Jobban megvizsgálva a nyomvonalat itt is az a tapasztalat, hogy a magaslatokon kisebb a konduktivitás és az árkokban nagyobb. Ez jó visszajelzést ad arra, hogy az ott mért alacsony ellenállások helyesek. Regionálisan vizsgálva interpolálás után kapott modellünk erre a területre megfelelő eredményt ad, ha figyelembe vesszük az eddigi tapasztalatainkat a domborzat-ellenállás/konduktivitás lokális kapcsolatáról és a mért értékeket. A DNY-i részen az interpolált mintázat jól követi a domborzatot. Valamint a magas konduktivitási értékek egybeesnek azzal a területtel, ahol az ERT alacsony ellenállásokat mért. Levonhatjuk tehát a következtetést, hogy a felszín alatti kőzetek hasonló trendet mutatnak, mint a domborzat. Kisebb anomáliák vannak, mint a feltörő kis ellenállású közegek. Ezek pontos kőzetösszetételét természetesen mintavétel nélkül nem tudjuk meg, de becsülni tudunk és, ha igazunk van, akkor ez nagyon jelentős bizonyíték arra, hogy az alábbi területen hosszan elterülő árkok voltak.



45.ábra: feltételezett egykori Duna-ágak és folyási irányuk (kék nyilak), (saját szerkesztés)

Ebből következne, hogy ezek az árkok idősebbek lehetnek a Fekete-érnél hiszen az csupán egy holtágként van jelölve. A feltételezést, hogy ezek az árkok maradványmedrek validnak tartjuk ezen adatok alapján. Ugyanakkor 1838-ban volt a nagy pesti árvíz, melyről ugyan keveset tudunk erre a térségre vonatkozóan, de annyi biztos, hogy a Ráckevei-Soroksári Duna-ágban is hatalmas mennyiségű víz folyt keresztül. Mivel ezen Duna-ág torkolati iránya megegyezik az árokrendszerek irányával, valamint egy vonalba is esnek, nem zárható ki, hogy az árvíz formálta őket. De a keletkezésük és kapcsolatuk a sziget fejlődésével ettől függetlenül nem tisztázott, további méréseket tervezünk végezni, hogy ezeket megállapítsuk.

Konklúzió

Most kiemeljük a kutatásunk során levont konklúziókat.

- Az archív térképeink elemzése alapján megállapítható, hogy a rácalmási Nagy-sziget növekszik és ennek a növekedésnek két stádiuma volt az elmúlt 300 évben (26-27.ábra). A folyószabályozás előtti és utáni szakasz, mely utóbbiról elmondható, hogy sokkalta intenzívebb fejlődést produkált mint előtte. Ezekből visszszámolva megállapítottuk, hogy a sziget kora minimum néhány 1000 éves.

- A Nagy-szigetnek vannak jellemző domborzati struktúrái, melyek alapján 5 régió különíthető el (29.ábra).
- A térképek és geoelektromos mérések alapján bebizonyosodott, hogy maradványmedrek húzódnak a Nagy-sziget területén.
- Geoelektromos vizsgálataink alapján tudjuk, hogy a domborzat és a felszín alatti közegek eloszlása között összefüggés van. A magaslatok alatt nagy ellenállású kőzetek, míg az árkokban kisebb ellenállású kőzetek foglalnak helyet. Ezek alatt pedig egy nagyon kicsi ellenállású fekü van.
- A növényzet váltakozása követi a domborzati struktúrákat.
- Csuszamlási üledékek is építik a szigetet.

A következőkben pedig az általunk felállított forgatókönyveket mutatjuk be:

- 1.) A mai Nagy-sziget közepén ÉK-DNY irányú átfolyások választották ketté a szigetet, melyek közül a déli rész fiatalabb. Így eredetileg két sziget volt, melyek később feltöltődés miatt összeforrtak. (46.ábra baloldal)
- 2.) A Nagy-sziget déli oldala övzátonyos szerkezetekkel épült fel, melynek legidősebb alkotói az említett átfolyások. (46.ábra jobboldal)
- 3.) A Nagy-sziget komplex csuszamlási folyamatok és mederáthelyeződés eredménye, melyen az átfolyásokat hirtelen nagy erejű árvizek alakították.
- 4.) A Nagy-sziget közel hagyományos szigetfejlődéssel épült, némi csuszamlásos komponenssel. Valamint a Nagy-sziget közepén feltűnő maradványmedreket áradások kotorták ki, melyek rövidesen holtágak lettek, majd feltöltődtek, és nincs komolyabb kapcsolatuk a Nagy-sziget fejlődésével.



46. ábra: Két sziget összeforrása balra és övzátonyos szigetfejlődés jobbra.

Kitekintés

Ahhoz, hogy ki tudjuk választani a lehetséges forgatókönyvet további méréseket tervezünk végezni. ERT méréseket a sziget északi pontján és a meglévő ERT szelvények folytatását is tervezzük, valamint K-NY irányú szelvényt is szeretnénk az egykori Kis-sziget területén. Ez azért fontos, mert így megtudjuk, hogy a sziget északi növekedésében mennyire játszottak szerepet a kulcsi csuszamlások. Valamint a jelen mérési területen kívülről is tudunk földtani információkat gyűjteni, emellett a kis sziget csuszamlási eredetére is fény derül.

CW-FEM elektromágneses méréseket szintén tervezünk a Nagy-sziget folyószabályozás előtti területein, lokálisan besűrítve. Így a sziget teljes folyószabályozás előtti területére fel tudunk állítani egy konduktivitási térképet a felső 6 m-re vonatkozóan. Ez helyenként a mérési sűrítés miatt jobb felbontást ad. Ezeket a sűrűbben mérendő területeket előzetes információk és mérések alapján választottuk és választjuk ki.

A fentiek mind azért fontosak, hogy teljes képet kapjunk a sziget felső rétegeinek rétegzettségéről, valamint lokálisan nagyobb mélységekből is legyenek információink. Ezután drónfelvételek segítségével centiméteres pontosságú domborzatmodellt készítünk a sziget egészéről. Ezt a felszín alatt mért adatokkal párosítva azt várjuk, hogy a különböző rétegek egymásra településéből akár a több ezer évig vissza tudjuk vezetni és 3D-ban lemodellezni a sziget fejlődését. Mivel ez a modell korban igen csak relatív lenne, ezért dendrokronológiai vizsgálatokat tervezünk a sziget több pontjáról gyűjtött mintákkal, valamint az eddigi és majd a fentiekből gyűjtött adatok alapján 2-3 helyről vett mintán is ^{14}C vizsgálatot tervezünk végezni. Ezzel időben sokkal pontosabban el tudjuk helyezni a felszín alatti formációkat és rétegeket. Valamint, ha az RSD torkolatából és a Nagy-sziget maradványmedreiből vett mintákra ^{14}C vizsgálatot végzünk, akkor el tudjuk dönteni, hogy valóban van-e összefüggés a maradványmedrek és az árvizek között. Ezen mérések eredményei után már nagyon részletesen le tudjuk modellezni a Nagy-sziget fejlődését.

Köszönetnyilvánítás

Ez a pályamunka nem készülhetett volna el kollegáink, barátaink és mások segítségével nélkül, ezért ezúton is szeretnénk köszönetünket nyilvánítani témavezetőinknek, dr. Székely Balázs és dr. Visnovitz Ferenc, akik sok időt áldoztak szabadidejükből, segítettek a mérések elvégzésében, gépjárművet biztosítottak és sok hasznos tanáccsal láttak el munkánk során, valamint azon kollegáinknak, akik segítettek a mérések során, név szerint Mátis Áhim és Tokodi Mátyás! Köszönjük az ELTE Geofizikai és Űrtudományi Tanszékének, hogy műszerük

biztosításával hozzájárultak munkánk elvégzéséhez! Külön köszönjük dr. Tóth Tamásnak, a GEOMEGA Kft-től, hogy műszerüket rendelkezésünkre bocsátották, így a kutatásunk szempontjából perdöntő méréseket tudtunk végezni! Köszönjük családjaink támogatását, és végezetül köszönjük a Természetvédelmi Hivatalnak és VADEX Zrt-nek, hogy engedélyükkel hozzájárultak ezen tanulmány létrejöttéhez!

Irodalomjegyzék

A harmadik katonai felmérés. 1869-1887. 1:75 000. Österreichisch-Ungarischen Monarchie.

Arcanum, <https://maps.arcanum.com/hu/map/thirdsurvey75000/?layers=43&bbox=2104338.2790849567%2C5942711.668703989%2C2118412.2469179644%2C5947880.722741774>

A második katonai felmérés. A Magyar Királyság és a Temesi Bánság nagyfelbontású, színes

térképei. Arcanum, Budapest, 2005. <https://maps.arcanum.com/hu/map/secondsurvey-hungary/?bbox=2096435.007190858%2C5940613.971590914%2C2124582.9428568743%2C5950952.079666484&map-list=1&layers=5>

Az első katonai felmérés. A Magyar Királyság teljes területe 965 nagyfelbontású, színes térképszelvényen. Arcanum, Budapest, 2004. Arcanum, <https://maps.arcanum.com/hu/map/firstsurveyhungary/?layers=147&bbox=2103590.1804461353%2C5943135.0221966235%2C2117664.148279143%2C5948304.076234409>

Csepel sziget átnézeti térképe (sz.n.), M 1:37500, S_80_-_Nyomtatott_térképek._No._35/1-3.,

19. sz., Arcanum <https://maps.hungaricana.hu/en/MOLTerkeptar/29302/?list=eyJxdWVyeSI6ICJjc2VwZWwifQ>

BALOGH János, VICZIÁN István, KIS Éva, PRÁCSEK Ernő, PRODÁN Tímea, VARGA György, SZEBERÉNYI József (2014): Kulcs–Rácalmás dunai magaspártjának mérnökgeomorfológiája és partfalvédelme. in KÓRÓDI Tibor, SANSUMNÉ MOLNÁR Judit, SISKÁNÉ SZILASI Beáta, DOBOS Endre (szerk): VII. Magyar Földrajzi Konferencia kiadványa, Miskolci Egyetem Földrajz–Geoinformatika Intézet, Miskolc, 2014, pp.71-81.

CSONTOS, L., VÖRÖS, A. (2004): Mesozoic plate tectonic reconstruction of the Carpathian region. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* **210**(1):1-56. DOI: 10.1016/j.palaeo.2004.02.033.

- FODOR Tamásné, HORVÁTH Zsolt, SCHEUER Gyula, SCHWEITZER Ferenc (1983): A Rácalmás-kulcsi magaspartok mérnökgeológiai térképezése. *Földtani Közlöny* **113**:313–332.
- GRENERCZY, Gyula, FARKAS, Péter, FREY, Sándor (2021): Ground motion map of Hungary. (Magyarország felszínmozgása 2014-2021). Geo-Sentinel, DOI: 10.5281/zenodo.4108589
- Királyi Dunamérési Intézet (1839): Vízhelyzeti térképe a' Dunának és árjainak tekintetes nemes Pest vármegyében 's a' nems Kis Kunsági kerületben melly a' nagyméltóságu m: k: Helytartótanács 1838 dik évi 39996 szám alatt költ kegyelmes rendeletéhez képest, az eredeti térképekből 1" = 300° mértékben a' m. k. építési Főigazgatóság felügyelése alatt ns Pest vármegye számára lemásoltatott 1839. esztendőben (1 : 21600), PML XV. 6. (PMT) 18/5, 1839. Arcanum, <https://maps.hungaricana.hu/en/MegyeiTerkepek/2413/>
- Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (2006): Hajózási térkép (39-40, Budapest, <http://www.siralyhe.gportal.hu/picview.php?prt=548113&gid=2255607&index=8>
- Magyar Királyi Állami Térképészet (1914): Dunaadony és Kunszentmiklós (szelvényszám: 5162.) (1:75000), BéML XV 1 d 55, 1914. Arcanum, <https://maps.hungaricana.hu/en/MegyeiTerkepek/386/?list=eyJxdWVyeSI6ICJkdW5hYWVrbnkifQ>
- Magyar Királyi Állami Térképészet (1934), Soroksári Duna-ág. 58,275 km. Vízisporttérképek: 11. sz. (1:25 000), B XV b 310, 1933–34. Arcanum, <https://maps.hungaricana.hu/en/HTITerkeptar/33753/?list=eyJxdWVyeSI6ICJISUVSPShIVEllaWVYyXJjaHktMzAwKSJ9>
- Országos Vízépítészeti és Talajjavító Hivatal (1894): Az országos vízépítészeti és talajjavító hivatal előterjesztése a Közép-Duna szabályozása tárgyában. V. A tervezett munkálatok részletes ismertetése. Budapesti Folyammérnöki Hivatal. A ráczalmás-dunaföldvári folyamszakasz. *Vízügyi Közlemények* **8**:62-64 és III.6. Arcanum, https://library.hungaricana.hu/hu/view/VizugyiKozlemenyek_1894_08/?pg=152&layout=s
- PETHŐ Gábor, VASS Péter (2009): VI. Mesterséges áramterű geoelektromos módszerek. in PETHŐ Gábor, VASS Péter: *Geofizika alapjai*, Miskolci Egyetem. Miskolc. http://www.geofizika.uni-miskolc.hu/Oktatok/vass/Geof07_geoelektromos.pdf
- ROSENFELT, Z. I. (1728): Mappa Geographica über die Grosse insul Csepeliense dem durchleüchtigsten: Fürsten und herrn Eugenio Princer von Savoyen und Piemont der Rom: Kays: und Chatal: Königl: Ma'estät, General Lieutnand zu gnädigster Observanz

- unwirtigst vorstehte so neyest observirt und das alte Corgirt Anno 1728 (1:64 000), B IX a 674/7, 1728. , Arcanum, <https://maps.hungaricana.hu/en/HTITerkeptar/581/?list=eyJxdWVyeSI6ICJjc2VwZWwifQ>
- SZÁVOSZT-VASS Dániel: Haldokló gyümölcsösök szigete Rácalmáson. *Dunai szigetek blog*, (2015. jan.12.), <https://dunaiszigetek.blogspot.com/2015/01/haldoklo-gyumolcsosok-szigete-racalmason.html> (hozzáférés: 2022. november 5.)
- SZÁVOSZT-VASS Dániel: Élet a Rácalmási-szigeten. *Dunai szigetek blog*, (2020. jún. 19.), <https://dunaiszigetek.blogspot.com/2020/06/elet-racalmasi-szigeten.html> (hozzáférés: 2022. november 5.)
- SZÁVOSZT-VASS Dániel: Lenullázott Tízfas-sziget. *Dunai szigetek blog*, (2021. jan.25.), <https://dunaiszigetek.blogspot.com/2021/01/lenullazott-tizfas-sziget.html> (hozzáférés: 2022. november 5.)
- STILLER ÁKOS (2011): A HULLÁM UTCA HULLÁMAI. IN SZEGŐ ISTVÁN MIKLÓS (SZERK): HELYSZÍNI RIPIRT KULCSRÓL, AHOL FÖLDCSUSZAMLÁS ÉS BELVÍZ EGYSZERRE OKOZ GONDOT, (2011. FEBRUÁR. 15.), HVG.HU, [HTTPS://HVG.HU/ITTHON/20110215_KULCS_OMLAS_HAZ_PARTFAL_DUNA](https://hvg.hu/ITTHON/20110215_KULCS_OMLAS_HAZ_PARTFAL_DUNA) (HOZZÁFÉRÉS: 2022. NOVEMBER 5.)
- TIMÁR, G., MOLNÁR, G., SZÉKELY, B., BISZAK, S., VARGA, J., JANKÓ, A. (2006): THE MAP SHEETS OF THE SECOND MILITARY SURVEY AND THEIR GEOREFERENCED VERSION. ARCANUM, BUDAPEST, 59 P.
- ZSÁK HUGO (1909), A CSEPEL SZIGET ÁTNÉZETI HELYSZÍNRAJZA (1:75 000), K 184 1909-18-20992, 1909. ARCANUM, <https://maps.hungaricana.hu/en/MOLTerkeptar/34945/?list=eyJxdWVyeSI6ICJjc2VwZWwifQ>