



36. OTDK

Műszaki szekció

A Gemenc talajvízháztartása különböző Duna vízállások esetén

Rusznay Zsófia

2023

A Gemenc talajvízháztartása különböző Duna vízállások esetén

Jelige: talajvízkút

**Baja
2023**



TARTALOMJEGYZÉK

1.	Bevezetés	6
2.	Irodalmi áttekintés.....	7
2.1.	A víz körforgása.....	7
2.2.	A beszivárgás	8
2.3.	A talajvíz.....	8
2.3.1.	A talajvíz minősége.....	9
2.3.2.	A talajvízjárás	9
2.3.3.	A folyó-talajvíz kapcsolata.....	10
2.4.	Az éghajlatváltozás	10
3.	Terület bemutatása	11
3.1.	A terület földrajzi elhelyezkedése.....	11
3.2.	Domborzati viszonyok.....	11
3.3.	Éghajlati viszonyok.....	12
3.4.	Földtan és talajvíz	12
3.5.	Vízrajz.....	14
3.6.	Területhasználat	14
4.	A Duna szabályozása, a dunai árvizek.....	15
4.1.	A Duna vízrendszerének vízrajzi bemutatása	15
4.2.	A Duna magyarországi szakaszának bemutatása	16
4.3.	A Duna szabályozása	17
4.3.1.	A folyószabályozás	17
4.3.2.	A Duna szabályozásának előzményei.....	18
4.3.3.	A Duna szabályozásának főbb eseményei.....	19
4.4.	Az ármentesítés hatása.....	20
5.	A Gemenc és a talajvízmonitoring rendszer.....	21
5.1.	A Gemenc	21
5.1.1.	A Gemenc kialakulása	21
5.1.2.	Szerepe, fontossága.....	22
5.1.3.	Élővilág.....	22
5.1.3.1.	Növényvilág	22
5.1.3.2.	Állatvilág	23

5.1.3.3.	Az élővilág és a Duna kapcsolata.....	24
5.2.	Talajvíz monitoring rendszer kiépítése a Gemencben	25
5.2.1.	A terület talajvízháztartását befolyásoló tényezők.....	25
5.2.2.	Előzmények	26
5.2.3.	A GEF projekt rövid bemutatása.....	26
5.2.4.	A projekt céljai a Gemencben	26
5.2.5.	Monitoring rendszer: talajvíz monitoring kutak elhelyezése a Gemencben	27
5.2.6.	A kutakba telepített műszerek	27
5.2.7.	Monitoring rendszer állapota jelenleg,	28
6.	Adatok.....	28
6.1.	Alapadatok beszerzése	28
6.1.1.	Saját mérések.....	29
7.	GEF kutak adatainak feldolgozása.....	30
7.1.	G13-G18 talajvízmonitoring kutak	30
7.2.	G19-G22 talajvízmonitoring kutak	32
7.3.	G23-G25 talajvízmonitoring kutak	33
8.	Hidrodinamikai modell felépítése	34
8.1.	A modellezés elméleti háttere	34
8.1.1.	A numerikus megoldás módszere	34
8.1.2.	A véges differencia módszer	35
8.2.	A modellezéshez felhasznált szoftverek.....	35
8.2.1.	Processing Modflow	35
8.2.2.	Surfer 9	36
8.3.	Alapadatok.....	36
8.3.1.	A modell geometriája.....	36
8.3.2.	Beépített hidrodinamikai paraméterek.....	37
9.	Modellváltozatok eredményei és kiértékelésük	38
9.1.	Közepes Dunai vízállás hatása a Gemenc talajvízállására (KÖV)	39
9.2.	A Dunán valaha mért legkisebb vízállás hatása a Gemenc talajvízállására (LKV) ..	40
9.3.	Közepes Dunai nagyvíz hatása a Gemenc talajvízállására (89,00 m B. f)	41
9.4.	A Dunán valaha mért legnagyobb vízállás hatása a Gemenc talajvízállására (LNV)	
	42	
9.5.	A Dunán valaha mért legkisebb vízszinttől fél méterrel alacsonyabb vízállás hatása a Gemenc talajvízállására (LKV-0.5m).....	43

9.6.	A LNV és KÖV vízállásokhoz tartozó talajvízszint potenciál eloszlások különbsége	44
9.7.	A LKV és KÖV vízállásokhoz tartozó talajvízszint potenciál eloszlások különbsége	44
9.8.	A mért és a modellezett vízszintértékek összehasonlítása.....	45
9.8.1.	Legmagasabb vízállás.....	45
9.8.2.	Közepes nagyvíz.....	45
9.8.3.	Legalacsonyabb vízállás.....	45
10.	Eredmények és következtetések.....	46
11.	Összefoglalás.....	47
12.	Felhasznált irodalomjegyzék.....	49
13.	Mellékletek.....	51

1. BEVEZETÉS

A Gemenc európai szinten is jelentős kiterjedésű, rendszeresen elöntött terület. Számos fokozottan védett élőlénynek biztosít otthont, költőhelyet, vagy pihenőhelyet a vonulása során. Az ártéri erdő területe országos jelentőségű, egyedi jogszabállyal védett természeti terület, Natura 2000 különleges madárvédelmi, és különleges természetmegőrzési terület, a Mura-Dráva-Duna UNESCO bioszféra rezervátum része, Ramsari terület is egyben.

A folyószabályozás hatására a magyarországi Duna szakaszon vízszint-, és medersüllyedés következett be. Ennek eredményeképpen a Gemencben az elöntéses napok száma évről évre csökkent, mely nagy problémát okozott az ártéri élőlények számára.

2009-ben a GEF projekt során a Fekete-tenger eutrofizációs folyamatának lassítása érdekében egy kettős problémát szerettek volna kiküszöbölni. A projekt folyamán először az észak-pesti szennyvíztisztító telepet korszerűsítették, így kevesebb növényi tápanyagot juttatva a Dunába. Második feladatként a Duna növényi tápanyagban gazdag vizét kellett részben újra gravitációs úton a Gemenc területére vezetni, ahol ez a tápanyagmennyiség hasznosulni tud, és így a hullámtér vízpótlása is javul.

A projekt előrehaladásának és hatásainak megfigyelése érdekében kialakítottak egy monitoring hálózatot az ártér területén. A monitoring hálózat része volt a Gemenc területén 13 talajvízfigyelő kút telepítése.

Mivel a talajvíz-monitoring adasorait ezidáig csak gyűjtötték és archiválták, célként tűztem ki, hogy elvégezzem ezen adatok ellenőrzését és első feldolgozását., továbbá kívánom vizsgálni, hogy a helyben hullott csapadék mérvadó-e a talajvízállásban, vagy a Gemenc talajvízháztartása elsősorban a Duna vízállásától függ. Végül terveztem kimutatni, hogy ha a vízszintek tartós csökkenése nagymértékű, akkor ezt olyan talajvízszint-csökkenést okoz majd, ami a gemenci területen természetvédelmi szempontból is visszafordíthatatlan károkat okozhat.

Dolgozatomban egy rövid irodalmi áttekintést követően, ismertetem a terület elhelyezkedését, domborzatát, földtani és vízrajzi viszonyait. Ezután a Duna árvizeinek, ármentesítésének és szabályozásának körülírása betekintést nyújt a jelenlegi terület és annak vízrajzában kialakulásában. Ezt követően a talajvíz monitoring rendszer kiépítésének bemutatásával folytatom. Ezen talajvízmonitoring rendszer mért és rögzített adatai jelentik a dolgozatom alapját. A következő fejezetben területekre bontva elemzem a talajvízállás alakulását a Duna bajai vízmércéjén mért vízálláshoz viszonyítva és a bajai csapadék adatok függvényében.

További feladatként elkészítettem a vizsgált terület hidrodinamikai modelljét, mely megmutatja a modellterület talajvízállásainak változását a Duna jellemző vízállásainak (LNV,

LKV, KÖV) függvényében. A vizsgált területrészt a folyó közelsége miatt feláramlási területnek számít, így döntő szerepet játszik a Duna vízállása a talajvízállás alakulásában. A talajvízszint potenciál eloszlásokat vizsgálva a feladatrészben egy fiktív, eddig valaha mért legkisebb vízállástól fél méterrel alacsonyabb vízszinttel is számoltam, ezzel a becsült modellel bemutattva a Duna további meder- és vízszint süllyedésének talajvízre gyakorolt következményeit, mely gyökeresen meghatározza a Gemenc ökoszisztémájának felépítését, változását és annak ütemét.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A víz körforgása

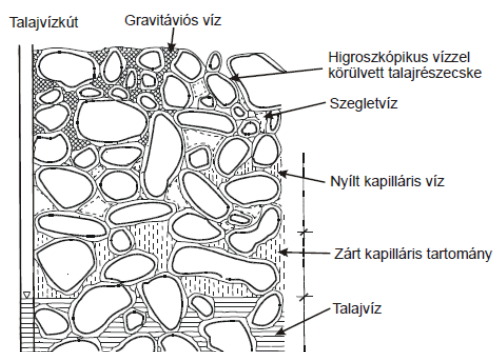
A víz a természetben mind a három halmazállapotában megtalálható. A napsugárzás és a nehézségi erő hatására folyamatos halmazállapot, illetve helyváltoztatásban van. A légtérben általában légnemű, viszont a felhőkben találkozhatunk vízcseppekkel és jégkristályokkal is.

Itt kondenzáció hatására a víz kicsapódik, és a földre hullik. A vízmolekula útja a földet érés pillanatában többfelé is ágazhat. Egyrészt a víz érkezik szárazföldre, és felszíni vizekbe is. Ha a szárazföldre érkezik, felszínen összegyülekezik, és egyre nagyobb tömeget képezve lefolyik. Ez a lefolyás történhet a felszín alatt is, ekkor a beszivárgás után a víz a felszín alatt folytatja tovább útját. A felszín feletti és a felszín alatti lefolyás során eljut a tengerekbe, óceánokba. A víz a felszín alatti vándorlása alatt eljuthat a mélyebb rétegekben raktározódó vizekhez. A felszíni, a felszínen lefolyó, vagy a felszínen újra felbukkanó vizek folyamatosan párolognak. Ekkor a víz a napsugárzás hatására újra halmazállapotot változtat, és ismét felhők keletkeznek, amelyekből később csapadék formájában újra a felszínre hull. Ekkor a víz körforgása újra elkezdődik. (1.ábra)

Egy vízmolekula útjának hossza nagyon sok mindentől függ. Néhány óra leforgása alatt visszakerül a felhőkbe, de előfordulhat, hogy csak sok ezer év múlva párolog el újra. (Urbanovszky, 2011)

A legfelső talajrétegben viszont már csak pára formájában találkozhatunk a vízzel. A talajvíz elsősorban a csapadék beszivárgásából pótlódik, viszont folyók közelében, ahol a meder anyagának jó vízáteresztő képessége van, a folyó vize is táplálja a talajvíz szintjét, kis vízállás mellett ez a folyamat fordítva is létrejöhet. (3.ábra)

A talajvíz szintje a terep morfológiáját követi, szinte sosem vízszintes. A talajvíz sekély mélysége miatt könnyen hozzáférhető, és kitermelhető. (Urbanovszky, 2011)



2. ábra: A talajvíz megjelenési formái a talajban

forrás: (Keve, et al., 2020)

A talajvíz nagyon lényeges szerepet tölt be a felszín alatti vízgazdálkodásban, hiszen rajta keresztül kapcsolódnak össze a felszín feletti és felszín alatti vízkészletek. Lényegességét csak növeli, hogy nem feltétlen csak a közvetlenül alatta elhelyezkedő mélyebb rétegeket köti össze a légköri és felszíni hidrológiai viszonyokkal, hanem oldalirányban távolabb lévő rétegvizekre is hatással van. (Juhász, 2016)

2.3.1. A talajvíz minősége

A talajvíz minősége nagyban függ a csapadék lehullása közben magával ragadott gázoktól, a talajban felvett kémiai komponensektől, és a talajvíztározóba jutó idegen vizektől. Ebből kifolyólag a talajvíz minősége nagy részben helyi adottságok függvénye. A talajvíz minősége eklektikus, teljes mértékben híg, és nagyon kemény talajvizek fordulnak elő.

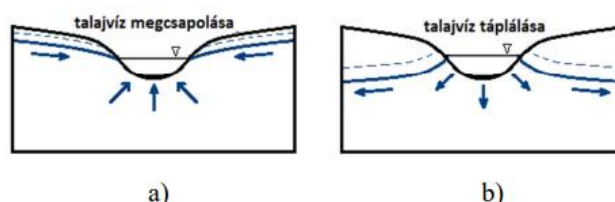
A talajvíz kvalitását nagyban befolyásolhatják a növényvédő szerek, illetve műtrágyák. A kutatások során különösen szembeötlő hatást mutatnak a DDT- készítmények, melyeket rovarölő szerként használnak. Ez felhalmozódhat, és jelentősen változtatja meg a talajvíz minőségét. (Juhász, 2016)

2.3.2. A talajvízjárás

A talajvízjárással az évi talajvíz ingadozását írjuk le. Ha a vizsgált talajvíz csak a csapadékból pótlódik, nagyjából a hőmérséklet ingadozás vonalát követi le. Viszont, ha felszíni víz közelében vizsgáljuk a talajvizet, a vízjárására nagy hatással lesz a tó, vagy folyó vízszintje. (Juhász, 2016)

2.3.3. A folyó-talajvíz kapcsolata

A folyó és a talajvíz kapcsolatában kétféle interakciót figyelhetünk meg. Vannak olyan esetek, amikor a felszíni víz víztükrének szintje huzamosabb ideig alacsonyabban van, mint a talajvíz szintje, ilyenkor állandó leszívásról beszélünk. Ennek hatására, ha van a talajvíznek utánpótlása, létrejön egy permanens leszívási felület. Ellenkező esetben, mikor a felszíni víz szintje van magasabban, az táplálja a talajvizet. (Juhász, 2016)



3. ábra: A talajvíz és folyó kétféle interakciója

forrás: (Kolencsikné Tóth, 2017)

2.4. Az éghajlatváltozás

Az éghajlatváltozásról nagyon sok, ambivalens cikk és kutatási eredmény jelent már meg. Az éghajlatváltozást viszont tényként kell kezelnünk, mely egy nagyon komplex folyamat.

A Föld felszíni hőmérsékletére sokminden hatást gyakorol. A Nap sugárzása felmelegíti a Föld felszínét, viszont ennek a sugárzásnak meghatározó hányada visszaverődik a világűrbe. Ha a levegő nem tartalmazna vízpárát, és CO₂-t, akkor sokkal több hőt veszítene a Föld a visszاسugárzással. Ebben az esetben a Föld átlaghőmérséklete nem tenné lehetővé, hogy bármilyen magasabb szintű életforma létezzen.

Az emberi tevékenységek hatására a CO₂ koncentrációja nő a légkörben. Ennek következménye, hogy egyre több hőt tart meg a Föld.

Az átlaghőmérséklet növekedésével gyakoribbak lesznek a szélsőséges időjárási jelenségek. A csapadékok intenzitása nő, eloszlásuk kiszámíthatatlan lesz. Magyarország esetében a csapadékmérleg nyelve a kevesebb irányba mozdul el. A sarkokon található jégsapkák elolvadnak, különböző szűktűrésű állat- és növény fajok örökre kihalhatnak, a nagy éghajlati övek átrendeződnek. (Besenyei, et al., 2016)

Magyarországon a növekvő csapadékhiány, a hirtelen lezúduló csapadékok, melyek nagy része csak lefolyik a földfelszínen, és az egyre melegebb átlaghőmérséklet nagyobb és súlyosabb aszályokat okoz.

3. TERÜLET BEMUTATÁSA

3.1. A terület földrajzi elhelyezkedése

A Gemenc Magyarország középső déli részén elhelyezkedő ártéri erdő. A Dél-Dunántúl és a Dél-Alföld tájegységeket is érinti. Területe megközelítőleg 18.000 ha. Bács-Kiskun és Tolna megyékre is kiterjed. A terület többek közt magában foglalja a Duna árterületét, illetve annak árvízvédelmi töltéseit. A Gemencről elmondható, hogy Magyarország legnagyobb kiterjedésű aktív ártere.

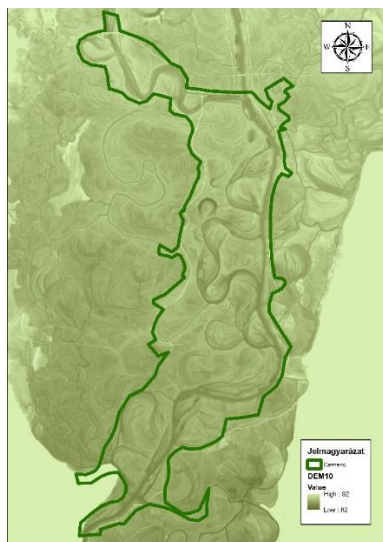
Az erdő legészakibb pontja Szekszárdnál található, ahol a Sió a Dunába torkollik. Innen körülbelül 5 - 7 km széles erdősáv követi a Duna vonalát, egészen Dunaszekcső vonaláig, mintegy 35 km hosszan. A Gemenc túlnyomó része a folyó jobb partján helyezkedik el, viszont a folyó bal parti szigeteit, galériaerdőit is ide sorolják. (DDNP, 1999)

3.2. Domborzati viszonyok

A Gemenc morfológiáját a történelem során nagyrészt a Duna alakította. A mai geológiai viszonyok kialakulásában döntő szerepet játszott az, hogy közel 1 millió évvel ezelőtt a Duna vízhozama csökkent a Föld felszíni hőmérsékletének esésének hatására. A durva, kavicsos hordalékot lerakta a sík területre, így az ezt követő folyószakaszon már csak a kisebb szemcséjű, finomabb hordalékot tudta lerakni. Ezzel egyidőben a füves sztyeppéken a szél széthordva a homokot, létrehozta a löszhátaságokat. (Schmidt, 2013) A Duna körülbelül 40 - 60 méter vastag hordalékot rakhatott le a területre a 110.000 évvel ezelőtt kezdődő jégkorszak közepétől. A felszínen holocén üledékek találhatóak. A Gemencben elszórtan magasártéri felszínek is előfordulnak, melyek iszapos-homokos rétegekből állnak. (Józsa, 2013.)

A Gemenci erdő magassági viszonyai napjainkban 88 - 92 m B.f. magasságok között alakulnak.

Területét a folyó alakította, és alakítja napjainkig, így nem meglepően holtágak, mocsarak, nedves rétek és szigetek alkotják. (4.ábra)



4. ábra: A Gemenc területe DEM10-es térkép alapján forrás:
saját szerkesztés

3.3. Éghajlati viszonyok

Az ártéri erdő területe nagy részben az Alföld éghajlati tájhoz kapcsolódik. Éghajlata a Baja város éghajlatával jellemezhető. Eszerint a teljes éves átlagos csapadékmennyiség körülbelül

540 mm, mely némileg több az Alföld többi részén lehulló csapadékmennyiségnél. Az éghajlata mérsékelt melegnek mondható, az évi középhőmérséklet 10 - 11 °C között mozog. Baja Magyarország egyik olyan városa, ahol a legmelegebbek a nyarak, és itt mérték a legalacsonyabb napi középhőmérsékletet is 1942-ben. Ennek okán Baja a hőmérséklet szempontjából a szélsőségek városának is nevezhető.

Lényeges szót ejteni arról, hogy a Duna völgyének sajátos mezoklimája van. A mezoklíma kialakulásában nagy szerepet játszott, hogy a terület mélyen fekszik, vizes élőhely, a sajátos növénytakaró, és az időszakos vagy állandó elöntések. Ez azt eredményezi, hogy a szomszédos területekhez képes magasabb a levegő páratartalma, illetve a nagy víztömeg következtében alacsonyabb a levegő hőmérséklete. (Schmidt , 2013)

3.4. Földtan és talajvíz

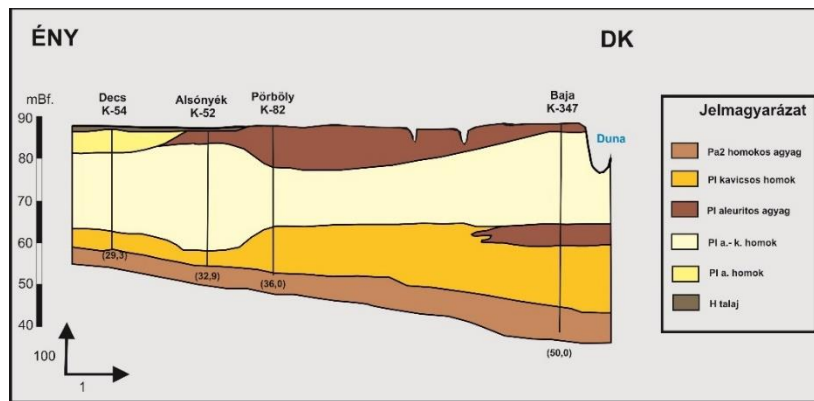
A térség alaphegységi képződményeit mezozóos alsó- középső triász, illetve jura tengeri selfhez köthető üledékek alkotják, melyek megközelítőleg 1000-1200 m mélységben helyezkednek el. Ezek felett 700-900 méter vastagságban a miocén kárpáti emeletének tengeri környezetben képződött üledékei találhatók.

Az alsó pannóniai üledékösszletek előfordulása nem jellemző a területen, tehát nagy valószínűséggel a miocén tengeri képződmények közvetlen fedőjét már a felső pannon üledékek képviselhetik, melyek megközelítőleg 300-350 m mélyégtől jelelhetnek meg.

A felső pannon üledékek bázisán a litorális, ezen belül elsősorban delta front – delta síkság környezetben lerakódott homokkő, aleurolit és agyagmárga sűrű váltakozásából álló Újfalui Homokkő Formáció található, amelyben a homokkő testek vastagsága a több tíz méter is elérheti. Ennek fedőjében a delta síkság képződési környezethez köthető, túlnyomó részt folyóvízi és tavi eredetű, közép- és finomszemcsés homok, homokkő, aleurit, agyag rétegek igen sűrű váltakozásából felépülő Zagyvai Formáció jelenik meg, melyben gyakoriak a 10-20 m vastagságú homok közbetelepülések. A Zagyvai Formáció üledékeire üledékhézag nélkül, tehát folytonos átmenettel, a szintén folyóvízi képződési környezettel jellemezhető Nagyalföldi Tarkaagyag Formáció kékesszürke homok, illetve szürke, sárgásszürke agyag rétegei települhetnek.

A megközelítőleg 50-60 m vastag negyedkori üledékek túlnyomó részét az Duna allúviumának tekinthető felső pleisztocén folyóvízi genetikájú, illetve kisebb, felszín közeli részét eolikus eredetű rétegösszletek alkotja. A felfelé finomodó rétegsor alsó kétharmadán, nagyjából 40-50 m vastagságban övzátany képződési környezettel jellemezhető közép- és durvaszemcsés homok üledékek találhatók, melyek néhány méter vastag kavicsos homok lencsék is tartalmazhatnak. A felszín közelében megközelítőleg 20-25 m vastagságú apró- és finomszemcsés homok, aleuritos homok, aleurit, illetve löszös közettani felépítésű üledékösszlet előfordulására lehet számítani, melyben néhány méter vastagságú, finomszemcsés agyagos homok, homokos agyag közbetelepülések is megjelenhetnek.

A térség hidrodinamikai szempontból feláramlási zónának számít, tehát a hidrodinamikai grádiens a mélységgel együtt növekszik. A talajvíz áramlásának irányát a terület morfológiája és a Duna közelsége miatt, annak aktuális vízállása nagyban befolyásolja. Alacsony Dunai vízállás esetén a folyó irányába, magasabb vízállás esetén pedig az árterület irányába történik a talajvíz áramlása. A talajvízszintek átlagos megjelenésének mélysége 80-90 m B.f. között található, mely magasságintervallum nagyon tág, éves ingadozása nagyjából 50 cm. A felszíni beszivárgás mértékét nagyban befolyásolja, hogy a terület erdővel való borítottsága következtében az evapotranspiráció mértéke jelenős lehet, akár 700 – 800 mm/év. (Nagy, 2015) (5.ábra)



5. ábra: Földtani keresztmetszvény

forrás: (Nagy, 2015)

3.5. Vízrajz

A térség vízellátásában kimagasló szerepet játszik a Duna, de kisebb mértékben az északi részen, a Sió árterületén az árvízkapuig érvényesül Sió is. A hullámtér területén fellelhető holtágak, belső tavak, fokok, csatornák és patakok száma eléri a 38 darabot. Az ártéri erdő vízborítottságának mértékét mindenekelőtt a Duna vízjárása befolyásolja. Nagyobb vízállás esetén a vízborított területek nagysága számottevően nőhet, hiszen ilyenkor a vízzel telített nagyobb medrekhez számtalan kisebb időszakos vízállás társul. Miután egy áradás előnti a területet, javarészből párolgás hatására folyamatosan csökken a vízborítottság, az időszakos vízállások van, hogy teljesen kiszáradnak. (DDNP, 1999)

Jelentősebb holtágak a területen:

- Keselyűs-Duna
- Grébeci-Duna
- Vén-Duna
- Káposztás Duna
- Rezéti-Duna
- Fás-Duna
- Nyéki-Holt-Duna
- Móric-Duna
- Bártai-Holt-Duna

3.6. Területhasználat

A folyószabályozás után az ármentesített oldalon rendkívül megnőtt a termőterületek aránya, a gazdálkodás a mezőgazdaság irányába mozdult el. A kiszáradt bozótos területeket mezőgazdasági művelésbe vonták. A mentett oldalon lévő erdőségeket kivágták, az akkoriban

már kötelező csere-erdősítést a hullámtéren végezték. Ezzel átalakult a hullámtér arculata is, a fás vizes élőhelyeket felváltották az összefüggő erdőségek, faültetvények.

Magas fokú erdőgazdálkodás folyik az ártér majdnem teljes egészén, az erdő elsődleges rendeltetés szerinti megoszlásában megfigyelhetjük, hogy a gazdasági rendeltetés 78,7 %, a természetvédelmi rendeltetés 15,2%, míg az általános védelmi-, vízvédelmi-, közjóléti- és egyéb rendeltetések elenyésző százalékban vannak jelen.

Az erdőgazdálkodással vállvetve a vadgazdálkodás is jelentős szerepet játszik. A nagyvadak létszámának csökkentését már évszázadok óta az ember végzi a Gemenc területén. A vadászat mellett helyet kap a horgászat és a halászat is, bár utóbbihoz szabadvízen csak kishalász szerszámokat lehet használni.

A vizsgált területen a környezetvédelem is kulcsfontosságú szerepet kap. A környezetterhelések közül a legszámottevőbb probléma a diffúz mezőgazdasági szennyezés és a kezelt szennyvizek Duna mellékfolyóiba, és onnan a folyóba jutása. Ezzel növelve a víz növényi tápanyag tartalmát, és elősegítve az eutrofizációt. A Gemenc teljes mértékben természetvédelmi és kutatási terület.

Mindezek mellett a területen a vízgazdálkodás is kulcsfontosságú, hiszen a Duna nemzetközi víziút, így a folyó középvízi medrének lefolyási viszonyainak javítása, az árvízvédekezés, a mellékágak kezelése is fontos feladatok.

Területhasználat szempontjából elenyésző százalékot tesz ki a turizmus, a túraútvonalakkal és a kisvasúttal, viszont annál kedveltebb kirándulóhely az ártéri erdő. (DDNP, 1999)

4. A DUNA SZABÁLYOZÁSA, A DUNAI ÁRVIZEK

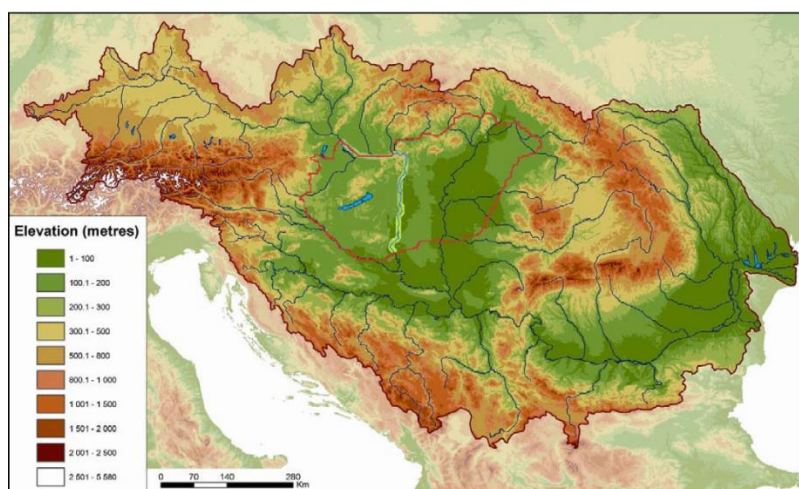
4.1. A Duna vízrendszerének vízrajzi bemutatása

A Kárpát-medence elsőszámú folyója a Duna. A teljes hossza a Németországban található Fekete erdői forrásától, a Románia területén lévő deltájáig, ahol a Fekete- tengerbe ömlik 2860 km. Vízgyűjtő területe pedig csaknem 817 000 km² -t tesz ki. (6.ábra) (Dövényi, 2013) A Duna a világ „legnemzetközibb” folyója, mivel 2860 km-es útja során 10 országot átszel (Németország, Ausztria, Szlovákia, Magyarország, Horvátország, Szerbia, Bulgária, Románia, Moldova és Ukrajna), és vízgyűjtő területéhez még további 7 ország csatlakozik. Több tekintélyes város is a Duna partjára épült, ezek közül 4 főváros is: Bécs, Pozsony, Budapest, Belgrád. (Goda, et al., 2007)

A folyó három szakaszra osztható fel. A felső szakasza körülbelül 1868 fkm, mely a forrástól a Dévényi kapuig tart. A felső szakaszon 30 km-el Passau előtt a vízhozama körülbelül 580 m³/s. A középső szakasz a Dévényi kaputól a Vaskapuig tart, mely körülbelül 1000 fkm-t

ölel fel. Ezen a szakaszon Bécs közelében az átlagos vízhozam $1900 \text{ m}^3/\text{s}$, Budapestnél pedig $2350 \text{ m}^3/\text{s}$. Az alsó szakasza a Vaskaputól egészen a Duna-deltáig tart. Tulcea városától 3 főbb (Chilia, Sulina, Szent György) és több kisebb ágra szakad. A deltánál a folyam közepes vízhozama körülbelül $6500 \text{ m}^3/\text{s}$. A folyó esését, ezáltal a víz sebességét a morfológia határozza meg. Hegyvidéki területeken természetesen gyorsabb, míg a torkolathoz közeledve egyre enyhébb és enyhébb esése és sebessége lesz. Ezzel nem csak a víz sebessége, de a lebegtetett és a lerakott hordalék szemcse átmérője is változik, így a romboló és építő munkája is.

Míg a Duna elér a torkolatáig, számos mellékfolyó gazdagítja vizét. Fontosabb mellékfolyói a forrástól: Regen, Iller, Lech, Isar, Inn, Morva, Rába, Vág-Nyitra, Dráva, Tisza, Száva, Cserna, Olt, Szeret, Prut. (Hardi, 2016)



6. ábra: A Duna vízgyűjtőjének domborzati térképe, a magyarországi szakasz kiemelve
forrás: (Goda, et al., 2007)

4.2. A Duna magyarországi szakaszának bemutatása

A Duna teljes hosszát három karakterisztikus szakaszra oszthatjuk. A három szakasz szembeötlően különbözik egymástól, mind egy vagy több medence vizét vezeti le. A Felső-Duna a Bajor és az Osztrák medencéét, a Középső-Duna a Kis- és Nagy- Magyaralföldét, az Alsó-Duna pedig a Havasalföldét. Országunkba a Duna a Kisalföld nyugati pereménél lép be az 1850,20-as fkm-nél, majd 417 km hosszan folyik végig, és azután 1433-as fkm-el lép ki az országból. (Andorkó, et al., 1978)

A magyarországi szakasz teljes mértékben a közép szakaszhoz tartozik. A folyók közép szakaszának tulajdonságai közé tartozik, hogy a munkavégző képességük itt már megegyezik az végrehajtandó munkával. A folyó energiája jórészt már nem elegendő a hordalékképzésre, de a felsőbb szakaszból érkezett még szállítja. A folyó kanyarogva szélesíti a medrét, a kanyarok külső oldalán az erősebb vízáramlás végett a partot folyamatosan rombolja a víz, míg a belső

oldalon a lassabb vízáramlás miatt lerakja a hordalékát, és építi a partot. A folyamatos építéssel és rombolással járó vándorlást meanderezésnek nevezzük.

Míg végül az egyre öblösebb kanyarokat már csak egy keskeny rész választja el egymástól, melyet egy nagyobb árhullám átvág, ezzel természetes módon létrejön a mellékág. Mivel az egyenes szakaszon gyorsabban fog folyni a víz, mint a mellékágban, így a főmederből érkező lebegtetett hordalék közel 90%-a lerakódik. A leülepedő iszap teljesen elvágja a régi, kanyargó mederszakaszt a folyótól. Így jön létre a holtág. Magyarország vidékeit ilyen természetes és mesterségesen lefűződött, illetve leválasztott holtágak színesítik. (Zorkóczy & Károlyi, 1993)

A magyar szakaszon a folyó medre hordalékos, esése viszonylag kicsi, az Alföld adottságainak köszönhetően (10-15 cm/km). A folyó medre széles, körülbelül 400-500 m. Az átlagos mélysége közepes vízállásnál 5 - 6 méter. (Goda, et al., 2007)

2020-as adatok alapján a bajai szelvényben a legnagyobb vízhozam nagyjából 4700 m³/s, a legkisebb vízhozama megközelítőleg 1250 m³/s, és az átlagos vízhozama mintegy 2200 m³/s.

4.3. A Duna szabályozása

4.3.1. *A folyószabályozás*

Az emberek igyekeztek mindig az életet jelentő folyókhoz, tavakhoz közel letelepedni. Sajnos ez a közelség nem csak előnyökkel járt, sokszor az itt élőknek számolniuk kellett a folyókon levonuló árhullámokkal. Az emberi társadalom kezdeti szakaszán az emberek nem voltak helyhez kötve annyira, mint a mai társadalomban élők. A társadalom fejlődésével csökkent a mobilitás és elvándorlás lehetősége. Az emberek a menekülés és helyváltoztatás helyett elkezdtek védekezni a folyók vízszintjének emelkedése ellen, ezzel létrehozva a folyószabályozás alapjainak egyik ágát.

A vízszabályozás alatt a természetes folyók és állóvizek által okozott károk megelőzését, továbbá ezek vízrajzi viszonyait módosítva vagy megváltoztatva a vízhasznosítás témakörét értjük.

Ma a folyószabályozás konkrét feladatokat jelöl ki. Ezek közé tartozik az árvízvédelmi biztonság létrehozása, és a középvízi meder minőségének javítása és karbantartása az árhullámok és a jég kártétel nélküli levonulásának érdekében. Továbbá a folyók mellé települt, vagy telepített létesítmények védelmét, a folyó tulajdonságaihoz mért hajóút létrehozását, karbantartását. (Zorkóczy & Károlyi, 1993)

4.3.2. A Duna szabályozásának előzményei

A történelmi adatok alapján szinte biztosra vehető, hogy az ember megjelenésével körülbelül egy időben megjelent az ártéri gazdálkodás kultúrája is. Az ember a kőkorban már árkokat ásott, és sáncokat épített, jókora földmunkára képes volt. Ilyen földmunka például a máig ismeretlen keletkezésű, Váctól a Tiszáig húzódó, a Jászságot keresztül szelő úgynevezett Csörsz árka, melyet még a magyarok honfoglalása előtt készítettek.

Ezeknek az árkoknak és sáncoknak a segítségével ügyesen szabályozták a folyóvizet. Akkori eszközökkel még nem tudták megakadályozni a folyó kiáradását, engedték, hogy a folyó emelkedő vize szétterüljön, minél nagyobb területen. Ezzel nem felduzzasztva az árhullámot, mely óriási rombolást végzett volna.

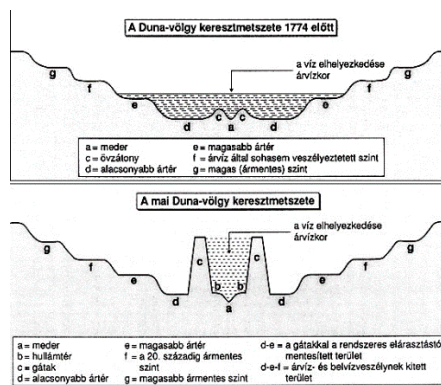
Az árkokat és csatornákat a folyó áradása és apadása során folyamatosan karbantartotta, így ugyanezek a csatornák az apadó vizeket visszavezették a folyóba. Az ártérben viszont maradtak pangó, lefolyástalan vizek, vagy hosszan elárasztott területek. A néhány napos vagy hetes vízborítás nem tett óriási károkat. Ezt nevezhetjük a természettel való együttműködésnek is, melyből kialakult az ártéri gazdálkodás. Ennek volt köszönhető a középkori Magyarország halbőssége.

Ezen a területen nem a gabonatermelésre, vagy az ekés gazdálkodásra kell gondolni, az ártéri gazdálkodás fő iránya az állattartás, a gyümölcstermesztés, és a halászat volt.

Történelmi források bizonyítják, hogy a magyarok a megtelepedésük után nem sokkal már magas fokon tudták szabályozni a kisebb folyókat és vizeiket. Ezeket védekezés céljából is bevetették, mikor a 11. század elején megakadályozták több támadó hadsereg bevonulását is.

A háborús idők és a népességgrobbanás nem kedveztek az ártéri gazdálkodásnak, így már a 16. században hanyatlásnak indult ez a fajta művelési forma. A széles, kiterjedt árterek nehezen voltak járhatóak, kedveztek a bujdosó embereknek. A Habsburg Birodalom a törökellenes felszabadító háborúkat megnyerte, és az ipari forradalom is elkezdett kibontakozni. Ezalatt már terveket készítettek ezeknek a területeknek az átformálására. A Bácska területét Európa egyik legtermékenyebb területének gondolták, az itt megtermelt élelmiszert pedig a Dunán szerették volna szállítani. A Duna viszont a 18. században a kanyargóssága és számtalan csatornával, fokkal és övzátonnyal való felszabdaltsága miatt nem volt hajózható. Ekkor óriási tervek születtek a folyók hajózhatóvá tételéről.

Úgy gondolták, hogy a folyó egyik oldalán feltöltik az övzátonyokat és a fokokat, így megalkotva egy töltést, mellyel nem csak hajóvontató utat létesítettek, hanem az árteret is megvédték az árhullámok kinyomulásától, így megművelhető területet létrehozva. (Andrásfalvy, 2000) (7.ábra)



7. ábra: A Duna völgy keresztmetszete a folyószabályozás előtt és után
forrás: (Andrásfalvy, 2000)

4.3.3. A Duna szabályozásának főbb eseményei

Széchenyi István a terveiben a Tisza szabályozását előnyben részesítette, mivel Duna-völgy védelmére épített kezdetleges töltések elegendő védelmet adtak a nagyobb településeknek, és a fontosabb mezőgazdasági területeknek. Ezzel magyarázható, hogy a reformkorban készített vízügyi tervek nem tartalmazták a Duna középső szakaszát.

Nagy áttörést jelentett, hogy az 1838-ban bekövetkezett jegesár tragédiája után Vásárhelyi Pál feltárta a problémát, miszerint a Pest alatti Duna szakasz elzártonyosodása vezetett a jégtorlasz kialakulásához. Annak érdekében, hogy hasonló sorscsapás ne érje a fővárost újra, 1842-ben Vásárhelyi Pál elkészítette a nélkülözhetetlen szabályozási munkatervet. 1839-ben Beszédes József 11 folyóátvágás tervét készítette el. Ennek ellenére mindössze néhány átvágás történt az 1800-as évek kezdete óta 1870-ig bezárólag.

Az 1870-es években viszont egyre több árhullám fenyegette a nagyvárosokat és fontos mezőgazdasági területeket. Ekkor már nem volt tovább halasztható a folyó szabályozása és az árvízvédelmi társulatok megszervezése.

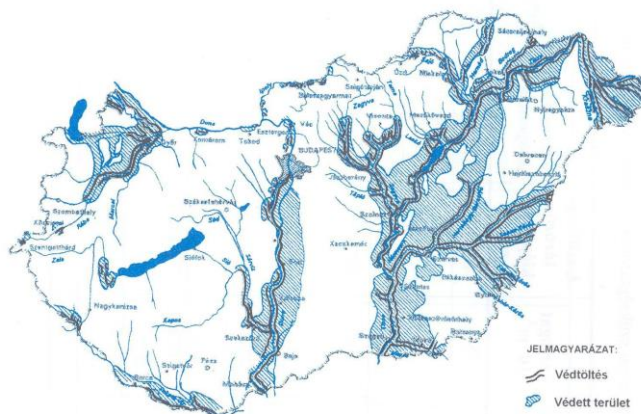
1871 és 1875 között több, mint 8 millió forintot költöttek a Soroksári Duna-ág elzárására, a lágymányosi Duna szakasz párhuzamműveinek kialakítására, illetve kimélyítették a budafoki Duna szakaszt. Ebben az időszakban építették a főváros rakpartjait is. Ezeknek a fejlesztéseknek köszönhetően az 1876-os jegesárvíztől sikeresen megvédték Budapestet, viszont a Budapest alatti szakaszon több jégdugó keletkezett, amely óriási veszélyforrást jelentett.

1870 körül további 5 átmetszést hajtottak végre a Dunán, majd 1870-1872 között a Duna gemenci szakaszán töltésépítés kezdődött. 1878-ban Szekszárd városát megvédve az esetleges árhullámtól, a Duna és Szekszárd között szintén árvízvédelmi töltést emeltek.

További 5,3 milliós beruházással 1881 és 1885 között végrehajtották a teljes Közép-Duna szabályozását. A Duna Magyarországi alsó szakaszának átalakítása a Sió és a Dráva torkolat között viszont elhúzódott.

A nemzetközi szerződésekben vállalt köteleességeknek eleget téve a Monarchiának 19. században a nemzetközi hajóutat biztosítania kellett. Ennek következtében a korszerűsítés, a természeti akadályok leküzdése és a Duna egységes szabályozása újra napirendre került. 1886 – 1896 között Bokodi Lajos és Fekete Zsigmond tervei szerint a mellékágakat elzárták, a kanyarulatokat levágták, ezzel a természetesnél sokkal merevebb medret hoztak létre. Ezután sor került a hajózási mélység, és a sokkal kevésbé kanyargó sodorvonal kialakítására. (Ihrig, 1973)

A belefektetett idő, energia és pénz ellenére a folyó életét és geológiai adottságait nem vették figyelembe, így a folyószabályozás további folytatást követel.



8. ábra: Magyarország árvízvédelmi töltései

forrás: VITUKI,1996

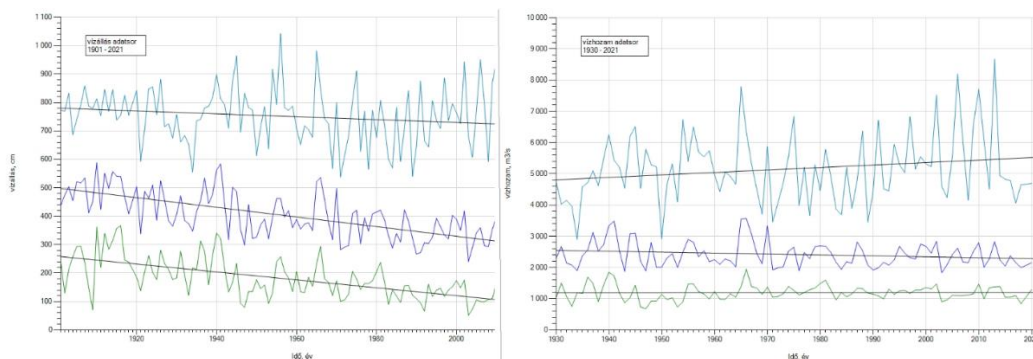
4.4. Az ármentesítés hatása

Az ármentesítés és folyószabályozás alatt sok kanyarulatot levágtak, a mellékágakat lezárták, a folyókat szűk árvízvédelmi töltések közé szorították. (8. ábra) Ennek következtében a Duna szakasz 240 km-en 100 km-rel rövidült meg. Mivel a Duna útja során a magasságkülönbség ugyan akkora maradt, viszont hosszának egy részét és a kanyargósságát elveszítette, az esése a duplájára növekedett, a víz sebessége és hordalék szállító képessége nőtt.

Kutatások alátámasztják azt a tényt, hogy a vízállások trendje folyamatos csökkenésben van, míg a vízhozam közel állandó. (9. ábra) Ebből következtethetünk, hogy a megnövekedett sebességű és hordalékszállítású folyó folyamatosan mélyíti a medrét. Míg a saját medrét mélyíti, addig az árterületen és a mellékágakban folyamatosan lerakja a hordalékát. Ennek a hordalék lerakódásnak köszönhetően Baján már csak 500 cm-t meghaladó vízállás esetében lépnek ki az ár hullámok a mederből. Az 1900-as évek elején az ár hullámok évente körülbelül

170 napon öntötték el az árteret, addig a század végére ez a szám mindössze 58 napra tehető. (Goda, et al., 2007)

Ezek az adatok aggodalomra adnak okot az ártéri élővilággal kapcsolatban. Sok helyen felismerték a folyószabályozás hosszútávú pusztító hatását, és jelenleg rengeteg élőhely-rehabilitáció zajlik hazánkban.



9.ábra: Vízállás, és vízhozam trendvonalak (Duna Baja évi minimumok, közepek és maximumok)

forrás: saját szerkesztés

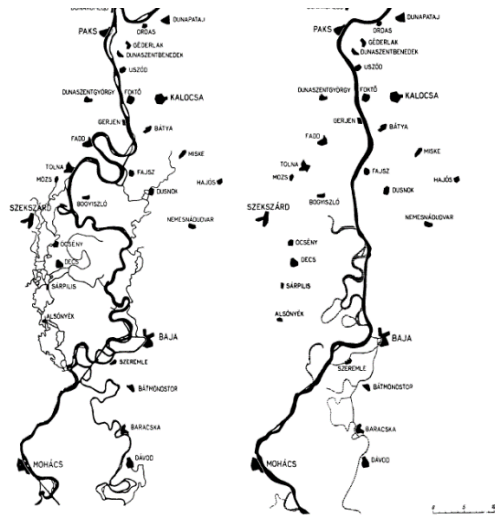
5. A GEMENC ÉS A TALAJVÍZMONITORING RENDSZER

5.1. A Gemenc

5.1.1. A Gemenc kialakulása

A 19. században nagy volumenű ármentesítés kezdődött meg a Duna dél-Magyarországi szakaszán. (10.ábra) A kanyarulatok átvágása a 20. század elejére fejeződött be. Az árvízmentesítés viszont még ez előtt kezdődött, így a jobbparti fővédvonalak a gemenci szakaszon a Duna nagy kanyarulatait megkerülve helyezkednek el, a főmedertől nagyjából 3 - 4 km távolságra.

Ezáltal létrejött a Gemenci erdő, mint hullámtéri erdő, mely közel 180 km²-t ölel fel. Ártérületi tulajdonságait megőrizve fenntartotta a folyómenti élővilágot. Ennek következtében 1977-ben védett területté nyilvánították, ezt követően 1996-tól értékes alkotórésze lett a Duna-Dráva Nemzeti Parknak. (Tamás, 2013)



10. ábra: A Duna magyarországi déli szakaszának szabályozás előtti, és utáni állapota
(forrás: (Lászlóffy, 1938))

5.1.2. Szerepe, fontossága

Európai viszonylatban is kiemelkedően nagy kiterjedésű, rendszeresen elöntött ártéri erdő a Gemenc.

A Gemenc területén megjelennek igények, melyeket szükségszerűen ki kell elégítenünk. Ilyen az árvízvédelem, a folyami hajózás biztosítása, parti szűrésen keresztül az ivóvízellátás, az erdő és vadgazdálkodás, a rekreáció, a horgászat, és egyértelműen a természetvédelem is. Természetvédelmi szempontból nagyon fontos a morfológiai és biológiai diverzitás fenntartása, illetve a terület bölcs használata.

Főként a Duna dinamikus vízjárása befolyásolja a Gemencet. A dinamikus változások folyamatos ismétlődést mutatnak, azonban a rendszer átalakulása is folytonos. Rövid időperiódust vizsgálva az áradás és apadás váltakozása, hosszabb időt elemezve pedig a folyó vízszintsüllyedése és a hullámtér gyors feltöltődése szabja meg az életfelételeket.

Az elöntések nagy szerepet játszanak a halállomány szaporodásában is, ezzel szorosan kapcsolódva a vízi madarak fennmaradásához. (Tamás, 2013)

Ma a Gemenc országos jelentőségű, egyedi jogszabállyal védett természeti terület, Natura 2000 különleges madárvédelmi, és különleges természetmegőrzési terület, az UNESCO Mura-Dráva-Duna bioszféra rezervátum része, Ramsari terület is egyben.

5.1.3. Élővilág

5.1.3.1. Növényvilág

A 19. század végén a Gemenc területén jelentősen kevesebb erdő volt, mint ma. A 20. század elejét nagymértékű erdőtelepítés jellemezte, így ma fellelhető erdőtársulatok javarészből már mesterségesen telepített fákból állnak.

A természetes jellegű erdőtársulások közé tartoznak a fehér fűz-, fekete nyár-, fehér nyár-, tölgy-, kőris-, és szil ligeterdők. Az ártéren található erdőségek az alacsonyabb területektől a magasabb területek irányában egymásból alakulnak át hosszú idő alatt, a terület feltöltődésének segítségével, alacsony területekről a magasabb térszínnek felé.

A fehér fűz (*Salix alba*), és fekete nyár (*Populus nigra*) ligeteknek kedvező hely a védett, fehér virágú nyári tőzikének (*Leucojum aestivum*), és fűzfák törzsein megjelenő a sárga gévagombának (*Grifola sulphurea*).

Az ártéri erdő magasabban fekvő területein elterjedtebbek a fehér nyár (*Populus alba*) ligetek, melyek a fehér fűz és fekete nyár erdőkből alakulnak ki. Jellemzően megjelenhetnek a vénic szilek (*Ulmus laevis*), a magyar kőris (*Fraxinus angustifolia* ssp. *pannonica*), és a kocsányos tölgy (*Quercus robur*) is. További sajátossága a cserjék megjelenése. Ilyenek például a hamvas szeder (*Rubus caesius*), a vörösgyűrű som (*Cornus sanguinea*) és a védett fekete galagonya (*Crataegus nigra*) is.

A terület feltöltődésének előrehaladtával a kocsányos tölgy (*Quercus robur*), a magyar kőris (*Fraxinus angustifolia* ssp. *pannonica*), és a vénic szil (*Ulmus laevis*) fordulnak elő hangsúlyosabb mértékben. Felbukkan az egybibés galagonya (*Crataegus monogyna*), a mogyoró (*Cornus sanguinea*), a védett, ibolyakék Duna-völgyi csillagvirág (*Scilla vindobonensis*), a borostás sás (*Carex strigosa*), a fürtös gyűrűvirág (*Carpesium abrotanoides*), a védett kétlevelű sarkvirág (*Platanthera bifolia*), és a szintén védett fehér madársisak (*Cephalanthera damasonium*) is.

Az álló, vagy lassan folyó vizekben is gazdag növénytársulást fedezhetünk fel, melyek többsége védett. Előfordul a bodros békaszőlő (*Potamogeton crispus*), a fehér tündérrózsa (*Nymphaea alba*), a sárga virágú vízitök (*Nuphar lutea*), a sulyom (*Trapa natans*), a tündérfátyol (*Nymphoides peltata*), a mételyfű (*Marsilea quadrifolia*), a nád (*Phragmites communis*), a gyékény (*Typha latifolia*, *T. angustifolia*), a tavi káka (*Schoenoplectus lacustris*), és a vízi harmatkása (*Glyceria maxima*). (Schmidt, 2013)

5.1.3.2. Állatvilág

A Gemenc biodiverzitását színesítő fő tényező a rendszeres áradás. A Duna kiöntése az ártérre általában a halak szaporodásának idején szokott megtörténni. Ebben az időszakban a Duna feltölti a mellékágakat, elönti az árteret. A sekély vízterületen hamar felmelegszik a víz, és megannyi vizes élőhely jön létre az állatok számára. A csuka (*Esox lucius*), és a ponty (*Cyprinus carpio*) számára kifejezetten előnyös ez a helyzet, hiszen ikráikat az elöntött területek növényzeteire rakják, utódaik pedig ebben a tápanyagban gazdag, alacsony vízállású vizekben nevelkednek. Elterjedt a Gemencben a kecskebéka (*Rana esculenta*), a vöröshasú unka

(*Bombina bombina*), és a barna varangy (*Bufo bufo*). Elsősorban a folyamatos elöntés alatt álló területek, illetve a holtágak vizeiben megtalálhatóak a tarajos és pettyes góték (*Triturus cristatus*, *T. vulgaris*), a dunai góték (*T. dobrogicus*), a mocsári teknősök (*Emys orbicularis*), a vízisiklók (*Natrix natrix*), a kockás siklók (*Natrix tessellata*) is, melyek mind a védett hullók és kétéltűek közé tartoznak.

Az ártéri erdő számos fokozottan védett madárfajnak szolgálatát élő-, költő- és szaporodó helyet. Napjainkban közel 40 pár fekete gólya (*Ciconia nigra*), 10-15 pár rétisas (*Haliaeetus albicilla*), választja költőhelyeként a Gemencet, barna kánya (*Milvus migrans*), és a kerecsensólyom (*Falco cherrug*) választja zavartalan lakóhelyéül a Gemencet. Előfordulhatnak továbbá szintén fokozottan védett bakcsók (*Nycticorax nycticorax*), szürke gémek (*Ardea cinerea*), berki tücsökmadarak (*Locustella fluviatilis*), örvös légykapók (*Ficedula albicollis*), fekete harkályok (*Dryocopus martius*), jégmadarak (*Alcedo atthis*).

Több helyen találkozhatunk a vidrával (*Lutra lutra*), az európai hódval (*Castor fiber*), a vadmacskával (*Felis silvestris*) és a nyusztal (*Martes martes*).

A Gemencnek nagy hírnevet szerzett gímszarvas (*Cervus elaphus*) és a vaddisznó (*Sus scrofa*) is az ártéri erdő élővilágát színesítik. (Schmidt, 2013)

5.1.3.3. Az élővilág és a Duna kapcsolata

A Gemenc területén fellelhető növények igénylik a vízpartok tulajdonságait: a gyakori elöntést és magas talajvízállást. A hullámtéri ökoszisztéma nézőpontjából meghatározó szerepe van annak, hogy az árhullámok milyen gyakoriak, milyen hosszúak, mennyi az elöntéses napok száma, illetve az év mely időszakában fordulnak elő. Az árhullám nem csak az elöntött térszínekre van hatással, a magasabban fekvő területeken is megemelkedhet a talajvíz szintje, mely kedvezőbb életfeltételeket teremt az ártéri növénytakaságok számára. Az árhullámok az elöntések során nem csak a vizet szolgáltatják a növényeknek, de a folyó hullámtéren lerakott hordalékával növényi tápanyagot is biztosít.

A gyakori áradások időszaka egybeesik a halak ívásának időszakával, így például a ponty és a csuka az elöntött területek sekély, melegebb és tápanyagban gazdag vizében rakja le ikráit. A kishalak megfelelő táplálékot nyújtanak az ártéri erdő magasabb rendű élőlényeinek számára.

Az árvízvédelmi töltések gyökeresen átalakították a szukcessziós viszonyokat, a valódi ártéri vegetációknak ma már mindössze a maradványai lelhetőek fel a területen. A folyószabályozás és ármentesítés hatására kialakult meder és vízszint süllyedés következménye, hogy a folyó egyre ritkábban önti el az árteret, inkább csak a leszívó hatása

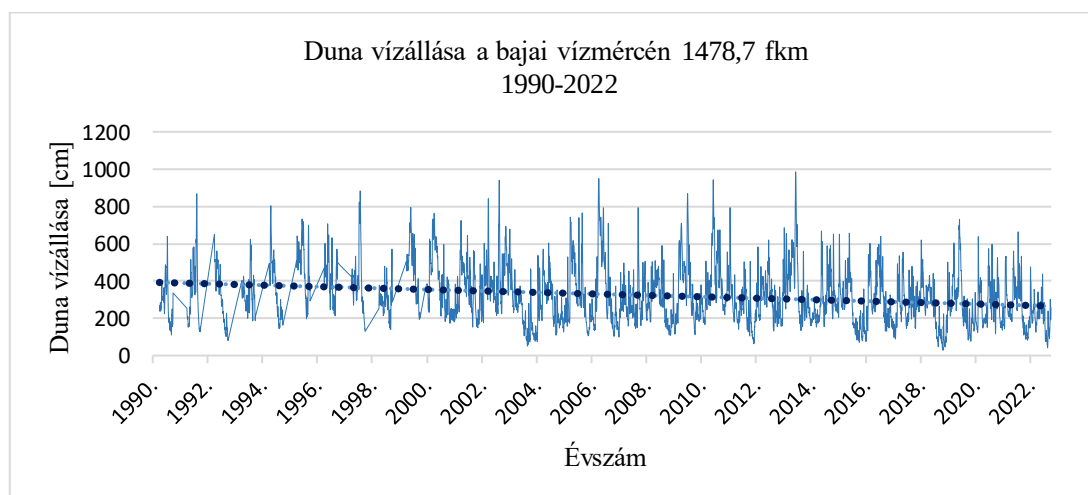
érvényesül a talajvízben. Ennek köszönhetően egy regresszív szukcesszió folyamata kezdődött el. A tölgy-, kőris-, szil ligetek nagy része átalakult fehér nyár ligettké.

További probléma még az erdő talajvízszint csökkenése miatti degradációja, elgyomosodása, illetve a tájidegen fajok térhódítása. Mindezek mellett az őshonos fajok is jelen vannak az elgyomosodott, sűrű aljnövényzetben, ezáltal az ártéri növénytársulások rekonstrukciója még megoldható. (DDNP, 1999)

5.2. Talajvíz monitoring rendszer kiépítése a Gemencben

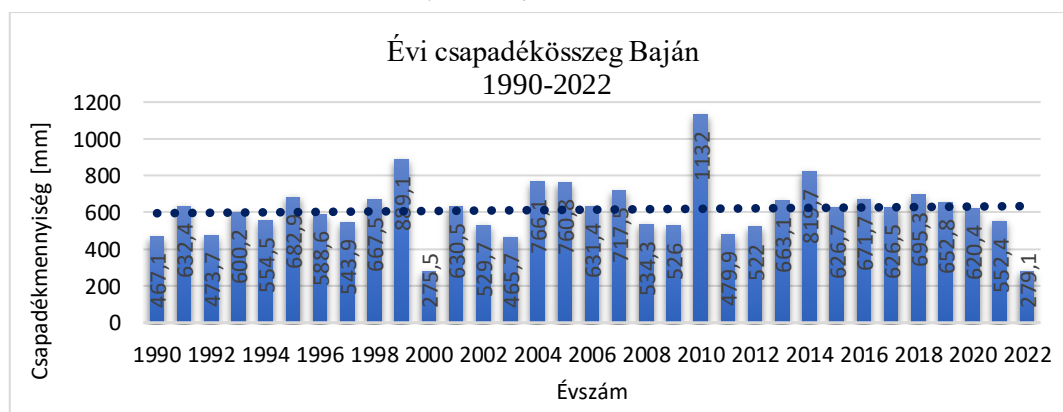
5.2.1. A terület talajvízháztartását befolyásoló tényezők

A Gemenc talajvízháztartását legfőképpen a Duna vízállása, és a térségben hullott csapadék mennyisége befolyásolja. A 11-12. ábrákon láthatóak a csapadékösszeg és a Duna vízállásainak alakulásai 1990-től napjainkig terjedően. A 11. ábrán a Duna vízállásaira trendvonalat szerkesztve szemmel látható a vízszint süllyedése.



11. ábra: A Duna napi vízállása a bajai vízmércén 1478,7 fkm 1990-2022

forrás: saját szerkesztés



125. ábra: Évi csapadékösszegek Baján 1990-2022

forrás: saját szerkesztés

5.2.2. Előzmények

A 20. században a Duna medre Bajánál közel 1,5 métert süllyedt. Ennek köszönhetően az aktív árterületek területe és ezek talajvízszintje folyamatos csökkenésben van. Az áradásos napok száma a múlt század elején közel 172-re volt tehető, míg ez a század végére 58 napra csökkent. A mellékágak és a holtágak torkolatai teljesen, vagy részlegesen elszeparálódtak a Duna friss vizétől, a hordaléklerakódás miatt. Ezek a változások nagy hatással voltak a folyó tápanyag visszatartására és a Gemenc élővilágára is. (Fleit, 2009) (Marchad, et al., 1993)

A területet valójában kettős probléma sújtotta: A Duna jelentős víz- és növényi tápanyag többlettel rendelkezett, utóbbi felelős az oxigénhiányos állapotok kialakulásáért. Mindeközben a Gemenc és a Béda-Karapancsa térségében az elöntések ideje és a talajvíz szintje csökkent.

5.2.3. A GEF projekt rövid bemutatása

A Világbank támogatásával egy több lépéses beruházás valósult meg 2009-ben, melynek fő célja a Duna és végeredményében a Fekete-tenger vízminőségének korrigálása.

A projektben két feladat kapott szerepet: első sorban az Észak-pesti Szennyvíztisztító telep innovációját foglalta magába, mely biztosította a szennyvíz magasabb fokú tisztítását, kezelését. Másrészt pedig a Duna vizének visszavezetését a gemenci ártéri erdőbe, illetve a Béda-Karapancsa térségébe, melyeket a kiszáradás fenyeget. A projekt összköltsége 32 millió USA dollár volt. (Fleit, 2009)

5.2.4. A projekt céljai a Gemencben

A GEF tápanyag-csökkentési projekt legfőbb célja, hogy a Gemenc területén nagyobb gyakorisággal biztosítsák a víz gravitációs újratöltődését a Dunából. Ennek köszönhetően javítva hullámtér vízellátását és csökkentve a folyó növényi tápanyag tartalmát, szabályozva a Fekete-tengerbe jutó növényi tápanyagok mennyiségét és minőségét és ebből fakadóan redukálni a Fekete-tenger eutrofizációs folyamatának sebességét. (Winkler, et al., 2009)

Ezenfelül az ártéren az elöntött területek és a vízfelület növelésével javítani lehet a mikroklimát, ugyanakkor a terület felszín alatti vízkészletének egyensúlyának konzisztenssé tételében is segítené.

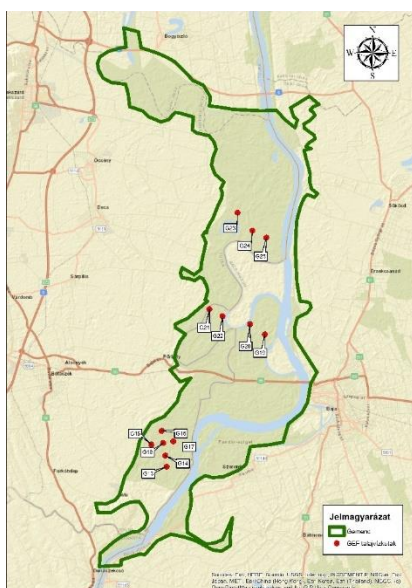
Sajátos célkitűzések továbbá a monitoring rendszer tervezése és kiépítése, az értékelési módszertan fejlesztése, és különböző természetvédelmi célok. A monitoring rendszer tökéletes a vízi ökoszisztéma alkotórészeinek állapot felmérésére. A feltárás és a vizsgálatok elsősorban a növényi tápanyagháztartásra (foszfor és nitrogén formák), a folyó vízszintjének hatásaira, az árhullám kiöntésének idejére, a hordalék minőségére, mennyiségére, és ülepedési idejére fókuszál. A monitoring rendszer alkalmas arra, hogy mérje és ellenőrizze a projekt eredményeit. (Fleit, 2009)

5.2.5. Monitoring rendszer: talajvíz monitoring kutak elhelyezése a Gemencben

A monitoring rendszer kiépítését három pontban foglalhatjuk össze.

- Első lépésként fontos beszélni a monitoring pontok kiválasztásáról, a módszertanról, és szükséges építeni egy adatbázist is.
- Második lépésben szükségszerű megtervezni a terepi vizsgálatok módját és elkészíteni az alaptanulmányt.
- Végül a monitoring rendszer karbantartása és működtetése, adatok gyűjtése, vizsgálata.

A Gemencben található talajvíz monitoring kutak elhelyezkedését a 13. ábrán szemléltetem.



13. ábra: A Gemenc átnézetes helyszínrajza a talajvízkutak jelölésével

forrás: saját szerkesztés

5.2.6. A kutakba telepített műszerek

A GEF projekt során a kialakított kutakba egy-egy DA-S-LTRB 122 DATAQUA típusú vízszintregisztráló került telepítésre. Ezen vízszintregisztráló műszerek célja a vízszint adatok rögzítése és tárolása talajvízben, fúrt kutakban, víztározóknál, illetve folyók és tavak medrében.

A DA-S-LTRB 122 típusú dataqua korrózióálló acéltokozattal rendelkezik. A programozható mérésintervallumok 1 másodperctől 24 óráig terjednek, jelen esetben az adatrögzítés 4 óránként történt. A műszer tartós lítium elemmel van felszerelve, melynek élettartama közel 5 év. Ez változhat annak függvényében, hogy az adatrögzítés intervalluma milyen gyakoriságra van állítva. A dataqua legfeljebb 120 000 mérési adat tárolására képes. Az adatok kiolvasásához szükséges egy notebook, vagy laptop, illetve egy RS 232 és USB 2.0

kommunikációs csatlakozó. A kiolvasáshoz és az adatok megjelenítéséhez továbbá szükséges a SmartAdmin programot is telepíteni a számítógépre. (www.dataqua.hu, 2022)

5.2.7. Monitoring rendszer állapota jelenleg.

A DATAQUA-kat 2009 októberében telepítették. A talajvíz monitoringozása az anyagi forrás kimerüléséig, 2013-ig zavartalanul folyt. A műszerek nagy része a Dél-dunántúli Vízügyi Igazgatóság tulajdonában állt, melyeket ekkor eltávolítottak a kutakból. A további 4 darab műszer a Duna-Dráva Nemzeti Park tulajdonában állt, így 2015 után mindössze négy kútban volt adatgyűjtő műszer, melyekből 2022-re már csak kettő volt működőképes állapotban.

A talajvízészlelések alkalmával észrevettem, hogy több talajvízkút állapota is leromlott már az utóbbi években. A tömítőgyűrűk, ahol megvoltak, már nem látták el feladatukat, a csavarok teljesen el voltak rozsdásodva, a kutak felépítményei pedig egyáltalán nem voltak stabilak, némelyiknek több centiméter kilengése is volt. Az intenzív erdőgazdálkodás során a munkagépekkel és a kivágott fák elhelyezésével nem veszik figyelembe a kutak helyzetét, melyekkel kárt tesznek, illetve kárt tehetnek bennük. (1.fénykép)



1.fénykép: Dataqua kiolvasása a G21-es kútból, melyre erdőgazdálkodási munkálatok közben rádőlt egy fa
forrás: saját, 2022.11.03.

6. ADATOK

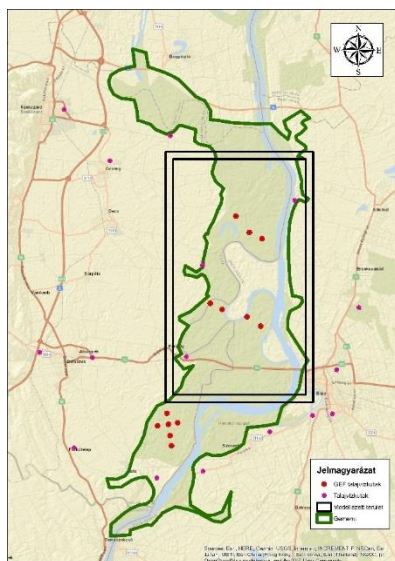
6.1. Alapadatok beszerzése

A Gemenc talajvízháztartásának vizsgálatához szükséges, a GEF projekt során telepített 13 darab talajvízkút vízállás adatait a Duna-Dráva Nemzeti Park Dunai Tájégség biztosította számomra. Mivel a kutak többségében már nem található adatrögzítő műszer, így 2022. augusztusától november közepéig a Duna vízállását és a csapadék adatokat figyelembe véve körülbelül kéthetente terepbejárás során kézzel észleltem a Gemencben található talajvízkutakat, illetve telepítettem egy a Nemzeti Közszoigálati Egyetem tulajdonában lévő dataqua műszert a G25-ös számú kútba.

A talajvízállások feldolgozásához szükségem volt a Duna vízállás adataira, és a bajai csapadék adatokra. Ezeket az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság bocsátotta rendelkezésemre.

A terület átfogóbb vizsgálatának érdekében még további 16 darab környékbeli kút vízállás adatait, talajszelvényeit, illetve Dombori és Paks vízállás adatait az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóságtól és a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság szolgáltatta számomra.

A vizsgálatok elvégzéséhez összesen 29 darab talajvízkút vízállás és talaj szelvény adatai álltak rendelkezésemre. (14.ábra) A 29 darab kút alapadatait a 7. mellékletben csatolom.



64. ábra: MODFLOW Modell elkészítéséhez felhasznált talajvízkutak elhelyezkedése

forrás: saját szerkesztés

6.1.1. Saját mérések

Az alapadatok beszerzésénél világossá vált számomra, hogy a kutak többségében már évek óta nem történt mérés, ezért a Duna vízállását és a térségre lehullott csapadékmennyiséget figyelembe véve két-három hetente kézi észlelést végeztem a kutaknál 2022. augusztus elejétől, november közepéig. A kutak vízszintjét kézi vízszint észlelő műszerrel határoztam meg. (2.fénykép) A második mérés alkalmával pedig telepítettem egy a Nemzeti Községi Egyetem tulajdonában lévő dataquát a G25-ös számú talajvízkútba. A dataqua regisztrálásához szükség volt egy laptopra, melyre telepítve volt a SmartAdmin szoftver, és az adatkábel is. A DATAQUA telepítés során a programon belül megadtam a kút relatív nivóját, mely a kút peremétől a vízszintig terjedt.

Az utolsó terepi bejárás alkalmával a kézi észlelések mellett kiolvastam a DATAQUA által rögzített adatokat is. (3.fénykép)



3. fénykép: Pision vízszintmérő, melyet a terepi méréseim során alkalmaztam
forrás: saját, 2022.11.03.



2. fénykép: Dataqua adatainak kiolvasása és mentése a G25-ös számú kútnál
forrás: saját, 2022.11.03.

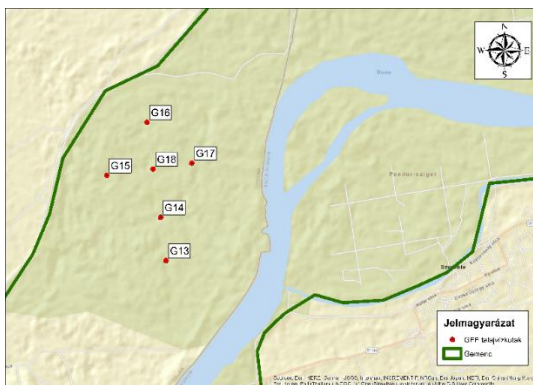
7. GEF KUTAK ADATAINAK FELDOLGOZÁSA

A GEF projekt során telepített monitoring kutakból kinyert adatokat .rec fájlkiterjesztésben biztosította számomra a Duna-Dráva Nemzeti Park Dunai Tájegysége. Ahhoz, hogy az adatokat Microsoft Excel programban további feldolgozásra tudjam használni, először a SMARTADMIN programban kellett őket átalakítanom. Majd a relatív értékekből kapott vízállás idősorok adatait kivontam a kút peremének m B.f. -i értékéből. Ezek mellett az értékek mellett feltüntettem a Duna bajai szelvényben mért vízállásait, és a vizsgált időszakban Baján hullott csapadékok mennyiségét. Mivel a Gemenc feláramlási területnek tekinthető a csapadék elenyésző hatást gyakorol a talajvízállásra, a Duna hatása viszont sokkal jelentősebb.

A kutak vizsgált időszakon (2009-2022) belüli adatsorát feldolgozó diagrammokat és a saját méréseket bemutató diagrammokat mellékletként csatolom. (1-6. melléklet)

7.1. G13-G18 talajvízmonitoring kutak

A GEF projektben a G13-G18-as számú kutak a Gemenc Báta településtől északra kerültek elhelyezésre kereszt alakzatban. (15.ábra) (2.táblázat) 2009.10.23-tól 2012.10.01-ig zajlott minden kútban adatrögzítés. 2010.07.15 – 2011.01.19 között adathiány van. 2015.09.03-tól már csak a G14-es kútban történt adatrögzítés, 2012.10.01 és 2015.09.03. között újabb teljes adathiány van. A 19. ábrán látható diagrammon a kutak 2009-2012 évek közötti adatsorait ábrázoltam a Duna bajai szelvényében mért vízállásának, és a bajai csapadék adatoknak a függvényében.



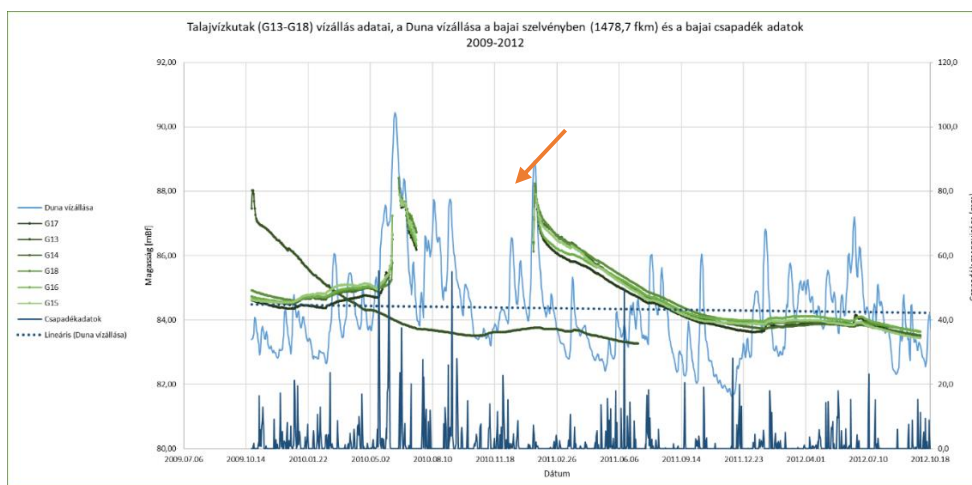
15. ábra: G13-G18 kutak elhelyezkedése

forrás: saját szerkesztés

1. táblázat: G13-G18 kutak adatai

forrás: saját szerkesztés

Kút neve	EOV Y	EOV X	Kút peremének magassága [mBf]	Dunától való távolság [m]
G13	632098	89052	88,508	1600
G14	632013	89737	88,230	1840
G15	631155	90405	89,105	2640
G16	631795	91250	88,252	2070
G17	632510	90602	89,470	1270
G18	631892	90506	89,352	1900



167. ábra: Talajvízkutak (G13-G18) vízállás adatai, a Duna vízállása bajai szelvényben (1478,7 fkm) és a bajai csapadék adatok 2009-2012

forrás: saját szerkesztés

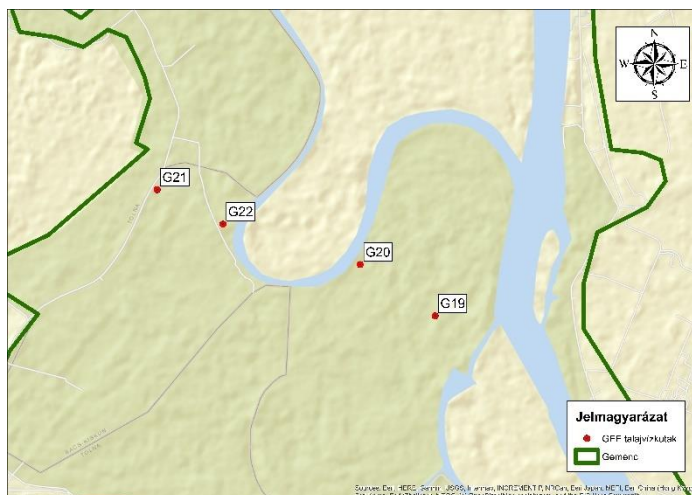
A 16. ábrán látható diagrammon megfigyelhető, hogy a G13-as kút adatai teljesen eltérnek a többi adatsorttól. Mivel már a kezdő adatok is túl magasak a többihez képest, így azt feltételezem, hogy a telepítés során hiba léphetett fel, valószínűleg nem megfelelő volt a relatív talajvízszint magasságának az értéke.

A többi talajvízkútról elmondható, hogy nagyvonalakban, de nem pontosan követi a Duna vízállásának alakulását.

A 16. diagrammon narancssárga nyíllal jelölt 2011. 01. 21-i árhullám 88,94 m B.f. magassággal tetőzött, a kutakban még aznap elérte a legmagasabb pontját a vízállás, kivéve a G15-ös kutat, melynél ez másnap következett be.

7.2. G19-G22 talajvízmonitoring kutak

Az élőhelyrekonstrukciós programban a G19 - G22-es monitoring kutakat a Rezéti-Duna déli részén helyezték el, szinte egy vonalban. (17. ábra) (3.táblázat)



17. ábra: A G19-G22-es kutak elhelyezkedése

forrás: saját szerkesztés

2. táblázat: A G19-G22-es kutak adatai

forrás: saját szerkesztés

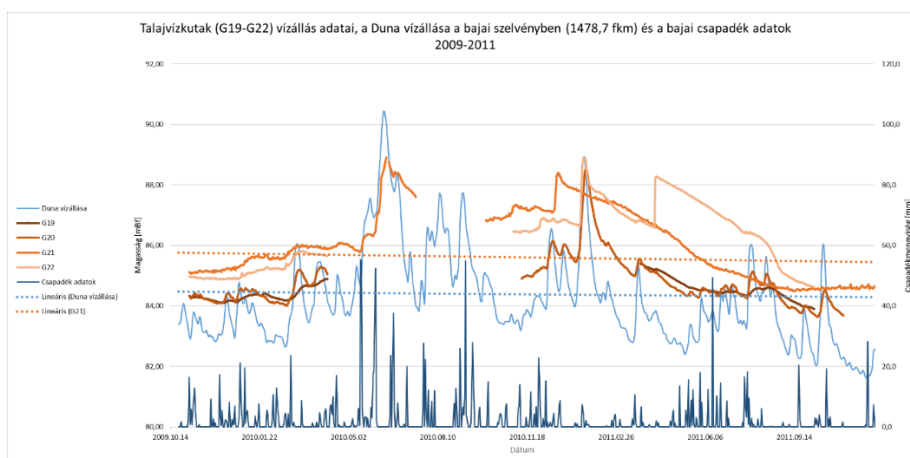
Kút neve	EOV Y	EOV X	Kút peremének magassága [mBf]	Dunától való távolság [m]
G19	638139	97165	88,542	980
G20	637219	97795	90,528	1930
G21	634725	98715	89,806	3730
G22	635533	98291	89,468	4660

A G19-G22-es kutak adatsorai 2009.10.23-tól napjainkig csak kisebb adathiányokkal van megszakítva. Ilyen adathiányok például: 2010.07.16 - 2010.10.10; 2011.11.08 – 2012.03.14; 2013.06.15 – 2015.09.15.

A G19-es kút adatsora 2013.06.15-ig tart, a G22-es kút adatai 2017.08.13-ig vannak rögzítve. Ezután mindössze a G20 és G21-es kutakban maradtak talajvízállást rögzítő műszerek.

A 18. ábrán az adatsor egy részletét ábrázolom 2009.10.23-tól 2013. 11.15-ig. A diagrammon látható, hogy a G19-G22 talajvízkutak sokkal jobban követik a Duna vízállását. Az árhullámok kútig való elérési ideje egy napra tehető. Itt nagy szerepet játszik a Rezéti-Duna közelsége, mely folyamatos kapcsolatban van a Dunával.

Az ábrán látható, hogy a Duna vízállás adataira, és a G21-es kút adatsorára trendvonalat szerkesztettem, melyekről következtetni lehet, hogy a Duna vízállásának csökkenése következtében a gemenci ártéri erdő talajvízszintje is hasonló ütemben folyamatosan csökken.

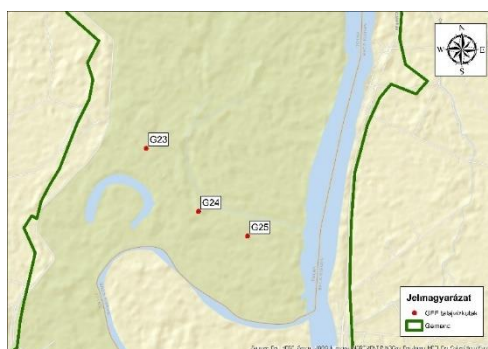


18. ábra: Talajvízkutak (G19-G22) vízállás adatai, a Duna vízállása a bajai szelvényben (1478,7 fkm) és a bajai csapadék adatok 2009-2011

forrás: saját szerkesztés

7.3. G23-G25 talajvízmonitoring kutak

A projekt során a G23-G25-ös kutakat a Rezéti-Dunától északra helyezték el, egy vonalban. (19.ábra) (4.táblázat)



19. ábra: A G23-G25-ös kutak elhelyezkedése

forrás: saját szerkesztés

3. táblázat: A G23-G25-ös kutak adatai

forrás: saját szerkesztés

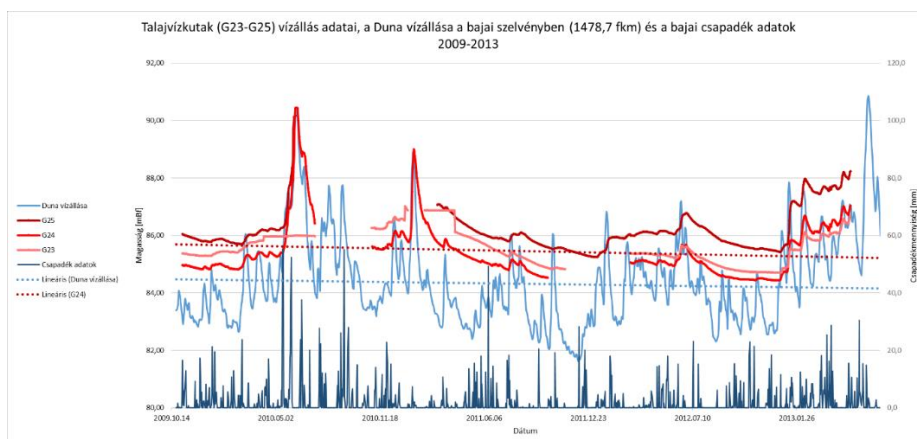
Kút neve	EOV Y	EOV X	Kút peremének magassága [mBf]	Dunától való távolság [m]
G23	636458	104637	90,226	3300
G24	637372	103533	91,058	2200
G25	638230	103104	91,058	1230

A G23-G25-ös kutak adatsorában is fellelhetők hosszabb, rövidebb adathiányok. Mint például: 2010.07.16 – 2010.11.04; 2011.11.08 – 2012.03.16. Ezen kutak észlelése 2009.10.23-

tól, 2013.05.08-ig tartott. A második terepbejárás során a G25-ös kútba dataqua műszert telepítettem.

A kutak vízállásai szinte teljesen követik a Duna árhullámain.

A vízállás adatsorokra szintén trendvonalat szerkesztve ezen a területen is bebizonyosodik, hogy a Duna vízállásának csökkenésével a Gemenc talajvízállása is csökken. (20.ábra)



20. ábra: Talajvízkutak (G23-G25) vízállás adatai, a Duna vízállása a bajai szelvényben (1478,7 fkm) és a bajai csapadék adatok 2009-2013

forrás: saját szerkesztés

8. HIDRODINAMIKAI MODELL FELÉPÍTÉSE

A hidrodinamikai modellvizsgálatok célja az volt, hogy meghatározzuk a rendelkezésre álló földtani és vízföldtani adatok felhasználásával a valóságot legjobban reprezentáló modellgeometria felépítését követően a Gemenben a talajvíz potenciál eloszlások miként módosulnak a Duna különböző vízállásainak megfelelő vízállás paramétereinek modellbe való beépítésének hatására.

8.1. A modellezés elméleti háttere

8.1.1. A numerikus megoldás módszere

A numerikus megoldások időben és térben ciklusokra osztják a lejátszódó valós folyamatot, ezzel közelítve azokat. Az eltérő ciklusokon belül a számításhoz szükséges tényezőket állandónak vesszük. Állandó komponensnek vesszük az időbeli szakaszban az időben változó, térbeli ciklusban pedig az egyes paramétereket vesszük állandónak. Ezek alkalmazásával elérhetővé válik a kívánt eredmény. A ciklusok használatának van egy optimális mértéke. A térbeli és időbeli periódusok növelésével a numerikus hibák száma is megnövekedhet, ezzel a számítás igénye is exponenciálisan gyarapszik. (Keszeyné, 2011)

8.1.2. A véges differencia módszer

A véges differencia módszer alapkonceptiója a szivárgás parciális differenciálegyenletének, differencia egyenletté történő alakítása.

A vizsgált területet egyenletes vagy változó térközű rácsháló felhasználásával egymással szorosan kapcsolódó téglatestekre osztjuk.

A Darcy-törvényt és a kontinuitási tételt hasznosítva meghatározzuk az egyes hasábok és a szomszédos elemek közötti vízhozamokat. Minden téglatestre summázzuk a vízmérleg-elemeit. Ezután létrehozuk a modellezett terület vízforgalmát a meghatározott időlépcsőben leíró egyenletrendszer. Ezt követően meghatározzuk a téglatestekben létrejövő vízszint, vagy nyomásszint változásait. (Keszeyné, 2011)

8.2. **A modellezéshez felhasznált szoftverek**

8.2.1. Processing Modflow

A Gemencre vonatkozó hidrodinamikai modellezéshez az ingyenesen hozzáférhető Processing Modflow 5.3 modellező szoftver MODFLOW modulját használtam.

A MODFLOW modul egy háromdimenziós, moduláris felépítésű programcsomag permanens és nem-permanens felszín alatti vízmozgás modellezésére. A modell csak telített tartományra vonatkozik. Úgyszintén alkalmazható a szivárgási tér többretegű és teljes háromdimenziós megközelítéssel való vizsgálatára. A kalkulált piezometrikus nyomásszintek mellett a MODFLOW meghatározza a vizsgált részterületek vízmérlegét is, a MODPATH program pedig az áramlási viszonyokat, sajátos áramvonalakat és elérési időket számítja. Egyaránt a MODFLOW által számított piezometrikus szintek számbavételével dolgozik az MT3D transzport modul, amelyik áramvonal menti és háromdimenziós transzport számításra is szintúgy alkalmas: a szennyezőanyag koncentrációját definiálja, permanens és nem-permanens transzport esetére. A numerikus megoldás véges differencia módszerrel történik.

A MODFLOW/MODPATH modul kidolgozója a US. Geological Survey, az MT3D programcsomagot pedig a Papadopoulos Ltd. konstruálta.

A MODFLOW a következő esetekben tud nyomásszinteket számolni:

- heterogén, anizotróp szivárgási tér többretegű és maradéktalan háromdimenziós megközelítése (kiékelődés nem lehetséges);
- permanens és nem-permanens áramlási viszonyok;
- időben és térben változó szabadfelszínű és nyomás alatti állapot, illetve bármelyik réteg váltakozó leürülése és újranedvesítése;

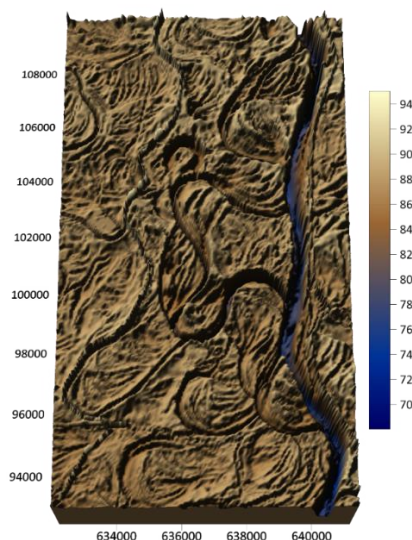
- háromféle peremfeltétel: vízzáró, adott nyomású és a számított nyomással lineárisan változó fluxus (ez utóbbi speciális esete az állandó fluxus);
- különböző források és nyelők: időben változó, de egy stressz-periódus alatt konstans értékek (vízkivétel, injektálás, beszivárgás) vagy a számított nyomás lineáris (felszíni vizek, drének) és nem lineáris (talajvízpárolgás, felszíni víz medre alá süllyedő talajvízszint) függvénye;
- a felszín alatti víz és a felszíni víz aktív kapcsolata (a felszíni vízszint függvénye a felszíni vízzel történő vízcserének). (Chiang, 2001)

8.2.2. Surfer 9

A dolgozatom elkészítése során a Surfer 9 programot is alkalmaztam. A Surfer egy angol nyelvű térképkészítő két-és háromdimenziós felületmodellező szoftver. Az alkalmazás képes arra, hogy szintvonalas rajzokat, felülethálókat, valamint magassági pontokat megjelenítsen többféle bemeneti adat alapján. Ezek lehetnek akár ASCII szövegállományok, táblázatkezelő állományok (Microsoft Excel) vagy matematikai függvények.

A megvalósított felületekkel számottevő művelet végezhető el: térképek összeadása, kivonása, osztása, szorzása, logaritmizálás, deriválás, még függvényt is alkalmazhatunk.

A Surfer segítségével készítettem a domborzatmodellből felszínt és a modellhez szükséges rétegfelületeket is grid formátumban.



21. ábra: A területmodell domborzata DEM-10 alapján
forrás: saját szerkesztés

8.3. Alapadatok

8.3.1. A modell geometriája

A modellterület EOY Y: 632225 – 641175 és EOY X: 92525 – 108475 földrajzi koordináták között 9 km oldalhosszúságú, és 16 km oldalmagasságú téglalapnak feleltethető

meg, melynek tájolása É-D irányú. A modell 50 x 50 méter beosztású cellákból tevődik össze. (21.ábra)

Mivel a PMWIN program csak grid állományokat tud kezelni, ezért a domborzat modellt Surfer programban rácshálóvá alakítottam.

Vertikális szempontból a vizsgált területen található kutak fúrási rétegsorait felhasználva, illetve a modellezés célját kielégítve 2 db modellréteg került kijelölésre. Az első réteg 4 méterig, a második réteg 4-25 méter mélységig terjed. Az első rétegben finom szemcsés aleurit, agyagos aleurit illetve finom szemcsés homok aleurit található, míg a második rétegben az fentiekén kívül még fellelhető az apró és közép szemcsés homok.

Peremfeltételnek a modell keleti peremén a Duna folyó középvízállás értékét vettem figyelembe, a modell északi, déli és nyugati peremein pedig állandó nyomású és koncentrációjú cellák lettek alkalmazva. A Duna bal partján a számításból kizárt, inaktív cellákat alkalmaztam.

8.3.2. Beépített hidrodinamikai paraméterek

Mivel a modellezett mélységtartomány üledékeinek vonatkozásában nem állt rendelkezésre pontos leszívás-visszatöltődés vizsgálatokon alapuló, a rétegek szivárgási tényezőit meghatározó hidrodinamikai adat, ezért a modell ilyen jellegű paraméterigénye az adott réteg földtani felépítésének megfelelő irodalmi adatok alapján került kielégítésre. A vertikális szivárgási tényező elenyésző, mivel a modellterület feláramlási területen helyezkedik el, így a beszivárgás mértéke nagyon kicsi, ezáltal elhanyagolható.

4. táblázat: A modellrétegek horizontális szivárgási tényezőinek eloszlásai és az effektív porozitás értékük

forrás: saját szerkesztés

	Üledéktípus	k _{horizontális} [m/nap]	effektív porozitás [%]
1.réteg	Finom szemcsés aleurit, agyagos aleurit	0,02	18
	Finom szemcsés homok aleurit	0,5	20
2.réteg	Finom szemcsés aleurit, agyagos aleurit	0,02	18
	Finom szemcsés homok aleurit	0,5	20
	Apró és közép szemcsés homok	2	22

A kezdeti modellvízszintek megadásához a Duna dombori vízmércéjén (1506,8 fkm) mért vízállás adatokat használtam fel. Az adatsorból meghatároztam a középvízállást, melyet mBf-i magasságban adtam meg.

A modellterület keleti részét a Duna határolja, így elengedhetetlen volt a folyam vízfolyásként való beépítése a modellbe, mivel a területen a talajvíz szintjét főként a Duna befolyásolja.

A folyam csomag használatához három típusú paramétert használtam:

- A folyó vízállásainak abszolút magassága (Head in the River)

- A folyómeder abszolút magassága (Elevation of the Riverbed Bottom)
- A felszíni és a felszín alatti vizek kapcsolatát jellemző mérőszám (Hydraulic Conductance of the Riverbed)

A folyómeder abszolút magasságának 68 m B.f., illetve a vízállás vonatkozásában egy átlagos középvízi érték 86,47 m B.f. érték lett megadva. A modellfuttatások során a vízmércén valaha mért legkisebb vízállás (82,65 m B.f.), a legnagyobb vízállás (92,68 m B.f.), egy közepes nagyvíz (89,00 m B.f.), illetve a legkisebb vízállástól fél méterrel alacsonyabb (82,18 m B.f.) vízállások is alkalmazásra kerültek.

A felszíni és felszín alatti vizek kapcsolatát egy mérőszámmal jellemezhetjük, ezáltal a folyó medrének áteresztőképességét az alábbi képlettel írhatjuk le:

$$C_{folyó} = \left(\frac{k_{kolmatált}}{m_{kolmatált}} \right) \times L \times W$$

Ahol:

$k_{kolmatált}$ – a kolmatált zóna szivárgási tényezője

$m_{kolmatált}$ – a kolmatált zóna vastagsága

L és W – az adott cella kiterjedésére vonatkozó paraméterek. (Kovács, 2004) (Kovács & Szanyi, 2005)

Jelen esetben a modellterületemre számítva és a képletet behelyettesítve:

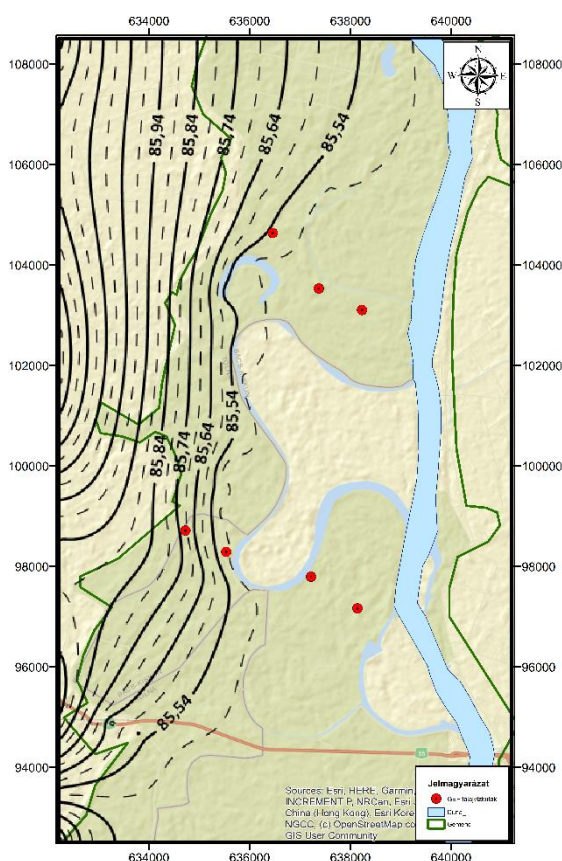
$$C_{folyó} = \left(\frac{0,05}{0,1} \right) \times 50 \times 50 = 1250$$

9. MODELLVÁLTOZATOK EREDMÉNYEI ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

Az elkészített modell célja a Duna hatásának vizsgálata a Gemenc talajvízháztartására. Ennek bemutatása érdekében öt különböző vízállás hatását vizsgáltam a modellterületre. A modell elkészítése során a Duna dombori vízmérce (1506,8 fkm) adatait vettem figyelembe.

A különböző vízállásokat betápláltam a Processing Modflow modellező programba, majd ezután a megváltozott vízállásokkal modellfuttatásokat végeztem. Ezek eredményfájljait kiexportáltam, és Surfer programban szintvonalas, illetve háromdimenziós térképeket készítettem. A szintvonalas térképeket ArcGIS térinformatikai szoftver segítségével ráillesztettem a modellterület térképére. A különböző dunai vízállások hatását a Gemenc talajvízállására a Surfer szoftverben beépített Grid Math parancsával hoztam létre.

9.1. Közepes Dunai vízállás hatása a Gemenc talajvízállására (KÖV)

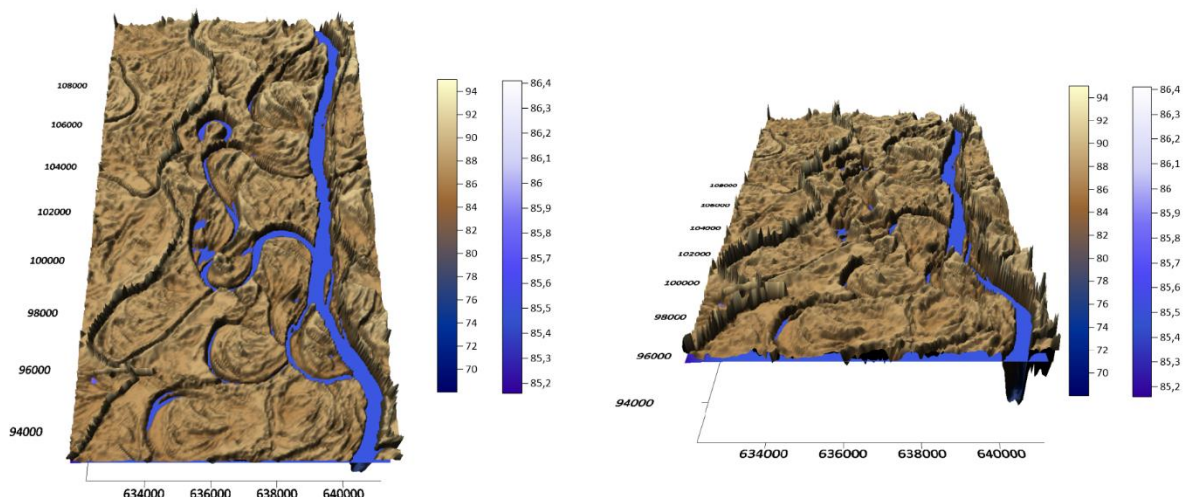


22.. ábra: KÖV esetén kialakult talajvízszint potenciál eloszlások térképen ábrázolva
forrás: saját szerkesztés

A Duna Dombori vízmércéjén (1506,8 fkm) középvízállás (86,47 m B.f.) esetén modellezett talajvízszintek megegyeztek a kutak átlagvízállásai alapján megadott talajvízszint potenciál eloszlás értékeivel. A modell közelítő kalibrálásának ezzel a vízzinttel való futtatás felel meg.

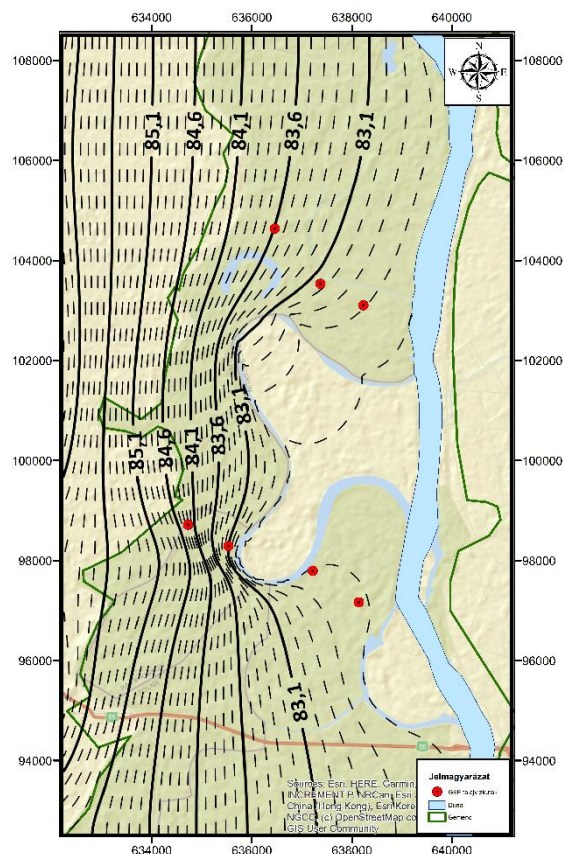
A 22. ábrán látható a Duna középvízállása esetén a Gemencben kialakult talajvízszint potenciál eloszlások.

A 23. ábrán található a modellezett terület háromdimenziós ábrázolása középvízállás esetén.



23.. ábra: 86,47 m B.f. Dunai vízállásnál a Gemenc talajvízszintje
forrás: saját szerkesztés

9.2. A Dunán valaha mért legkisebb vízállás hatása a Gemenc talajvízállására (LKV)

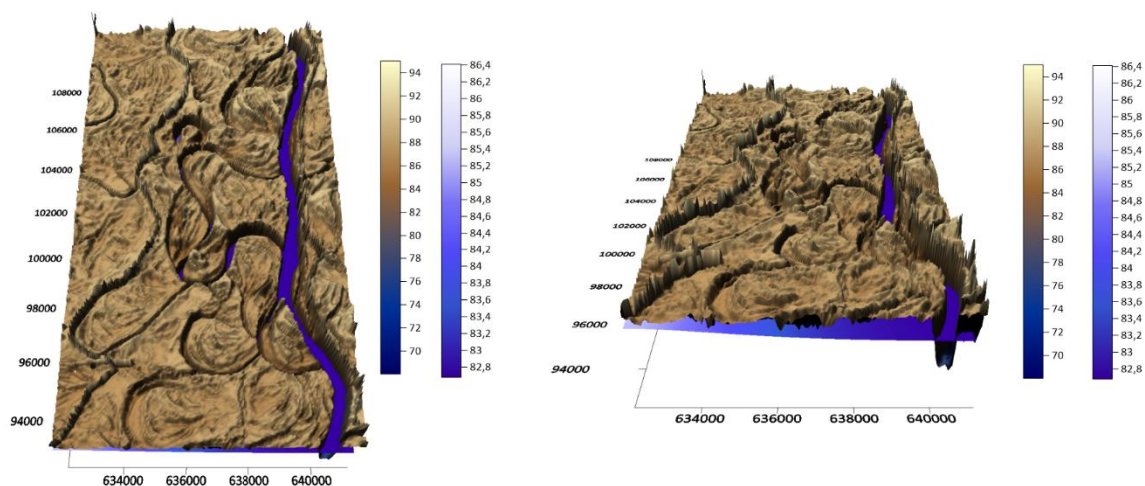


A Duna Dombori vízmércéjén (1506,8 fkm) valaha mért legkisebb vízállással (82,65 m B.f.) folytattam a modellezési feladatrészt.

A 24. ábrán megfigyelhető a talajvízszint potenciál eloszlások átrendeződése a középvízálláshoz képest. A Duna lecsapoló hatása érvényesül, a modelletterületen egységes talajvízcsökkenés észlelhető a Duna irányába a modell számításai által becsült értékek alapján.

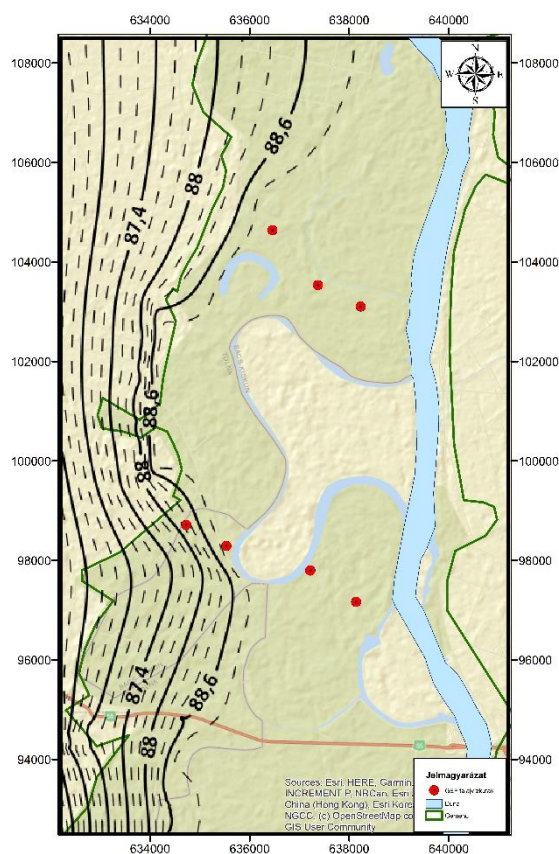
A 25. ábrán a vizsgált terület háromdimenziós megjelenítése látható LK esetén.

24. ábra: LKV esetén kialakult talajvízszint potenciál eloszlások térképen ábrázolva
forrás: saját szerkesztés



25. ábra: 82,65 m B.f. -i Dunai vízállásnál a Gemenc talajvízszintje
forrás: saját szerkesztés

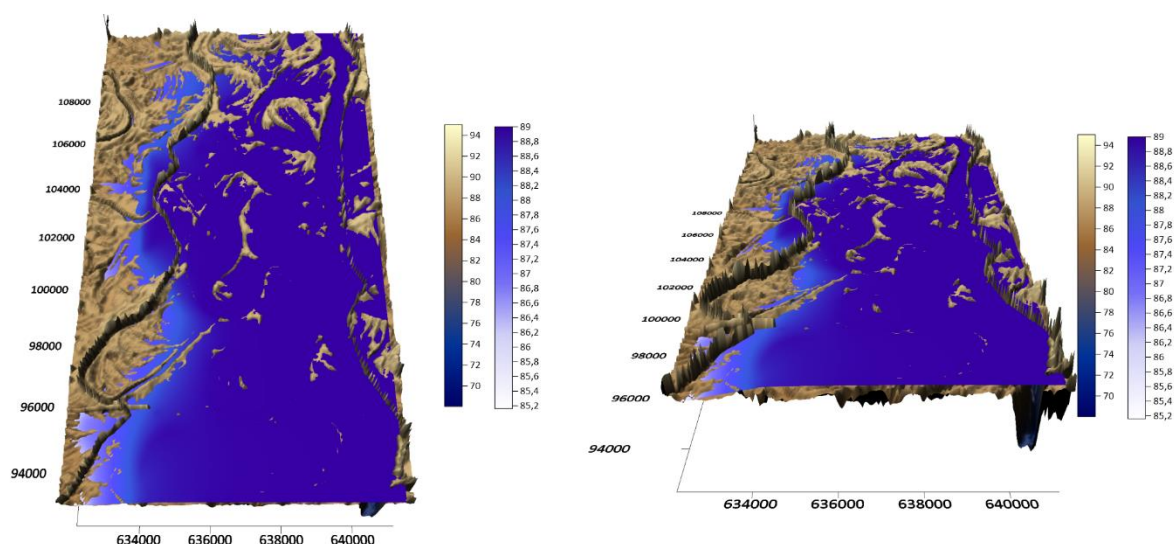
9.3. Közepes Dunai nagyvíz hatása a Gemenc talajvízállására (89,00 m B. f)



26. ábra: Közepes dunai nagyvíz esetén kialakult talajvízszint potenciál eloszlások térképen

ábrázolva

forrás: saját szerkesztés



278. ábra: 89,00 m B.f. -i Dunai vízállásnál a Gemenc talajvízszintje

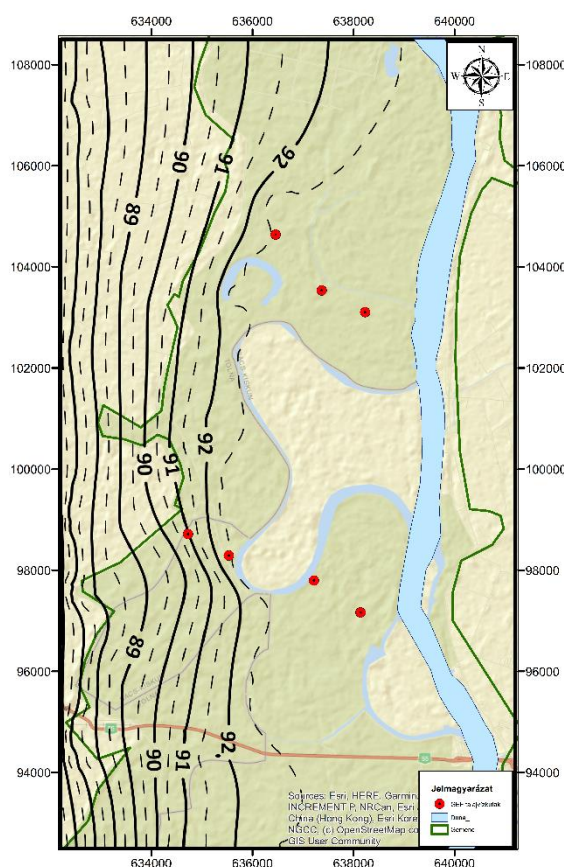
forrás: saját szerkesztés

A modellbe betáplálva egy közepes nagyvíz szintjét (89,00 m B.f.) folytattam a vizsgálatot. A Duna ilyen magas vízállásnál már kilép a medréből, és előnti a Gemenc területét.

A 26. ábrán felfedezhető, hogy nagyobb területre terjed ki a Duna tápláló hatása, mint középvíz esetén, talajvízszintek egyöntetű emelkedését okozva. A talajvízszint értékek egyre kisebb tartományban mozognak, mint a középvíz esetén.

A 27. ábrán a modellezett terület háromdimenziós illusztrációja látható, a Dunán levonuló közepesen nagy árhullám esetén.

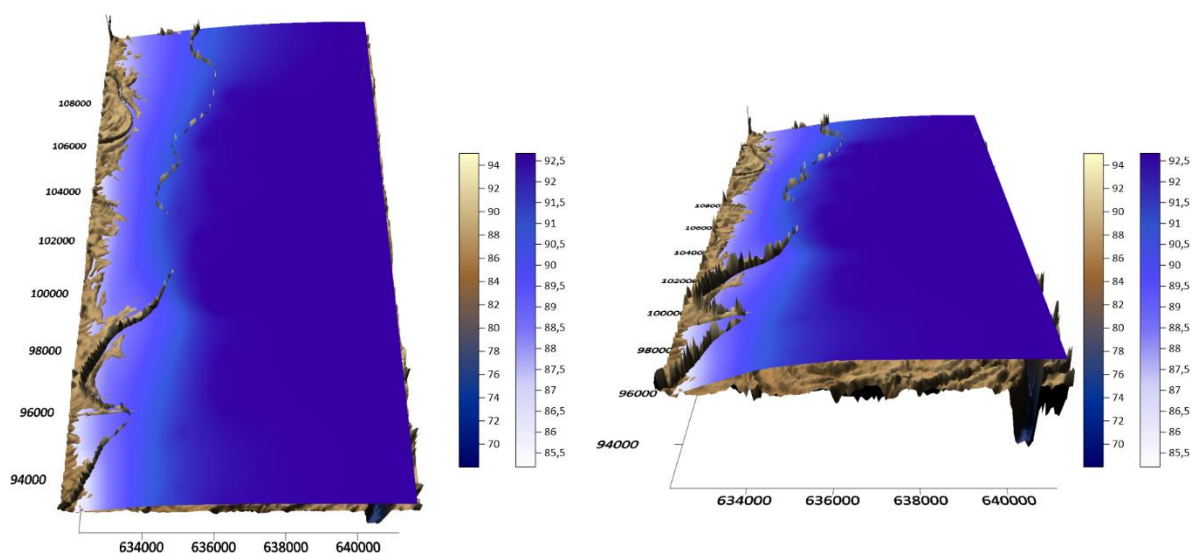
9.4. A Dunán valaha mért legnagyobb vízállás hatása a Gemenc talajvízállására (LNV)



289. ábra: LNV esetén kialakult talajvízszint
potenciál eloszlások térképen ábrázolva
forrás: saját szerkesztés

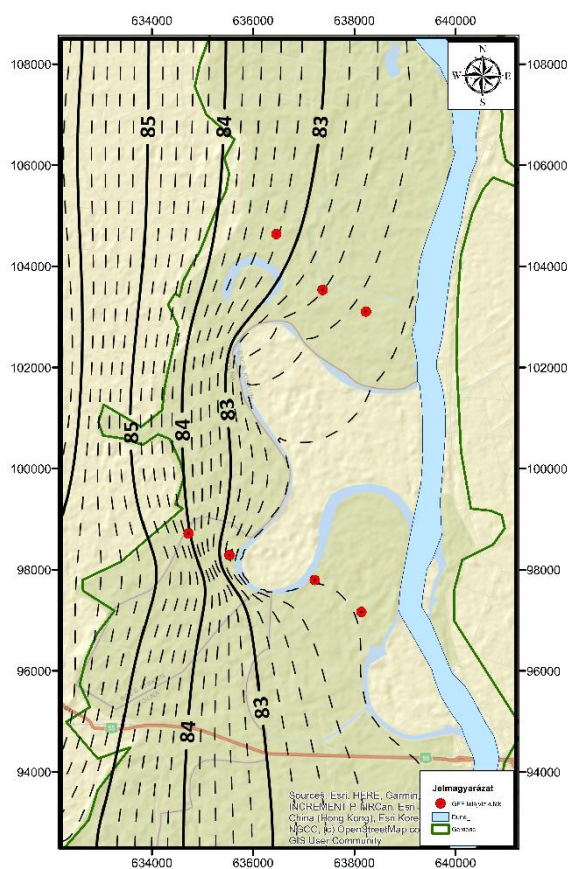
A Duna Dombori vízmércéjén (1506,8 fkm) valaha mért legnagyobb vízállást (92,68 m B.f.) betáplálva a modellbe a 28. ábrán megfigyelhető a Duna jóval nagyobb tápláló hatása. A modellezett terület nagy részén a Duna vízállása érvényesül, hiszen ilyen mértékű árhullám esetén elönti az ártéri erdő területét.

A 29. ábrán prezentálom a terület háromdimenziós grafikáját, melyen többé-kevésbe csak az árvízvédelmi töltések látszanak.



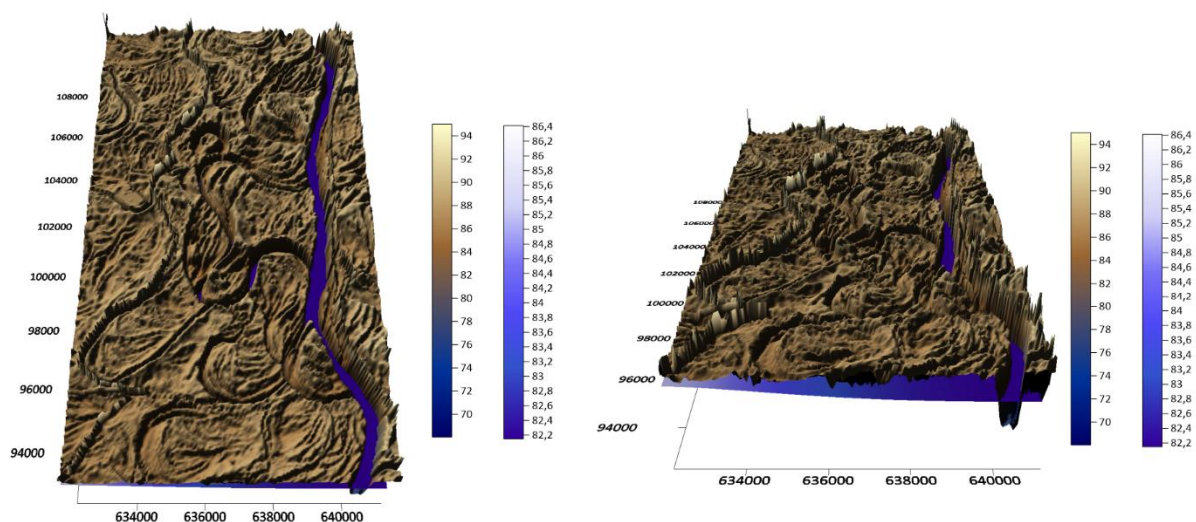
2910. ábra: 92,68 m B.f. -i Dunai vízállás esetén a Gemenc talajvízszintje
forrás: saját szerkesztés

9.5. A Dunán valaha mért legkisebb vízszinttől fél méterrel alacsonyabb vízállás hatása a Gemenc talajvízállására (LKV-0.5m)



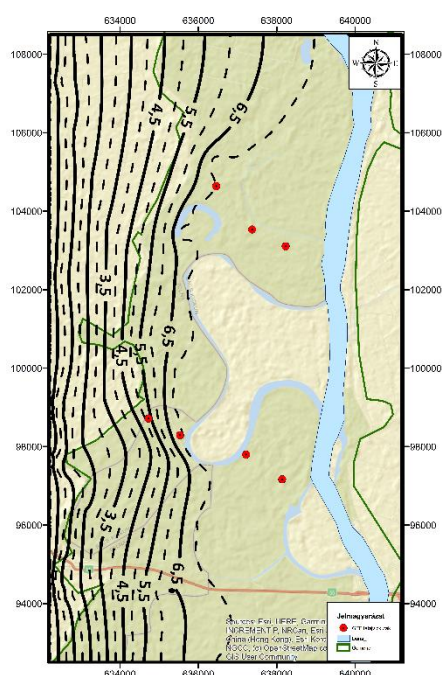
Dolgozatomban szót ejtettem a Duna vízszint csökkenéséről, mely a meder mélyülésének tudható be. Ha a folyó vízszintje tovább csökken fél méterrel, akkor a Duna leszivó hatása még inkább fokozódik a Gemenc talajvízháztartásában. A fiktív LKV-0.5 m (82,18 m B.f.) vízállás esetén kialakuló talajvízszint potenciál eloszlásokat a 30. ábrán prezentálom, a 31. ábrán pedig ennek a háromdimenziós rajzát jelenítem meg.

110. ábra: LKV-0.5 m esetén kialakult talajvízszint potenciál eloszlások térképen ábrázolva
forrás: saját szerkesztése



121. ábra: 82,18 m B.f. -i Dunai vízállás esetén a Gemenc talajvízszintje
forrás: saját szerkesztés

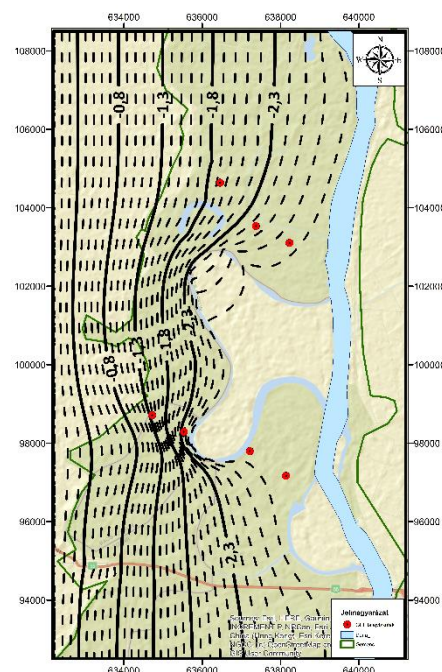
9.6. A LNV és KÖV vízállásokhoz tartozó talajvízszint potenciál eloszlások különbsége



32. ábra: LNV és KÖV vízállásokhoz tartozó talajvízszint potenciál eloszlások különbsége térképen ábrázolva
forrás: saját szerkesztés

A 32. ábrán megjelenített modellezett különbségtérképen jól látszik, hogy a Duna vízszintemelkedése a modellezett terület nagy részén ugyanakkora talajvízszint növekedést jelent. A Dunától való távolság növelésével arányosan csökken a Duna Gemenc talajvizére gyakorolt duzzasztó hatása.

9.7. A LKV és KÖV vízállásokhoz tartozó talajvízszint potenciál eloszlások különbsége



33. ábra: LKV és KÖV vízállásokhoz tartozó talajvízszint potenciál eloszlások különbsége térképen ábrázolva
forrás: saját szerkesztés

A KV és KÖV különbségtérkép is jól szemlélteti a Duna hatását az ártéri erdő talajvízháztartására. Jelen esetben a folyó lecsapoló hatását szemléltetem a 33. ábrán. Egyértelműen a Dunától távolodva a Duna hatása csökken.

9.8. A mért és a modellezett vízszintértékek összehasonlítása

9.8.1. Legmagasabb vízállás

A vizsgált időszakban a legmagasabb dombori vízmércén mért vízállás 92,68 m B.f. volt. A legmagasabb vízállás vizsgálatához a G21-es kutat választottam. A modellezett talajvízszint 91,00 m B.f., míg a mért legmagasabb talajvízállás mindössze 88,91 m B.f. Ebben az esetben figyelembe kell vennünk azt a tényt, hogy a Duna ilyen mértékű vízállása esetén előnti az árteret. Ekkor a műszer biztonsága érdekében eltávolítják a kutakból, felfüggesztve a mérést, emiatt adathiány lép fel a nagyvízi tartományok között a talajvízkutak vízállás adataiban.

9.8.2. Közepes nagyvíz

A modellezés pontosságát vizsgáltam egy a legmagasabb vízállástól 3,68 méterrel alacsonyabb vízállásnál. Ebben az esetben a Duna vízállása 89,00 m B.f. volt, a közepes nagyvíz összehasonlításához kijelölt G22-es kút modellezett talajvízszintje 89,00 m B.f., míg a talajvízkút legmagasabb mért vízállása 88,89 m B.f. magasságban tetőzött. Ebből kifolyólag a mért és modellezett adatok között mindössze 0,11 méter a különbség.

9.8.3. Legalacsonyabb vízállás

A tanulmányozás időszakában mért legalacsonyabb vízállása a dombori vízmércén 82,65 m B.f. volt. Az összehasonlításhoz a G19-es kutat használtam fel, melynek a vizsgált periódusban legalacsonyabb vízállása 82,69 m B.f. volt. Így a modellezett és mért számok különbsége 0,04 méter.

10. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

Dolgozatomban a Gemenc talajvízháztartását vizsgáltam, különös tekintettel a Duna talajvízháztartásra gyakorolt hatására. A talajvízkutak mért és rögzített adatait, a Duna bajai vízmércén mért vízállása és a bajai csapadékadatok függvényében elemeztem. Az elemzés során trendvonalat szerkesztettem azoknak a kutaknak a vízállás idősor adataira, melyek a legpontosabban követték a Duna vízállás adatait. A trendvonalakról azt a következtetést vontam le, hogy a Duna vízállásával egyidejűleg és azonos ütemben a Gemenc talajvízszintje is rohamosan csökken. Továbbá kijelenthető, hogy a Gemenc talajvízháztartását a helyben hullott csapadék nem befolyásolja, míg a Duna vízjárása jelentős hatást gyakorol rá.

A hidrodinamikai modellezés során több nevezetes dunai vízállásra modelleztem a Gemenc talajvízre gyakorolt hatását. A modellfuttatások alapján megállapítható, hogy a modell a modellezett terület talajvízállásainak jó becslése lehet, főként a közepes nagyvíznél alacsonyabb vízállások esetén. A modell talajvízszint előrejelzésénél szem előtt kell tartani azt a tényt, hogy a modell permanens. A modell pontosításához további vizsgálatokra, modellvariációkra és kalibrálásra van szükség.

A modellvariációk között egy fiktív, eddig valaha mért legalacsonyabb vízállástól fél méterrel alacsonyabb vízállást is megjelenítettem, mint egy előrejelzésként, hogy milyen talajvízeloszlás potenciál fog bekövetkezni a Duna medrének és vízszintjének további fél méteres süllyedése esetén az ártéri erdő területén. Ennek bekövetkezése után az árterületen még ritkábbak lesznek az elöntések, a Duna leszívó hatása miatt a talajvíz szintjében drasztikus csökkenés fog bekövetkezni, befolyásolja a növény és állatvilágot. Az egyre alacsonyabb talajvízszintek erdő degradációjához, illetve idegen fajok térhódításához vezetnek. A fűz és fekete nyár ligetek az eddiginél magasabb elárasztási gyakoriságot igényelnek. A hullámtéri tölgy-, kőris-, illetve nyár ligetek jelentős része nyár ligettké fog alakulni.

A talajvízszint csökkenéssel egyetemben a vizes területek folyamatos csökkenése is várható, mellyel a vizes élőhelyek kiterjedése csökken. Ennek köszönhetően sok élőlény élőhelye szűnik meg, táplálékszerzése lesz ellehetetlenítve.

A Gemencben fellelhető számtalan védett növény és állat fajmegőrzése érdekében elengedhetetlen a vizes élőhelyek rekonstrukciója. Az erősen elgyomosodott aljnövényzetben még fellelhetőek az őshonos növények, ha még időben cselekszünk megoldható az ártéri növénytársulások rekonstrukciója.

Az ártéri ökoszisztéma rekonstrukciójának érdekében első sorban a Duna meder és vízszint süllyedésének megállítására vagy mérséklésére lenne szükség.

11. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatom célja a gemenci ártéri erdő talajvízháztartásának vizsgálata volt, különös tekintettel a Duna talajvízre gyakorolt hatására. A tanulmányozás alapját a Duna Dráva Nemzeti Park, az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság és a Közép-dunántúli Vízügyi Igazgatóság által biztosított talajvízállás idősorok, a kutak fúrásszelvényei, csapadék adatok és a Duna vízállás idősorai jelentették. A talajvízkutakban mért és rögzített adatokon, a Duna vízállás adatain és a Baján mért csapadékmennyiség adatokon ugyanazon időszakokra összehasonlító vizsgálatot végeztem. Az elemzés során trendvonalat szerkesztettem azoknak a kutaknak a vízállás idősor adataira, melyek a legpontosabban követték a Duna vízállás adatait. A trendvonalakról azt a következtetést vontam le, hogy a Duna vízállásával egyidejűleg és azonos ütemben a Gemenc talajvízszintje is rohamosan csökken. Továbbá kijelenthető, hogy a Gemenc talajvízháztartását a helyben hullott csapadék nem befolyásolja, míg a Duna vízjárása jelentős hatást gyakorol rá.

Ezt követően a terület talajvízháztartását egy hidrodinamikai modell segítségével vizsgáltam, mely elkészítéséhez a Processing Modflow 5.3 modellező szoftver MODFLOW modulját használtam fel. Első körben lehatároltam egy 9 km oldalhosszúságú, és 16 km oldalmagasságú téglalap alakú modellterületet, mely tájolása észak-dél irányú. A modell 50 x 50 méter beosztású cellákból áll össze. A modell és a réteghatárok felszínét Surfer szoftver segítségével konstruáltam. A fúrási rétegsorokat alapul véve két modellréteget jelöltem ki. Az első modellréteg főként a finom szemcsés, agyagos aleurit, illetve a finom szemcsés homok aleurit, míg a második rétegben a fent említetteken kívül az apró és középsemmcsés homok földtani felépítésű képződményeket képviseli. A rétegek szivárgási tényezőit definiáló hidrodinamikai adatokat, az adott réteg földtani felépítésének megfelelő irodalmi adatok alapján állapítottam meg. Peremfeltételnek a modell keleti peremén a Duna folyó középvízállás értékét vettem figyelembe, a modell északi, déli és nyugati peremein pedig állandó nyomású és koncentrációjú cellák lettek alkalmazva. A Duna bal partján a számításból kizárt, inaktív cellákat alkalmaztam. A kezdeti vízszintet a Duna dombori vízmércéjén mért vízszint középvízszintjének meghatározásával adtam meg.

A modell futtatása sikeres volt, a modell alapján becsült talajvízszint potenciálok a Duna közepes nagyvíz (89,00 m B.f.) alatti vízállása esetén közelítik a kutakban mért értékeket. A nagyvízi több, mint 2 méteres eltérést a modellezett és a mért értékek között azzal indokolhatjuk, hogy a Duna 92,68 m B.f. -i vízállás esetén teljesen elönti az ártéri erdő területét. Ilyen esetben a talajvízszint érzékelő és rögzítő műszereket eltávolítják a kutakból azok megóvása érdekében.

A különböző vízállásokra lefuttatott modellváltozatok szerint, a dolgozatomban felhasznált közepes nagyvíznél alacsonyabb vízállások esetén, a modell a vizsgált terület talajvízállásainak jó becslése lehet.

A Gemenc talajvízszintje a Duna meder- és vízszint csökkenésének következtében egyidejűleg és azonos ütemben csökken. A modellfuttatások között egy fiktív, eddig mért legalacsonyabb dunai vízállástól fél méterrel alacsonyabb vízállást is vizsgáltam, mely bekövetkezése esetén nagy valószínűséggel nem csak a talajvízszint csökkenése, de az elöntések gyakorisága és a vizes területek mértéke is csökkenni fog, mely az élőlények élet és táplálékszerző körülményeit fogja nehezíteni, ezzel teljesen átalakítva a Gemenc ökoszisztémáját.

A Gemencben fellelhető számtalan védett növény és állat fajmegőrzése érdekében elengedhetetlen a vizes élőhelyek rekonstrukciója. Az erősen elgyomosodott aljnövényzetben még fellelhetőek az őshonos növények, ha még időben cselekszünk megoldható az ártéri növénytársulások rekonstrukciója.

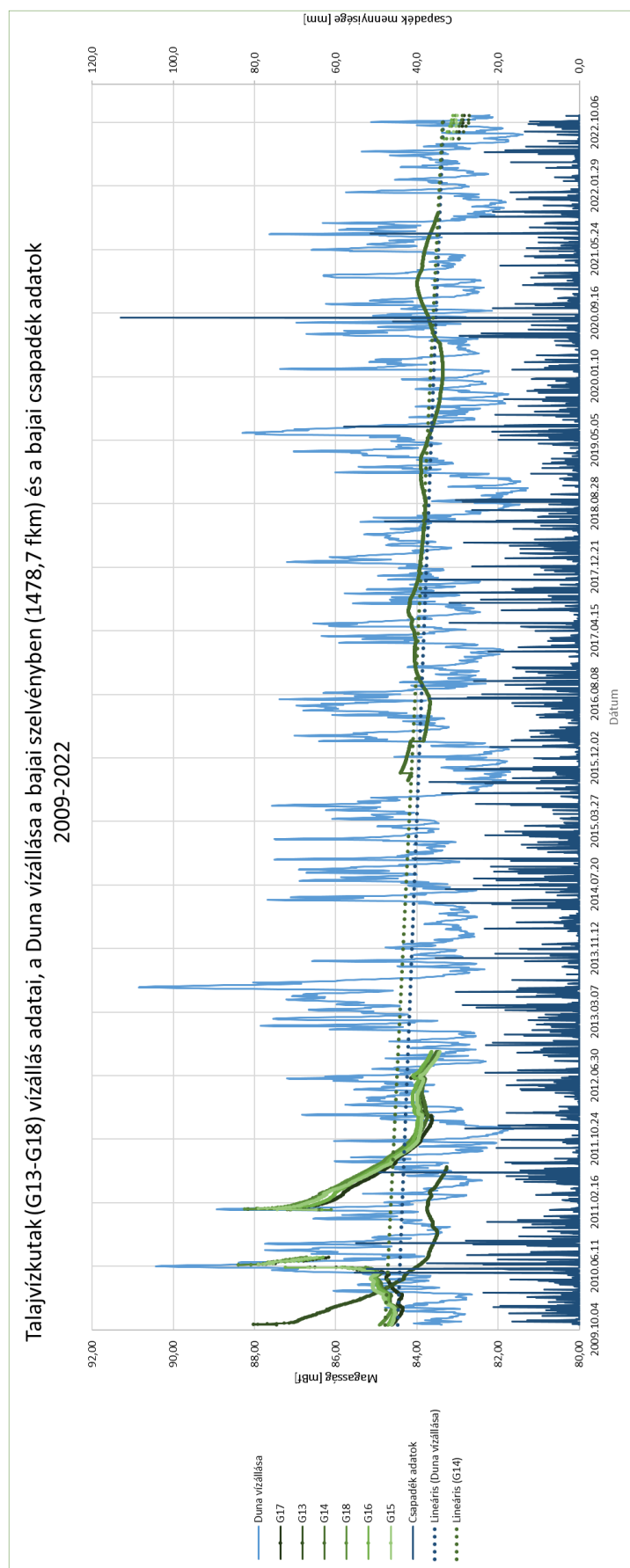
12. FELHASZNÁLT IRODALOMJEGYZÉK

- Andorkó, S. és mtsai., 1978. *Árvízvédelem, folyó- és tószabályozás, víziutak Magyarországon*. Budapest: Országos Vízügyi Hivatal.
- Andrásfalvy, B., 2000. A vízhaszonvétele és árvízvédelem hagyománya Magyarországon. *Éltető és tisztító vizeink*, pp. 709-719.
- Balázs Kovács, S., 2014. *Gemenc kincsei*. Baja: Gemenci Erdő- és Vadgazdaság Zártkörűen Működő Részvénytársaság.
- Besenyey, M., Fülöp, S. & Hetesi, Z., 2016. Vigyázó szemünket Párizsra vetettük—a klímaváltozás és a klímamegállapodás versenyfutása. *ACTA HUMANA: HUNGARIAN CENTRE FOR HUMAN RIGHTS PUBLICATIONS*, pp. 53-73.
- Chiang, W.-H., 2001. *3D-Groundwater Modeling with PMWIN, A Simulation System for Modelling Groundwater Flow and Transport Processes*. hely nélkül: ismeretlen szerző
- DDNP, 1999. *A Duna-Dráva Nemzeti Park Duna-menti területeinek természetvédelmi kezelési tervét megalapozó tervdokumentáció*. hely nélkül: DDNP.
- Dövényi, Z., 2013. *A Kárpát-medence földrajza*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Dr. Szilávik, L., Sziebert, J. & Zellei, L., 2002. *Hidrológia-hidraulika*. hely nélkül: ismeretlen szerző
- Fleit, E., 2009. *GEF Tápanyag csökkentési project*, Budapest: Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőmérnöki Kar.
- Goda, L., Kalocsa, B. & Tamás, E. A., 2007. River bed erosion on the hungarian section of the Danube. *Journal of Environmental Science for Sustainable Society*, pp. 47-54.
- Hardi, T., 2016. *Duna stratégia és területi fejlődés*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Ihrig, D., 1973. *A magyar vízszabályozás története*. Budapest: OVH.
- Józsa, E., 2013.. A település és a domborzat viszonyának geoinformatikai alapú vizsgálata Bátán. *Természetföldrajzi Közlemények a Pécsi Tudományegyetem Földrajzi Intézetéből*, pp. 21-36.
- Juhász, J., 2016. *Hidrogeológia*. Budapest: Akadémiai Kiadó.
- Keszeyné, S. E., 2011. *Műtárggyal befolyásolt talajvízáramlás hidrodinamikai modellezése*. Budapest: ismeretlen szerző
- Keve, G. és mtsai., 2020. *Hidrológia 1-2.* Baja: Felsőoktatási együttműködés a vízügyi ágazatért.
- Kolencsikné Tóth, A., 2017. *Folyó és talajvíz kapcsolatának vizsgálata*. Miskolc: ismeretlen szerző
- Kovács, B., 2004. *Hidrodinamikai és transzportmodellezés (Processing MODFLOW környezetében) I.* hely nélkül: Miskolci Egyetem, Szegedi Tudományegyetem: GÁMA- GEO Kft..

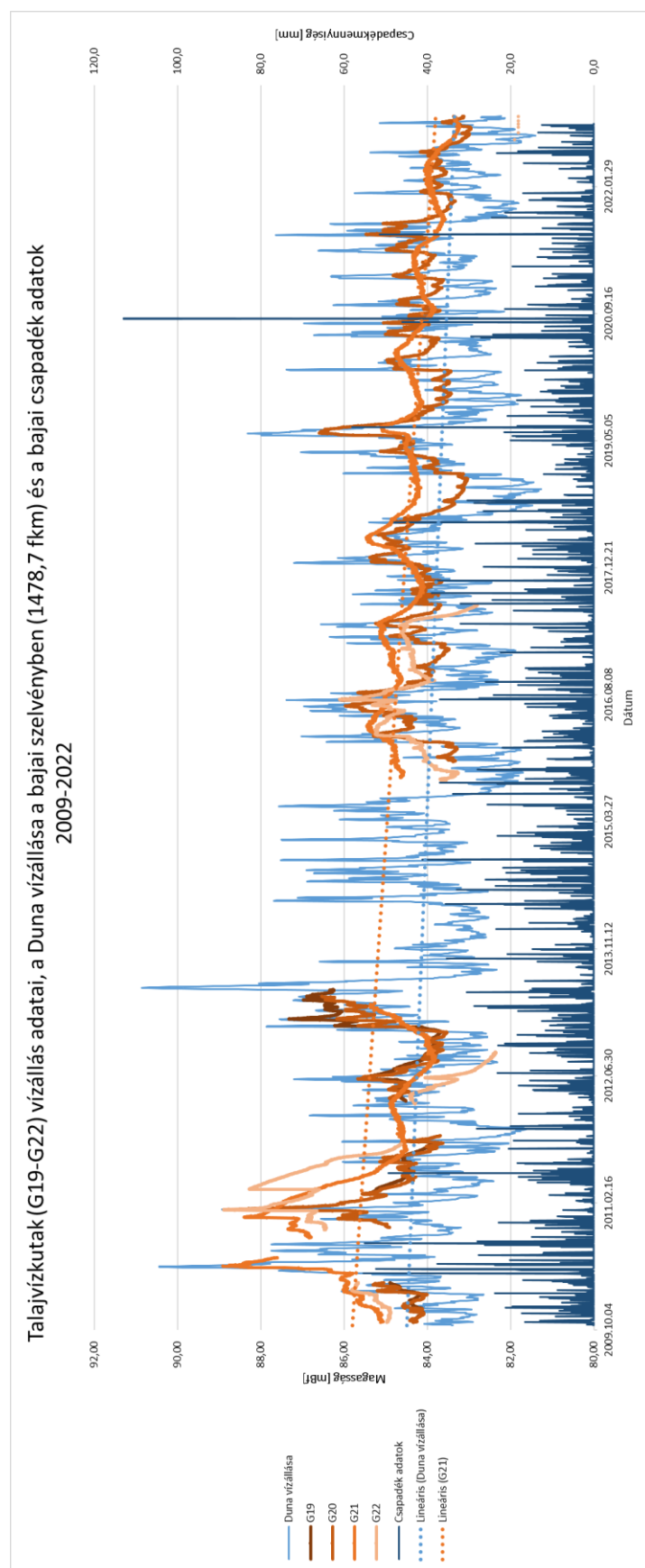
- Kovács, B. & Szanyi, J., 2005. *Hidrodinamikai és transzportmodellezés (Processing MODFLOW és Surfer for Windows környezetében) II.* hely nélkül.:Miskolci Egyetem, Szegedi Tudományegyetem.
- Lászlóffy, W., 1938. Az 1838-i árvíz és a Duna szabályozása. *Vízügyi közlemények*, p. 51.
- Marchad, M. és mtsai., 1993. Floodplain Rehabilitation Gemenc. *Delft Hydraulics*.
- Nagy, T., 2015. *Egyedi vizsgálati dokumentáció- Baja 0715/16 hrsz-ú külterületen található Felsőpörbolyi vadászház átalakítási munkálatainak a 6.5 Gemenc-Koppány távlati sérülékeny vízbázisra gyakorolt környezeti hatásaira vonatkozóan*, hely nélkül.: ismeretlen szerző
- Schmidt, T., 2013. *Természeti értékek a Duna-Dráva Nemzeti Park Duna menti területén*. hely nélkül.:Duna-Dráva Nemzeti Park Igazgatóság.
- Tamás, E. A., 2013. *Gemenci élőhely-rekonstrukciók háttere, céljai és tapasztalatai*. Mohács, WWF Magyarország.
- Urbanovszky, I., 2011. *Hidrológia és hidraulika*. Budapest: VITUKI Nonprofit Kft..
- Winkler, P., Zsuffa, I. & Hein, T., 2009. *Ecological comparison of Gemenc and Lobau floodplains*. hely nélkül.:ismeretlen szerző
- www.dataqua.hu, 2022. *Dataqua Elektronikai Kft.* [Online]
Available at: <https://www.dataqua.hu/>
- Zorkóczy, Z. & Károlyi, Z., 1993. *Folyó és tószabályozás*. Baja: Nemzeti Tankönyvkiadó.

13. MELLÉKLETEK

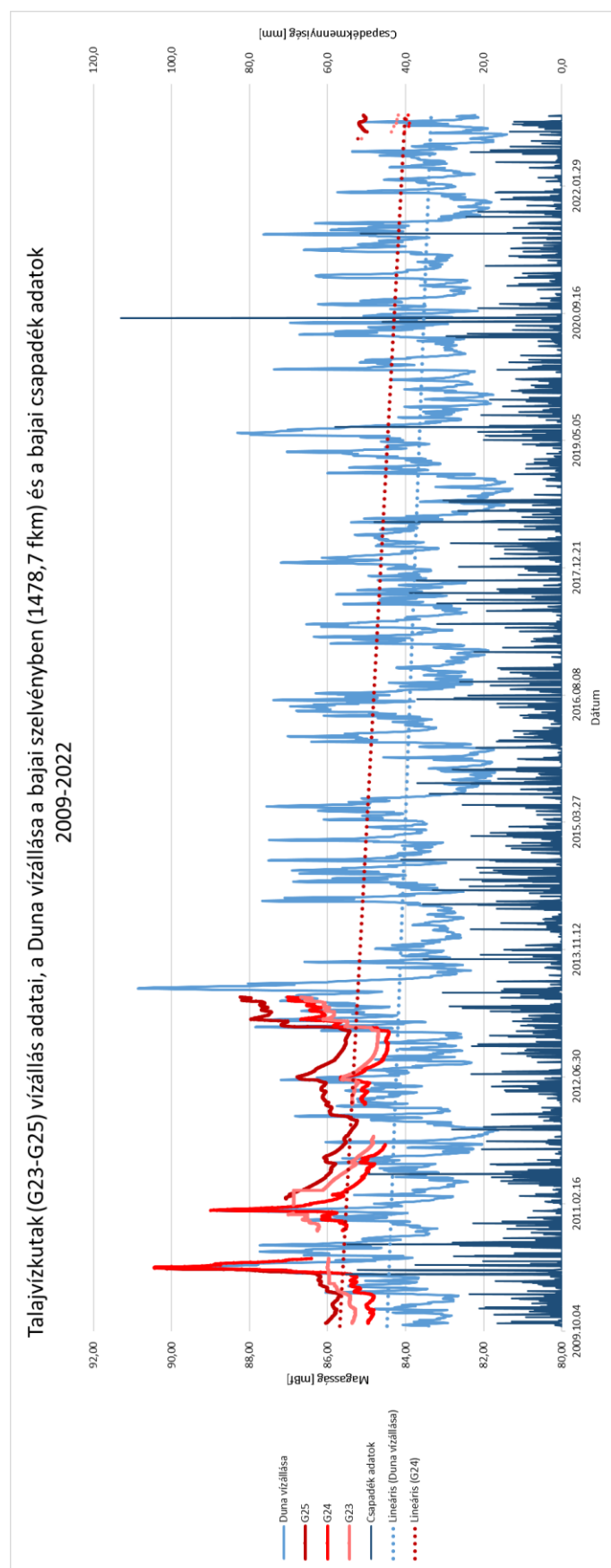
1. melléklet: Talajvízkutak (G13-G18) vízállás adatai, Duna vízállása bajai szelvényben (1478,7 fkm) és a bajai csapadék adatok (2009-2022)



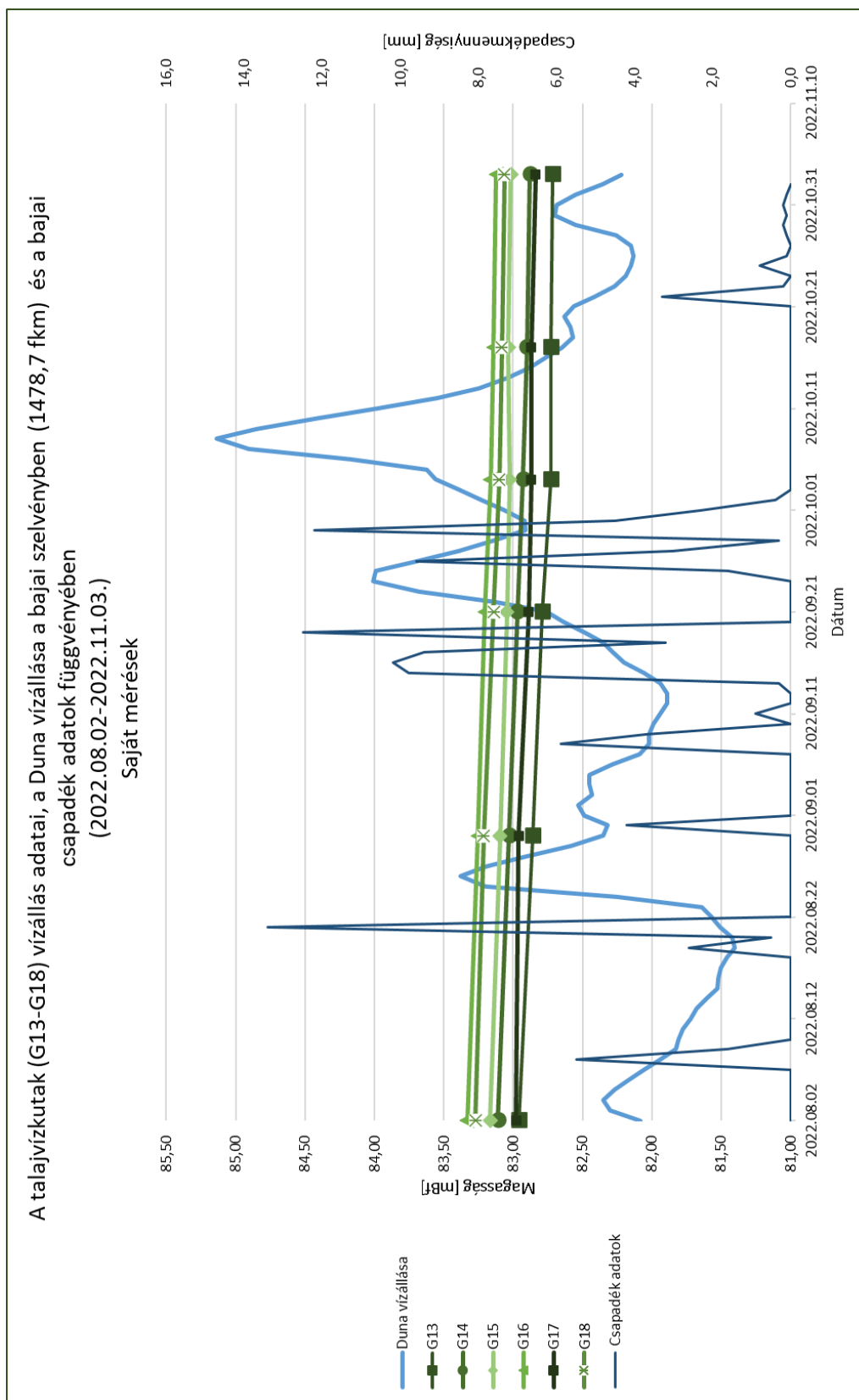
2. melléklet: Talajvízkutak (G19-G22) vízállás adatai, Duna vízállása bajai szelvényben (1478,7 fkm) és a bajai csapadék adatok (2009-2022)



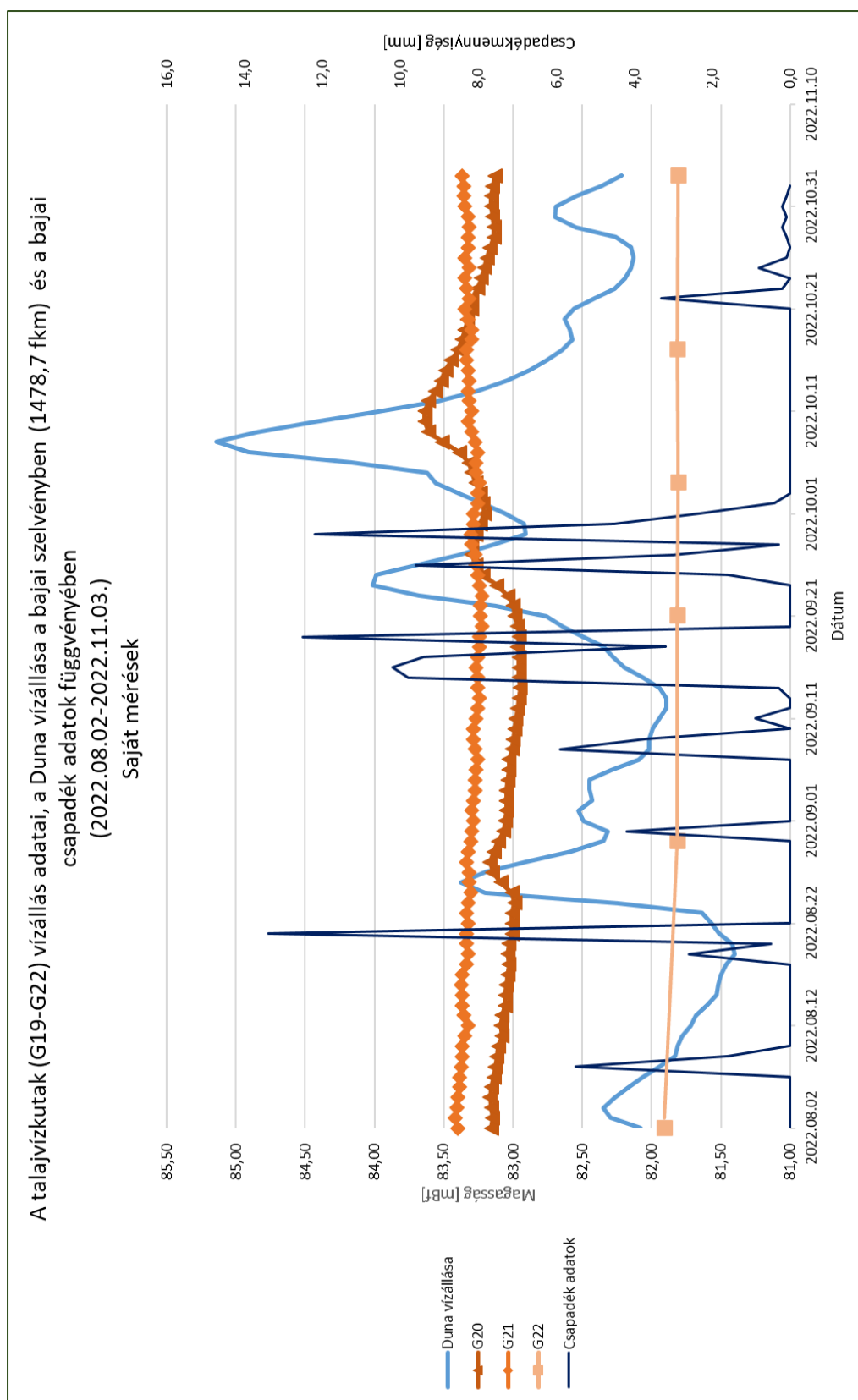
3. melléklet: Talajvízkutak (G23-G25) vízállás adatai, Duna vízállása bajai szelvényben (1478,7 fkm) és a bajai csapadék adatak (2009-2022)



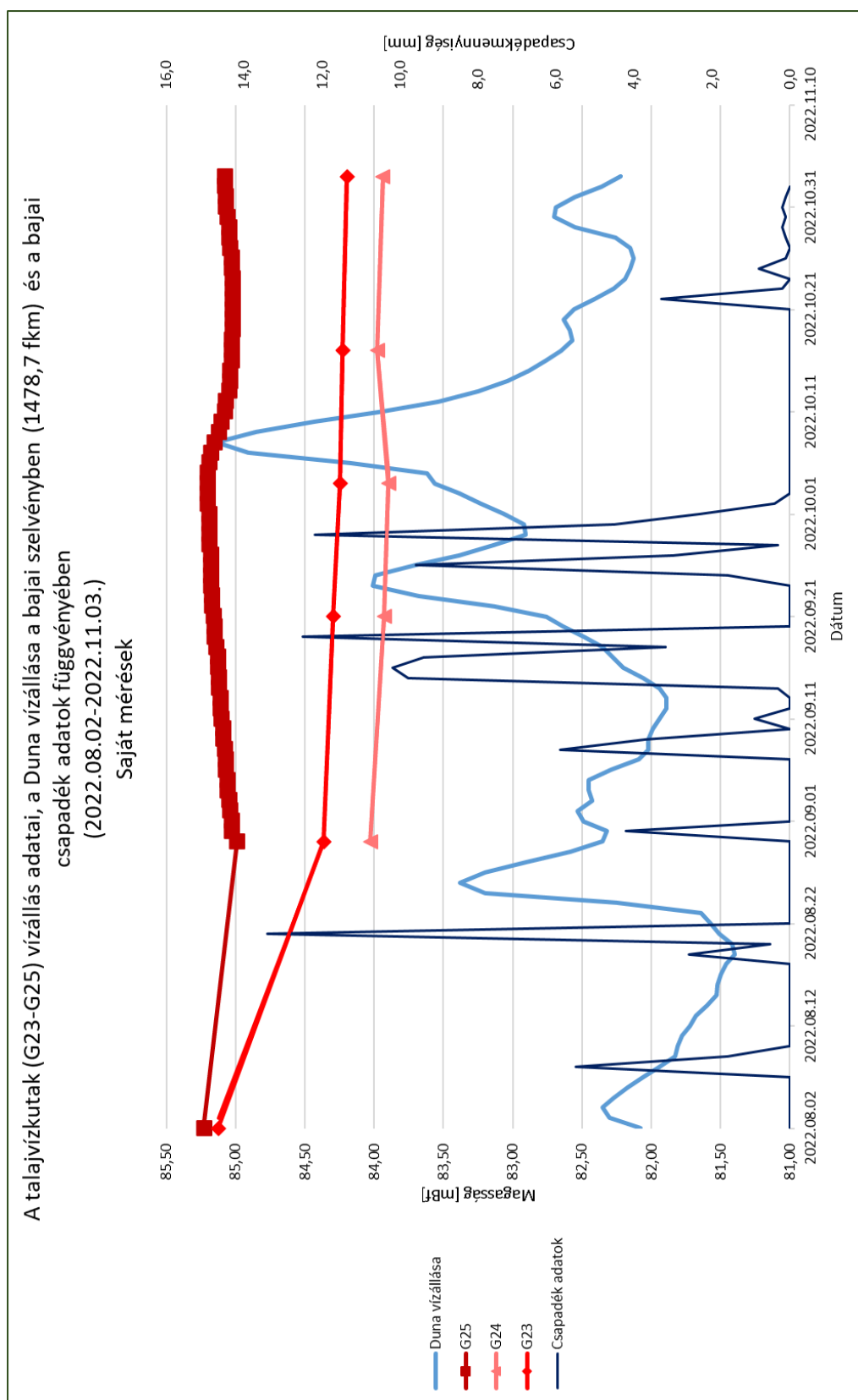
4. melléklet: Talajvízkutak (G13-G18) vízállás adatai, a Duna vízállása a bajai szelvényben (1478,7 fkm) és a bajai csapadék adatok függvényében (2022.08.02-2022.11.03.)



5. melléklet: Talajvízkutak (G19-G22) vízállás adatai, a Duna vízállása a bajai szelvényben (1478,7 fkm) és a bajai csapadék adatok függvényében (2022.08.02-2022.11.03.)



6. melléklet: Talajvízvizutak (G23-G25) vízállás adatai, a Duna vízállása a bajai szelvényben (1478,7 fkm) és a bajai csapadék adatok függvényében (2022.08.02-2022.11.03.)



A szakdolgozatomban felhasznált kutak alapadatai				
Kút	EOV_Y	EOV_X	Terep [mBf]	Kút pereme [mBf.]
G13	632098	89052	87,50	88,51
G14	632013	89737	87,30	88,23
G15	631155	90405	88,11	89,11
G16	631795	91250	87,27	88,25
G17	632510	90602	88,50	89,47
G18	631892	90506	88,35	89,35
G19	638139	97165	87,52	88,54
G20	637219	97795	89,54	90,53
G21	634725	98715	88,81	89,81
G22	635533	98291	88,56	89,47
G23	636458	104637	89,19	90,23
G24	637372	103533	90,06	91,06
G25	638230	103104	89,70	90,72
Baja-1438	642998	91213	107,55	108,12
Baja-3585	643292	94206	105,07	105,66
Sükösd-K-35	640450	105700	89,50	90,20
Baja-Szeremle- K-23	634230	87321	87,11	87,27
Baja-K-295	644800	98420	110,22	110,50
Baja-130271	641655	91117	92,34	91,14
Baja-132042	638759	90002	87,22	88,22
Alsónyék-661	626754	95034	86,39	87,28
Alsónyék-662	633110	95089	88,95	89,95
Bátaszék-659	623172	95396	91,28	91,77
Decs-658	634209	101301	89,23	90,27
Őcsény-653	627950	108387	89,47	89,85
Szekszárd-652	624829	111864	89,78	90,61
Szekszárd-Borrév 565	632013	110090	89,75	90,28
Báta-660	625503	88906	87,38	88,04
Báta-K-28	631118	86860	87,24	88,14