

SZAKDOLGOZAT

Nagy Luca

2025



Magyar Agrár - és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Környezettudományi Intézet

környezetmérnök alapképzési szak

**A Duna hullámtéri vízpótló rendszerén elhelyezkedő Ásványi
torkolati műtárgy hatásai a vízpótló rendszerre műholdas
távérzékelés alapján**

Belső konzulens: dr. Grósz János
egyetemi adjunktus

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Környezettudományi Intézet
Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszék

Készítette: Nagy Luca

Gödöllő

2025

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés.....	2
2.	Szakirodalmi áttekintés	4
	2.1 A vizsgált terület	4
	2.1.1 A Szigetköz bemutatása	4
	2.1.2 A Szigetköz kialakulása	6
	2.1.3 Geológiai jellemzők	8
	2.1.4 A terület vízrajza	9
	2.1.5 Klimatikus viszonyok.....	11
	2.1.6 Flóra és fauna	12
	2.1.7 A Szigetköz vízgazdálkodása az elterelés előtt.....	13
	2.1.8 A Duna elterelése – A Bős-Nagymaros beruházás	15
	2.1.9 Ökológiai kockázat.....	17
	2.1.10 A Szigetköz rehabilitációja	18
	2.1.11 Alsó - Szigetköz kérdése - az Ásványi torkolati fenékküszöb	19
	2.2 A távérzékelés	22
	2.2.1 Általános bemutatás	22
	2.2.2 Történelmi háttér	23
	2.2.3 A távérzékelés elméleti alapjai.....	24
	2.2.4 Térinformatikai rendszerek	26
	2.2.5 A távérzékelés és a GIS alkalmazása a vízgazdálkodásban	26
3.	Anyag és módszer	28
	3.1 A vizsgálati terület leírása	28
	3.2 Adatgyűjtés és a műholdadatok.....	28
	3.3 Adatfeldolgozás.....	30
	3.3.1 Szoftver	30
	3.3.2 Adatok előkészítése.....	30
	3.3.3 Normalizált különbség vízindex (NDWI) számítás	32
	3.3.4 Területszámítás.....	33
4.	Eredmények.....	35
	4.1 A vizsgálati időszak kiválasztása	35
	4.2 Az NDWI-indexek általános jellemzése	35
	4.3 A vízfelszín-változások az egyes években	36
	4.4 Az évenkénti változások lehetséges okai	39
	4.4.1 Az éghajlat.....	39
	4.4.2 Az éghajlatváltozás hatása	40
	4.4.3 A Duna vízhozama és vízjárása	41
	4.4.4 Vízsabályozási beavatkozások	41
	4.4.5 A területhasználat	42
	4.4.6 Összegzés	43
	4.5 A fenékküszöb megépítésének környezeti és ökológiai hatásai.....	44
	4.6 A beavatkozás gazdasági és turisztikai hatása a térségben	45
5.	Következtetések és javaslatok.....	47
6.	Összefoglalás.....	49
7.	Irodalomjegyzék.....	51
8.	Táblázatok és ábrák jegyzéke.....	55
9.	Függelék	56

1. Bevezetés

A Szigetköz Magyarország egyik legkülönlegesebb vízrajzi adottságokkal rendelkező tájegysége, amely az országba a Rajkánál belépő Duna első szakaszán helyezkedik el. Területét a Duna főága és a Mosoni-Duna határolja, melyeket mellék- és holtágrendszerek, morotvák és az árterek változatos rendszere köt össze egymással (Kun et al., 2016). A Szigetköz rendkívül fontos térség hidrológiai és ökológia szempontokból is, hiszen az itt található mellékágrendszerek gazdag élővilágot tartanak fenn, illetve kiemelt jelentőségű és kiváló minőségű felszín alatti vízkészlettel rendelkezik (Chappon et al., 2024).

A terület vízrendszere nagymértékű átalakuláson ment keresztül az 1990-es évek elején üzembe helyezett bósi vízlépcsőnek köszönhetően. Az üzemvízcsatorna megépítése és a Duna elterelése óriási vízhiányt, a mellékágrendszerek kiszáradását eredményezte, ami ökológiai katasztrófához vezetett (Trásy et al., 2024). A kedvezőtlen hatások orvoslása érdekében rehabilitációs beavatkozások zajlottak, fenékküszöbök épültek, amelyek célja a víz visszaduzzasztása és ezzel egy viszonylag állandó vízszint megtartása az ágrendszerekben. Ilyen beavatkozás keretein belül épült meg az Ásványi torkolati műtárgy is, amely az Alsó–Szigetköz egyik legfontosabb vízpótló eleme (Jakus et al., 2024). Működése közvetlenül befolyásolja a mellékágrendszerek vízfelszín–borítottságát, amely a felszíni víztestek kiterjedését mutatja egy adott időpontban. Ez jelzi a vízvisszatartás, a vízpótlás és az emberi beavatkozások hatásait, vagyis a hidrológiai állapot egyik fontos mutatója.

Napjainkban a műholdas távérzékelés egy megbízható módszert kínál a vízfelszín időbeli változásainak nyomon követésére. A Landsat 8 OLI műhold adatai, valamint a Normalized Difference Water Index (NDWI) számítása segítik a vízborítás pontos meghatározását (McFeeters, 1996). Emellett a QGIS szoftver egy kiváló eszköz az adatok egyszerű feldolgozására, az egyes modellek kiszámítására és a térbeli elemzésre (Nagy és Zichar, 2010).

Dolgozatom fő célkitűzése annak bizonyítása a távérzékelés segítségével, hogy az Alsó–Szigetköz rehabilitációs beavatkozásai, különösen az Ásványi torkolati fenékküszöb megépítése, hatással voltak a hullámtéri vízpótló rendszer vízfelszín–borítottságára.

Az alábbiakban a kutatás további mellékcélkitűzéseit fogalmazom meg:

- egy többéves időszakra vonatkozó műholdas adatbázis létrehozása
- az NDWI alkalmazhatóságának igazolása a vízfelszín-változás vizsgálata során

- a Landsat 8 és a QGIS program használatának ismertetése a távérzékelés alapú hidrológiai vizsgálatokban

A kutatás eredményei hozzájárulhatnak a Szigetköz vízrendszerének megértéséhez, és hasznos információval szolgálhatnak a jövőbeli vízgazdálkodási és természetvédelmi döntések becsléséhez.

2. Szakirodalmi áttekintés

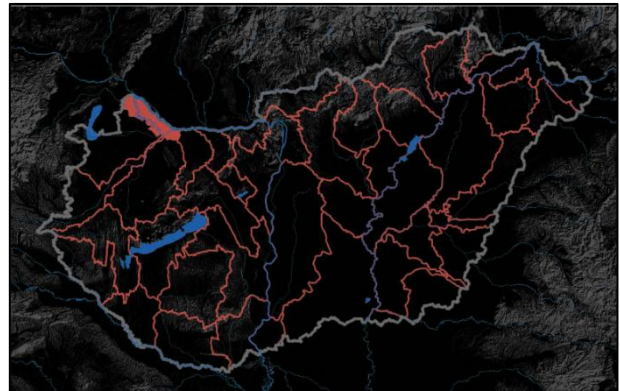
2.1 A vizsgált terület

2.1.1 A Szigetköz bemutatása

A Szigetköz Magyarország északnyugati szegletében, a Nyugat-dunántúli régióhoz tartozó Győr-Moson-Sopron vármegyében található. Hazánk egyik kevésbé ismert területe, annak ellenére, hogy Európa második leghosszabb folyójának, Németország területén, a Fekete-erdőben eredő Dunának folyami szigete (Miksó, 2008). A Kisalföldnek, mint nagytájnak, ezen belül a Győri-medencének, mint középtájnak a kistáj csoportjába tartozik.

A Kisalföld közepén fekszik, a Nagy-Duna (Öreg-Dunának is nevezik) és a Mosoni-Duna által közrefogott területen. A Szigetköz elhelyezkedését az 1. ábra szemlélteti.

1. ábra: Szigetköz területe
(Forrás: ÉDUVIZIG, 2020)



A térséget „az ezer sziget országaként” emlegetik, hiszen szerteágazó ágrendszer apró szigetekre osztja az alapvetően 52 km hosszú, átlagosan 6 - 8 km széles, 375 km² -en elterülő tájat (Göcsei, 1979). Tengerszint feletti magassága 110 - 125 m között változik. Eltérő lejtési viszonyainak köszönhetően két kistájrészletre, Felső - és Alsó - Szigetközre bontható tovább. E kettő között pontos természetföldrajzi határ nem húzható, azonban a két részre tagolódást az itt található települések közigazgatási határaihoz igazították. Ez alapján csoportosítva a Felső - Szigetközhöz (tszf. magassága 115 - 125 mBf) a következő községek tartoznak: Darnózseli, Dunakiliti, Dunaremete, Dunasziget, Feketeerdő, Halászi, Hédervár, Kimle, Kisbodak, Lipót, Máriakálnok, Püski. Míg az Alsó - Szigetköz (tszf. magassága 110 - 115 mBf) az alábbi településeket foglalja magába: Ásványráró, Dunaszeg, Dunaszentpál, Győrladamér, Győrújfalú, Győrzámoly, Kisbajcs, Nagybajcs, Vámoszabadi és Vének (Napoleon - Vin Bt., 2014). A Szigetköz térségében elhelyezkedő településeket és a terület vízrajzát illusztrálja a 2. ábra.

A víztestekben gazdag tájegységet gyakran fontosabb vízterületei alapján is csoportosítják. Ide sorolható a Mosoni - Duna, a Lajta folyó, a Zátonyi - Duna és a mellékágrendszerek. A szigetközi - mellékágrendszert (más néven hullámtéri vízpótló

rendszer – HTVPR) több kisebb ágrendszerre bonthatjuk, amelyek a folyamszabályozások óta szoros kapcsolatban állnak egymással. Ezen ágrendszerek nevei nyugatról kelet felé haladva a következők (http1):

- Rajkai - ágrendszer (Rajka település és környéke)
- Tejfalu(s)i - ágrendszer (Dunakiliti település és környéke)
- Cikolai - ágrendszer (Dunasziget település és környéke)
- Kisbodaki - ágrendszer (Kisbodak település és környéke)
- Dunaremetei - (Lipóti) ágrendszer (Dunaremete és Lipót települések és környéke)
- Ásványráró - ágrendszer (Ásványráró település és környéke)
- Bagaméri - ágrendszer (Ásványrárótól keletre eső rész)
- Patkányosi – ágrendszer

2. ábra: A Szigetközi táj és a hozzá tartozó települések
(Forrás: Jakus et al., 2024)



Kialakulását tekintve a Szigetköz lényegében egy hordalékkúp, ami az évezredek során a Duna korabeli deltájából keletkezett és ennek köszönhetően rendkívül változatos morfológiai szerkezettel rendelkezik. A kavicsos - homokos üledékes kőzet kulcsszerepet játszik a térség vízháztartásában, hiszen jó vízáteresztő képességet eredményez, illetve a talajvíz mozgását is meghatározza (ÉDUVIZIG, 2020). A Duna egykori természetes ágrendszere dinamikusan alakította a területet, így jött létre a bonyolult holtág- és mellékágrendszer (Popovics, 2018), amit a mai napig igyekeznek megtartani vízpótló rendszerek segítségével.

Természetvédelmi szempontokat figyelembe véve is rendkívül értékes terület, hiszen a Fertő-Hanság Nemzeti Park része, illetve egyes élőhelyei a Natura 2000 hálózatba is beletartoznak. Nagyon változatos és gazdag élővilággal rendelkezik, több védett madárfaj

kedvelt élőhelye, továbbá a hazai halfajok jelentős része is megtalálható itt. Mindemellett számos kétélűvel, védett emlősökkel, lepkékkel is találkozhatunk (ÉDUKÖVIZIG, 2010). Természeti sokszínűségének köszönhetően nem csak hazánkban, hanem egész Európában egyedülálló természeti egységként tartják számon.

Gazdasági, illetve társadalmi megvilágításban a térség főleg mezőgazdasági jelleggel bír (http2). Egyértelműen megállapítható, hogy a mezőgazdaság lehetőségei évszázadok óta a víztől, mint felszínalakító tényezőtől függenek. Az 1800-as évek előtt az állattartás és a legelőgazdálkodás élte fénykorát, hiszen a minden évben visszatérő árvizek a szántóföldi művelést nem mindenütt tették lehetővé. Ezt követően a 19. századtól megindultak a folyamszabályozási munkálatok, ami a földművelés megkezdésének, a növénytermesztésnek kedvezett. Népszerűvé vált a zöldségtermesztés. A szigetközi káposztát, paprikát, petrezselymet az 1930-as években már nemzetközi szinten is árusították. Mindemellett a múlt század 20-as éveitől kezdődően az intenzív erdőgazdálkodás is fontos szerephez jutott a térségben (http2). Ezekre mind - mind nagy hatással volt az 1992 - es Duna elterelés, ami nem csak ökológiai katasztrófaaként érintette a területet, hanem társadalmi szinten is nehéz helyzetet szült. A drasztikus talajvízszintcsökkenés következtében kutak száradtak ki, a mezőgazdasági termelés sok gazda számára lehetetlenné vált (Miksó, 2008).

A rehabilitációnak köszönhetően a probléma napjainkra megoldódott, sőt a mezőgazdaság mellett a turisztika is egyre népszerűbbé válik. Bár a szabályozás eredményeképp a terület egy fontos funkcióját, a hajózást, elvesztette, de ezzel egyidejűleg új szerephez jutott, hiszen közkedvelt víziturisztikai helyszínné alakult. Ennek következtében számos szolgáltatás épült ki a környező településeken, ezáltal egy új megélhetési lehetőséget biztosítva a helyiek számára. A vízi turizmus mellett a szigetközi - mellékágrendszer közkedvelt területe a horgászoknak és kerékpárosoknak egyaránt (Strack, 2022).

2.1.2 A Szigetköz kialakulása

A Kárpát - medence fejlődéstörténetében mindig is jelentős szerepe volt a vízrajzi állapotoknak (Miksó, 2008), a víz energiája kedvére alakította a környezetet, hordalékát lerakva épített és rombolt.

Kialakulásának kezdete 2,5-3 millió évvel ezelőttre tehető (Jakus et al., 2024). A földtörténeti harmadkor végén, a pliocénban a sekély Pannon-tenger borította a vidéket.

Idővel a Kisalföld területe süllyedésnek indult, míg az azt körülvevő területek emelkedni kezdtek a tektonikus kéregmozgások által. Ezzel párhuzamosan a tengerszint egyre csökkent, a medence feltöltődött a belső részeken felhalmozódó agyag, márga és finom homok rétegek miatt. Ezek következtében az egykori tenger kiédesülő vizű tórendszerre alakult át (Göcsei, 1979). A felső pannon kor végére a kisalföldi medence rohamos süllyedése megszűnt, a sekély beltórendszert a beáramló folyóvizek szállította hordalékok töltögették tovább. Az Ős-Duna és annak mellékfolyói által hozott homokrétegre durva, kavicsos üledék rakódott, s ezek váltakozásából felépült a Duna kisalföldi hordalékkúpja. Ennek nagyobb része Szlovákia területére, a Csallóközre terjed ki, míg déli felén a Szigetköz lelhető fel. A Szigetköz tehát a Duna egykori deltájából létrejött hordalékkúp, amely 375 km² -ével a hazánkban lévő Duna-szakasz legnagyobb szigete (Szabó, 2005).

A Duna által felépített hordalékkúpok több ágra szakítják a folyót, ezáltal kisebb szigeteket, zátonyokat alakítanak ki. Megfigyelhető az építő - romboló tevékenység váltakozása, amely eredményeképp gyakori a mellékágak mederváltoztatása és ezáltal a rendkívül változatos környezet létrejötte. Ez annak köszönhető, hogy a Kisalföldre belépő víztömeg a síkságon szétterül, veszít az energiájából és az idáig görgetett hordalék lerakódik, aminek mennyisége a szakirodalmi becslések alapján évente 4-900 000 m³ között ingadozik (Miksó, 2008). Egyes szakaszokon az építő-romboló jelleg függ a vízjárástól, tehát a lerakódás csak kisvíz idején lehetséges. Azonban vannak mederszakaszok, ahol eltérő okokból a folyó sebessége lassul és megindul a zátonyképződés. Elhelyezkedésüket tekintve ezek képződhetnek a part vonalán, a meder közepén vagy a már korábban létrejött szigetek körül. Fokozatos növekedésük a víz több éves munkájának eredménye, amiben jelentős szerepe van a növényzetnek is. Egyes Szigetközben elterjedt növényfajok, mint a homoktövis vagy a fűz, hosszú távon is jó víztűrőképességgel rendelkeznek, így könnyen megtelepednek a kisebb zátonyokon. A megtelepedés következtében először szigetzátonyok alakulnak ki, majd ezeket teljesen beborítja a növényzet és szigeteket képeznek. A folyamatosan változó szigetvilágról általánosan elmondható, hogy a Szigetköz északi területein gazdagabbak, több szigetcsoportható, főképp Dunakiliti, Dunasziget és Ásványráró térségében, míg a déli részeken inkább csak Véneknél, a Mosoni-Duna torkolatánál találunk változatosabb képződményeket (Alexay, 1982).

A terület egyedülállóságát és sokszínűségét erősíti a „Duna ajándéka” és a „vizek szigete” kifejezések is, amivel a helyiek illetik a területet. Hasonló ragadványnevekkel találkozhatunk egyes zárások, bukók elnevezése során is, melyek a szigetköziektől

származnak. Bár manapság ezek eredetére már nehéz magyarázatot találni, sok esetben az adott terület jellegzetességéről, a növényzetről vagy régi mesterségekről kapták nevüket. Ezek emlékét őrzi például a Kalap-, Barkás-, Pókmacskás-sziget, a Gombócosi-, Farkaslyuki-zárás vagy éppen a Halrekesztő-Duna.

2.1.3 Geológiai jellemzők

A Szigetköz geológiai felépítésének vizsgálata kulcsfontosságú a vízföldtani, talajtani és ökológiai viszonyok megértéséhez. Az Észak-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság Vízyűjtő Gazdálkodási terve (2010) szerint a terület földtani jellegzetességeit vizsgálva 3 fő egységre tagolhatjuk. A medence aljzatát paleozoós kristályos alaphegység építi fel, ami elsősorban olyan metamorf képződményekből áll, mint a gneisz, csillámpala, fillit vagy a kvarcit. Besorolásukat tekintve a Soproni Kristályos Alaphegység Formációcsoportba tehetőek. Az ezt követő rétegben alsó-miocén korból származó üledékes kőzeteket találunk. Ezek jelzik a Pannon-medence süllyedésének és feltöltődésének kezdeti szakaszát. Két fő formációjuk a Ligeterdői Kavics Formáció és a Garábi Slír Formáció, melyek vastagsága átlagosan 100-100 méter. Főképp kavics, homok, márga és agyagmárga kőzettípusból tevődnek össze (ÉDUKÖVIZIG, 2010). A harmadik réteget pedig a negyedidőszaki folyóvízi üledékes kőzet alkotja. Itt található a Duna és mellékágai által szállított majd lerakott hordalék, melyek anyaga főleg kavicsból, homokból és iszaptól épül fel. A kisalföldi medence legfelsőbb szintjén, a felső körülbelül 50 méteren, egy kavicsréteg található. Ez alatt pedig egy homokos összlet húzódik. Ezek legfontosabb feladata a víztárolás, ami nagy mértékben befolyásolja a természetes növénytakaró és a mezőgazdaság alakulását (Szabó, 2005).

A geológiai képződmények felső egypár métere jelentősen befolyásolja a fedőtalaj fizikai, illetve kémiai jellemzőit. A vizsgált térségben elsősorban réti- és öntéstalajokat találunk, ugyan kisebb mértékben, de a csernozjom és a barna erdőtalajok is fellelhetők. Ezek mind a Duna hordalékán képződtek, így az üledék adja a talaj talajképző kőzetét. Természetesen ez az alapkőzet nem egységes, néhol löszös, máshol kavicsos vagy öntésiszapos rétegek helyezkednek el. A változatosság kialakulását az alapkőzet mellett a talajképző tényezők is erősen befolyásolták, elsősorban a hidrológiai viszonyok és az éghajlat. Összességében ezekről a talajokról elmondható, hogy a vízvisszatartásnak kedvező humuszanyagokban gazdagok. Ezek megkötődését pedig a jellemzően nagy mértékű karbonátosság segíti elő a területen (ÉDUKÖVIZIG, 2010).

Hazánk medence jellegéből adódóan felszíni nagy formákkal ritkán találkozunk, ezzel szemben a feltöltődésnek köszönhetően tökéletes síkságokban gazdag a terület. Ilyen tökéletes síkságként értelmezhető a Szigetköz is. Első ránézésre teljesen sík területnek tűnik, mégis az Öreg-Duna és a Mosoni-Duna közti terület esésiránya északnyugat – délkelet irányú, így a Mosoni-Duna felé halad, ezzel megszabva a belvízcsatornák vízszállítási irányát is. Ebből kifolyólag már pár méteres szintkülönbség is lényeges ökológiai különbségeket eredményezhet a víz felszínalakító tulajdonsága miatt.

Szabó (2005) tanulmányában öt geomorfológiai szintet különböztet meg a Szigetköz térségében. Elsőként az állandóan vagy huzamosabb ideig vízzel borított mederszintet, ahol a vízi vegetáció fellelhető. Ezt követi az időszakosan vízzel borított zátonyszint. Következő a sorban az Öreg- és Mosoni-Duna medrét relatív széles sávban kísérő alacsony ártéri szint. Ez a középvízszint felett 1-2 méterrel helyezkedik el. Ilyen területek nem csak az ártérben, hanem a mentett oldalon is találhatóak, melyeket egy nagyobb árhullám következtében a feltörő belvíz önt el. 4-6 méterrel a Duna középvízszintje felett terül el a magas ártéri szint, amiket a korábbiakhoz hasonló elöntés már nem veszélyeztet. Végezetül az ártér feletti szintet különböztethetjük meg, ami ritkábban csak egyes magasabb fekvésű részekben, homokbuckákon jellemző.

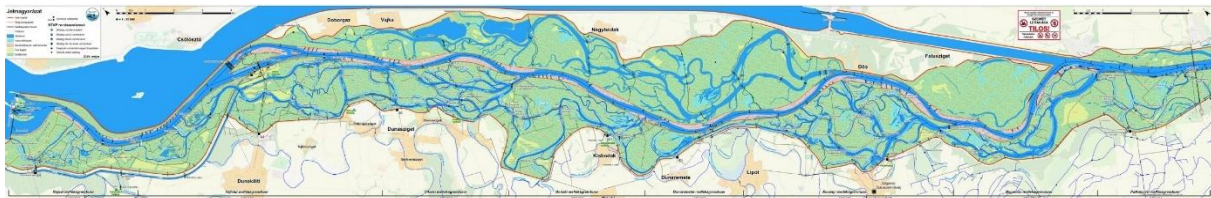
2.1.4 A terület vízrajza

Hazánk medence jellege egyértelműen meghatározza az ország vízrajzát. Kárpát-medencében elfoglalt helyünknek köszönhetően a folyóvizek a minket körülvevő hegységek felől a medence irányába folynak. Nem véletlen, hogy Európa egyik legmagasabb fajlagos felszíni vízkészlet értékével rendelkezünk, ami $11\,000\text{ m}^3/\text{év}/\text{fő}$ -t jelent. Az országba érkező vízmennyiség 95% -ban külföldi területekről ered, amit 24 folyó szállít Magyarországra. Ezzel szemben a víz távozásáért a Duna, Dráva és Tisza folyása felelős (ÉDUKÖVIZIG, 2010).

Magyarország folyóhálózatának központjában a Duna áll (ÉDUKÖVIZIG, 2010). Európa második leghosszabb folyójaként óriási vízgyűjtőterülettel rendelkezik. Ebbe az Alpok, a Cseh-erdő, a Havasalföld és a Kárpát-medence, valamint a Kárpátok déli területének egy része is beletartozik. Ezzel a vízgyűjtő területe $817\,000\text{ km}^2$ -re tehető. 2850 km-es hosszából a magyarországi szakasz, ami Rajkánál kezdődik és Mohácsnál hagyja el az országot, 417 km-t ölel fel. (Miksó, 2008). A magyar szakasz három részre tagolható: a felső (Rajka-Gönyű), a középső (Gönyű-Baja) és az alsó (Baja-Mohács) szakaszra

(DDKÖVIZIG, 2020). A kutatásom szempontjából a felső szakasz különösen fontos, ami természetes mederalakulásokkal, zátonyokkal, mellékágakkal és gyakori mederváltozásokkal jellemezhető. A 3. ábrán a felső Duna–szakasz vízgyűjtő területe látható.

3. ábra: A Szigetközi Hullámtéri Vízpótló Rendszer (HTVP)
Forrás: ÉDUVIZIG (2025) Tatai Róbert szakaszmérnök nyomán



Magyarország vízrajzát vizsgálva a Győri-medence kiemelkedő jelentőségű. Vízháztartása rendkívül kedvező, felszíni és felszín alatti vizekben gazdag terület. Az ideérkező, majd szétterülő folyók helyi erózióbázisaként tartják számon, amibe a szigetközi kistáj, mint a Duna fontos vízgyűjtője is beletartozik (Szabó, 2005). Bár a Szigetköz térségében a Duna mellett több folyó is megtalálható, mint a Lajta, a Rába vagy a Rábca, ezek módosító hatása elhanyagolható (Göcsei, 1979). Ebből kifolyólag a továbbiakban csak a Duna és annak fattyúága, a Mosoni-Duna kerül említésre.

E két folyó adja a Szigetköz területének határvonalát. Az Öreg-Duna medre északról 57,6 km hosszan határolja, míg délről a meanderező Mosoni-Duna 121,5 km-rel választja el az alatta fekvő területektől (Dövényi, 2010). A köztük lévő vízgyűjtő területen, ami 375 km², a főmeder mellékágrendszer hálózata található. Ennek következtében a Duna vízjárása szabja meg a teljes szigetközi vízháztartást, beleértve a felszíni és felszín alatti vizeket egyaránt (ÉDUVIZIG, 2020).

A szövevényes ágrendszerek állandó átalakulásai a Duna áradásaihoz köthetők. A Dunát általában két ár jellemzi. Az Alpokból eredő hóolvadás okozta tavaszi jeges árhullám, illetve a lehulló csapadékból kialakuló kora nyári zöldár (Szabó, 2005). Az őszi és téli intervallumban a kisvizes időszak a megszokott (ÉDUKÖVIZIG, 2010). Az árvizek hatására új zátonyok épültek, mellékágak keletkeztek, majd holtágak fűződtek le, a táj élt és változott egészen a folyamszabályozásokig (Popovics, 2018). A bósi vízlépcső üzembehelyezésével a szigetközi vízviszonyok jelentősen átalakultak. A Dunacsúnyi duzzasztómű megépítése és a folyó elterelése után minimális víz jutott az Öreg-Duna és mellékágrendszerre táplálására, így a vízszint 3-4 métert csökkent. Ez kedvezőtlenül hatott a talajvíz állásra is (Dövényi,

2010). Ezek a 20. század végi emberi beavatkozások megváltoztatták a vízmegoszlást és ezzel átformálták a terület vízrajzát. A továbbiakban fontos, hogy ezek a mesterséges változások és a Duna vízjárása egyaránt nagy hatással van a Szigetköz felszíni vízborítottságára.

2.1.5 Klimatikus viszonyok

Szigetköz földrajzi fekvésének köszönhetően számos tényező befolyásolja a terület klimatikus viszonyait. Ahogy a Kisalföld egészére, úgy a Szigetközre is a mérsékelt meleg – mérsékelt száraz kontinentális éghajlat jellemző enyhe téllal (Szabó, 2005). Az Atlanti-óceánhoz való közelsége óceáni hatást vált ki, amely megmutatkozik a borultsági viszonyokban, a kiegyensúlyozott hőmérsékletjárásban és a csapadék megoszlásában egyaránt (http2). Emellett a medencejellegből adódóan erősen éghajlat - módosító hatással bírnak a térséget körülvevő hegységekből érkező légáramlatok. Ez szélsőséges csapadékeloszlást és kiszámíthatatlan csapadékot eredményezhet (Szabó, 2005).

A napsugárzást, mint az egyik legfontosabb éghajlati tényezőt vizsgálva, a napsütéses órák száma évi 1900-2000 óra között mozog. Ebből a nyári összeg 770 óra körül van, míg a téli időszakban körülbelül 190 órán át éri napfény a területet (ÉDUKÖVIZIG, 2010).

A sugárzásnak és a légcirkulációnak nagy hatása van a hőmérsékletre. Az évi középhőmérséklet 9,5 °C -ban határozható meg. Az átlagos hőmérsékleti minimum az országos viszonylathoz képest kedvező, - 17 °C felett van. A nyári maximum középértékei sok éves átlag alapján 33 °C körül mozognak (Dövényi, 2010). Az ide érkező globális sugárzás értéke 4200 - 4400 MJ/m²/év. Ezt az atlantikus hatás erősen befolyásolja a felhőborítottság tekintetében. Ennek átlaga meghaladja az évi 60% -ot, ezzel hazánk legborultabb területei közé tartozik (Szabó, 2005).

A Kisalföld és ezáltal a Szigetköz is hazánk kevésbé csapadékos területei közé sorolható. A csapadék évi összege 600 mm körüli. A legcsapadékosabb hónapok a nyári időszakban, június és július folyamán jellemző, átlagosan 72 mm. Ezzel szemben a legkevesebb csapadék a tél során, januárban hullik, ami 35 mm-t jelent (ÉDUKÖVIZIG, 2010).

Itt az év nagy részében fúj a szél. Az uralkodó ÉNY -i szélirány jellemző, ami a Duna völgyében a Dövényi-kapun keresztül érkezik. Az Alpokhoz való közelség magasabb

légnyomást okoz az ország belső területeihez képest, ez befolyásolja a légáramlást is (Dövényi, 2010).

Vízháztartási szempontból a párolgás mértéke nagy jelentőséggel bír. Szigetközben 600 mm körüli a szabad vízfelületek párolgása (ÉDUKÖVIZIG, 2010). Az éves vízmérleget vizsgálva a kevesebb csapadék, a meleg nyár és a túlnyomóan szeles időjárás egy negatív, évente 50 - 75 mm mértékű vízhiányt vált ki (Szabó, 2005).

Az általános éghajlati viszonyok mellett figyelembe kell venni a szigetközi térségben a nagy vízfelület okozta mikroklimatikus jellemzőket. Mikroklímáról akkor beszélünk, amikor egy kisebb területen legalább kis ideig eltérő klimatikus viszonyok uralkodnak az átlagos helyi klímától (Palkó, 2008). Mikroklíma kialakulásához folyamatos kölcsönhatások eredménye vezet, ami a légkör, a felszín, mint a növényzet, a víztestek vagy a nyílt talajfelszín, továbbá a lokális környezeti feltételek és az élővilág között zajlik (Kovács, 2018). A Szigetköz fekvéséből adódóan az ártéri rendszerben nagyobb a párolgás mértéke, amit az árterek vízborítottsága és a magas talajvízszint okoz. Az időszakos elöntések és a holtágak jelenléte csökkenti az átlagos napi hőingást. Ennek köszönhetően egy kiegyensúlyozottabb klímához jut a térség, amit több regionális monitoring vizsgálat is igazol (Észak-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság, 2018).

2.1.6 Flóra és fauna

A Szigetköz a Felső-Duna völgy egyedüli és legnagyobb kiterjedésű folyómenti ártéri területe, óriási jelentőséggel bíró vizes élőhely. A nagy élőhely-diverzitás eredményeképp, ami a kivételes klimatikus, geológiai, geomorfológiai, talajtani és vízháztartási tényezőknek köszönhető, rendkívül változatos társulások jöttek létre (Szabó, 2005). Annak ellenére, hogy a ritka növényfajok száma kevés, a növényzet sajátosságát a fajkompozíció adja: hegyi és síkvidéki fajok élnek egymás mellett (Farkas-Iványi, 2018). Ezt a változatosságot az itteni hordalékkúp morfológiai sokfélesége eredményezte. Jellemzően folyó szabdalta ártéri síkságról beszélhetünk, néhol kisebb homokháttakkal (Szabó, 2005).

Elsődlegesen a mindenkori vízviszonyok játszottak óriási szerepet az élővilág kialakulásában. A gyakori elöntésekhez alkalmazkodott rendkívül fajgazdag növény- és állattársulások alakultak ki. Az élő medrek mentén, az alacsonyártérben megtalálható bokorfüzesektől kezdve, az elárasztás mentes területeken lévő gyertyános-kocsányos tölgyesekig tartó szukcessziós sor jellemzi a vidéket. A keményfaligetek lombkoronaszintjét

a kocsányos tölgy mellett főleg a magas kóris és ritkábban a hamvas égerek alkotják. A holtágak körül jellegzetesen a lápok uralják a területet, ezekben kisebb foltokban tenyésző fűzláp és égeres láperdők találhatók meg. Jellemzőek továbbá a hínár-, mocsárréti növénytársulások, illetve nagy kiterjedésben találkozhatunk mocsaras területekkel. (http3).

Az állatvilágot tekintve az egész Szigetközre a vízi és vízkedvelő fajok a jellemzők. Bár a Duna elterelése az állatokat is súlyosan érintette, a terület a mai napig értékes, változatos fajösszetétellel rendelkezik. Fajgazdagságát szinte lehetetlen felsorolni, hiszen csak a kételtűeket tekintve szinte minden hazai faj megtalálható a térségben (http3).

A Bósi vízlépcső megépítése előtt a térséget a Duna halbölcsőjeként emlegették, a magyar Duna-szakasz legfontosabb ívóhelye volt. Bár a Duna szabályozások hatására sok halfaj kiszorult a területről, mint például a viza (*Huso huso*), szerencsére a mai napig a hazai fajok 80% -val találkozhatunk az ágrendszerben. (ÉDUKÖVIZIG, 2010). A halak mellett említésre méltó az itt lévő madárállomány, ami 206 megfigyelt fajjal a hazai madárfauna 57% -át jelenti. Ebből védettnek nyilvánított 166 faj és további 19 faj fokozottan védett. Az élőhelytípus sokféleségének eredménye, hogy számos ritka madárfaj telepedett meg a területen vagy választja telelőhelyül (http3).

Elmondható, hogy a terület rendkívül gazdag növény- és állatvilággal rendelkezik, aminek köszönhetően a Szigetközt 1987-ben természetvédelmi oltalom alá helyezték. Területei a Fertő-Hanság Nemzeti Park Igazgatóság Szigetközi Tájvédelmi Körzete alá sorolhatók. Számos közülük NATURA 2000 madár- és élőhely védelmi területnek is minősül (ÉDUKÖVIZIG, 2010).

2.1.7 A Szigetköz vízgazdálkodása az elterelés előtt

A társadalom harca a vízért vagy a víz ellen már több ezeréves múltra nyúlik vissza. Csak a Duna példáját figyelembe véve, jelentős írásokkal rendelkezünk már a Római Birodalom korából. Először a rómaiak majd az őket leigázó kelták is előszeretettel használták ki a Kárpát-medencében a folyóvíz minden erejét és az általa nyújtott lehetőségeket (Farkas-Iványi, 2018).

Ez a magyarság történelmében sem volt másképp. Amikor elődeink bevonultak a Kárpát-medencébe megélhetőségüket az állattenyésztés mellett a folyók menti halászat biztosította. Nem meglepő, hogy a későbbiekben a letelepedést választva a magyarok elsősorban a folyók mentén kezdtek településeket kialakítani (Farkas-Iványi, 2018). Az idők

során új mesterségek jöttek létre, virágzásnak indult a hajózás és ezzel együtt egy új funkciót töltött be a Duna, összeköttetést biztosított a nemzetek között, így a kereskedelem színterévé vált (Miksó, 2008).

A Szigetköz, mint önálló kistáj először a 16. században készült térképeken szerepelt Zygetkevoz névvel, majd ezt követően a Kleine Schütt elnevezéssel illették (Popovics, 2018). A természeti adottságoknak köszönhetően az itt élő lakosok élete a víz köré épült. Az építkezési módoktól kezdődően a foglalkozásokig mindent a víz határozott meg. A legrégebbi mesterségek közé sorolható a halászat mellett a csíkaszat, a ladikkészítés, a pásztorkodás, sőt a térségben sokan foglalkoztak aranyosással is (Napoleon-Vin Bt., 2014). Ennek ellenére nagy veszélyt jelentett a szigetköziekre a Duna kiszámíthatatlan áradásai, amelyek állandóan formálták a felszínét, egész településeket mostak el és ezzel sok-sok ember veszítette életét.

Az árvizek pusztítása és a hajózás nehézségei, amit a folyamatosan ingadozó vízszint okozott, elengedhetlenné tette az emberi beavatkozást és a szigetközi Duna-szakasz szabályozását (Zsuffa et al., 2023). A nagyobb szabályozási munkálatok a 19. század végén kezdődtek, amikor egy állandóan hajózható főágat kívántak létrehozni. Ezt kőszórásokkal oldották meg, így létrehoztak egy átlagosan 300-350 m széles főmedret, amit szinte teljesen elzártak a mellékágaktól, így azok csak egy nagyobb árhullám során kaptak átöblítést. A másik célkitűzés a falvak árvízmentesítése volt, amit védő töltések építésével oldottak meg. Ezzel két részre osztották a Szigetközt: a védőgátak által lezárt 1 - 2 km széles hullámtérre és az úgy nevezett mentett oldalra (Popovics, 2018). Így a mentett oldal lassan mezőgazdasági kultúrtájává vált, ahol egy új problémát jelentett a nagyobb vízálláskor jelentkező altalajon keresztüli szivárgás, a fakadóvizek (Zsuffa et al., 2023). Ennek részleges megoldására egy majdnem 200 km hosszú csatornahálózatot építettek ki felhasználva a töltések által kialakult holtág-rendszereket is. Így a terület esésének köszönhetően gravitációs úton jutott a feltörő víz a Mosoni-Dunába (Popovics, 2018).

A beavatkozás hiányosságai hamar kiderültek a váltakozó vízjárás során. A túl szélesre hagyott főmederben zátonyok alakultak ki, amik kisvíz idején megnehezítették a hajózást. Ezt sarkantyúkkal (a helyiek ruganyoknak nevezik) stabilizálták, ami beszűkítette a medret, így megnőtt a víz sebessége és megszűnt a zátonyképződés. A következő gondot a ruganyok közti hordalékfelhalmozódás jelentette (Popovics, 2018).

A folyószabályozási munkálatok folyamatosan zajlottak, amiket az időszakosan levonuló árvizek hátráltattak. Az egyik legnagyobb árhullám 1954-ben érte a térséget, ami szinte az egész Alsó-Szigetközt elmosta. Az Alpokban lehullott óriási mennyiségű csapadék okozta ár négy helyen szakította át a töltéseket, ezzel 35 800 ha területet öntött el a víz (Miksó, 2008). Az árvíz levonulását követően nekiláttak a védőtöltések megerősítésének, módosították a vízi műtárgyakat és mederkotrást is végeztek. Azonban ez sem volt elegendő, hiszen 1965-ben újabb árvíz indult meg a Dunán, ami katasztrofális állapotokat teremtett. A magas vízállás több hónapig tartott, ami komoly belvíz problémákat okozott. A középvízszint beállása után a szakemberek hozzáláttak a hibák kiküszöböléséhez. Hamar belátták, hogy egy új koncepció kidolgozására van szükség. Olyan tervet kívántak létrehozni, ami növelné a terület árvízlevezető képességét, emellett javítaná a hajózási útvonalat és figyelembe venné az ökológiai kapcsolat fenntartását, amit a folyton ingadozó vízszint és a holtágrendszerek kialakulása erősen veszélyeztetett (Zsuffa et al., 2023). Így kezdődtek meg a tárgyalások Csehszlovákiával, egy olyan együttműködés reményében, ami a korábban említett célkitűzéseket közösen valósítaná meg.

2.1.8 A Duna elterelése – A Bős-Nagymaros beruházás

Az időszakosan ismétlődő és egyre erőteljesebb árvizek háttérében a nem megfelelő folyószabályozás mellett, a nemzetközi összhang hiánya is nagy szerepet játszott. A 20. században megnehezítette a Duna szabályozás sikerességét, hogy a „dunai országok” között semmiféle együttműködés nem volt tapasztalható. A szomszédos országok bármiféle egyeztetés nélkül elkészítették saját folyószakaszukra vonatkozó szabályozási tervüket, ami sokszor okozott gondot az alsóbb fekvésű területeken (Miksó, 2008).

A nemzetközi Duna szabályozás történelmében talán a legnagyobb és leghírhedtebb beruházásként a Bős - Nagymaros Vízlépcsőrendszer esete említhető, ami jelentősen befolyásolta a Szigetköz térségének mai arculatát.

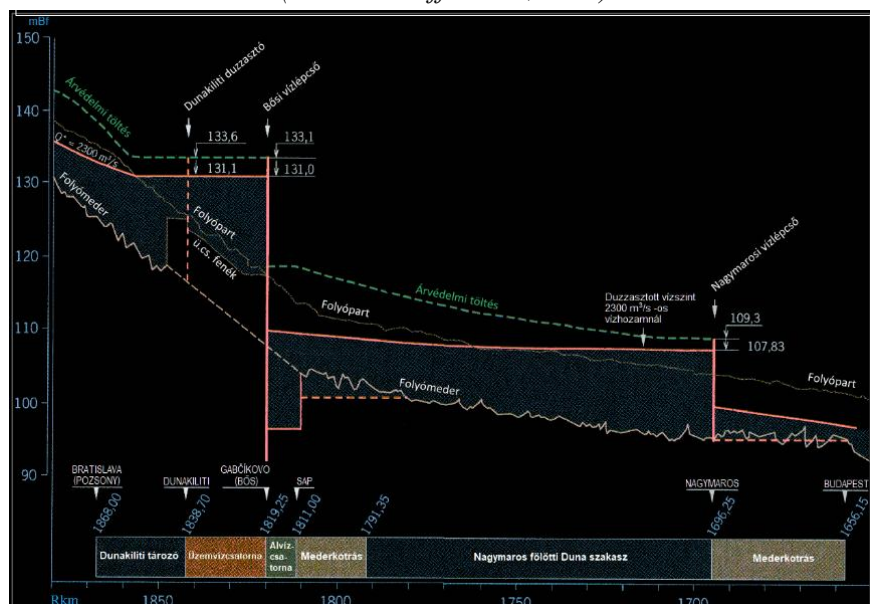
A tárgyalások egy esetleges vízlépcsőrendszer kiépítéséről Magyarország és Csehszlovákia (mai Szlovákia) között már az 1950-es években megkezdődtek. Az előkészületek során többféle terv is felmerült, amiből végül az 1977-ben aláírt államközi szerződésben a Bős - Nagymaros Vízlépcsőrendszer terve ígérkezett a legjobb megoldásnak (Zsuffa et al., 2023). A megvalósítani kívánt terv sematikus rajzát a 4. ábra mutatja be. A projekt keretében több funkciót is ellátott volna a vízlépcsőrendszer. A Bősnél és Nagymarosnál létesítendő erőművek elsősorban megújuló energia termeléséért feleltek

volna, ezzel hasznosítva a határfolyót. További célkitűzés volt a hajózási útvonal javítása a Pozsony-Nagymaros közti szakaszon. Ehhez szükség volt egy állandó vízszint megtartására, amit a nagymarosi vízlépcső duzzasztó hatása orvosolt volna. A térség árvízlevezető képességének növelésére is nagy hangsúlyt fektettek. Töltéserősítéssel és az üzemvízcsatorna bevonásával kívánták mentesíteni a Szigetközt. Nem utolsó sorban közös feladat volt a szigetközi ökológiai károk mérséklése és a rehabilitáció. Megállapítható, hogy az eredeti vízlépcsőrendszer terve rendkívül komplex, egy integrált vízgazdálkodási rendszert valósított volna meg (Zsuffa et al., 2023).

Mindezek eléréséhez szükség volt egy duzzasztóműre, amit a magyar oldalon, Dunakiliti községnél akartak megépíteni, aminek feladata a vízmegosztás. A beérkező víztömeg megtartása egy

4. ábra: A Bős – Nagymaros projekt terve
(Forrás: Zsuffa et al., 2023)

tározó létesítésével valósult volna meg, melynek kapacitása 52 millió m³ körüli. Ebből vezették volna rá az összegyűjtött vizet az üzemvízcsatornára, ami tovább vezeti azt a bósi (Gabcikovo) erőműhöz. A Dunakilitinél megfogott víz egy kisebb

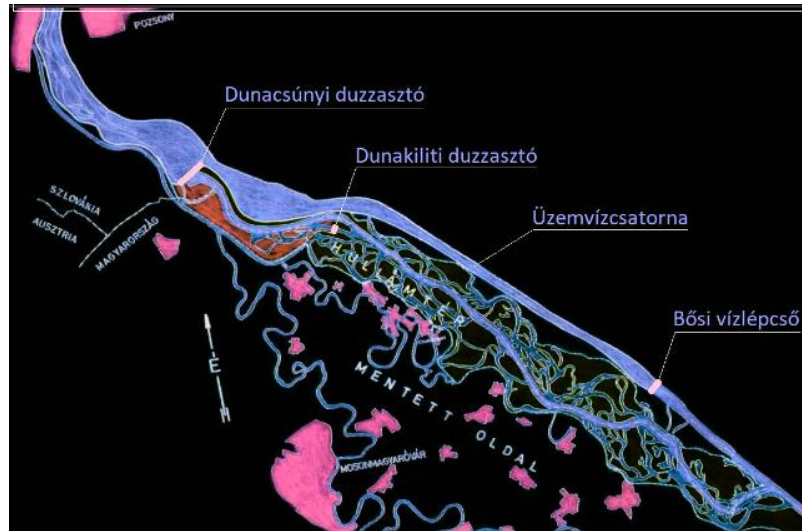


hányadát pedig a szigetközi-ágrendszer vízellátására használták volna. A bósi erőműnél a főmederbe visszaérkező vizet a nagymarosi vízlépcső duzzasztotta volna vissza, megakadályozva ezzel a gyors lefolyást és a turbinák segítségével további energiát termelve (Miksó, 2008).

A beruházás a 80-as években megkezdődött mindkét fél részéről. A gondok a magyar oldalon 1984 környékén kezdődtek, amikor megalakult a Duna Kör nevet viselő környezetvédelmi szervezet, melynek tagjai elleneztek a vízlépcsőrendszer megépítését és minden erejükkel küzdöttek a beruházás megakadályozásáért. A hangulat egyre feszültebbé vált, így a társadalmi és politikai nyomás hatására a magyar kormány 1989-ben ökológiai szükséghelyzetre hivatkozva leállította Nagymarosnál a beruházást, majd 1992-ben felmondták a '77-es államközi szerződést (Zsuffa et al., 2023).

Ennek következményeképp Csehszlovákia nem akarta leállítani a szinte kész építkezést, ezért egy új tervet dolgozott ki. Így valósult meg az úgy nevezett C variáns, amit az 5. ábra szemléltet. Ez annyiban tért el az alapvető tervtől, hogy a Dunakiliti duzzasztómű helyett a magyar országhatáron kívül épült egy hasonló műtárgy Dunacsúny térségében, ezzel megakadályozva azt, hogy a magyar fél kezébe kerüljön a kulcs és ő irányítsa a vízmegosztást. Az építkezések lezárultával és a

5. ábra: A C variáns
(Forrás: Zsuffa et al., 2023)



nagymarosi vízlépcső befejezése nélkül 1992. október 25-én üzembe helyezték a Bósi vízlépcsőt és elterelték a Dunát. Ennek következtében drasztikus vízszint csökkenés volt megfigyelhető a Szigetközben (Jakus et al., 2024).

A magyar előkészületek leállítása, majd a Duna elterelése csehszlovák oldalról óriási nemzetközi vitát eredményezett. Mivel a helyzet kilátástalan volt, így a két kormány a Hágai Nemzetközi Bírósághoz fordult az ügy rendezésében. A bírósági döntésből egyik fél sem került ki győztesül, hanem további tárgyalásokat rendelt el és együttműködésre utasította a két kormányt. A vita elhúzódása súlyosbította a magyar oldalon kialakuló problémákat nem csak politikai, hanem gazdasági és főleg ökológiai szinten (Miksó, 2008).

2.1.9 Ökológiai kockázat

A C variáns üzembehelyezésével Magyarországon a lehető legrosszabb forgatókönyv valósult meg, hiszen nem épültek meg a főmeder és a mellékágrendszerek vízpótlását biztosító műtárgyak. Ez óriási ökológiai katasztrófát okozott, ami hatással volt a vízi és szárazföldi élővilágra, illetve a térség lakosaira egyaránt (Miksó, 2008).

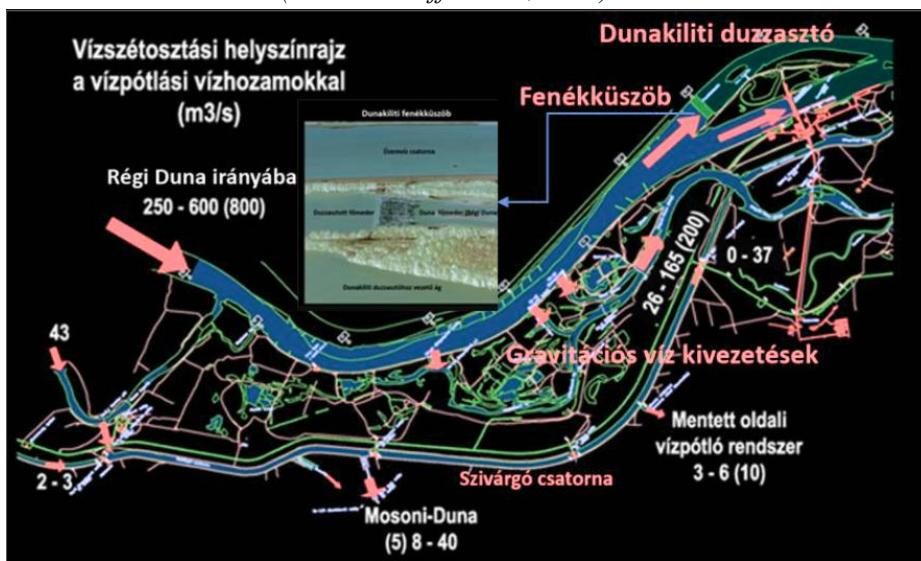
A Duna elterelésével a felszíni és felszín alatti vízkészlet is megfogyatkozott. A Duna vízszintje az országhatárnál fekvő Rajka településnél 2-2,5 m-rel csökkent. Szigetköz területének esésviszonyai miatt a mellékágak jelentős részében, körülbelül 4000 ha vízfelületen, a víz teljesen eltűnt és az ágak kiszáradtak. Mivel a főmeder vízszintje is

drasztikusan csökkent, megindult egy úgy nevezett kiürülési folyamat a homokos - kavicsos altalajban, ami a talajvizet az Öreg-Duna irányába szívta. Ez a mentett oldali talajvízbázist is érintette, így sorra száradtak ki a kutak és a holtágak a környező falvakban (Jakus et al., 2024). A Rajka és Ásványráró közti Duna-szakaszon olyan súlyos vízállás csökkenést tapasztaltak, ami a mellékágrendszerben mintegy 80 km szakaszon teljes meder kiszáradást eredményezett. Ennek következtében a vizes élőhely nagy biodiverzitású életközössége szinte teljesen elpusztult (Szabó, 2005). Korábban a „Duna halbölcsője” -ként emlegetett területen a halállomány eltűnt, továbbá az őket elfogyasztó madarak populációi is kipusztultak. A Duna elterelésével egy rendkívül fajgazdag természeti kincs került veszélybe Magyarországon, amire sürgősen megoldást kellett találni.

2.1.10 A Szigetköz rehabilitációja

Az egyoldalú üzembe helyezést követően a legfontosabb feladat az azonnali vízpótlás volt a régi főmederben és a szigetközi mellékágakban (Jakus et al., 2024). A 6. ábrán látható a vízpótlás problémájának kivitelezése.

6. ábra: A vízpótlás megoldása a Szigetközben
(Forrás: Zsuffa et al., 2023)



Eközben a tárgyalások tovább zajlottak a szlovák és magyar kormány között, aminek eredményeképp 1995. áprilisában megállapodást kötöttek a magyarországi vízpótláshoz szükséges vízhozam biztosításáról, illetve a Dunakiliti fenékküszöb megépítéséről. Figyelembe véve az ökoszisztémák vízigényét a megegyezés alapján télen minimum 250 m³/s -ot, míg nyáron legalább 400 m³/s vízhozamot kell a szlovák félnek biztosítania a magyar vízpótlásra, ami még így is a dévényi vízhozam töredékét jelentette. 1995 nyarán

megépült a szigetközi vízpótló-rendszer egyik alpműtárgya, a Dunakiliti fenékküszöb, ami azóta is nagy hatékonysággal, gravitációs úton biztosítja a vízellátást (Zsuffa et al., 2023). A fenékküszöb feladata a felette lévő folyószakasz vízének visszaduzzasztása, majd a megemelt vízszintet három töltőbukón keresztül engedik rá a mellékágrendszerre. Az átengedett víz mennyiségét a Dunakiliti duzzasztómű szabályozza, ami így az eredetitől eltérően, új funkciót ellátva került üzembehelyezésre (Jakus et al., 2024).

A munkálatok tovább folytatódtak. Az akkori területi szakaszmérnökség az 1950-es évek vízviszonyának állapotát tűzte ki célul és ezt próbálta mesterséges úton előteremteni. Ahhoz, hogy a mellékágakba betáplált víz ne kerüljön vissza a főmederbe, az ágrendszereket függetlenítették az Öreg-Duna medrétől és lezárták ezek alsó torkolati szakaszát. Az ökológiai kapcsolat fenntartását a mellékágrendszerek közötti átvezetések kiépítésével oldották meg.

Szigetköz rehabilitációját érdemes két részletben tárgyalni, hiszen első körben a Felső-Szigetköz területének vízpótlása valósult meg a már korábban említett alpműtárgyak megépítésével és csak évtizedekkel később oldódott meg az alsó mellékágak problémája. Ahhoz viszont, hogy a felső területen egy viszonylag állandó vízszint legyen mérhető, szükség volt egy további fenékküszöbre (Jakus et al., 2024). Ezt a Cikolai-ágrendszer alsó torkolatánál megépült Denkpáli-ágvégzárás biztosítja. A műtárgy 1995-ben készült el, viszont a további vizsgálatok során fény derült arra, hogy az üzembe helyezés által kialakult több méteres vízszintkülönbség ökológiai kapcsolatot szakít meg a felvíz és az alvíz között, ezzel akadályozva a halak természetes vándorlását. Ebből kifolyólag 1998-ban megépült Magyarország első hallépcsője, ezzel kiegészítve a fenékküszöböt (<http4>).

Az Alsó-Szigetköz kérdését és a terület rehabilitációját egy külön fejezetben tárgyalom, mert az ott megépült műtárgyak hatása központi szerepet játszik a dolgozatomban, így részletes bemutatásukat rendkívül fontosnak tartom.

2.1.11 Alsó - Szigetköz kérdése - az Ásványi torkolati fenékküszöb

Az 1990-es években végbement vízügyi intézkedések és a Szigetköz felső területeinek részleges helyreállítása után a szakemberek további vízgazdálkodási problémákat jeleztek előre, elsősorban az Alsó-Szigetköz térségében. Jelentős gondot okozott ugyanis a kisvizes időszakokban, hogy az alsó-szigetközi hullámtéri ágak kiszáradtak, ezzel folyamatosan csökkent a vizes élőhelyek területének nagysága. Továbbá egy-egy árvizes időszak olyan mértékű hordalékot szállított ide, hogy a meder fokozatos

feltöltődésnek indult. Mindemellett a nagymarosi vízlépcső és ezzel a visszaduzzasztás hiánya nagy mértékű medermélyülést okozott a Szap-Gönyű közti folyószakaszon, ami elsősorban az Ásványi- és Bagaméri-ágrendszerben eredményezett további vízszint csökkenést (Jakus et al., 2024). Egyértelművé vált, hogy elengedhetetlen a hullámtéri vízpótló rendszer ökológiai célú továbbfejlesztése. Alapvetően az előbb említett két ágrendszer őrzi leginkább az ősi szigetközi tájkép jellegzetességeit, a szerteágazó, rengeteg szigetet magába foglaló, egyedi látképével. Ráadásul az Ásványi-mellékágrendszerben található Európa máig meglévő egyetlen hullámtéri tava, az Öntési-tó (Szabó, 2005).

Az alsó területek rehabilitációja az Európai Unió támogatásával valósulhatott meg. A beruházás a „*III. KEOP Szigetközi mentett oldali és hullámtéri vízpótló - rendszer ökológiai célú továbbfejlesztése*” címet viselte. A projekt keretében a vízpótlás művei 3 ágrendszerben épültek meg: az Ásványi-, Bagaméri- és Patkányosi-ágrendszerben (Jakus et al., 2024). Az egyes műtárgyak ágrendszeren belüli elhelyezkedését mutatja be a 7. ábra. A rendszer legfontosabb tárgyát az Ásványi-ágnál megépült torkolati fenékküszöb képezi, ami biztosítja (a Denkpáli-fenékküszöbhez hasonlóan) az állandó vízmegtartást a rendszerben. A fenékküszöb az Ásványi-ág 0 + 326,4 szelvényében épült. A műtárgy felépítését tekintve 3 fontos egység alkotja: egy osztott szelvényű bukó, egy kőküszöbös-medencesoros halátjáró és egy rámpa a csónakok vízre helyezéséhez. A vízszint emelés biztosítása után szükség volt egy adott vízmennyiség átvezetésére a Bagaméri-ágrendszerbe. Ennek megoldására a két ágrendszert egymástól elválasztó Árvai-zárás átalakítása történt (K+K Kft., 2014). Majd a Bagaméri-ágban további két zárás és egy hallépcsővel ellátott fenékküszöb is elkészült.

Összességében a projekt keretében a hullámtéren megvalósult 3 db hallépcsővel kiegészített torkolati fenékküszöb, átalakítottak 4 db csatlakozó műtárgyat, illetve az árvai vízszintszabályozó műtárgyat. Kotrást hajtottak végre 16 mellékágon, 5 db közbenső kőművet létesítettek és további 3 db új átjáró épült meg. Mindemellett a hullámtér és a mentett oldal közti kapcsolat is fejlesztésre került. Így 3 db szivornyával lehetővé vált a vízátvezetés a térségben, ezzel is növelve a régió árvízmentesítő képességét, illetve javítva a mentett oldalon a vizes élőhelyek állapotát (ÉDUVIZIG, 2020).

7. ábra: A KEOP program keretében megvalósult műtárgyak
(Forrás: Jakus et al., 2024)



A beavatkozás lezárása és az újonnan létesült műtárgyak átadása 2015-ben valósult meg. A projekt eredményeképp sikeresen megoldódott a hullámtéren és a mentett oldali csatornáknak egyaránt a vízpótlás, a tájképi és ökológiai értékek megőrzése és helyreállítása, illetve az intenzív mezőgazdasági tevékenységekhez szükséges öntözővíz biztosítása.

2.2 A távérzékelés

2.2.1 Általános bemutatás

A tudomány fejlődésével lehetőség nyílt a különböző műholdas rendszerek alkalmazására. A távérzékelés tudománya távoli tárgyakról kapott információk sokaságaként értelmezhető, úgy, hogy az adatgyűjtés során nem lépünk közvetlen kapcsolatba a vizsgálandó objektummal, hanem szenzorokon keresztül vizsgáljuk azokat (Deli és Mészáros, 2010). Ennek köszönhetően könnyedén juthatunk információhoz a Föld felszínéről, amit különböző típusú képalkotó rendszerek biztosítanak számunkra. Ezek lehetnek űrhajók, repülőgépekre szerelt berendezések vagy napjainkban a mezőgazdaságban előszeretettel használt drónok. Az elmúlt évtizedekben maga a távérzékelés is óriási fejlődésen ment keresztül, aminek eredményeképp a távérzékelési kép adatokat jó minőségű spektrális felbontás, nagy időbeli felbontás és óriási adatmennyiség jellemzi (Döbröntey et al., 2024). Ezen adatsorok feldolgozására több térinformatikai szoftvert is ismerünk, mint például a dolgozat kutatási részében is használt QGIS (Quantum Geographical Information System) program, ami egy ingyenes, nyílt forráskódú szoftver (<http5>). Mindezeket széles körben használják különböző kutatási területeken, mint a természeti erőforrások felmérése, a természeti katasztrófák monitorozása, a várostervezés vagy a katonai felderítés (Bozsó, 2024).

A távérzékelési eszközök osztályozása többféle szempont alapján történhet. Kategorizálhatjuk őket passzív és aktív üzemmód szerint. Passzív rendszerről akkor beszélünk, amikor a műholdak a Föld felszíne által visszavert vagy kibocsátott természetes sugárzást regisztrálják, ilyenkor az energiaforrás a Nap (Bozsó, 2025). Ilyen rendszerek például az optikai kamerák, amik a látható és a közeli infravörös hullámhossztartományban működnek vagy a digitális infravörös hőmérők. Ezeket rendszeresen használják éghajlati változások tanulmányozására vagy vegetációtérképezésre. Az aktív rendszert tekintve a műhold maga sugározza ki az elektromágneses hullámot, ami lehet rádióhullám vagy lézer, majd ezt a Föld felszíne visszaveri és a vevő ezt a jelet érzékeli. Ezt előszeretettel alkalmazzák például a hidrológiai, erdészeti, mezőgazdasági kutatások során (Duan et al., 2021).

A csoportosítás a szenzor azon tulajdonsága alapján is megtörténhet, hogy egyszerre hány csatornát tud rögzíteni egy időpillanatban. Ez alapján megkülönböztetünk pankromatikus, multi - és hiperspektrális szenzorokat. A pankromatikus érzékelők esetén a

műszer egy sávot tartalmazó kép készítésére képes, a fényerősséget érzékelve adott hullámhosszon egy fekete-fehér képet ad vissza (Deli és Mészáros, 2010). A multispektrális szenzoroknál egyszerre több (4-20 közötti) és szélesebb (50-120 nm) sávban készülhet felvétel. Így az elkészült spektrum diszkrét sáv tartományokból áll. Ezzel szemben a hiperspektrális érzékelők esetében 20-nál több, viszont keskenyebb (1 nm körüli) sávban zajlik a detektálás. Ezáltal a spektrális felbontás itt nagyobb, így folytonos spektrumot eredményez (Biró et al., 2023).

Egy újabb szempont lehet a távérzékelők csoportosítása esetén a megfigyelés távolságának mértéke. Nagy területű vizsgálatokhoz a Föld körül keringő műholdak a legideálisabbak. Hosszú időn át működnek, így egy-egy műholdmisszió több tagja révén több 10 évre visszamenőleg is adatsorokhoz juthatunk. A berendezések egy másik fajtája a pilóta nélküli légi járművek, drónok, melyek rugalmasabb és költséghatékonyabb módszert jelentenek. Alacsonyan is képesek repülni, ezáltal kiváló minőségű képeket biztosíthatnak. Helyi és regionális kutatások során sok esetben használnak repülőgépeket, amik szintén nagy pontosságú, részletes képeket készíthetnek a Föld légkörén belül maradván (Mukanova, 2025).

2.2.2 Történelmi háttér

A távérzékelés kialakulásának története egészen az 1700-as évekig nyúlik vissza. Már 1728-ban felmerült az ötlet Sir Isaac Newtonban, hogy mesterséges testet küldjünk a világűrbe. Elmélete szerint, ha megfelelő energiával kilövének egy testet, az nem zuhan vissza, hanem a gravitációs teret követve a Föld körüli pályára kerül (Nóta, 2023). További fontos mérföldkő volt az első hőlégballon magasba emelkedése 1783-ban, illetve a fényképezés feltalálása 1839-ben. Az első légi felvétel elkészülésére 1858-ban került sor csillagászati célokból (Deli és Mészáros, 2010).

A csillagászat mellett a katonai érdekek is sürgették a távérzékelés fejlesztését. Már az amerikai polgárháborúban készültek fényképek hőlégballonokról, majd a repülőgépek megjelenésével, az I. világháborútól ezeket használták a légi felvételezésre. A katonai műveletek egyik hasznos eszközévé vált, hiszen fontos volt a hírszerzés és a stratégiai tervezés szempontjából is. A felvételek segítségével nyomon követhették a csapatok mozgását, az erődítményeket és a tüzérségi csapások hatását. Nagy hasznát vették az első és második világháborúban egyaránt.

A II. világháború lezárultával már nem csak katonai, hanem polgári célokra is egyre szélesebb körben alkalmazták a technológiát. Hasznát vették a földhasználat értékeléseknél, környezeti monitoringoknál, illetve a polgári térképészet fejlesztésénél (Mukanova, 2025). Talán a legnagyobb lépést a Föld légköréből való kilépés, az űrhajózás jelentette. A 20. század második felétől már beépítették a különböző űrkutatási programokba a légi felvételek folyamatos készítését (Deli és Mészáros, 2010).

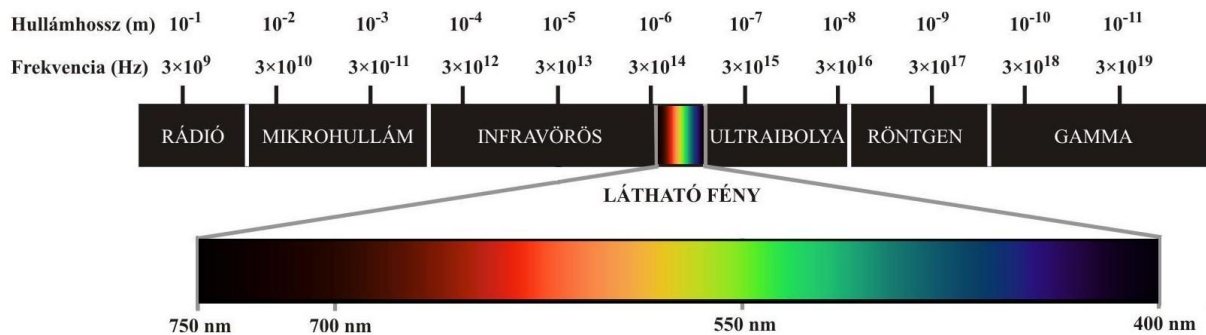
Az első műhold a szovjet Szputnyik-1 műhold volt, amit 1957-ben lőttek ki a világűrbe. Ezt követve rohamosan fejlődő űrverseny indult, amibe az amerikaiak is beszálltak. Elsőként a TIROS műholdakat, majd pár évvel később az ERTS névre keresztelt műholdat indították útjára, mint a földmegfigyelési programjuk első elemét (Nóta, 2023). Ezt pár évvel később Landsat-1 műholdnak nevezték át (Deli és Mészáros, 2010). A szovjeteket és az amerikaiakat követve a franciák is beszálltak a fejlesztésekbe és sorra indultak új műhold programok. 1961-ben már 115 szatellit tartottak számon, aminek száma mára már a hatezret is túllépi (Nóta, 2023).

2.2.3 A távérzékelés elméleti alapjai

A távérzékelés elméletének alapját az elektromágneses spektrum (EM) alkotja. Ez az elsődleges közeg, amely által adatokat gyűjtenek a Föld felszínéről és a légkörről. Nagyon fontos esetünkben az elektromágneses sugárzás definíciójának tisztázása. Az elektromágneses sugárzás olyan tovaterjedő energia, amit a gyorsuló elektromos töltés és a hozzá kapcsolódó elektromos és mágneses tér hoz létre. Ez hullámként terjed tovább, amihez nincs szükség közvetítő közegre. A hullám tulajdonságait a sugárzás hullámhossza szabja meg (<http6>).

A távérzékelési technológia az EM spektrum eltérő hullámhosszúságú sávjait használja fel, amibe beletartozik a látható, az infravörös és a mikrohullámú régiók. Az egyes hullámhossztartományokat jeleníti meg a 8. ábra. Ezek mindegyike más tulajdonságukból kifolyólag eltérő környezeti elemek vizsgálatára adnak lehetőséget. Például a látható és a közeli infravörös spektrumot víztestek állapotának, földfelszín változásoknak vagy a növényzet egészségének feltérképezésére használják. A termikus infravörös spektrum nagy hatékonysággal monitorozza a hőáramok és a nedvességviszonyok változását. A mikrohullámú sáv alkalmazásával pedig lehetőségünk nyílik a felhőborítottság okozta nehézségek kiküszöbölésére, illetve az éjszakai adatgyűjtésre, így az időjárási körülmények és a napszakok sem szabnak határt a folyamatos vizsgálatoknak (Mukanova, 2025).

8. ábra: Elektromágneses spektrum hullámhossztartományai
(Forrás: Finta et al., 2021)



Fontos megemlíteni, hogy amikor a sugárzás átjut a Föld légkörén az abszorpció, a szórás vagy a reflexió jelenségei ugyanúgy hatnak csak kisebb mértékben, mint más hullámhossztartományokban. Ezeknek a jelenségeknek köszönhetően a távérzékelési szenzorokba jutó EM sugárzás mennyisége csökken, így jelentősen befolyásolják a távérzékelési folyamatot (Deli és Mészáros, 2010).

A következőkben Boronyák (2016) tanulmánya szerint foglaljuk össze az elektromágneses sugárzás jellemzőit. Abszorpcióról akkor beszélünk, amikor az EM sugárzást a légköri részecskék elnyelik és ezáltal energiaveszteség történik. Három molekula vesz részt legfőképp a légköri abszorpcióban: a szén-dioxid, a vízgőz és az ózon. A sugárzás a légköri ablakokban azért tud sikeresen átjutni, mert az abszorpcióra hajlamos részecskék száma nagyon alacsony, így a transzmisszió végbemehet. A szóródás esetében nem történik energiaveszteség. Itt a sugárzás gyengülése az irányának megváltozásából adódik. A beérkező sugárzás hullámhossza és a szóró részecskék karakterisztikája határozza meg a szóródás típusát. Ha a szórásért felelős részecske átmérője nagyságrendileg közelít a sugárzás hullámhosszához, akkor Mie-szórásról, ha viszont ez a méret minimum egy nagyságrenddel kisebb, akkor Rayleigh-szórásról beszélünk. Mivel a Rayleigh-szórás a hullámhossz negyedik hatványával fordítottan arányos, a rövidebb hullámhosszok visszaverődése sokkal erősebb. Ezzel magyarázható azon műholdképek homályossága, amik a látható fény tartományában készültek és ezáltal a kontraszt csökkent. A Mie-szórás esetében az aeroszol részecskék főleg a légkörben lévő por és vízgőz. A szóródás harmadik típusát a nem-szelektív szórás adja, ami akkor megy végbe, ha a részecskék nagy méretűek, mint egy esőcsepp és ehhez képest a hullámhossz nagysága sokkal kisebb. Ekkor a sugárzást ugyanolyan mértékben szórják, vagyis nem-szelektíven. Harmadik ilyen jelenség a reflexió, azaz visszaverődés. A légkörben ezért a porszemcsék vagy vízcseppek felelnek. Mivel ezek más - más anyagi tulajdonsággal bírnak, másképp reflektálják vissza az energiát.

Adott anyagot különböző hullámhossztartományokban mérve megállapíthatjuk a rá jellemző anyagi tulajdonságokat, ha a visszaverődésről spektrális reflektancia görbét készítünk. Ezt sok esetben használják például vízminőség feltérképezésre, hiszen a távérzékelés során a vízfelszín által visszavert sugárzás jelentős mértékben függ a víz minőségétől (Boronyák, 2016).

2.2.4 Térinformatikai rendszerek

A távérzékelés fejlődésével párhuzamosan egy újabb tudományág alakult ki, ez a térinformatika. A technológia lehetővé tette a papíralapú, hagyományos térképhasználat digitalizációját (Deli és Mészáros, 2010).

A GIS (Geographical Information System), magyarul földrajzi információs rendszer, (viszont a szakirodalomban a térinformatikai rendszer kifejezést használják), egy olyan térinformatikai eszköz, ami segítségével lehetőség nyílik a földrajzi helyhez köthető nagy méretű adathalmazok hatékony feldolgozására és tárolására. Ezzel a számítógépes rendszerrel könnyedén gyűjthetünk térinformatikai adatokat, majd ezeket tárolhatjuk, elemzéseket készíthetünk és a feldolgozott információkat különböző formátumokban megjeleníthetjük.

Alkalmazásának előnye többek között, hogy globális, tehát az adatok bárhol lekérhetőek a rendszerből. Ennek köszönhetően a GIS összeköti az embereket, kutatókat, különböző szakterületeket. Elérhető funkció továbbá a változások nyomon követése egy közös adatbázisban, illetve lehetőséget ad a kéttípusú adatrendszerek egyesítésére, így egyszerre kezelhetőek a vektor és a raszter formátumú adatok (Nagy és Zichar, 2010).

A rendkívül hatékony adatfeldolgozásnak köszönhetően, egyre szélesebb körben alkalmazzák a szakemberek. Néhány fontos szakterületet felsorolva, előszeretettel használják a környezetvédelem, településrendezés, közlekedés, logisztika, egészségügy, oktatás, mezőgazdaság és a katasztrófavédelem területén (http7).

2.2.5 A távérzékelés és a GIS alkalmazása a vízgazdálkodásban

Mindennapi életünk során a víz elengedhetetlen érték. Egy olyan természeti erőforrás, amire egész társadalmunknak és az élővilágnak napról-napra szüksége van. Ezért is nagyon fontos, a meglévő vízkészleteink megóvása és a vele való gazdálkodás. Ehhez pedig elengedhetetlen a vízkészlet feltérképezése, időbeli és térbeli eloszlásának vizsgálata, amihez segítségünkre lehet a távérzékelés és a térinformatika tudománya.

A távérzékelés által alapvető adatokhoz jutunk a vízkészletekről, a hidrológiai folyamatokról, az aszályok és az árvizek okozta problémákról, míg a földrajzi információs rendszerek a leghatékonyabb eszközöket nyújtják a vízkészletek, az aszály- és árvíz-kockázat kezeléséhez (Wang and Xie, 2018).

A távérzékelés felhasználásával különböző hidrológiai modellek születtek, amik képesek teljes értékű modellezést nyújtani a múltbeli események rekonstrukciójától kezdve a jövőbeni események előrejelzéséig. Például árvíz-kockázat elemzések során olyan modellek készülnek, amelyekkel a műhold által mért csapadék adatokból történelmi árvizek szimulációját képesek létrehozni (Wang and Xie, 2018).

A felszíni és felszín alatti vízkészlettel foglalkozó felmérésekhez is használható a műholdképek nyújtotta adatok. Ezekhez olyan spektrális indexeket alkalmaznak, amelyek a felszín reflektanciájának két vagy több hullámhosszon történő kombinációjából állnak és könnyedén kinyerhetők a műholdképekből. Víz- és nedvességtartalom monitoringok során sokszor használják az NDWI (Normalised Difference Water Index), NDMI (Normalised Difference Moisture Index) vagy WRI (Water Ratio Index) néven ismert indexeket, melyek a felszín vízborítottságáról, illetve a talaj nedvességviszonyairól adnak információt (Mustafa et al., 2017). A kutatásom anyag és módszertan fejezetében részletesen is bemutatom az általam is használt NDWI indexet.

3. Anyag és módszer

Ebben a fejezetben a Szigetközi hullámtéri vízpótló rendszerben található Ásványrárói- és Bagaméri-mellékágrendszer vízfelületének időbeli változásainak, távérzékelési adatokon alapuló elemzéséhez használt módszereket és anyagokat ismertetem. A kutatás műholdképeket, térinformatikai elemzést és statisztikai technikákat alkalmaz a hosszú távú trendek értékeléséhez.

3.1 A vizsgálati terület leírása

Szigetköz hazánk északnyugati régiójában a Kisalföld tájegység északi részén helyezkedik el. Határát a Mosoni-Duna és az Öreg-Duna medre jelenti. Területe 375 km², ami 52,5 km hosszan és átlagosan 6-8 km szélességben terül el. Lejtési viszonyai szerint két részre: Felső- és Alsó-Szigetközre tagolható. A szigetközi ágrendszer mellékágrendszerekre osztható tovább. Vizsgálati területemet két ilyen mellékágrendszer alkotja, az Ásványrárói- és a Bagaméri-mellékágrendszer, melyekre nagy hatással volt az 1992-es Duna elterelés, majd az azt követő rehabilitációs munkálatok. Ezek az emberi beavatkozások jelentősen megváltoztatták a természetesen kialakult hordalékkúp egykori képét (Jakus et al., 2024). A vizsgálati területtel kapcsolatos részletes elemzés a 2.1 alfejezetben található.

3.2 Adatgyűjtés és a műholdadatok

A tanulmány során a Landsat 8 műholdképeit töltöttem le az USGS Earth Explorer nevű oldalról (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) és ezeket használtam a vízborítottsági vizsgálatokhoz. A képek a 2013-2023 közti időintervallumot ölelik fel, tavaszi időszakban.

A Landsat 8 műholdat 2013. február 11-én indították útjára. Ez a műhold a Landsat sorozat tagja, amit a Nemzeti Repülési és Űrhajózási Hivatal (NASA) és az Egyesült Államok Földtani Szolgálat (USGS) együtt üzemeltet. A Landsat 8 műhold két műszerrel dolgozik az OLI (Operational Land Imager) és a TIRS (Thermal Infrared Sensor) szenzorokkal, összesen 11 spektrális sávval. A látható, közeli infravörös, rövidhullámú, illetve hosszuhullámú infravörös hullámhossztartományokban mér. Multispektrális felbontásuk 30 m, a pánkróm sáv 15 m és a termikus sávok 100 m-es felbontásúak (http8). Az OLI szenzor 9 csatornát alkalmaz a látható fény és a közeli infravörös tartományban. A másik érzékelő, a TIRS, a hosszuhullámú infravörös spektrumban dolgozik (http9). Az 1. számú táblázat a Landsat 8 műhold egyes sávjait és azok alkalmazását mutatja be.

1. táblázat: A Landsat 8 műhold egyes sávjainak bemutatása
(Forrás: Saját készítés USGS weboldal alapján)

Landsat 8 sávok (Bands) és felhasználásuk				
<i>Sávok</i>	<i>Hullámhossz (μm)</i>	<i>Térbeli felbontás (m)</i>	<i>Megnevezés</i>	<i>Felhasználás</i>
Band 1	0.43-0.45	30	Coastal Aerosol	Part menti vizsgálatok, aeroszolérzékenység
Band 2	0.45-0.51	30	Blue	Vízfelismerés, talaj és növényzet különválasztása, vegetáció egészsége
Band 3	0.53-0.59	30	Green	Növényzet (klorofill) vizsgálata, víztestek határainak kiemelése
Band 4	0.64-0.67	30	Red	Vegetációs indexek (NDVI), talaj-növény szétválasztás
Band 5	0.85-0.88	30	Near Infrared (NIR)	Vegetáció egészsége, NDVI, NDWI, biomassza vizsgálat
Band 6	1.57-1.65	30	SWIR 1	Talajnedvesség, égésnyomok, felhő-hő elkülönítés
Band 7	2.11-2.29	30	SWIR 2	Növényzet stressz, talajtipusok, ásványok felismerése
Band 8	0.50-0.68	15	Panchromatic	Nagy felbontású fekete-fehér kép készítés
Band 9	1.36-1.38	30	Cirrus	Magas légköri felhők kimutatása
Band 10	10.60-11.19	100	Thermal Infrared (TIRS 1)	Hőmérsékleti vizsgálatok, felszíni hőmérséklet (ST) számítás
Band 11	11.50-12.51	100	Thermal Infrared (TIRS 2)	Hő-infravörös, felszíni hőmérséklet kiegészítő sáv

A Landsat 8 műhold két adatminőség-szinttel rendelkezik (Level 1 és Level 2), amik között a különbséget az eltérő feldolgozás és ezáltal a különböző felhasználási lehetőség adja. Az 1. szintű (Level 1) adatok esetében radiometriai és geometriai korrekciókkal, viszont légköri korrekció nélkül, szolgáltatják a légkör felső részének reflexióját és a szenzorban mért sugárzást. Míg a 2. szinten (Level 2) lévő adatok magukba foglalják a teljes 1. szintű korrekciót, továbbá a LaSRC algoritmust felhasználva légköri korrekciót is tartalmaznak, ezáltal felületi visszaverődést és felületi hőmérsékletet is mérnek (http10). A vizsgálat során a 2. szintű adatsort használtam, ami a légköri korrekció által előnyösebb a környezeti viszonyok elemzéséhez.

A vizsgálat során a mellékágrendszerek műholdképén a szárazföld és a víz elkülönítése, majd a vízfelület kiszámítása a Normalizált Differenciált Víz Index (NDWI) alkalmazásával történt, a 3-as sáv (GREEN) és az 5-ös sáv (NIR) használatával.

3.3 Adatfeldolgozás

3.3.1 Szoftver

Az Ásványrárói- és Bagaméri-mellékágrendszer területének változását a QGIS nevű szoftver segítségével tanulmányoztam. A QGIS, alapvetően Quantum GIS néven ismert nyílt forráskódú, ingyenes földrajzi információs rendszer (GIS). Előszeretettel alkalmazzák például a földtudományokban, de felhasználása szinte már minden szakterületen megjelenik. Hatékony térinformatikai adatfeldolgozást, szerkesztést, elemzést tesz lehetővé különböző adatformátumok esetén (Nagy és Zichar, 2010).

A szoftvert Gary Sherman fejlesztette ki 2002 májusában, majd ugyanezen év júniusától vált elérhetővé. Elsősorban a cél egy ingyenes, felhasználóbarát program létrehozása volt, ami hatékony térképszintű megjelenítést és a vektoradatok kezelését teszi lehetővé. Ez a célkitűzés az évek során tovább alakult és számtalan fejlesztésen esett át. Napjainkban már mindennapi szinten használják térinformatikai adatok megjelenítésére, adatgyűjtésre, fejlett térinformatikai elemzésre, valamint pontos, részletes térképek, atlaszok, illetve jelentések kidolgozására. Egyszerre képes befogadni és feldolgozni a különböző vektoros és raszteres adatformátumokat, különféle bővítmények hozzáadásával. A QGIS olyan feltételrendszer alatt fut, amit a GNU Általános Nyilvános Licenc (GPL) támogat. Így ez a licenc biztosítja, hogy a forráskód szabadon megtekinthető és módosítható, így a felhasználók mindig hozzáférnek egy ingyenes, szabadon fejleszthető térinformatikai szoftverhez ([http11](http://11)).

3.3.2 Adatok előkészítése

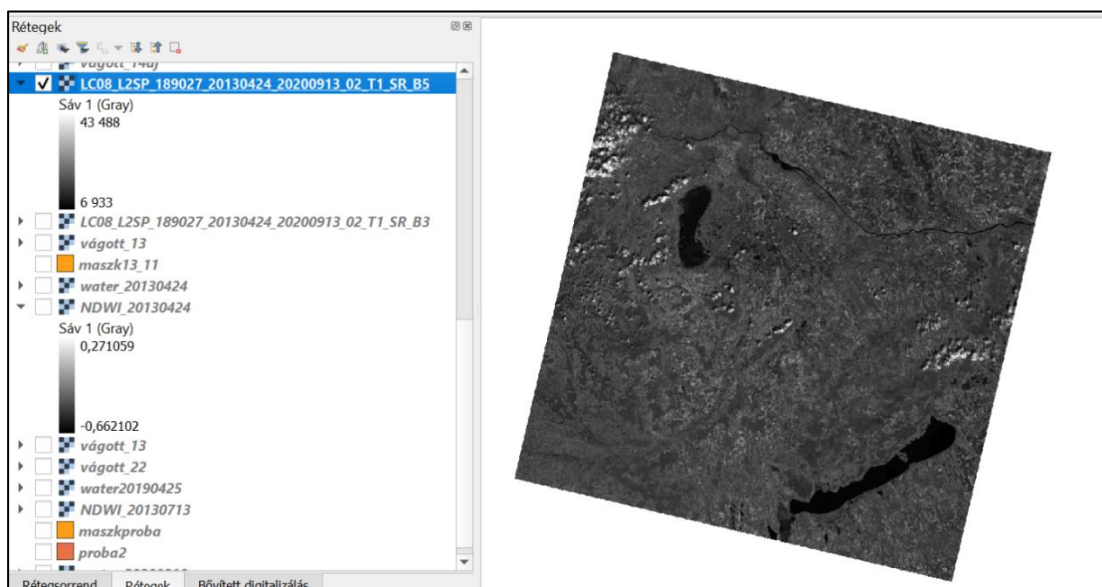
A tanulmány elkészítéséhez a Landsat 8 OLI műholdfelvételeit használtam, amit az USGS weboldaláról töltöttem le. Mivel a Landsat 8 sorozat 2013. februárjában indult, így megfelelő volt számomra a 2013-2023 közötti, 10 éves időintervallum vizsgálatához. Első körben a nyári időszakra próbáltam minden évre képadatot találni, viszont a felhőborítottság miatt ez nem sikerült. Ezt követően az egységes mintasorozat eléréséhez a tavaszi évszakban vizsgáloztam tovább. A képek keresése során az Operational Land Imager (OLI) szenzorai által mért Level-2 (Surface Reflectance) feldolgozottsági szintű adataira szűrtem rá, mert ezek már légköri korrekcióval ellátottak, így az időbeli összehasonlításra alkalmasak. Miután a műholdképek megfeleltek minden kritériumnak, azaz a felhőborítottság mértéke minimális volt, a felvételek időpontja a tavaszi hónapokra esett és lefedte a vizsgált területet, letöltöttem a műholdképet.

A későbbi NDWI kalkulációhoz a műhold két sávjára (Band 3 (Green) és a Band 5 (NIR)) volt szükség, ezért ezeket Raszter réteggként importáltam a QGIS 3.28 szoftverbe minden évre egyesével, a 9. ábrán látható módon. Így a sávok külön rétegeket jelenítettek meg. A Normalized Difference Water Index (NDWI) számítása előtt a rétegeket, a könnyebb feldolgozhatóság érdekében, maszkoló réteggel levágtam. Ahhoz, hogy a vizsgált terület megfelelően látszódjon, téglalap alakú maszkoló réteget készítettem. Ennek menete a következő:

- Létrehoztam a QGIS-ben egy új Shapefile típusú vektorréteget.
- Az új réteghez egy szerkesztési módot nyitottam, majd a *Felületelem hozzáadása* opcióval téglalap alakú poligont rajzoltam 3 pontból, ügyelve arra, hogy a vizsgált területet lefedje.
- A poligont elneveztem, majd a szerkesztést mentettem és lezártam.

Miután a maszkoló réteg elkészült a *Raszter vágása maszkoló réteggel* lehetőséget használtam a Landsat 8 felvételek kivágásához, ami a *Raszter – Kivonat* fül alatt található. A vágás során a kimeneti raszterek csak a megadott téglalap területén belül maradtak meg, így a későbbi számítások kizárólag a vizsgálati területre vonatkoztak. A vágás során fontos szempont volt, hogy a Duna főmedre ne kerüljön a vizsgált területbe, hogy ne torzítsa a mellékágrendszer vízszint változásának adatait. A vágás eredményeképp csökkentettem az adatfájlok méretét, illetve azonos területet lefedő rétegeket hoztam létre mind a 10 évre.

9. ábra: Műholdképek megjelenítése a QGIS rendszerben
(Forrás: saját készítés alapján)



3.3.3 Normalizált különbség vízindex (NDWI) számítás

A felszíni víztestek azonosítása és mérése során, a spektrális sávokat felhasználva kalkuláció végezhető. A vízindex segítségével lehetőség nyílik a szárazföld és a víz megkülönböztetésére. A vízindex mögött egy olyan matematikai modell fut, mely két vagy több sávot alkalmaz a számításhoz, így könnyedén megkülönböztethetőek a vízi és nem vízi területek. Stuart McPheeters fejlesztette ki ezt az egyik indexet 1996-ban, ami a mai napig egy elterjedt műholdas távérzékelési módszer, ez a Normalizált Különbség Vízindex (NDWI) (Özelkan, 2020).

A módszer során az elektromágneses spektrum közeli infravörös (NIR) és zöld (Green) hullámhosszait használja a felszíni víz meghatározására. A víz és a szárazföld megkülönböztetésének alapját a zöld és a közeli infravörös sávok reflektanciaértékeinek aránya határozza meg. A vízfelületek a zöld tartományban magasabb fényvisszaverő képességgel rendelkeznek, míg a közeli infravörös sávban alacsonyabb reflektanciát mutatnak. Ezzel szemben a talaj és a növényzet ennek ellenkező értékét mutatja. Ennek eredményeképp a víz pozitív, a növényzet és a talaj negatív NDWI értékeket vesz fel.

Az index értékei elméletileg - 1 és + 1 között mozognak, ahol a + 0,1 - + 1,0 közötti értékek jellemzően a vízborításra, míg a 0 alatti értékek a száraz felszínre vagy növényzetre utalnak (Acharya et al., 2018).

A számítást a QGIS szoftver *Raszter kalkulátor* eszközével végeztem a 10. ábra alapján. Az alábbi képletnek megfelelően:

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR)$$

A Landsat 8 esetében:

Green = Band 3

NIR (Near - Infrared) = Band 5

10. ábra: NDWI számítás
(Forrás: saját készítés)

```
Raszter kalkulátor kifejezés
( "LC08_L2SP_189027_20130424_20200913_02_T1_SR_B3@1" - "LC08_L2SP_189027_20130424_20200913_02_T1_SR_B5@1" ) /
( "LC08_L2SP_189027_20130424_20200913_02_T1_SR_B3@1" + "LC08_L2SP_189027_20130424_20200913_02_T1_SR_B5@1" )
```

Az eredményül kapott raszterek a vízfelületet világos (pozitív NDWI), míg a száraz területeket sötétebb (negatív NDWI) tónusokkal jelenítik meg.

Továbbá a vizes és száraz területek pontosabb megkülönböztetésére a küszöbérték kiválasztásának algoritmusát alkalmaztam. A módszer a már korábbiakban említett határértékeken alapul, amely szerint a 0-nál nagyobb NDWI víz, a 0-nál kisebb vagy egyenlő pedig nem vízi mező. Ebből adódóan a küszöbérték feletti pixeleket víznek, míg a küszöbérték alatti pixeleket nem víznek minősíti. Ezáltal egy bináris raszteres fekete-fehér térkép alkotható, amely kalkuláció szintén a *Raszter kalkulátor* felhasználásával végezhető el a 11. ábra szerint. Az így

előállított NDWI-térképek segítségével az egyes évek vízborítottsága összehasonlíthatóvá vált és meghatározható a vízfelület kiterjedésének időbeli változása.

11. ábra: A küszöbérték kiválasztás
(Forrás: saját készítés alapján)



3.3.4 Területszámítás

A területszámításhoz a már korábban elkészített fekete-fehér raszterrétegeket használtam fel. Ezekből a rétegekből először vektor réteget hoztam létre a *Raszter – Konverzió – Felület készítés (raszter – vektor)* funkcióval, majd ezeket szintén minden évre elmentettem. Az elkészült vektorréteg attribútumtáblájában az *Elemek kiválasztása kifejezéssel* lehetőséget megnyitva, a *Mezők és értékek* fül alatt az alábbi kifejezést írtam a szerkesztőbe: $'DN' = 1$

majd az elem kiválasztása gombra kattintottam. Ennek eredményeképp az attribútumtáblában kijelöltem az összes 1 - es értékkel rendelkező mezőt. Ezután a vektor rétegen jobb egérgombbal kattintva az *Exportálás* fül alatt a *Kiválasztott elemek mentése másként* lehetőséget választottam és shape fájlként elmentettem. Ez a QGIS rendszerben már csak a területem vízrendszerét jelenítette meg.

Következő lépésként az új vektorrétegen ismét az *Attribútum táblát*, majd az *Elemek kiválasztása kifejezéssel* ablakot nyitottam meg és a *Geometria* fül alatt az *\$area* lehetőséget választottam. Ezzel létrehoztam az attribútum táblában egy új oszlopot, amely a vektorréteg vízfelületének nagyságát adja meg m²-ben. Ezen a rétegen jobb egérgombbal kattintva exportáltam az adatokat egy MS Office munkafüzetbe XLSX formátumban.

Az Excel táblázatot megnyitva az *Area* oszlopcím alatt a terület adatok találhatóak, amiket egy *SZUM* függvénnyel összeadtam (így megkaptam a vízfelület összegét m²-ben), majd a kapott értéket 10 000-rel elosztva megkaptam a felület nagyságát hektár (ha) nagyságrendben is.

Ezt a munkafolyamatot minden évre elvégeztem és a kapott terület értékeket egy külön Excel táblázatban foglaltam össze.

4. Eredmények

4.1 A vizsgálati időszak kiválasztása

Az adott 2013 és 2023 közötti időszak kiválasztásának oka, hogy lehetőség legyen az Ásványrárói-mellékágrendszerben lezajlott emberi beavatkozások előtti állapotot összehasonlítani a munkálatok alatt fennálló vízborítottsággal, illetve a projekt befejezését követő időszakokkal és a napjainkban lévő állapotokkal. Így egy átfogó, 10 éves időintervallumot felölelő adatsorhoz juthatunk.

4.2 Az NDWI-indexek általános jellemzése

A 2013 és 2023 közötti időszakban készült NDWI-index térképek jól szemléltetik a Szigetköz hullámtéri vízrendszerének időbeli és térbeli változásait egyaránt. Az index értéktartománya - 1 és + 1 között változott, ahol a pozitív értékek jelölik a vízfelületet és a negatív tartományba eső értékek jelzik a száraz felszínt és a növényzettel borított területeket. A vízfelületek legkönnyebben elkülöníthetők voltak + 0,1 és + 0,5 közötti NDWI értékeknél.

Az NDWI térképek létrehozása után megállapíthatóvá vált, hogy a vízborítottság a legnagyobb kiterjedést a Duna főágában és az ahhoz közvetlenül kapcsolódó, szélesebb mellékágakban mutatta. A mellékágrendszer belső területein, a szűkebb, sekélyebb csatornák mentén a vízfelületek erősen váltakoztak. Ez a kevésbé stabil állapot kialakulása függhet a vízpótló rendszer működésétől, a Duna vízjárásától, valamint a növényzet mértékétől egyaránt.

Az index-értékek alapján a 3.3.3 pontban leírt módon létrehozott Excel tábla az egyes évekre jellemző vízfelület nagyságát fejezi ki, illetve a 2013-as kiinduló évhez viszonyítva százalékosan ismerteti a vízborítottság változását. Ezeket az eredményeket összegzi a 2. táblázat.

2. táblázat: A vízfelület-változás 2013 és 2023 között
(Forrás: saját készítés)

Év	Vízfelület (m ²)	Vízfelület (ha)	Vízfelszín-változás (%)
2013	3557373,62	355,74	100
2014	2028425,83	202,84	-43
2015	1799836,81	179,98	-49
2016	3279298,38	327,93	-8
2017	3590671,21	359,07	1
2018	3377387,92	337,74	-5
2019	3555572,19	355,56	0
2020	4020827,96	402,08	13
2021	3601466,49	360,15	1
2022	3274796,31	327,48	-8
2023	3578068,13	357,81	1

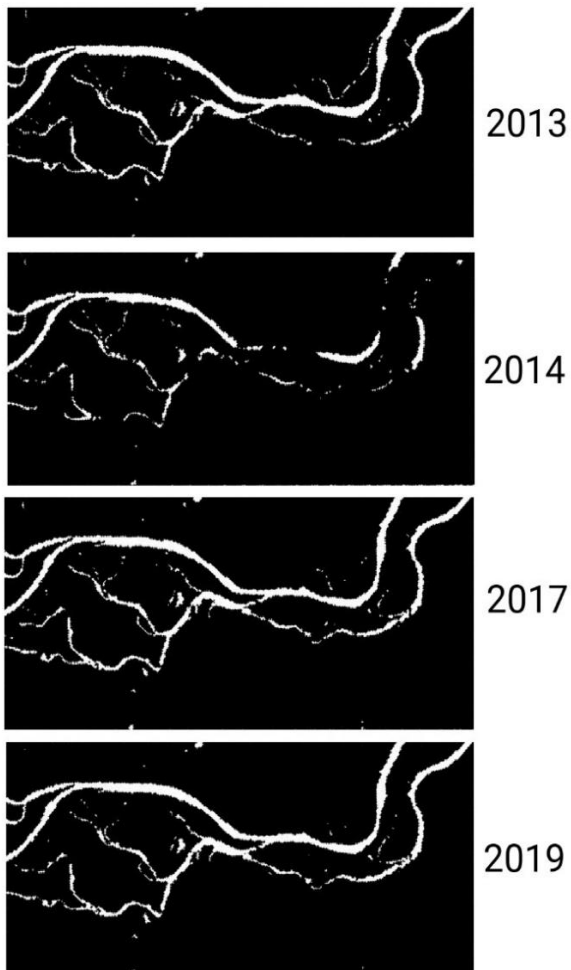
4.3 A vízfelszín-változások az egyes években

A vizsgálati időszakban az NDWI-értékek alapján megfigyelhető, hogy az Ásványrárói-mellékágrendszer vízfelületének kiterjedése jelentős évenkénti ingadozást mutatott. Erre a terület éghajlata, a napjainkban egyre fokozódó éghajlatváltozás, a további vízgazdálkodási beavatkozások, illetve a Duna vízjárása mind-mind befolyásoló tényezőként hathat.

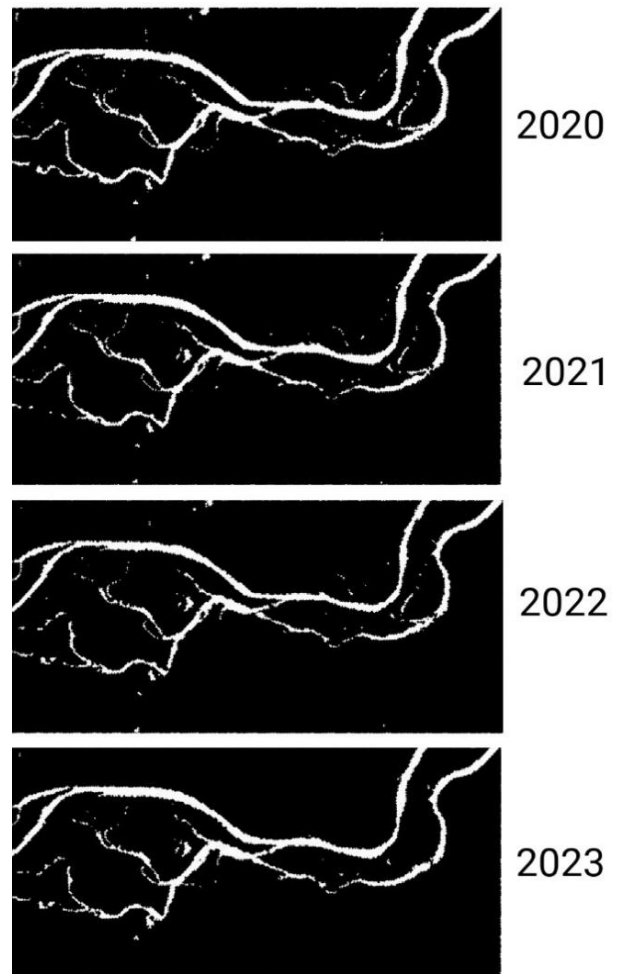
A műholdfelvételekből készített NDWI-térképek a 12. és 13. ábrán láthatóak az egyes évek jelölésével. A képek kiválasztásánál arra törekedtem, hogy elkerüljem a közel hasonló évek ábrázolását és hangsúlyozzam a fontosabb évek közti látható különbségeket. Így szemlélteti a 12. ábrán a 2013-as év a beavatkozás előtti állapotot, a 2014-es év a munkálatok alatti megfogyatkozott vízkészletet, a 2017-es év az építkezés befejezése utáni vízvisszatartás megkezdését és a 2019-es év a növekvő és egyre szélesedő vízfelületet. A 13. ábrán a 2020 és

2023 közti időszakot illusztráltam. amivel a jelen állapothoz közelebbi éveket jelenítem meg, próbálva hangsúlyt fektetni az aszály és a szélsőségesen lehulló csapadék okozta szembetűnő változtatások ábrázolására.

12. ábra: Az NDWI térképek a 2013-as, 2014-es, 2017-es és 2019-es évben
(Forrás: saját készítés)



13. ábra: Az NDWI térképek a 2020-as, 2021-es, 2022-es és 2023-as évben
(Forrás: saját készítés)



A következőkben az egyes évek eredményeit mutatom be (v.ö.: 2. táblázat):

Kiinduló pontként a 2013-as évet választottam. Ez a beavatkozás előtti állapotot mutatja az ágrendszeren belül, ezért a továbbiakban ezt tekintem a vízfelszín-borítottság elemzése során 100% -nak, és ehhez viszonyítom az elkövetkezendő évek adatsorait. A fekete-fehér műholdképeken szaggatott folyómedrek figyelhetők meg, illetve kisebb foltokat találunk a medrek közepén, amelyek az elterelés okozta vízszintcsökkenés következtében kialakult szigetcsoportokat ábrázolhatják, a rajtuk kialakult növényzettel.

A munkálatok elsősorban a 2014-es évben zajlottak, illetve a 2015-ös évben további beavatkozások folytak (ÉDUVIZIG, 2016) a vizsgálati területünk alatti mellékágrendszerekben. Ennek eredményeként egyértelműen látható, hogy az építkezések alatt a Szigetközbe juttatott vízhozam a megszokotthoz képest kevesebb volt. Ezt mutatja a jelentősen megfogyatkozott vízfelület is, ami a 2013-as évhez viszonyítva közel a felére esett. Számszerűsítve ez 43% -os vízfelület csökkenést jelentett 2014-ben, míg az ezt követő 2015-ös évben ez tovább fogyatkozott és 49% -ot esett.

A munkálatok lezárultát követően az Ásványi torkolati műtárgy működésének megkezdésével 2016 és 2018 között a vízfelszín ismét megnövekedett. A korábbi években felére csökkent vízfelület 2016-ban már csak -8% -os változást mutatott. Ahogy a 2. táblázatban is látható a beavatkozás után az első pozitív, vagyis vízfelület növekedést mutató év 2017 volt 1% -os víz gyarapodással. Az ezt követő évben, 2018-ban minimálisan ugyan, de ismét csökkent a vízzel borított terület nagysága 5% -kal. A m²-re vetített adatokat tekintve nem érzékelhető jelentős változás a kiinduló 2013-as évhez viszonyítva, viszont a műholdképeken látható, hogy elkezdődött a mellékágrendszeren belüli csatornák, nagyobb ágak kiszélesedése, illetve az eddig szaggatott partszakaszok összekapcsolódása.

A leglátványosabb növekedést a vízfelület kiterjedésében a 2019-2020 közti időszak szemlélteti. A műtárgy a hullámtér több szakaszán sikeresen hozzájárult a vízvisszatartás növeléséhez és a hullámtéri vízmozgások javításához. Ez 2020-ra +13%-os vízfelszín változást eredményezett a 2013-as állapotokhoz képest. Eddig a műholdképeken nem látható kisebb csatornák kezdtek vízzel megtelni, a medrek tovább szélesedtek. A meder közepén kialakult szigetek mérete is csökkenni kezdett, amit a vízszint növekedése eredményezett, illetve ezzel egyidejűleg a növényzettel borított sekély partok víz alá kerültek, így az ott található szárazföldi vegetáció visszaszorult a túlzott víztöbbletnek köszönhetően.

A 2021-2022-es években a vízfelület ismét csökkenést mutatott, amely összefüggésbe hozható az aszályos időjárási viszonyokkal és az alacsony Duna-vízhozammal. A felvételek alapján ebben az időszakban különösen a keskenyebb mellékágak területén volt érzékelhető a víz visszahúzódása. Azonban az adatok is mutatják, hogy vízhiány idején is képes volt a terület megtartani a beavatkozás előtti állapothoz közeli vízmennyiséget. 2021-ben a vízvisszatartásnak köszönhetően ez +1% -os vízfelületet jelentett, míg 2022-ben 8% -kal csökkent a mellékágak vízellátottsága.

A 2023-as évben ismét emelkedett a vízfelület mértéke. Láthatóan kiszélesedtek a mellékágak az ágrendszeren belül is és a korábbiakban említett kisebb szigetek szinte teljesen eltűntek. Ezen év felvétele egyre összefüggőbb képet mutat a terület vízborítottsága terén, mégis a számítások során kapott adatok alapján arra következtethetünk, hogy az éghajlatváltozás okozta növekvő hőmérséklet és ezzel párhuzamosan egyre erősebb mértékű párolgás kedvezőtlenül hat a víztestre, hiszen a 10 évvel korábbi adatokkal összevetve csupán 1% -os emelkedést tapasztalhattunk.

4.4 Az évenkénti változások lehetséges okai

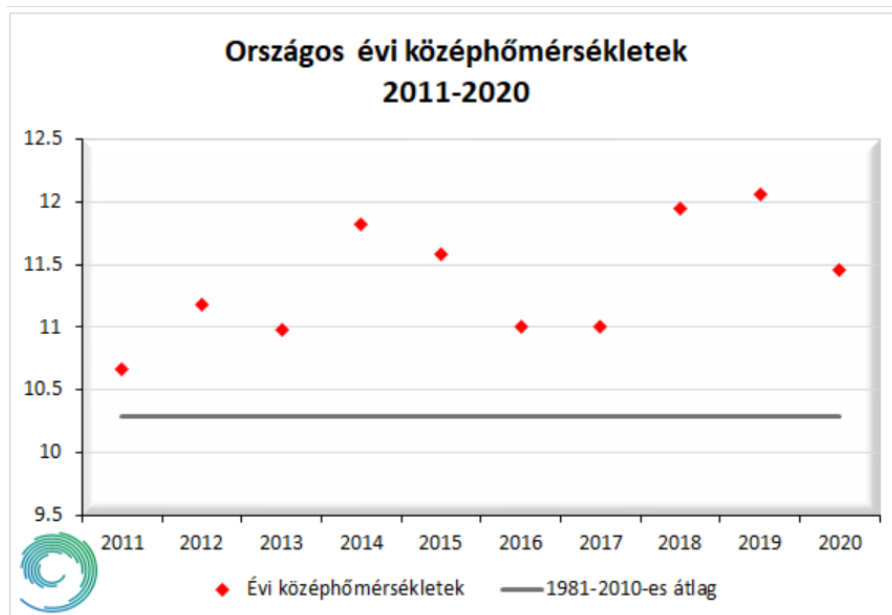
A vízborítottság éves és térbeli változásait több tényező befolyásolhatja. A következőkben a vízfelszín kiterjedés változásának okait egyesével tárgyalom, de fontos hangsúlyozni, hogy ezek sosem külön-külön eredményezik az elért állapotot, hanem együttes hatást gyakorolnak a területre.

4.4.1 Az éghajlat

Az éghajlati viszonyok határozottan megjelennek az NDWI-idősorban. Az átlaghőmérséklet növekedése az elmúlt években, illetve a lehullott csapadék évenkénti ingadozása párhuzamba hozható a vízfelület kiterjedésével. A HungaroMet adatai alapján az ezredforduló utáni időszakban a hőmérséklet egyértelműen emelkedett, míg a csapadékösszeg jelentősen ingadozó volt (http12). A 14. ábra szemlélteti az évi középhőmérséklet változását 2011 és 2020 között, a 2010-es évet megelőző 30 év átlagához viszonyítva.

Ahogy azt a 2. táblázat mutatja, 2020-ban növekedett a vizsgálati terület vízfelülete, míg például az ezt követő 2021-es és 2022-es években ismét csökkenni kezdett. Ez azzal magyarázható, hogy míg a 2020-as év kiemelkedően csapadékos volt, addig a 2021-2022-es évekre aszály volt jellemző. A 2020-as éveket megelőzően meglehetősen ingadozó volt a vízfelület nagysága, ahogy az éves csapadékösszegek értéke is.

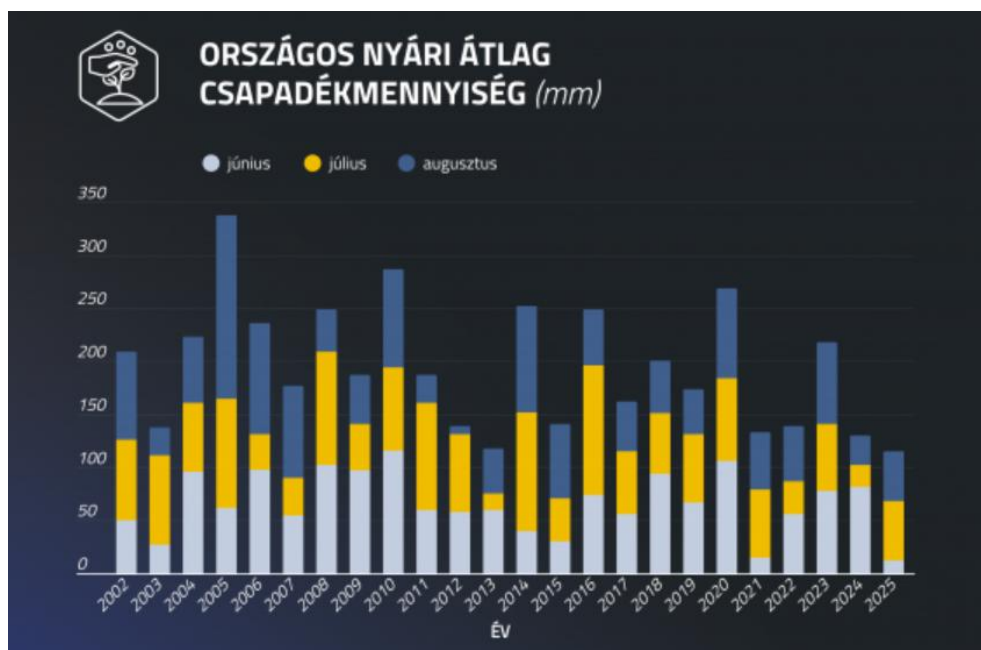
14. ábra: Országos évi középhőmérsékletek
(Forrás: HungaroMet)



4.4.2 Az éghajlatváltozás hatása

A hőmérséklet emelkedése és a csapadékeloszlás térbeli-időbeli egyenlőtlensége a párolgás fokozódásához és a felszíni vízkészletek csökkenéséhez vezet. Az egyre szárazabb nyarak nagy terhelést jelentenek nem csak a felszín alatti vízkészletre, hanem a tavaink, folyóink állapotára is. A HungaroMet országos adatai alapján (<http12>) az elmúlt évtizedben a nyári hónapok átlaghőmérséklete több mint 1 °C-kal nőtt az 1981–2010-es évek nyaraihoz képest. Ez a tendencia különösen erősen érinti a sekély mellékágakat, ahol a vízmélység alacsony, így az elpárolgás hatása viszonylag nagyobb. Ezt nehezíti az elmúlt években kialakuló csapadékhiány. Az országos nyári átlag csapadékmennyiség időbeli eloszlását mutatja be a 15. ábra, a 2002-es évtől kezdődően. Az ábra jól szemlélteti az egyenlőtlen mértékben lehulló csapadék mennyiségét a különböző években. Bár a vizsgálatom a tavaszi időszakokat érintette, a vízgazdálkodás szempontjából a nyarak a legkritikusabbak, hiszen a fokozott mértékű párolgás és a növényzet vízigényének növekedése megnehezíti az amúgy is aszályos időszakokat, ami természetesen hatással van a többi évszakban is a vízháztartásra.

15. ábra: Az országos nyári átlag csapadékmennyiség (mm)
(Forrás: HungaroMet)



4.4.3 A Duna vízhozama és vízjárása

A Duna vízhozamának éves és szezonális ingadozása szoros összefüggésben áll a vízborítottság mértékével. A kisvizes időszakokban a hullámtéri ágrendszer vízellátása gyengül, míg a nagyvizes években az elöntött területek aránya növekszik. Fontos megemlíteni, hogy a Szigetköz vízgyűjtő területének vízellátása szabályozott keretek között zajlik, így a Dunán lefutó nagyobb árhullámok nem feltétlenül érintik, vagy csak kisebb mértékben a mellékágrendszerek vízellátottságát. Továbbá a Duna elterelését követő megállapodások szerint minden év április 15. és május 31. között egy mesterséges elöntést hajtanak végre a térségben (Jakus et al., 2024). Ennek célja a szabályozás előtt levonuló nagyobb árhullám szimulációja ezzel segítve a területen lévő biodiverzitás fenntartását.

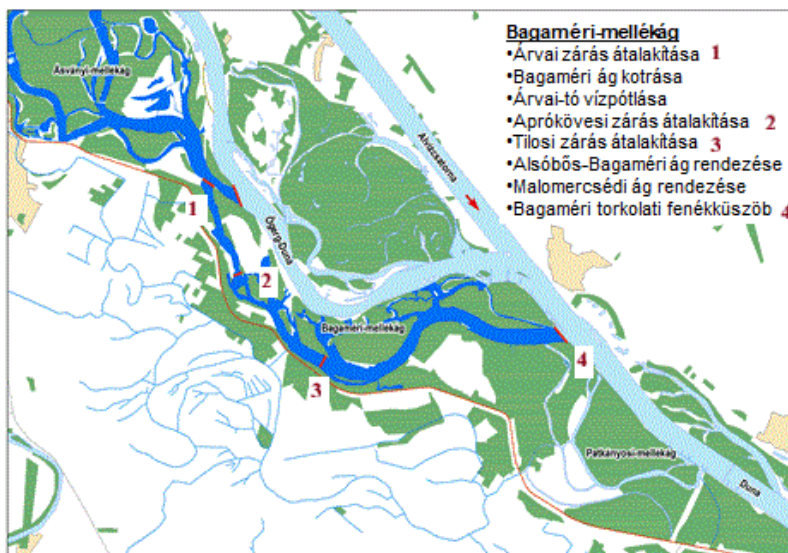
4.4.4 Vízsabályozási beavatkozások

A vízborítottság változását nemcsak természetes tényezők, hanem az emberi beavatkozások is meghatározzák. A vizsgált időszakban a legjelentősebb hatást az Ásványi torkolati műtárgy és az ezzel párhuzamosan épülő fenékküszöbök és zárások működése gyakorolta. A megépült műtárgyak helyét a 16. ábrán láthatjuk pirossal jelölve.

Ezek célja a mellékágrendszer és a vízszintek stabilizálása volt. Az NDWI -térképek alapján a műtárgy üzembe helyezése után a vízfelület kiterjedése a közeli területeken növekedett, különösen az Ásványrárói-mellékágrendszerben, valamint a torkolati műtárgy és

a Bagaméri-mellékágrendszerben megépült fenékküszöb közti területen. Más területeken a változás kevésbé volt szembevető.

16. ábra: Az Ásványrárói- és Bagaméri-mellékágrendszerben megépült vízi műtárgyak
(Forrás: ÉDUVIZIG Tatai Róbert szakaszmérnök nyomán)



4.4.5 A területhasználat

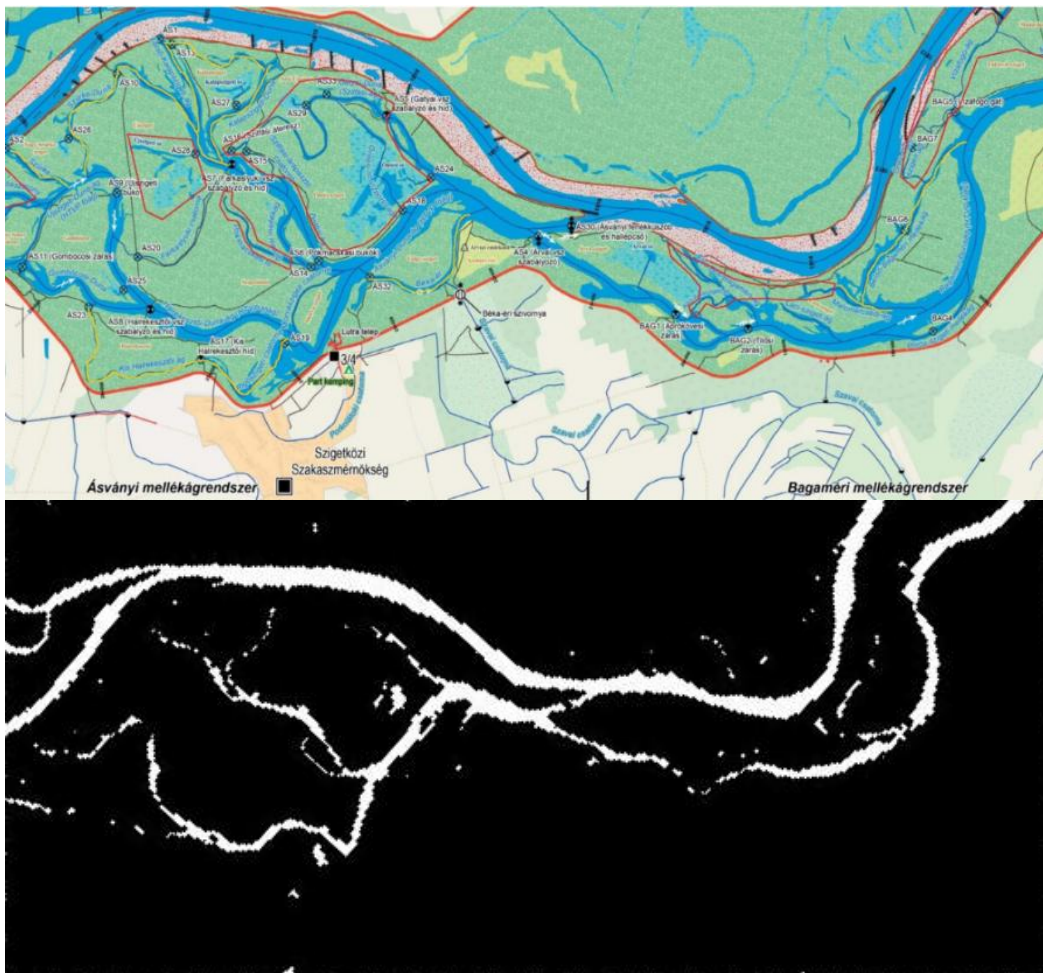
A területhasználat változása szintén nagymértékben hozzájárul a vízborítottság mértékéhez. A Duna szabályozások előtt a Szigetköz térségében jelentős mezőgazdasági tevékenység zajlott, ami az elterelés következtében kialakult vízhiány miatt megnehezült. Ezt követően csökkent a mezőgazdasági területek aránya, így több helyen szabályozatlan keretek között kezdtek növénytársulások kialakulni (Szabó, 2006).

A műholdas távérzékelésen alapuló vízfelület-vizsgálat egyik korlátozó tényezője az árnyékolás, ami az NDWI-értékek hibáját okozhatja (Acharya et al., 2018). Az index eredményét nagy mértékben torzíthatja a kutatás szempontjából az erdővel és növényzettel borított területek növekedése, hiszen ezek könnyedén leárnyékolják a vízfelületet, ezzel a valóságnál kisebb vízfelületet kapunk vissza. Ebből adódik, hogy az olyan szűk mellékágak, nádas, mocsaras zónák, amelyek a kutatási területemen viszonylag nagy mértékben előfordulnak, bizonytalan index-értéket mutathatnak. Az árnyékolás lehetőségét igazolja a 17. ábra, amely egy 2021-ben az ÉDUVIZIG által készített térképen látható Ásványrárói-

mellékágrendszer vízrajzát hasonlítja össze az általam készített szintén 2021-es műholdfelvétel NDWI-térképével.

Ahogy a vízügy által készített térképen is látható, a Szigetközre a rendkívül szerteágazó vízrendszer jellemző. A főághoz csatlakozó szélesebb mellékágakból minden irányba további szűk csatornák indulnak, kisebb belső tórendszerek alakulnak ki. Ezzel szemben az NDWI-térkép nem jeleníti meg ezen csatornák nagy részét, sőt nagyobb egybefüggő vizes területeket is csak egy-egy pontként jelöl, tehát az árnyékolás hibalehetősége fennállhat a vizsgálat során.

17. ábra: 2021-es térkép és az NDWI-térkép összehasonlítása
(Forrás: ÉDUVIZIG, saját készítés)



4.4.6 Összegzés

A bemutatott éghajlati, hidrológiai és antropogén tényezők közösen indokolják a vízborítottság évenkénti és térbeli változásait. Összességében az NDWI-indexek bár ingadozóan, de növekvő tendenciáit a HungaroMet által közölt meteorológiai adatok

alátámasztják, amiből megállapítható, hogy nagy mértékben befolyásolja az Ásványrárói-mellékágrendszer térségét az éghajlatváltozással járó hatások, úgymint a hőmérséklet emelkedése, a párolgás fokozódása, valamint a csapadékeloszlás szabálytalansága. Az adatbázis megerősíti, hogy az aszályos években a vízfelület csökkenése nem kizárólag műtárgyi hatás, hanem komplex folyamat, ami részben az éghajlatváltozás következménye is lehet.

4.5 A fenékküszöb megépítésének környezeti és ökológiai hatásai

Az Ásványi torkolati fenékküszöb megépülése előtt az Alsó-Szigetköz ágrendszereiben a vízhiány okozta a legfőbb problémát. A Duna elterelése után a mellékágak vízellátása jelentősen csökkent, ami a holtágak fokozatos kiszáradásához, a vízi és mocsári élőhelyek eltűnéséhez, illetve a talajvízszint süllyedéséhez vezetett (ÉDUVIZIG, 2020). A beavatkozás előtti időszakban a mellékágakba beáramló víz mennyisége jelentősen visszaesett, különösen az Ásványrárói-mellékágba, ahol az alacsony vízhozamok következtében a sekély csatornák nyaranta gyakran teljesen kiszáradtak. Ez a vízhiány a vízi növényzet pusztulásához, a fajgazdagság csökkenéséhez és a vízhez kötődő állatvilág visszaszorulásához vezetett (Jakus et al., 2024).

A fenékküszöb megépítésével a probléma megoldódni látszott, mert javult a terület vízvisszatartó képessége. A műtárgy segítségével a mellékágakba több víz kerül, ami kedvező hatással van a felszíni és a felszín alatti vízháztartásra egyaránt. A talajvízszint emelkedése is pozitívan hat, hiszen enyhíti a száraz időszakokat és javítja az ártéri növényzet tápanyag-utánpótlását is (ÉDUVIZIG, 2018).

A távérzékeléses vizsgálat alapján a vízfelületek kiterjedését növelte a beavatkozás, főként a műtárgy közelében. Az NDWI-index alapú elemzések azt is megmutatták, hogy több évben a vízfelülettel borított terület nagyobb volt, mint a műtárgy megépítése előtt. Ez a változás magával hozta a vízi élőhelyek újjáéledését. A holtágakba újra megjelentek azok a növények, amelyek a sekély vízzel borított területeket kedvelik. A vízi élőlények számára újra a szaporodásra és a rejtőzködésre alkalmas helyek alakultak ki, ami elősegítette az ottani természetes halállomány megújulását (SZMP, 2018).

Az állatvilág legfontosabb változásai közül az első a vízimadarak visszatérése. A sekély, de állandó vízfelületek kedveznek a gázlómadaraknak és a récéknek, így az utóbbi években egyre változatosabb a madárvilág a térségben. Ahogyan növekszik a biológiai

sokféleség, úgy javul a víz minősége is, mert a vízborítottság fenntartása elősegíti a természetes szűrő- és a tápanyag-lebontó folyamatokat.

Van viszont negatív oldala is a beavatkozásnak. A gyors vízszint-ingadozások egy-egy helyen lokális talajeróziót és iszapkiválást eredményezhetnek, amelyek hosszabb távon módosíthatják a meder és az ártéri élőhelyek morfológiáját (SZMP, 2018). Mindazonáltal a műtárgy megépítése összességében pozitív, mert helyreállította az ártéri vízrendszer természetes működését, javította a hidrológiai és ökológiai állapotot, és erőforrásokat biztosított a biológiai sokféleség fenntartásához.

4.6 A beavatkozás gazdasági és turisztikai hatása a térségben

Ahogy Miksó (2008) fogalmazta meg tanulmányában „*a természetföldrajzi adottságokhoz szervesen kapcsolódik a térség társadalomföldrajza, a Szigetköz természeti rendszereibe történt durva beavatkozás ugyanis változást idézett elő a szigetközi lakosság életében is*”. Vagyis a Duna elterelése és a bősi erőmű üzembehelyezése nem csak ökológiai katasztrófát okozott a térségben, hanem a gazdaságot és az érintett települések lakóit is súlyosan érintette. A talajvízszint csökkenése kedvezőtlenül hatott a mezőgazdaságra, ezáltal a földterületek egy része elértéktelenedett. Az akkoriban egyre népszerűbbé váló szigetközi turizmus hanyatlásnak indult.

Az alsó-szigetközi rehabilitációt követően a sikeres vízvisszatartás nem csak az élővilág számára, de a környező településekre is pozitív hatást gyakorolt. Bár a Szigetköz térsége többféle turisztikai lehetőséget kínál, legyen szó kulturális-, vallási-, vízi- vagy egészségturizmusról (Strack, 2022), mégis a víz, mint természeti érték áll a terület középpontjában. Az elmúlt években egyre népszerűbbé vált, mint aktív turisztikai desztináció, így a turisták előszeretettel veszik igénybe a környező települések nyújtotta szolgáltatásokat. Megtalálható több élmény- és gyógyfürdő, van lehetőség kerékpár, illetve vízi eszköz bérlésre vagy vezetett túrák igénybevételére, rengeteg szálláshely található a szigetközi településeken és a horgászok számára is közkedvelt terület ([http13](http://13)). A rehabilitációnak köszönhetően a Szigetközben 400 km hosszú vízitúrázásra alkalmas vízfelület vált elérhetővé, különböző nehézségi szintekkel, így mindenki megtalálhatja a számára megfelelő opciót (Áder és Keller, 2025). Ezt kihasználva a környező településeken 11 vízitúra szervező vállalkozást találunk az AÖFK (Aktív és Ökoturisztikai Fejlesztési Központ) oldalán, melyek legtöbbször kempingként üzemel, ezzel további szolgáltatásokat nyújtva az ide látogatóknak.

Ásványrári lakosként azt tapasztalom, hogy a településen egyre többen próbálnak a terület turisztikai értékéből profitálni. A legnagyobb vonzerőt a már 11 éve üzemelő Part Camping jelenti a településen, ahol egyszerre van lehetőség vízi túrákon való részvételre, bicikli bérlésre, étkezésre, kempingezésre vagy faházakban való megszállásra. Az évről évre növekvő vendégszám további vállalkozások indulását eredményezte Ásványrárón. Új étterem nyílt a már évtizedek óta üzemelő halászcserda mellett, a helyiek apartmanházakat alakítottak ki a turisták számára, többen foglalkoznak motorcsónakos túravezetéssel, illetve egy cukrászda és koktélbár is várja az ide érkező vendégeket.

Összességében elmondható, hogy a „víz-probléma” megoldása nem csak a természeti értékek megőrzése szempontjából volt elkerülhetetlen. A beavatkozás által újraéledt természet a turistáknak is kedvező és a települések gazdasági, turisztikai fejlesztését is elősegítette. Továbbá a megépült Ásványi torkolati fenékküszöb közkedvelt turistalátványossággá vált, hiszen nem csak a vízmegtartás funkcióját szolgálja, hanem látványban is hozzá tesz a terület szépségéhez.

5. Következtetések és javaslatok

A kutatásom eredményei alapján megállapítható, hogy az Ásványi torkolati fenékküszöb és a hozzá kapcsolódó vízpótló rendszer kiépítése jelentős szerepet játszott az Alsó-Szigetköz vízfelszín-borítottságának alakulásában, az elmúlt években. Az 2013-2023 közötti időszakban kapott, NDWI-index szerint feldolgozott műholdfotók elemzése alapján a beavatkozást követően, a vizsgált területen a vízfelület kiterjedése bizonyos időszakokban növekedett, különösen a szélesebb mellékágak és a mőtárgy közeli csatornák helyén. Ez arra utal, hogy a mőtárgy vízvisszatartó hatása hozzájárult a hullámtéri vízellátottság javulásához, a talajvízszint stabilizálásához és a kiszáradt területek vízzel való ellátásához.

Ugyanakkor a vízfelület kiterjedése nem minden évben mutatott pozitív változást. Például a 2021-2022 közötti aszályos időszak, illetve az ezzel egyidejű hőmérséklet emelkedés egyértelműen kimutathatók az elemzésekben is, ami megerősíti, hogy a vízborítás mértékét nemcsak az emberi beavatkozás hidrológiai hatása, hanem az éghajlati és vízjárás viszonyok is nagymértékben befolyásolják. Másfelől, a megépült mőtárgyak nélkül még drasztikusabb lett volna a 2021-22-es aszály.

A mőtárgy megépítése előtti időszakhoz képest a fenékküszöb által visszatartott víz egy állandóbb talajvízszintet eredményezett, ami kedvezően hatott az ártéri növényzet és a partmenti erdők vízellátottságára, így ezek regenerációja több szakaszon megfigyelhető. A halállomány szempontjából a vízborítás növekedése kedvez a szaporodási élőhelyek fennmaradásának és a fenékküszöbhez épített hallépcső az ökológiai kapcsolat fenntartását is segíti a felvív és az alvív között.

A tanulmány rávilágít arra, hogy az emberi beavatkozások képesek javítani az ökológiai vízellátottságon megfelelően szabályozott keretek között, de a természetes vízjárás dinamikájának elvesztése továbbra is kockázatot jelenthet. A jövőbeni intézkedések során érdemes lenne egy kombinált vízszint-szabályozási tervet kialakítani, amely az emberi beavatkozás mellett a természetes árterekre épülő vízmegtartást alkalmazná az állandó vízszint eléréséhez.

Gazdasági és társadalmi szempontból a vízpótló rendszer kiépítése kedvezően hatott a helyi rekreációs és turisztikai lehetőségekre. A duzzasztás következtében közel állandó vízszint alakult ki a mellékágrendszerekben, amely fellendítette a vízi turizmust, az evezős- és horgásztevékenységeket. A stabilizált vízfelületnek köszönhetően kempingek jöttek létre,

csónakkikötőket alakítottak ki, szálláshelyek és további szolgáltatások váltak elérhetővé, ami a környező települések gazdaságát fellendítette.

Összességében a dolgozat alátámasztotta, hogy az Ásványi torkolati műtárgy kulcsszerepet játszott a Szigetköz, elsősorban az Alsó-Szigetköz ökológiai rehabilitációjában. Ez hozzájárult a vízháztartás kiegyenlítéséhez, a biodiverzitás növeléséhez és a helyi gazdasági tevékenységek fejlesztéséhez.

A jövőre nézve azt javasolnám, hogy több helyen épüljön ki vízszint és vízminőség megfigyelő rendszer a térségben, továbbá a műholdas távérzékelésen alapuló monitoring bevezetése elősegítené a vízborítás térbeli változásainak nyomon követését. További észrevételem, hogy a vízvisszatartás mellett törekedni kellene a természetes vízmozgások és élőhely-kapcsolatok megőrzésére a fenntarthatóság érdekében. Végül az elsődleges szempont mindig a természetvédelmi értékek megőrzése kell, hogy legyen, bármilyen jövőbeni turisztikai és rekreációs célú fejlesztés esetén. Ezekkel a további lépésekkel még jobban összehangolhatóvá válhatna a mérnöki beavatkozások és az ökológiai igényeket kielégítő vízgazdálkodás kapcsolata.

6. Összefoglalás

A kutatás célkitűzéseként a szigetközi hullámtéri vízpótló rendszer alsó-szigetközi területén található Ásványi torkolati fenékküszöb hatásait vizsgáltam a vízfelszínborítottságra távérzékelési adatok és a Normalized Difference Water Index (NDWI) felhasználásával. Az elemzés a 2013 és 2023 közötti időszakot ölelte fel és a Landsat 8 OLI műhold felvételein alapult, melyek feldolgozása a QGIS szoftver segítségével történt. A kutatás középpontjában a vízfelület időbeli és térbeli változásainak nyomon követése, illetve a vízszintszabályozó műtárgyak megépítése előtti és utáni állapotok összehasonlítása állt.

A feldolgozás során a műholdképek kiválasztását követően elvégeztem a raszterek előkészítését, a vizsgálati terület lehatárolását, majd az NDWI-index számítását, mellyel sikerült a vízfelszín és a szárazföldet elkülöníteni egymástól. Az így előállított térképek és adatsorok lehetővé tették az egyes évek tavaszi állapotára jellemző vízborítottság elemzését, az egyes évek összehasonlítását, majd a következtetések levonását.

A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy az Ásványi torkolati fenékküszöb és az alsó-szigetközi vízpótló rendszer működése pozitív hatást gyakorolt a vízfelszínborítottságra. Az NDWI-térképek jól szemléltetik, hogy a változás elsősorban a műtárgyakhoz közeli mellékágakban volt érzékelhető, ahol a meder jobban kiszélesedett. Továbbá megállapítható, hogy a beavatkozást követően a természetnek szüksége volt pár évre a megváltozott állapothoz való alkalmazkodáshoz. Az aszályos években azonban a vízfelület kiterjedésének csökkenése megmutatta az éghajlati hatások és a Duna alacsony vízhozamainak jelentőségét.

A beavatkozás ökológiai szempontból is eredményes volt, hiszen javult a hullámtér vízellátottsága, ezzel a természetes élőhelyek fennmaradhattak és a talajvízszint is növekedett. Mindezek kedvezőek a térség gazdag biodiverzitásának fenntartásához is. Társadalmi és gazdasági szempontból, a visszaduzzasztott, stabilabb vízszintnek köszönhetően fellendült a vízi turizmus, a horgászat és az ökoturisztikai tevékenységek, amely a környező települések számára gazdaságilag előnyös.

Mindemellett további eredmény, hogy sikerült igazolni a távérzékelés és az NDWI-index alkalmazhatóságát a vízfelszín vizsgálatok során. A QGIS és a Landsat 8 műholdképeiből nyert adatok szintén hatékonyan segítették a kutatást.

Összességében a dolgozat eredményei azt bizonyítják, hogy a Szigetközben végrehajtott rehabilitációs beavatkozások, kiemelve az Ásványi torkolati műtárgyat, hozzájárultak a hullámtéri vízpótló rendszer hatékonyságának növeléséhez, az ökológiai állapot javításához és a terület gazdasági tevékenységeinek fejlesztéséhez. A jövőben javaslom a térség vízmegtartási és vízpótlási monitoringjának folytatását és egy olyan komplex vízgazdálkodási terv kialakítását, amely figyelembe veszi a napjainkban egyre meghatározóbb éghajlati változások hatásait és ezzel lehetővé teszi a természeti és gazdasági értékek megóvását.

7. Irodalomjegyzék

- Acharya, T.D., Subedi, A., Lee, D.H. (2018) Evaluation of Water Indices for Surface Water Extraction in a Landsat 8 Scene of Nepal. *Sensors* 18, 2580. <https://doi.org/10.3390/s18082580>
- Áder M. Á. és Keller K. (2025) A Szigetköz mint aktív turisztikai desztináció: Fejlesztési irányok és lehetőségek, Budapesti Corvinus Egyetem, Fenntartható Fejlődés Intézet, Turisztikai és Vidékfejlesztési Tanulmányok, 10. évfolyam, 2. szám, Budapest. URL: <https://www.turisztikaitanulmanyok.hu/2025/07/09/ader-marton-aron-keller-krisztina-a-szigetkoz-mint-aktiv-turisztikai-desztinacio-fejlesztési-irányok-es-lehetosegek/>.
- Alexay Z. (1982): Szigetköz Ember és táj, Gondolat Kiadó, Budapest, 84-87.
- Biró L., Kozma-Bognár V. és Berke J. (2023) Drónfelvételek alkalmazása a növény- és természetvédelemben a környezeti hatások csökkentése érdekében, in Szegedi K. (szerk.) *Alkalmazott kutatással a gazdasági és társadalmi hatásért*. Budapesti Gazdasági Egyetem, o. 7–17. Elérhető: https://doi.org/10.29180/978-615-6342-74-4_1.
- Boronyák V. (2016) A talajnedvesség becslése műholdas távérzékelés alapján [szakdolgozat], Eötvös Loránd Tudományegyetem Földrajz- és Földtudományi Intézet Meteorológiai Tanszék, Budapest.
- Bozsó I. (2024) A műholdas földmegfigyelés történelmi és technikai háttere, *Haditechnika*, 58(2), o. 48–53. Elérhető: <https://doi.org/10.23713/HT.58.2.09>.
- Bozsó I. (2025) A műholdas földmegfigyelés fajtái és platformjai, *Haditechnika*, 58(6). Elérhető: <https://doi.org/10.23713/HT.58.6.07>.
- Chappon, M., Madarász, K. & Bene, K. (2024). *Assessing the Long-Term Groundwater Level Dynamics in the Szigetköz, Hungary*. *Chemical Engineering Transactions*, 114, 859-864. Elérhető: <https://doi.org/10.3303/CET24114144>.
- Deli Zs. és Mészáros Cs. (2010) A légi hiperspektrális távérzékelés [szakdolgozat], Eötvös Loránd Tudományegyetem Földrajz- és Földtudományi Intézet, Térképtudományi és Geoinformatikai Tanszék, Budapest
- Döbröntey R., Grósz J., Keleti J. R., Szegi T., Fuchs M., Michéli E. és Csorba Á. (2024) Pilóta nélküli légi járművek alkalmazása a vizes élőhelyek modern felmérésében. Elérhető: <https://doi.org/10.1556/0088.2024.00155>.
- Dövényi Z. (Ed.), 2010. Magyarország kistájainak katasztere, 2., átd. és bőv. kiadás. ed. MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.
- Duan, W., Maskey, S., Chaffe, P. L. B., Luo, P., He, B., Wu & Y., Hou, J.. (2021) Recent Advancement in Remote Sensing Technology for Hydrology Analysis and Water Resources Management, *Remote Sensing*, 13(6), o. 1097. Elérhető: <https://doi.org/10.3390/rs13061097>.
- Észak-dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (2010): A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása VÍZGYŰJTŐ-GAZDÁLKODÁSI TERV, 1-1 Szigetköz vízgyűjtő, Győr. Elérhető: http://www2.vizeink.hu/files/1-1_Szigetkoz.pdf_100422.pdf
- Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság (2016) „A víz élet, gondozzuk közösen!” VÍZGYŰJTŐ-GAZDÁLKODÁSI TERV, Győr, 204-205. Elérhető: https://www.vizugy.hu/vizstrategia/documents/CA280C3F-9CD6-4D7D-A9D1-74B38DA7DFAF/Duna_RVGT_aprilis.pdf.

- Észak-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság (2018) *A Szigetköz felszíni vizeinek és a talajvíz vízjárásának általános jellemzése*. Győr: ÉDUVIZIG. Elérhető: https://szmp.hu/sites/default/files/media/docs/szigetkoz_hidrogeologiai_2018_jelentes_1.pdf (Letöltve: 2025. október 19.).
- Észak-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság (2018) *A Szigetköz felszíni vizeinek és a talajvíz vízjárásának általános jellemzése*. Győr: ÉDUVIZIG. Elérhető: https://szmp.hu/sites/default/files/media/docs/szigetkoz_hidrogeologiai_2018_jelentes_1.pdf
- Észak-dunántúli Vízügyi Igazgatóság. (2020) *Jelentős vízgazdálkodási kérdések – 1-1 Szigetköz vízgyűjtő-gazdálkodási tervezési alegység*. Győr. Elérhető: https://vizeink.hu/wp-content/uploads/2020/04/1_1_Szigetkoz_JVK_2020_09_25_EDUVIZIG_TVT_jovahagyott.pdf
- Farkas-Iványi K. (2018): Szigetközi Duna-szakasz vizes élőhelyeinek és változásainak tájtörténeti, vízjogi szempontú vizsgálata [disszertáció], Szent István Egyetem, Tájépítészeti és Tájökológiai Doktori Iskola, Budapest. Elérhető: <https://doi.org/10.14751/SZIE.2018.060>.
- Garamhegyi, T., Hatvani, I. G., Szalai, J., Kovács, J. (2020). *Drivers of Daily Water Level Fluctuation of Shallow Groundwater in the Inner Delta of the River Danube*. Water, 16(14). Elérhető: <https://doi.org/10.3390/w12030828>.
- Göcsei I. (1979): A Szigetköz természetföldrajza. Akadémiai Kiadó, Budapest, 9.
- http1: Szigetközi-ágrendszer általános túraismertető – Magyar Vízitúra Portál (2024), 11 április. Elérhető: <https://www.magyar-vizitura.hu/szigetkozi-agrendszer-altalanos-turaismerteto/> (Elérés: 2025. október 8.).
- http2: *Szigetköz - Tájvédelmi körzet*. Elérhető: <http://www.szigetkoz.biz/TK/TKujanyag/21leghajlat.htm> (Elérés: 2025. október 10.).
- http3: *Fertő-Hanság Nemzeti Park*. Elérhető: <https://www.ferto-hansag.hu/hu/termeszetvedelem/termeszetvedelmi-teruletek/tajvedelmi-korzetek/szigetkozi-tk.html> (Elérés: 2025. október 10.).
- http4: *Sokszíniú vidék*, 2018. Elérhető: <https://sokszinuvidek.24.hu/viragzo-videkunk/2018/08/20/ritka-latvanyossag-az-orosz-also-termeszetes-hallepcsoje/> (Elérés: 2025. október 10.).
- http5: Elérhető: <https://extension.msstate.edu/publications/qgis-introduction-open-source-geographic-information-system> (Elérés: 2025. szeptember 26.).
- http6: *WikiSzótár.hu*. Elérhető: https://wikiszotar.hu/ertelmezoszotar/Elektrom%C3%A1gneses_sug%C3%A1rz%C3%A1s (Elérés: 2025. október 11.).
- http7: *Scholars Middle East Publishers*. Elérhető: <https://saudijournals.com/> (Elérés: 2025. szeptember 30.).
- http8: <https://pubs.usgs.gov/fs/2013/3060/pdf/fs2013-3060.pdf> (Elérés: 2025. 10. 02.)
- http9: Elérhető: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8> (Elérés: 2025. október 2.).
- http10: Elérhető: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-2-science-products> (Elérés: 2025. október 2.).
- http11: Elérhető: <https://docs.qgis.org/3.40/en/docs/about/foreword.html> (Elérés: 2025. október 3.).

- [http12: \[http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evtized_idojarasa/\]\(http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evtized_idojarasa/\)](http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evtized_idojarasa/) (Elérés: 2025. november 3.) Elérhető:
- [http13: Elérhető: <http://szigetkoz-vizitura.hu>](http://szigetkoz-vizitura.hu) (Elérés: 2025. november 3.)
- Jakus G., Kertész J., Simon G.M., Pannonhalmi M., 2024. Az újjászülető Szigetköz. Hidrol. Közöny 104, 17–39. <https://doi.org/10.59258/hk.14994>.
- K+K Kft. (2014) Szigetközi mentett oldali és hullámtéri vízpótló rendszer ökológiai célú továbbfejlesztése, Ásványi torkolati fenékküszöb és rendezett partszakasz - Kiviteli terv, 11-13.
- Kovács B. (2018): Az erdei mikroklíma vizsgálata gazdasági erdőkben [doktori értekezés], Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar Biológia Doktori Iskola, Vácrátót, Budapest.
- Kun, Z. (2016). *Ecological restoration and water system development in the protected site and floodplain areas of Szigetköz in Hungary*. Győr: Észak-Dunántúli Vízügyi Igazgatóság (EDUVIZIG).
- McFeeters, S. K. (1996). *The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features*. International Journal of Remote Sensing, 17(7), 1425–1432. Elérhető: <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
- Miksó D. (2008). Természeti alapú társadalmi konfliktus és a régióvá válás lehetősége a Szigetközben. [Diplomamunka]. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest.
- Mukanova, B. (2025) Temporal analyses of water level changes in lake Balkash based on remote sensing data, Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Environmental Sciences, Dept. of Water Management and Climate Adaptation, Gödöllő
- Mustafa, M.T., Hassoon, K.I., Hussain, H.M., Abd, M.H., 2017. Using water indices (NDWI, MNDWI, NDMI, WRI and AWEL) to detect physical and chemical parameters by apply remote sensing and GIS techniques. Int. J. Res. - GRANTHAALAYAH 5, 117–128. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v5.i10.2017.2289>
- Nagy P. Z. (2010) Webes Térinformatikai Technológiák [szakdolgozat], Debreceni Egyetem Informatikai Kar, Debrecen.
- Napoleon-Vin Bt. (2014): A Szigetköz turisztikai és környezeti nevelési értékleltára, Sopron, 7. Elérhető: https://www.ferto-hansag.hu/upload/document/475/a-szigetkoz-ertekleltara_wabj.pdf.
- Nóta J.D. (2023) A műholdas távérzékelés felhasználási lehetőségei a katasztrófák megelőzésében és kezelésében, *Védelem Tudomány a Katasztrófavédelem online szakmai, tudományos folyóirata*, 8(3), o. 109–123. Elérhető: <https://doi.org/10.61790/vt.2023.12958>.
- Özelkan, E. (2020) Water Body Detection Analysis Using NDWI Indices Derived from Landsat-8 OLI. Pol. J. Environ. Stud. 29, 1759–1769. <https://doi.org/10.15244/pjoes/110447>.
- Palkó L. (2008) A mikroklíma fogalma, összetevői, mérése, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, 1711-09. Elérhető: https://www.nive.hu/Downloads/Szakkepzesi_dokumentumok/Bemeneti_kompetencia_k_meresi_ertekelesi_eszkozrendszerenek_kialakitasa/20_1711_004_100930.pdf.

- Popovics, J. (2018): A Szigetköz múltja és jelene, *Honismeret*, 46(3), pp. 50-61. Elérhető: https://epa.oszk.hu/03000/03018/00250/pdf/EPA03018_honismeret_2018_3_050-061.pdf
- Strack F. (2022): A Szigetköz turizmusának helyzete és lehetséges fejlesztési irányai, *Turisztikai és Vidékfejlesztési Tanulmányok*, 7(4), o. 46–62. Elérhető: <https://doi.org/10.15170/TVT.2022.07.04.04>.
- Szabó M. (2005): vizes élőhelyek tájökológiai jellemvonásai a Szigetköz példáján [akadémiai doktori értekezés], Budapest.
- Szabó M. (2006) Tájszerkezeti változások a Szigetközben a mező- és erdőgazdálkodás, és a Duna elterelésének hatására. – In: Táj, környezet és társadalom. Elérhető: <https://www2.sci.u-szeged.hu/eghajlattan/baba/Szabo.pdf>.
- Vízügyi és Környezetvédelmi Központi Igazgatóság, Dél-Dunántúli Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (2010) A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása - VÍZGYŰJTŐ-GAZDÁLKODÁSI TERV - 1-15 Alsó-Duna jobb part vízgyűjtő, Pécs. Elérhető: https://www2.vizeink.hu/files/1-15-Also-Duna_jobb_part.pdf_100422.pdf.
- Wang, X., Xie, H. (2018) A Review on Applications of Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) in Water Resources and Flood Risk Management. *Water* 10, 608. <https://doi.org/10.3390/w10050608>.
- Zsuffa I., Szöllősi-Nagy A. és Bogárdi J. (2023): Insula Insolita – Szigetköz és Bős-Nagymaros párhuzamos története, *Hidrológiai Közöny*, 103(2), o. 4–23. Elérhető: <https://doi.org/10.59258/hk.11537>.

8. Táblázatok és ábrák jegyzéke

- 1. táblázat: A Landsat 8 műhold egyes sávjainak bemutatása, 30. oldal
- 2. táblázat: A vízfelület-változás 2013 és 2023 között, 37. oldal
- 1. ábra: Szigetköz területe, 5. oldal
- 2. ábra: A Szigetközi táj és a hozzá tartozó települések, 6. oldal
- 3. ábra: A Szigetközi Hullámtéri Vízpótló Rendszer (HTVP), 11. oldal
- 4. ábra: A Bős – Nagymaros projekt terve, 17. oldal
- 5. ábra: A C variáns, 18. oldal
- 6. ábra: A vízpótlás megoldása a Szigetközben, 19. oldal
- 7. ábra: A KEOP program keretében megvalósult műtárgyak, 22. oldal
- 8. ábra: Elektromágneses spektrum hullámhossztartományai, 26. oldal
- 9. ábra: Műholdképek megjelenítése a QGIS rendszerben, 32. oldal
- 10. ábra NDWI számítás, 33. oldal
- 11. ábra: A küszöbérték kiválasztás, 34. oldal
- 12. ábra: Az NDWI térképek a 2013-as, 2014-es, 2017-es és 2019-es évben, 38. oldal
- 13. ábra: Az NDWI térképek a 2020-as, 2021-es, 2022-es és 2023-as évben, 38. oldal
- 14. ábra: Országos évi középhőmérsékletek, 41. oldal
- 15. ábra: Az országos nyári átlag csapadékmennyiség (mm), 42. oldal
- 16. ábra: Az Ásványrárói- és Bagaméri-mellékágrendszerben megépült vízi műtárgyak, 43. oldal
- 17. ábra: 2021-es térkép és az NDWI-térkép összehasonlítása, 44. oldal

9. Függelék

Hallgatói nyilatkozat

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat / diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseiről és eredetiségéről

A hallgató neve: NAGY LUCA
A Hallgató Neptun kódja: ABYF4H
A dolgozat címe: A DUNA HULLÁMTÉRI VÉPÍTŐ RÉVIGERÉSI ELHÁNYKEDŐ ASZÁLYI TÖRTELMI KÜTÖRÖZ HATÁSAI A VÉPÍTŐ RÉVIGERÉSI MŰKÖDÉS TÁRBEZÉKELÉRI ADATOK ALAPÁN
A megjelenés éve: 2025
A konzulens intézetének neve: KÖRNYEZETTUDOMÁNYI INTÉZET
A konzulens tanszékének a neve: VIZGAFÁKROPÁS ÉS KLÍMAADAPTÁCIÓ TANSZÉK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.


A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitóri rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitóri rendszerében.

Kelt: 2025 év 10 hó 29 nap


Hallgató aláírása

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölnendő.

² A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törölnendő.

Konzulensi nyilatkozat

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat
III. Hallgatói Követelményrendszer
III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat
6.13. sz. függeléke: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója
4.1. sz. melléklete: Konzulensi nyilatkozat


NYILATKOZAT

NAGY LICA (név) (hallgató Neptun azonosítója: A8YF44)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a
záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az
irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól
tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő
védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem³

Kelt: 2025 év 10 hó 29 nap


belső konzulens

¹ A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.

² A megfelelő aláhúzendő.

³ A megfelelő aláhúzendő.

MI nyilatkozat

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Nagy Luca
Neptun-kódja:	A8YFJH
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	B-GOD-N-HU-KORNY
A munka címe:	A Duna hullámtéri vízpótló rendszerén elhelyezkedő Ásványi torkolati műtárgy hatásai a vízpótló rendszerre műholdas távérzékelési adatok alapján

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

- A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.
(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)
- B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.
(Kérjük, töltsé ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrekció, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
FORGALMI VÁLTOZÁS KÉSZÍTÉS	CHATGPT	

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: 2025. hó ... nap

.....
 Hallgató aláírása

.....
 Konzulens/Témavezető aláírása