

**HAMBURGER HUNGÁRIA KFT. -
DUNAÚJVÁROSI PAPÍRGYÁRA
TERVEZETT VÍZKIVÉTELI MŰVÉNEK**

ELŐZETES VIZSGÁLATI DOKUMENTÁCIÓJA

Geodéziai felmérés és hidrometriai, hidrológiai vizsgálat



Megrendelő:

HAMBURGER HUNGÁRIA KFT.

Budapest, 2024. november

Geodéziai felmérés és hidrometriai,
hidrológiai vizsgálat
a Hamburger Hungária Kft. felszíni dunai
vízkivételre települő ipari vízkivételének
kialakításához

Készítette:

Csibrán Adrián, tervező

Dr. Iritz László, hidrológus tervező



2024

Tartalom

1. Előzmények.....	5
2. A vizsgált mederszakasz elhelyezkedése és általános jellemzése.....	5
2.1. Tervezésben érintett mederszakasz.....	6
2.2. Hidrológiai jellemzők	10
2.3. Hordalékviszonyok	13
2.4. Helyszíni vizsgálatok	15
2.4.1. Terepfelmérés	15
2.4.2. Hidrometriai feltárás	21
3. Háromdimenziós modell	37
4. Mederváltozás értékelése	40
4.1. Korábbi medermérések és a jelen állapot összehasonlítása	40
4.2. Görgetett hordalék várható változásai.....	43
5. A lebegtetett hordalék és tervezett vízkivétel kapcsolata	48
6. A szennyvízkivezetés hatása a vízkivételre	50
7. Következtetések	53
8. Irodalomjegyzék	53
9. Függelékek.....	54

1. ábra: A Duna-medence felső-dunai és magyarországi vízgyűjtője.	6
2. ábra: A vizsgálandó folyószakasz és a középvízi meder térbeli lehatárolása.	7
3. ábra: A vizsgált Duna-szakasz és jellemző vízszintjeinek bemutatása.	8
4. ábra: Részlet a 02.NMT.03. (2014) számú nagyvízi mederkezelési tervből.	9
5. ábra: Napi vízállás adatok havonkénti tartóssági görbéi a dunaújvárosi vízmércén (547).	11
6. ábra: Napi vízhozam adatok havonkénti tartóssági görbéi a dunaújvárosi vízmércén (547).	11
7. ábra: Napi vízállás adatok havonkénti tartóssági görbéi a dunaföldvári vízmércén (548).	12
8. ábra: Jellemző vízállás idősorok a dunaújvárosi vízmércén.	12
9. ábra: Jellemző vízhozam idősorok a dunaújvárosi mérceszelvényben.	13
10. ábra: A hordaléktöménység és a lebegtetett hordaléksúly összefüggése a vízállással a Duna dunaújvárosi szelvényénél (Bogárdi 1971).	14
11. ábra: A görgetett hordaléksúly összefüggése a vízállással a Duna dunaújvárosi szelvényénél (Bogárdi 1971).	14
12. ábra: Légi felmérés területe.	15
13. ábra: Acecore Noa drón Riegl VUX-1LR légi lézerszenzorral.	16
14. ábra: Repülési körzetek a vizsgált terület környezetében (alaptérkép forrása: www.legter.hu).	18
15. ábra: Repülési útvonalak a felmérés során.	18
16. ábra: GNSS adatok feldolgozásának eredménye (POSPac UAV 8.6)	19
17. ábra: Osztályozatlan pontfelhő (RiPROCESS).	20
18. ábra: Digitális terepmodell részlete	21
19. ábra: Mérési szelvények (vízsebesség mérés).	22
20. ábra: Lebegtetett hordalékmérés és medermintavétel függvényei.	23
21. ábra: Dr. Csoma János mérőhajó.	24
22. ábra: Dr. Csoma János mérőhajó vezetőállása.	25
23. ábra: Egy és többsugaras ultrahangos mélységmérő (Multibeam).	25
24. ábra: Geodimeter 610 SR.	26
25. ábra: Raymarine ST40 ultrahangos mélységmérő érzékelő feje és kijelzője.	26
26. ábra: Teledyn WorkHorse Rio Grande 600 kHz vízhozam-mérőberendezés.	27
27. ábra: A felmért mélység szerinti sebességeloszlás 3 jellemző szelvényben. (A mélységek vízszintes értelemben kivetítve ábrázolva).	29
28. ábra: Lebegtetett hordalék mintavételezése (szívócső a merülő súlyra szerelve).	30
29. ábra: Mederanyag mintavevő harangja.	31
30. ábra: Mederanyagminta függvényenkénti tárolása.	31
31. ábra: Lebegtetett hordalékmérés (részvízhozam, hordalékhozam, koncentráció/töménység) eredményei.	32
32. ábra: A mederanyagminta mérés eredményének összefoglalása.	32
33. ábra: A jellemző (D50) szemcseméret a különböző függvényekben.	33
34. ábra: A Duna Pozsony-Dombori-pusztá közötti szakaszának szemösszetételi hossz-szelvénye (Bogárdi 1971).	34
35. ábra: Különböző terepadatok lehatárolása az összesített terepmodell építéséhez.	35
36. ábra: A vizsgált területre elkészített terepmodell.	36
37. ábra: A háromdimenziós modell kiterjedése és az alkalmazott rácsháló, rásűrítve a Hamburger Hungária Kft. telephely környéki szakaszára.	37
38. ábra: A háromdimenziós hidrodinamikai modellben kalibrált sebesség függvények helye.	38
39. ábra: Kalibrált sebességprofilok.	39
40. ábra: A háromdimenziós modell kalibrált állapotában előállított sebességeloszlások hat jellemző szelvényben.	39
41. ábra: Korábbi mérések és jelen állapoti mérés összehasonlítása a vizsgált szakasz környezetében három jellemző szelvényben.	40
42. ábra: Korábbi mérések és jelen állapoti mérés összehasonlítása a szennyvíz- és csapadékvíz kivezetéseknél.	41
43. ábra: A meder változása 2014, 2021 és 2024-es (jelen) mérések alapján.	42
44. ábra: A meder terepmodellje a szennyvízkivezetés közelében.	43
45. ábra: Sarkantyúk a Duna medrében kisvíz esetén.	44
46. ábra: Meglévő és tervezett vezetékek elhelyezkedése a mederben,	45
47. ábra: Shields diagramm (Török 2018).	45
48. ábra: A fenékcúszató feszültségek megállapításához használt mérési pontok.	46
49. ábra: A kritikus fenékcúszató-feszültségek (piros vonalak) és a különböző vízhozamokhoz tartozó fenékcúszató-feszültségek (kék vonalak) a mérési pontokban.	47
50. ábra: A tervezett vízkivétel és a meglévő vezetékek egymáshoz képesti elhelyezkedése.	50
51. ábra: A szennyvízcsóva terjedése a Duna első 450 méteres szakaszon a parttól mért 75-125 méteres távolságban 2000 m ³ /s-os vízhozam esetén.	51

1. ELŐZMÉNYEK

A Megrendelő Hamburger Hungária Kft. egy saját felszíni vízkivételi pontot kíván létesíteni a Dunán a dunaújvárosi papírgyárának gyártási tevékenységéhez szükséges víz hosszútávú biztosításához. A létesítmény tervezési és engedélyeztetési feladatainak ellátására a VIZITERV Environ Nonprofit Kft. kapott megbízást, melynek keretein belül az érintett Duna szakasz geodéziai felmérése, valamint hidrometriai és hidrológiai vizsgálata az alábbi részfeladatokhoz szolgáltat adatokat:

- környezetvédelmi engedélyezési dokumentáció,
- IPPC1 engedély módosítása (amennyiben szükséges) és
- vízkivételi mű vízjogi létesítési engedélyes tervdokumentációjának készítése.

A vizsgálat a vízkivételi mű tervezéséhez és annak biztonságos üzemeltetéséhez szükséges adatszolgáltatáson túl feltárta a beavatkozás hatását a Duna kisvízi, átlagos (középvízi) és nagyvízi vízjárására, valamint az engedélyezett vízhasználatokra, a folyómeder állapotára és hajózási viszonyaira.

A fenti feladatok teljesítése érdekében, áttekintettük az előzményeket, elemeztük a vonatkozó hidrológiai és hidromorfológiai viszonyokat, helyszíni geodéziai és hidrometriai felméréseket készítettünk, valamint feldolgoztuk a mérési eredményeket. A mérési eredmények alkalmazásával hidrológiai, hidraulikai és morfológiai számításokat végeztünk és javaslatokat dolgoztunk ki.

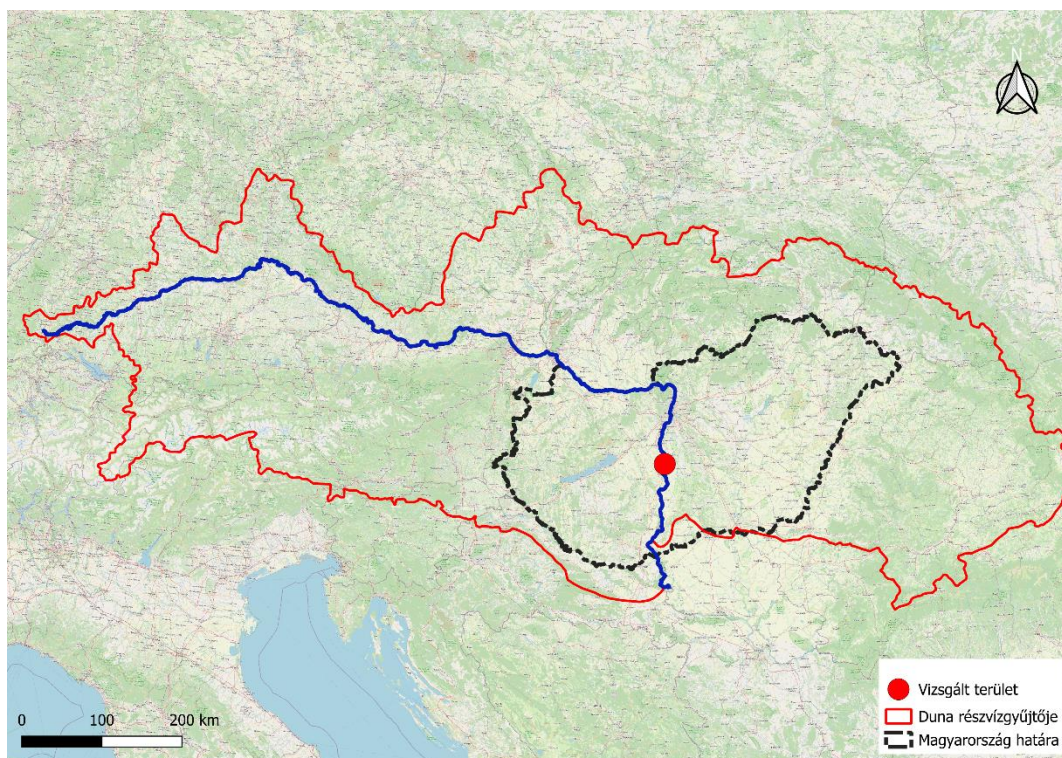
2. A VIZSGÁLT MEDERSZAKASZ ELHELYEZKEDÉSE ÉS ÁLTALÁNOS JELLEMZÉSE

A Duna Európa második leghosszabb folyója, 19 országon folyik át, 81 millió ember életét, lakhelyét érinti. A vízgyűjtőterület nagysága 801.500 km², melyből a Magyarország feletti rész meghaladja a 300.000 km²-t. A Dunának a teljes-hossza 2.860 km, melyből hazánk területén mintegy 400 km található. Az 1. ábra a magyarországi kilépő határszelvény körzetével bezárólag mutatja a Duna vízgyűjtőt.

A teljes Duna mentén három szakaszt tudunk megkülönböztetni: a Felső-Duna a forrástól Dévényig (1880 fkm), a Közép-Duna a Kárpátok Vaskapu alatti végpontjáig közelítőleg Turnu Severinig (981 fkm), az Alsó-Duna pedig a Fekete-tengerig tart.

A hazai szakirodalomban a Kárpát-medencében lévő Közép-Dunán belül is van felosztás. Ebben a viszonylatban: felső szakasz Dévény-Gönyű (1 880-1791 fkm) között, a közép-szakasz a Gönyű-Budapest (1 637 fkm) és az al-dunai szakasz Budapeستől az országhatárig (Mohácstól délre, 1 433 fkm) tart.

¹ Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) / Egységes Környezethasználati Engedély



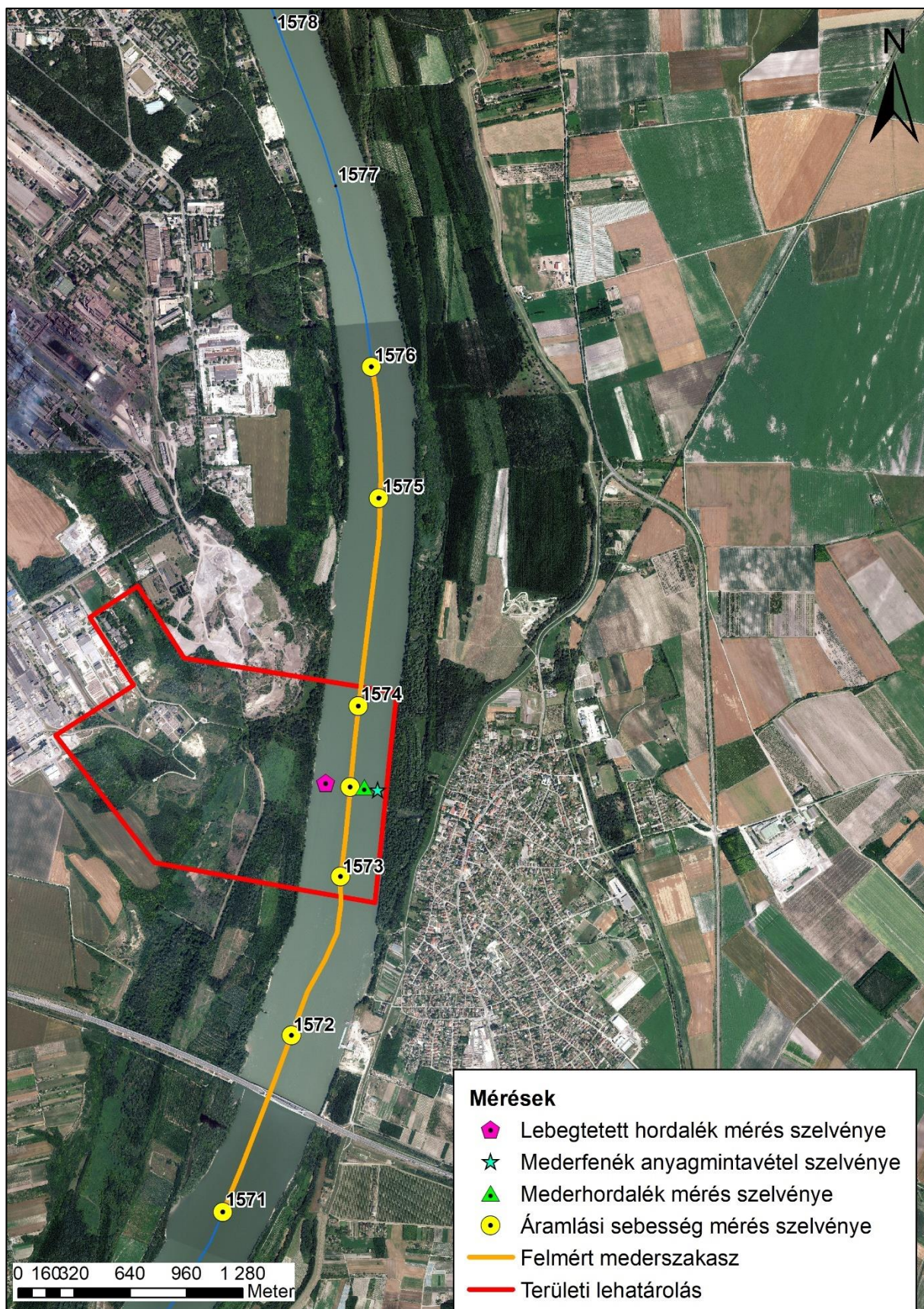
1. ábra: A Duna-medence felső-dunai és magyarországi vízgyűjtője.

Duna vízszintje Rajkánál (vízmérce helye: 1 848.310 fkm) kb. 43 méterrel van magasabban, mint az országból kilépéshez közeledve Mohácsnál (vízmérce helye: 1 446.900 fkm). A vízszintesés a magyar szakaszon belül is változik: Dévény-Gönyű közötti szakasz jellegzetessége a nagy esés (25-45 cm/km) és az ágakra szakadozott meder, a Gönyű alatt mérséklődik az esés (4-10 cm/km) és már az egységes meder a jellemző. Ezen belül Budapest alatt Fajszig 6-10 cm/km az esés, míg az alatt 4-6 cm/km. Tervezett vízkivétel körzetében a Duna enyhén alsószakasz jellegű. A meder anyaga az általunk vizsgált szakaszon kavics és homok, az alatta húzódó szakaszon pedig finom szemcsésű homok és iszap. A mederanyag összetétele szakaszunkon a Budapest alatt már fent említett esésviszonyok alakulását tükrözi. Ennek megfelelően, míg Nagytéténynél (1 630 fkm) a mederanyag még zömmel 5 mm-nél durvább átmérőjű kavicsból áll, addig már Adonynál (1 600 fkm) már fele részben homokos kavicsot tartalmaz, míg lejjebb a Sió-torkolatnál (1 497 fkm) már 80%-a homok.

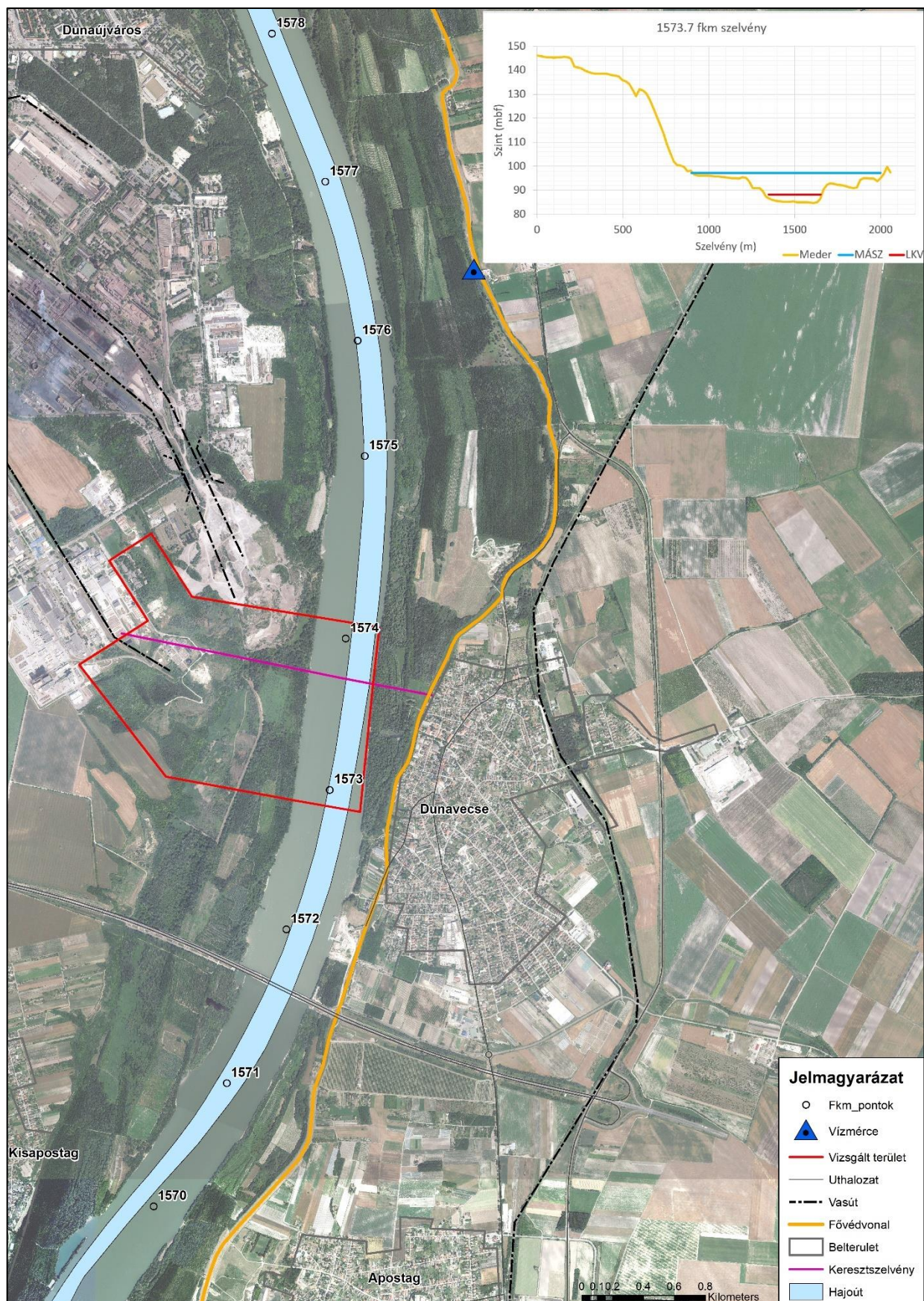
2.1. Tervezésben érintett mederszakasz

A hidrometriai vizsgálat és hidrológiai jellemzés a Duna 1 571 fkm és 1 576 fkm közötti középvízi medrére terjedt ki. A 2. ábra a mérések helyszíneit, míg a 3. ábra a mérési szelvény jellemző vízszintjeit tünteti fel.

Látható, hogy a vizsgált szakasz környezetében a hajóút a bal part mentén húzódik, ezért a jobb parton bevezetett vízkivétel várhatóan a hajózási feltételeket nem befolyásolja.



2. ábra: A vizsgálandó folyószakasz és a középvízi meder térbeli lehatárolása.



3. ábra: A vizsgált Duna-szakasz és jellemző vízszintjeinek bemutatása.

A terület a 02.NMT.03. (2014) számú *nagyvízi mederkezelési terv*² területén helyezkedik el, amely rögzíti a nagyvízi meder kezelésének módját és feltételeit, a folyó teljes hosszára vonatkozó célállapot elérése, illetve fenntartása érdekében szükséges előírásokat és intézkedéseket (83/2014. (III. 14.) Korm. rendelet).

A vizsgált terület NMT szakaszát az 4. ábra mutatja, ahol kirajzolódik, hogy az érintett szakaszon a meder teljes egészében az elsődleges árvízi levezető sávba tartozik.



4. ábra: Részlet a 02.NMT.03. (2014) számú nagyvízi mederkezelési tervből.

A vizsgált terület a VGT3 adatbázisa alapján a Duna Budapest-Dunaföldvár közötti szakaszhoz tartozik, melyen 8 db ipari és 9 db kommunális szennyvíz bevezetés található. Ezek közül kizárólag a Hamburger Hungária Kft. bevezetésének hatása kapott ún. „*Lehet, hogy jelentős*” besorolást, a többi bevezetés ún. „*Nem jelentős*” kategória besorolását kapta. Mivel ez a szennyvízbevezetés a tervezett vízkivétel közvetlen környezetében helyezkedik el, ezért hatással lehet a kivett víz minőségére, amelyet szükséges volt vizsgálni.

² Nagyvízi Mederkezelési Tervek (NMT) készítését a vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvény írja elő.

2.2.Hidrológiai jellemzők

A vizsgált szakasz mértékadónak tekinthető távjelzős vízmércéje a dunaújvárosi vízmérce, míg segédmérceként a dunaföldvári vízmércét alkalmaztuk (1. táblázat).

1. táblázat: Alkalmazott vízmércék és a jellemző vízszintek.

Vízmérce	Dunaújváros	Megjegyzés	Dunaföldvár	Megjegyzés	Tervezett vízkivétel környezete ⁽⁶⁾	Megjegyzés
Fkm:	1580,6		1560,6		1574	
Törzsszám:	547		548		-	
„0” pont (mBf):	90,3		88,86		-	
LKV (mBf)⁽¹⁾:	89,48	-82 cm (2018.10.26.)	86,87	-199 cm (2018.10.26)	88,62	
LNV (mBf)⁽²⁾:	97,85	755 cm (2013.06.11.)	96,07	721 cm (2013.06.11)	97,26	
MÁSZ (mBf)⁽³⁾:	97,91		96,35		97,40	magassági biztonság: 1m
LKHV (mBf)⁽⁴⁾:	89,27		87,70		88,75	
Z_{max}2024⁽⁵⁾	97,21		95,39		96,61	
Nevezetes vízállások						
KKV⁽⁷⁾: (1982-2022)	90.18	-12	87.89	-97	89.42	
KÖV⁽⁸⁾ (1982-2022)	91.73	143	89.55	69	91.01	
H_{80%} (1982-2022)	90.7	40	88.36	-50		
H_{90%} (1982-2022)	90.45	15	88.01	-85		
H_{95%} (1982-2022)	90.25	-5	87.71	-115		
H_{99%} (1982-2022)	89.95	-35	87.36	-150		
H_{aug80%} (1982-2022)	90.75	45	88.46	-40		

(1) Legkisebb vízállás (2018.10.26.)

(2) Legnagyobb vízállás (2013.06.11.)

(3) Mértékadó árvízszint

(4) Legkisebb Hajózási Vízszint

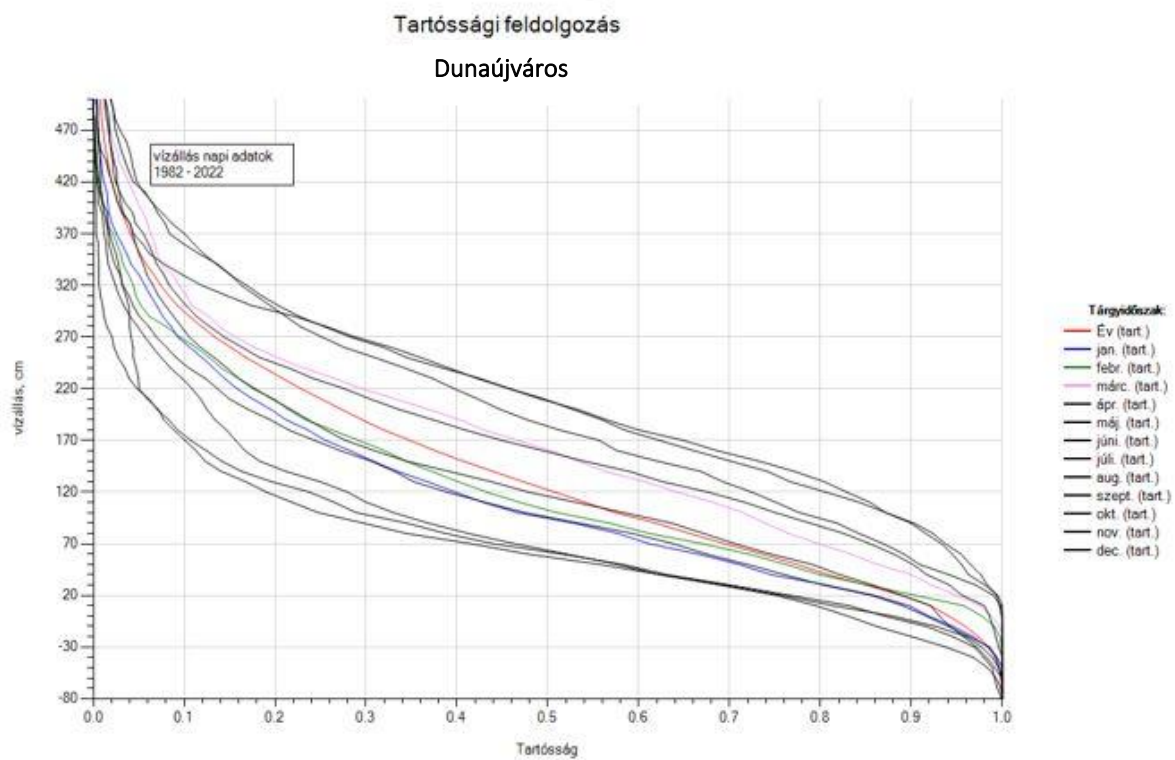
(5) 2024-ben mért maximum vízállás (2024 szeptember)

(6) Két vízmérce közötti távolság arányával becsült vízszint-értékek

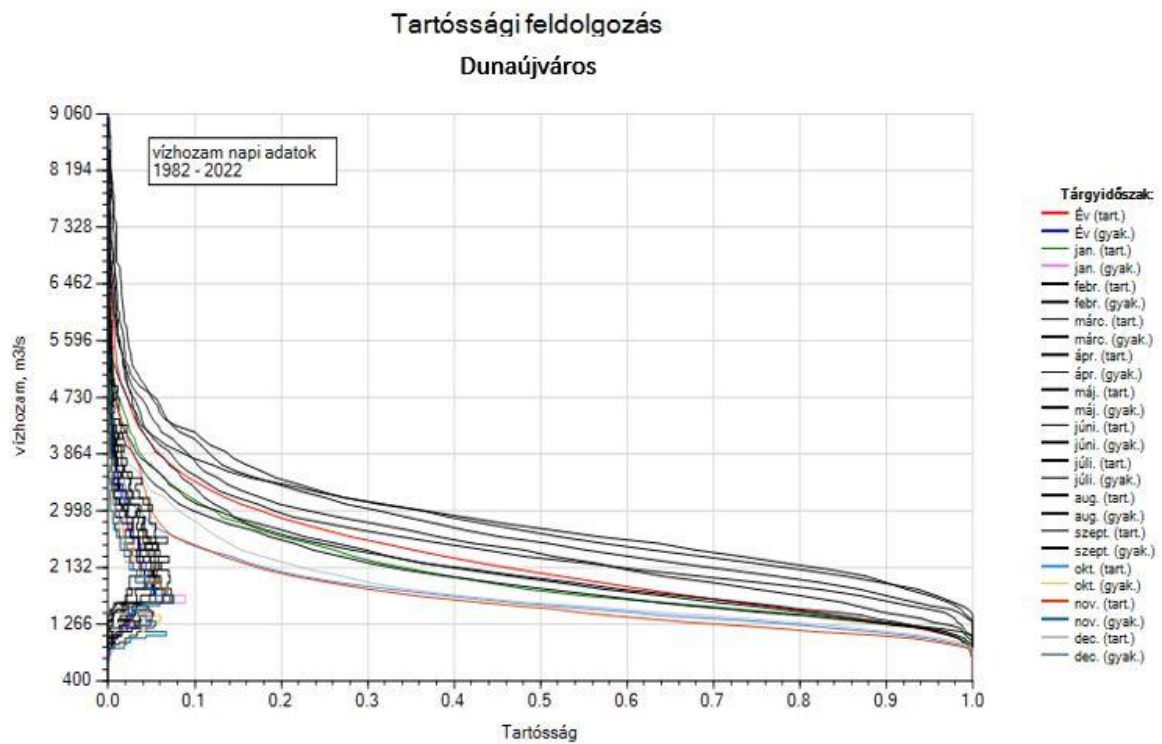
(7) Közepes kisvíz (A vizsgált időszakon belüli legkisebb vízállások számtani közepe.)

(8) Középvíz:(a vizsgált időszakon belül valamennyi vízállás észlelésértékét figyelembe vevő számtani középérték)

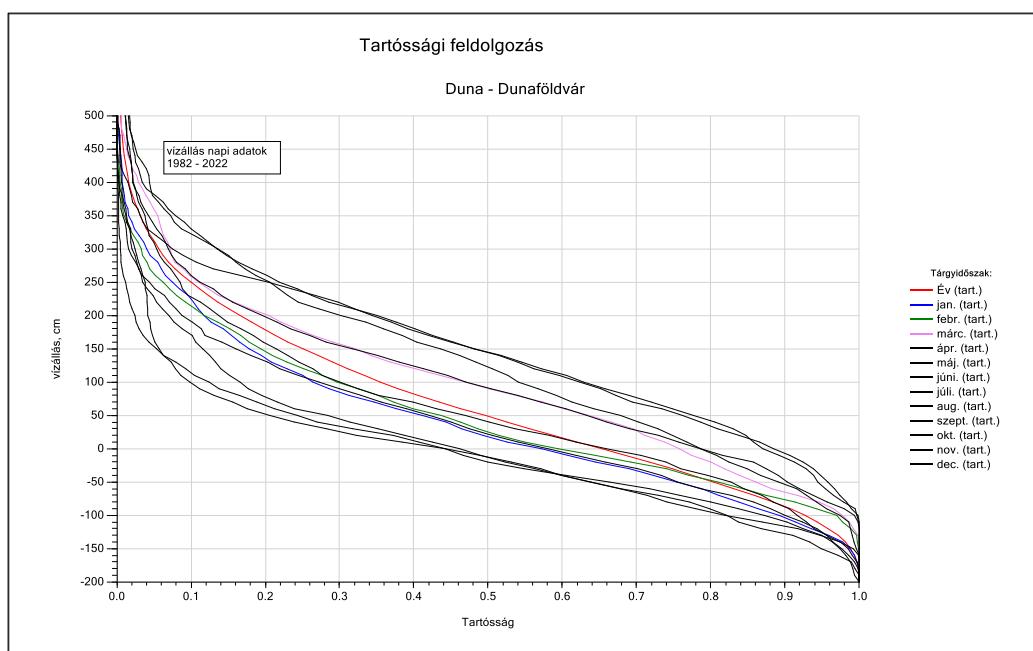
A dunaújvárosi és dunaföldvári vízmércéken mért vízállás idősorokat 1982 és 2022 évek között vizsgáltuk, valamint ugyanezen időszakban a dunaújvárosi vízhozamidősről alapján határoztuk meg a tartóssági görbéket (5. ábra, 6. ábra). Az adatokat és a feldolgozást tartalmazó állományokat az I. melléklet tartalmazza.



5. ábra: Napi vízállás adatok havonkénti tartóssági görbéi a dunaújvárosi vízmércén (547).



6. ábra: Napi vízhozam adatok havonkénti tartóssági görbéi a dunaújvárosi vízmércén (547).

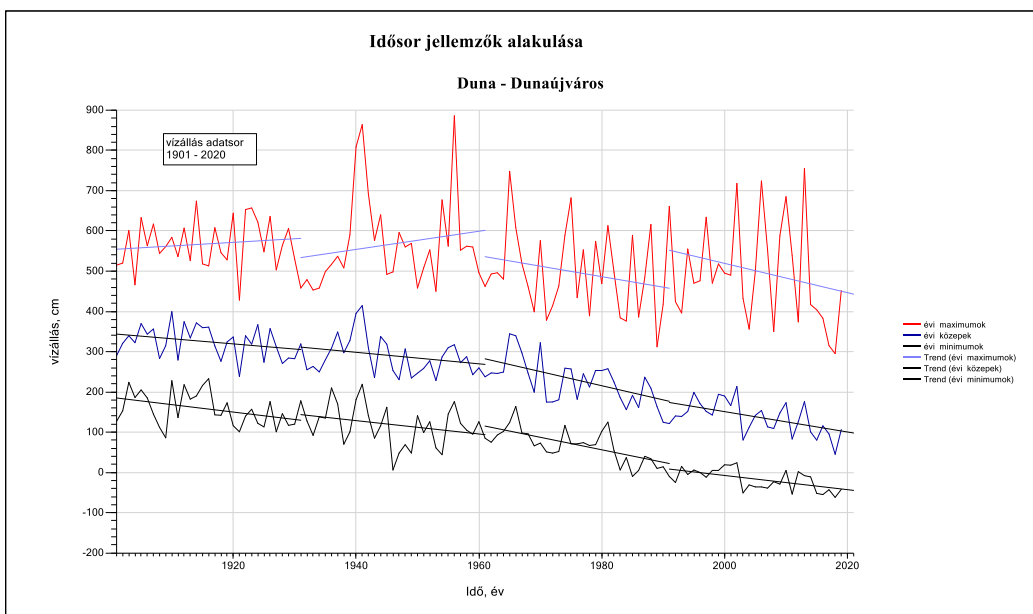


7. ábra: Napi vízállás adatok havonkénti tartóssági görbéi a dunaföldvári vízmércén (548).

A fent meghatározott tartósságokat a hordalékmenyiség és –sűrűség későbbiekben ismertetésre kerülő becslésekhez használtuk.

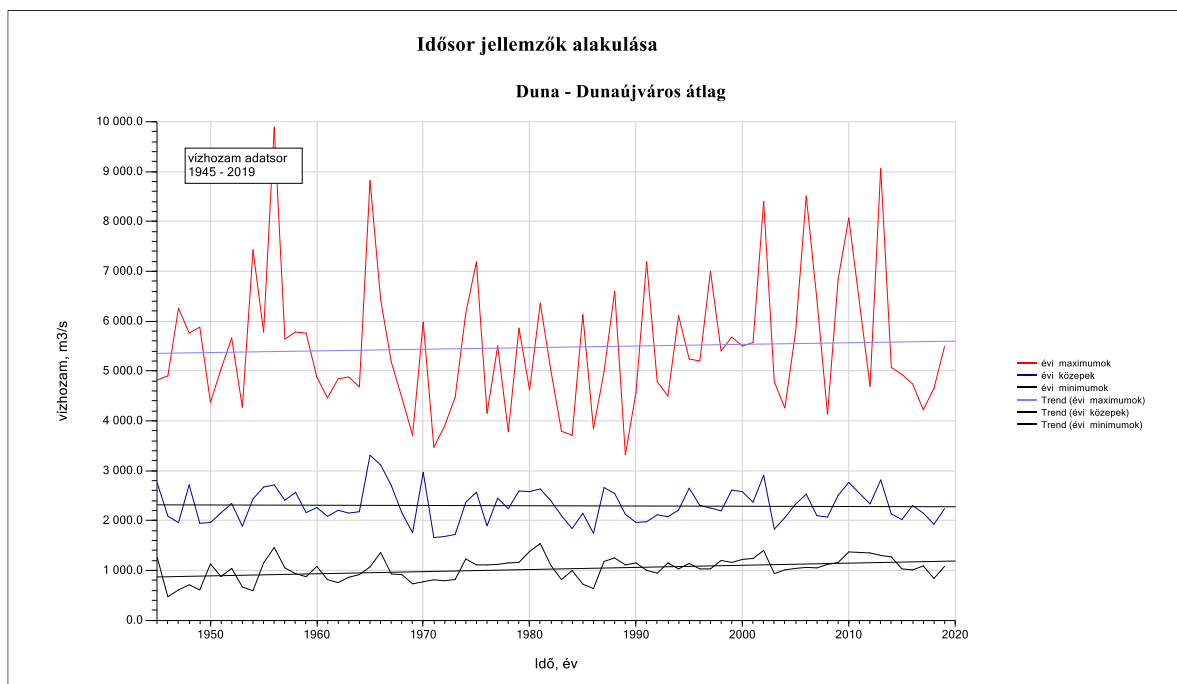
A nagyvízi vízállások korábbi és közelmúltbeli előfordulás esélyei között a 2024. szeptemberében bekövetkezett árhullám ellenére sincs jelentős különbség. Viszont csökkent a magas vízállások tartósága, melynek számos oka lehet, többek között az emberi beavatkozások (osztrák vízlépcsők, folyamszabályozási munkák stb.), vagy akár az éghajlati változások is.

A Duna vízállás idősorainak vizsgálati az utóbbi évtizedekben az éves kis- és középvízállások csökkenő tendenciáját mutatták (8. ábra).



8. ábra: Jellemző vízállás idősorok a dunaújvárosi vízmércén.

Ugyanakkor a kis- és középvízhozamértékek nem utalnak változó szignifikáns trendre (9. ábra).



9. ábra: Jellemző vízhozam idősorok a dunaújvárosi mérceszelvényben.

A kis- valamint a középvízállások csökkenő trendjével szemben a hozzájuk tartozó vízhozamok viszonylagos stabilitása jelzi a medersüllyedés folyamatát. Ezt a trendet az érintett Duna szakasz többi mércéjének adatai is jelzik. A medersüllyedés folyamatát a későbbiekben ismertetésre kerülő előző időszakokban mért keresztzelvények és a most elvégzett mederfelvételek összehasonlítása is hangsúlyozza. A medersüllyedés okainak kutatásakor tudomásul kell venni, hogy medergeometria a sok emberi beavatkozás, vagy egy természeti tényező hatására is változhatott. A Duna folyó jelentős folyam- és lefolyásszabályozásokon ment keresztül, többek között a Felső-Dunán épültek vízlépcsők, a magyar szakaszon sarkantyúk és egyéb folyószabályozási műtárgyak létesültek. Alapvető kérdésként merült fel, hogy ezek a beavatkozások milyen hatással voltak és vannak a folyó morfológiai viszonyaira és dinamikai állapotára. A beavatkozások között kell megemlíteni a korábbi intenzív kavicskitermelést hatását is, amely csökkentik hordalékmenyiséget az alvizen. A tározókban a hordalék kiüledik, viszont a duzzasztó alatti alvizen a folyó törekszik a dinamikai egyensúly helyreállítására, ezért a Duna a magyar szakaszon mederanyagot vesz fel, és szállít tovább a folyó mentén.

A VGT3³ szerint a Duna Budapest-Dunaföldvár közötti folyószakaszon (víztesten) az ipari és közüzemi vízkivétel mennyisége jóval kisebb, mint a rendelkezésre álló vízkészlet (2. táblázat).

2. táblázat: A Duna Budapest-Dunaföldvár közötti víztest vízkészleti jellemzői a VGT3 alapján.

Duna Budapest–Dunaföldvár között szakaszon		
VGT3 1.1 melléklete	Augusztusi 80%-os vízhozam a teljes vízgyűjtőn (1981-2010) (m ³ /s)	1579
VGT3 1.1 melléklete	Ökológiai kisvíz a teljes vízgyűjtőn (m ³ /s)	945
VGT3 3-7. melléklet	Kivételek összesen (m ³ /s)	5.8
	Szabad vízkivétel kapacitás (m ³ /s)	634.8
	Órás csúcs igény normál üzemben (m ³ /s)	0.7

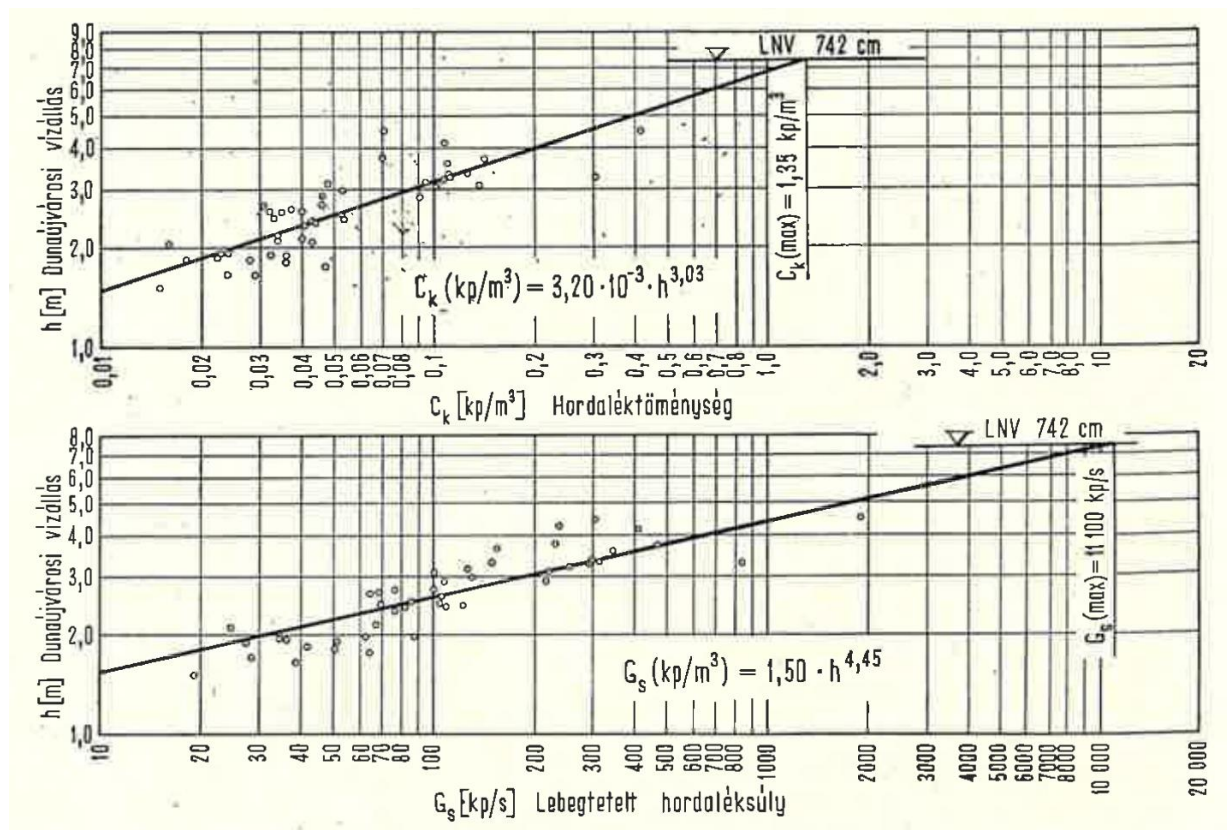
(Átlagosan évente 1 nap, 950 m³/s alatt van)

2.3. Hordalékviszonyok

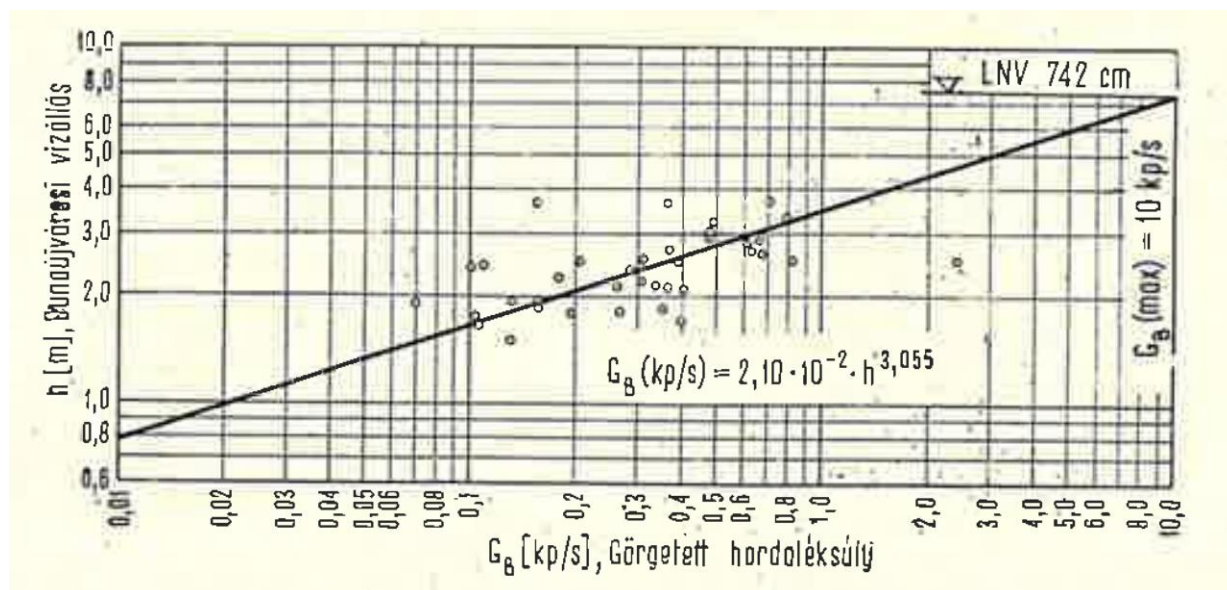
A dunaújvárosi vízmérce szelvényének közvetlen közelében folyt korábban kutatás a hordalék rezsim meghatározására, melynek során megállapítást nyert, hogy itt mind a lebegtetett mind a fenéken görgtetett

³ Magyarország 2021. évi vízgyűjtő-gazdálkodási terve (VGT3).

hordalék nagyobb mennyiségű volt, mint a Budapest fölötti szakaszon. Sőt, a görgetett hordalék esetében az is megállapítható volt, hogy anyaga durvább szemcséjű itt, mint például Nagymarosnál. Mindezt a feltételezések szerint az erősen szűkített budapesti Duna-szakasz eredményezi. A mérési eredmények alapján határozták meg az alábbi ábrakon (10. ábra és 11. ábra) bemutatott függvényeket, vagyis a lebegtetett és görgetett hordalék mennyiségi kapcsolatát a vízállásokkal (Bogárdi János, 1971).



10. ábra: A hordaléktöménység és a lebegtetett hordaléksúly összefüggése a vízállással a Duna dunaújvárosi szelvényénél (Bogárdi 1971).



11. ábra: A görgetett hordaléksúly összefüggése a vízállással a Duna dunaújvárosi szelvényénél (Bogárdi 1971).

Jelen megbízás keretében, nevezetesen a Hamburger Hungaria Kft. újonnan létesítendő felszíni vízkivételi művének tervezése során a medermorfológiai és hordalékviszonyok feltárása mellett a jövőben várható helyzetet is becsülni kellett. A feladat kettős célt hordott magában: Szükség volt alapadatszolgáltatásra, hogy a számításokhoz szükséges értékek rendelkezésre álljanak a mederben elhelyezendő vízkivételi mű jelen és jövőbeni biztonságos üzemeltetésének tervezéséhez, ugyanakkor azt is becsülnünk kellett, hogy maga a létesítmény milyen hatással lesz a mederfenéken történő hordalékmozgásra.

A fenti célok elérése érdekében helyszíni mérési programot hajtottunk végre, amely kiterjedt a 12. ábra lehatárolt terület terepviszonyaira, és az érintett folyószakasz hidrometriai feltárására. A mérési program adatokat szolgáltatott a számításokhoz, becslésekhez és a modellezéshez. Ugyanakkor összegyűjtésre kerültek korábbi medermérési adatok is. Ennek köszönhetően, a múlt és a jelen állapot összevetéséből következtéseket lehetett levonni az uralkodó tendenciákról.

2.4. Helyszíni vizsgálatok

2.4.1. Terepfelmérés

A feladat célja az volt, hogy a tervezési munkához biztosítsuk a vizsgálat terület geodéziai adatait. A vízzel nem borított területek felmérését LIDAR⁴ technológiával végeztük el. A felmért terület lehatárolását a 12. ábra tartalmazza.



12. ábra: Légi felmérés területe.

2.4.1.1. Részletes feladatmeghatározás

A tervezési területet teljesen lefedő legalább 6 pont/m² pontsűrűségű lézerszkennelés végrehajtása.

- LIDAR felmérés területi lehatárolása (12. ábra)
- Műszaki jellemzés
- Lézerszkennelés, légifényképezés.

A lézerszkennelést úgy kellett végrehajtani, hogy az utolsó regisztrált lézer visszaverődések sűrűsége legalább 6 pont/m² és a LIDAR adatok sorok közötti átfedése minimum 25% legyen. A LIDAR felmérést lehetőség szerint lombmentes időszakban kell végrehajtani valamint, amikor a területen nincs hó vagy árvíz.

⁴ LIDAR (Light Detection and Ranging) lézer alapú távérzékelés.

Nyers, feldolgozatlan LIDAR adatok:

- a nyers, feldolgozatlan LIDAR adatok pontsűrűsége (az utolsó regisztrált lézer visszaverődések sűrűsége) legalább 6 pont/m²,
- az EOVS⁵/Balti rendszerbe georeferált LIDAR pontfelhő helyzeti pontossága nem lehet rosszabb, 15 cm-nél, a magassági pontossága pedig 7 cm-nél.

Osztályozott LIDAR adatok:

- a georeferált LIDAR adatokat minimum a következő osztályokba kell sorolni:
 - 1 - unclassified
 - 2 – ground.

Domborzati modell (DTM)⁶:

- georeferált és osztályozott pontfelhőből DTM előállítás 50 cm-es rasterben, EOVS koordináta rendszerben, EOMA⁷ magassággal, ESRI ARCGIS által kezelhető GeoTIFF⁸ formátumban.

Leadandó termékek és formátumok:

- LIDAR adatok osztályozott LAS állományai, LAS 1.4. formátumban⁹,
- Az osztályozott LAS állományokból készített DTM állományok, EOVS koordináta rendszerben, EOMA magassággal, ESRI ARCGIS által kezelhető GeoTIFF formátumban
- AOI – Area of Interest ESRI SHP, poligon állományban.

2.4.1.2. Felméréshez használt eszközök bemutatása

A légi felmérést egy az ACECORE TECHNOLOGIES JL BV (Hollandia) által gyártott Acecore Noa drónt használtuk, amihez egy Riegl VUX-1LR légi lézerszkennert (Applanix fedélzeti GNSS10 rendszerrel) van integrálva (13. ábra). Az eszköz vezérlése távirányítóval történt.



13. ábra: Acecore Noa drón Riegl VUX-1LR légi lézerszkennelrel.

⁵ Egységes Országos Vetület (EOV) a magyarországi földmérési térképek vetületi rendszere.

⁶ Digital Terrain Modell.

⁷ Egységes Országos Magassági Alaphálózat (EOMA).

⁸ Public domain metadata standard that enables georeferencing information to be embedded within an image file.

⁹ LAS (az angol LASer kifejezésből) pontfelhő tárolására és adatszeréjére szolgáló nyílt fájlformátum.

¹⁰ GNSS Global Navigation Satellite System (GNSS).

A drón műszaki adatait az alábbiakban foglaljuk össze:

	ACECORA NOA
TÖMEG	
Maximális bruttó felszállási tömeg	24.9 kg
Maximum hasznos teher	~6 kg
Minimális normál üres tömeg	11.4 kg
HAJTÓMŰ	
Meghajtás típusa	Elektromos
Motorok száma	6 db
Üzemi feszültség	42V-52V
AVIONIKA	
Repülésvezérlő	Cube repülésvezérlő
Üzemi hőmérséklet	mínusz 40°C és + 85°C között
AKKUMULÁTOROK	
Energia típusa	Elektromos
Akkumulátor	Lítium polimer
Ajánlott gyártmányok és modellek	17000 mAh x 4 db
Az akkumulátor névleges feszültsége	24 V / 6S
MÉRETEK	
Keret méretei (h x sz x m)	1680 x 1680 x 840 mm

További adatok:

Drón gyártója: ACECORE TECHNOLOGIES JL BV – Hollandia

Drón típusa: Acecore Noa

Gyártási év: 2022

Sorozatszám: NLH6NOAXL142

Kötelező biztosítás száma: 9 5 5 0 5 0 0 4 6 3 2 3 8 8 9 0 0

Nyilvántartási száma: HA0065W-UAS

2.4.1.3. A felmérés munkaszakaszai

- Előkészítő munkálatok (repülési engedély, repülési tervek elkészítése)
- Légi távérzékelés végrehajtása (LIDAR felmérés)
- Feldolgozás (a LIDAR felmérés nyers mérési eredményeinek feldolgozása, LAS állományok előállítása, LAS állományok osztályozása)
- Utómunkálatok (eredmény térképek előállítása (0,5x0,5 m-es DTM előállítása)
- Mérési eredmények átadás a Megrendelő részére.

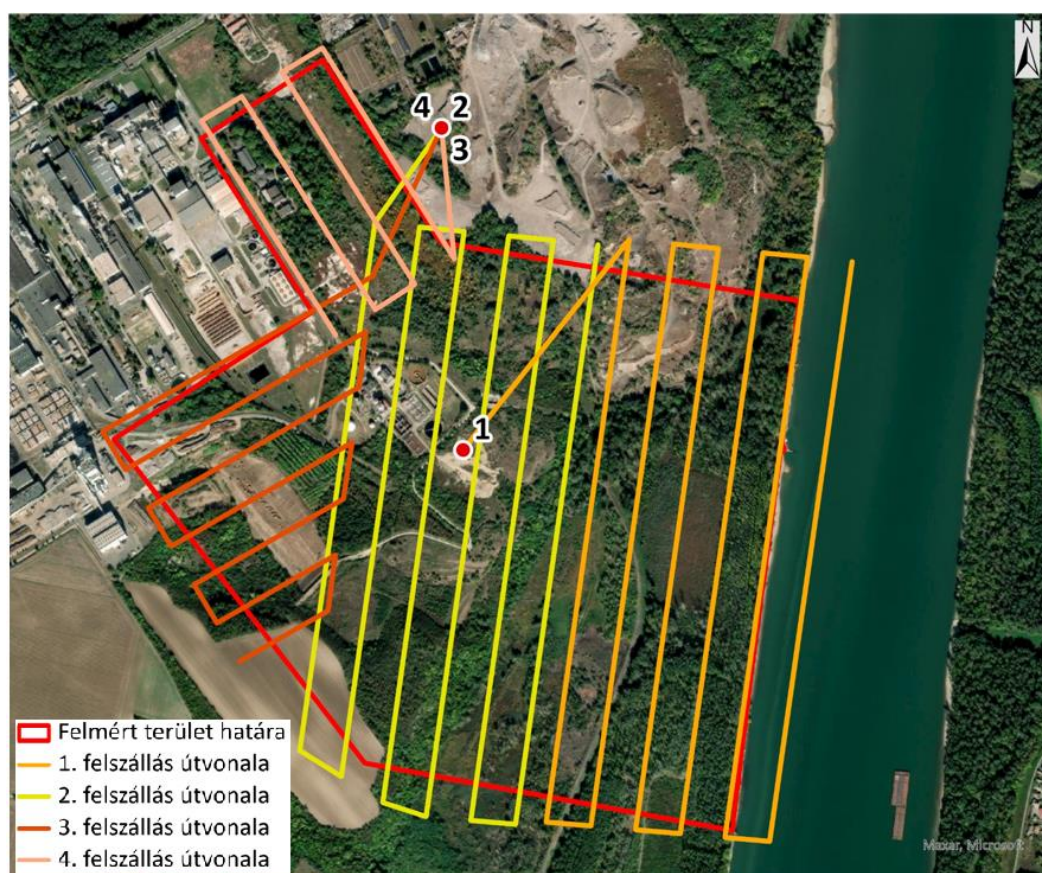
Előkészítő munkálatok (repülési engedély, repülési tervek elkészítése)

A vizsgált terület érinti a LHSDZLHDV/Dunaújváros elnevezésű légtér (GND – FL135), amelyet a 14. ábra mutat. Ezért a repülés végrehajtását úgy ütemeztük, hogy a felmérés idején ne legyen aktív a légtér, így nem szükséges eseti légtér igénylése, elegendő a mydronespace applikáció használata.



14. ábra: Repülési körzetek a vizsgált terület környezetében (alaptérkép forrása: www.legter.hu).

A 152,8 ha nagyságú területet a felmérés körülményeinek figyelembevételével 4 részletben, 4 felszállással végeztük el. A repülési útvonalakat a 15. ábra szemlélteti.



15. ábra: Repülési útvonalak a felmérés során.

Légi távérzékelés végreajtása (LIDAR felmérés)

A terület felmérését az előzőekben bemutatott repülési terv szerint végeztük el 2024. 07. 16-án. A repülések adatait az alábbiakban mutatjuk (3. táblázat).

3. táblázat: Repülések összefoglalása.

Dátum	Felszállás időpontja	Leszállás időpontja	Repülési idő [perc]	Pilóta	Segédpilóta	Felmert terület [ha]
7/16/2024	9:59	10:20	21	Balogh László	Csegény József	76
7/16/2024	10:28	10:48	20	Balogh László	Csegény József	74
7/16/2024	10:59	11:12	13	Balogh László	Csegény József	33
7/16/2024	11:20	11:30	10	Balogh László	Csegény József	22

Mérési eredmények feldolgozása

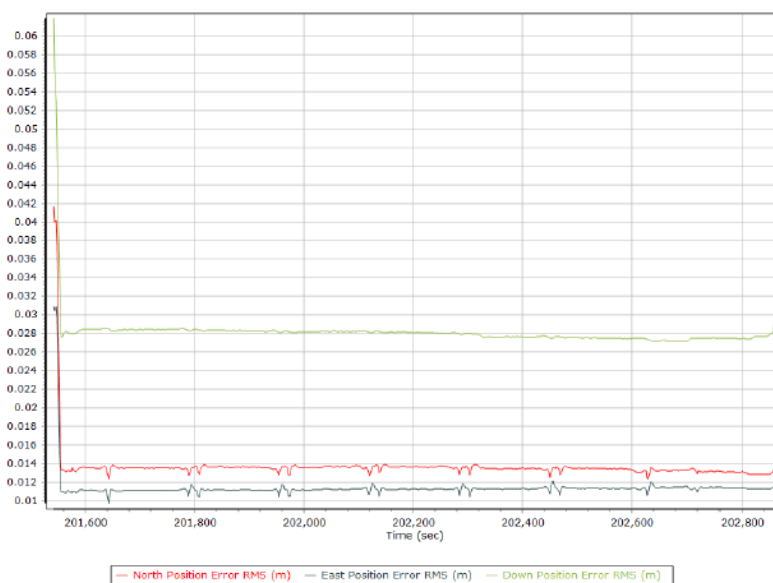
Első lépésben a mért adatok cm-es pontosságának eléréséhez, utófeldolgozás során a GNSS Szolgáltató Központ által szolgáltatott a referenciaállomások által észlelt, illetve a referenciaállomások mérései alapján virtuális állomásokra számított, RINEX¹¹ formátumú mérési adatait használtuk fel. A mérési adatok referencia rendszere ETRS89¹². A hálózat állomássűrűsége lehetővé teszi, hogy kétfrekvenciás GNSS vevőkkel az egész országban a tényleges referenciaállomások méréseire támaszkodva lehessen pontmeghatározást végezni.

A munkavégzés során a következő feltételek teljesültek:

- Átlagosan legalább 4 műholdat figyeltünk meg a mérés során;
- Szatellitek magassági szöge $> 12,5^\circ$
- Drón kb. 10 km-s távra volt a bázistól.

A GNSS adatok feldolgozásának eredményeit (POSPac UAV 8.6) a 16. ábra mutatja be.

Position Error RMS (m)



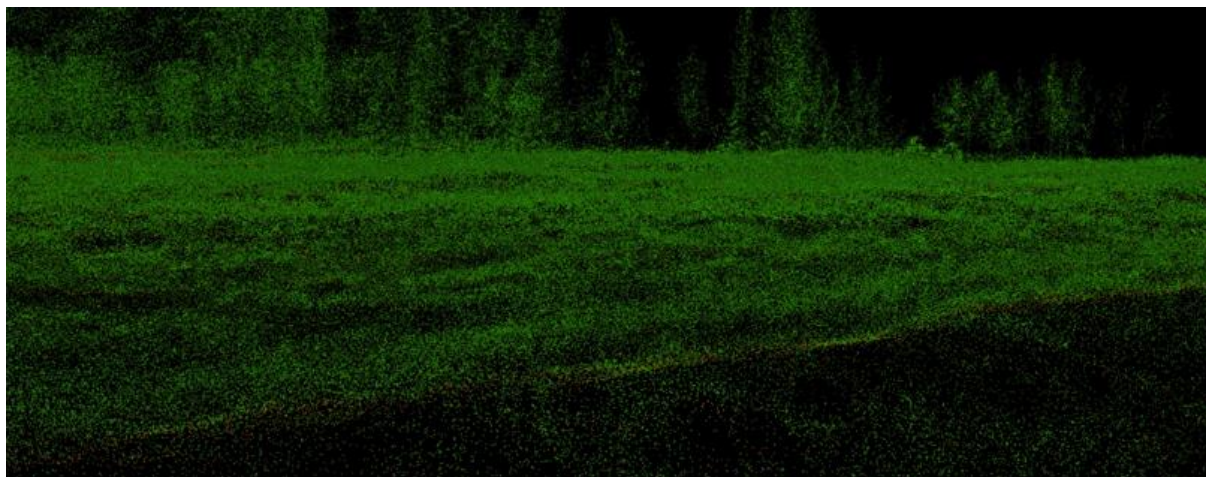
16. ábra: GNSS adatok feldolgozásának eredménye (POSPac UAV 8.6)

¹¹ Receiver Independent Exchange Format, egységes szöveges adatformátum RINEX.

¹² International Terrestrial Reference System európai megvalósítása az ETRS89.

A repülés során minden irányban elért pontosság (RMS-érték¹³) a mérési szakaszokban kevesebb 3,0 cm-nél, a vízszintes komponensekben kevesebb 1,4 cm-nél, a keleti irányú RMS-érték pedig kevesebb, mint 1,2 cm.

A következő lépésben a pontfelhő létrehozása (LAS állomány) történt meg. A pontfelhők létrehozásához a Riegl RiProcess szoftvert alkalmaztuk, mellyel osztályozatlan pontfelhőt kaptunk, ennek képét a 17. ábra mutatja be.



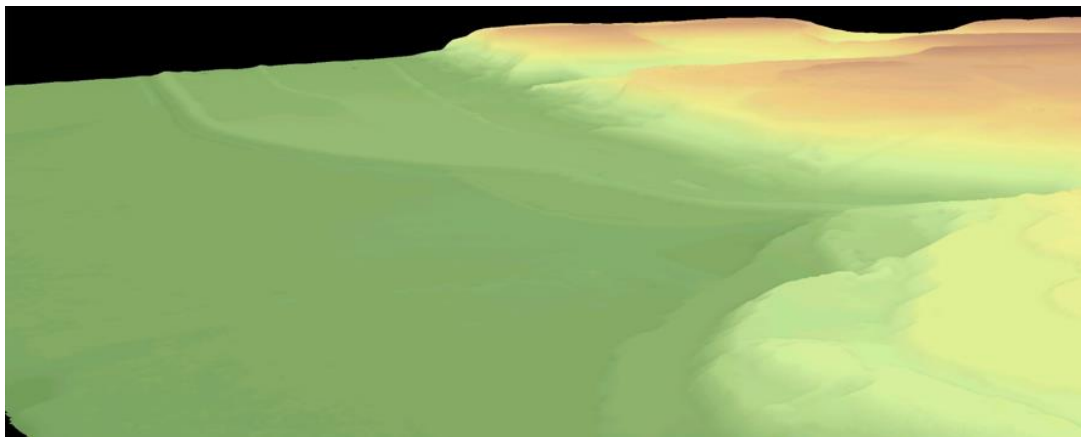
17. ábra: Osztályozatlan pontfelhő (RiPROCESS).

Elvégeztük a terep és egyéb pontok (növényzet, épület, zaj, stb.) osztályozását, mely feladat végrehajtása két lépésben történt a RiProcess 1.9.4.1 használatával.

Az első lépés az automatikus adatosztályozás, melynek során létrehoztunk egy paraméterkészletet, mely alapján történt egy előosztályozás. Az automatikus osztályozás után kézi korrekcióra volt szükség, mivel a földpontok automatikus elkülönítése a fő tömbtől nem mindig helyes. A kézi korrekciós lépésnél a lézer visszaverődés minden olyan hibáját kiküszöböltük, amely torzítja a DTM valós állapotát, és a terep réteghez tartozó pontok halmazát.

A feldolgozott pontfelhő geocentrikus koordinátarendszerben (WGS84) készült. Exportálás során végeztük el az EOVS (EPSG23700) transzformációt. Az előállított LAS állomány felhasználásával tereppontokra szűrve állítottuk elő a 0,5x0,5 m-es felbontású DTM-et (18. ábra).

¹³ Négyzetes középérték (RMS, root mean square).



18. ábra: Digitális terepmodell részlete

Előállított termékek és formátumok:

- LIDAR adatok osztályozott LAS állományai, LAS 1.4. formátumban,
- Az osztályozott LAS állományokból készített DTM állományok, EOV koordináta rendszerben, EOMA magassággal, ESRI ARCGIS által kezelhető GeoTIFF formátumban;
- AOI – Area of Interest ESRI SHP, poligon állományban.

2.4.2. Hidrometriai feltárás

A feltárás célja, hogy adatokat szolgáltatson a vízkivételi mű folyómederre gyakorolt hatásának becsléséhez, ugyanakkor definiálja a folyó mentén és a mederben elhelyezendő vízkivételi műtárgyak biztonságos üzemelésének lehetőségeit. Ennek megfelelően határoztuk meg a helyszíni mérések programját.

Feladatmeghatározás:

A Duna 1 571 fkm és 1 576 fkm közötti középvízi medrének (batimetriai) felmérése; mederfenékből anyag mintavétel; vízsebeség és –áramlás irányainak rögzítése; hordalékmérés (lebegtetett és fenéken görgetett, szükség szerint dűnék mozgása) a keresztaszvénnyekben.

Keresztaszvénnyfelvétel gyakorisága a következő volt:

- 1571 fkm és 1573 fkm között: 0.5 fkm méteres térközönként
- 1572.7 fkm és 1574.2 fkm között 0.05 fkm térközönként
- 1574 fkm és 1576 fkm között 0.5 fkm térközönként.

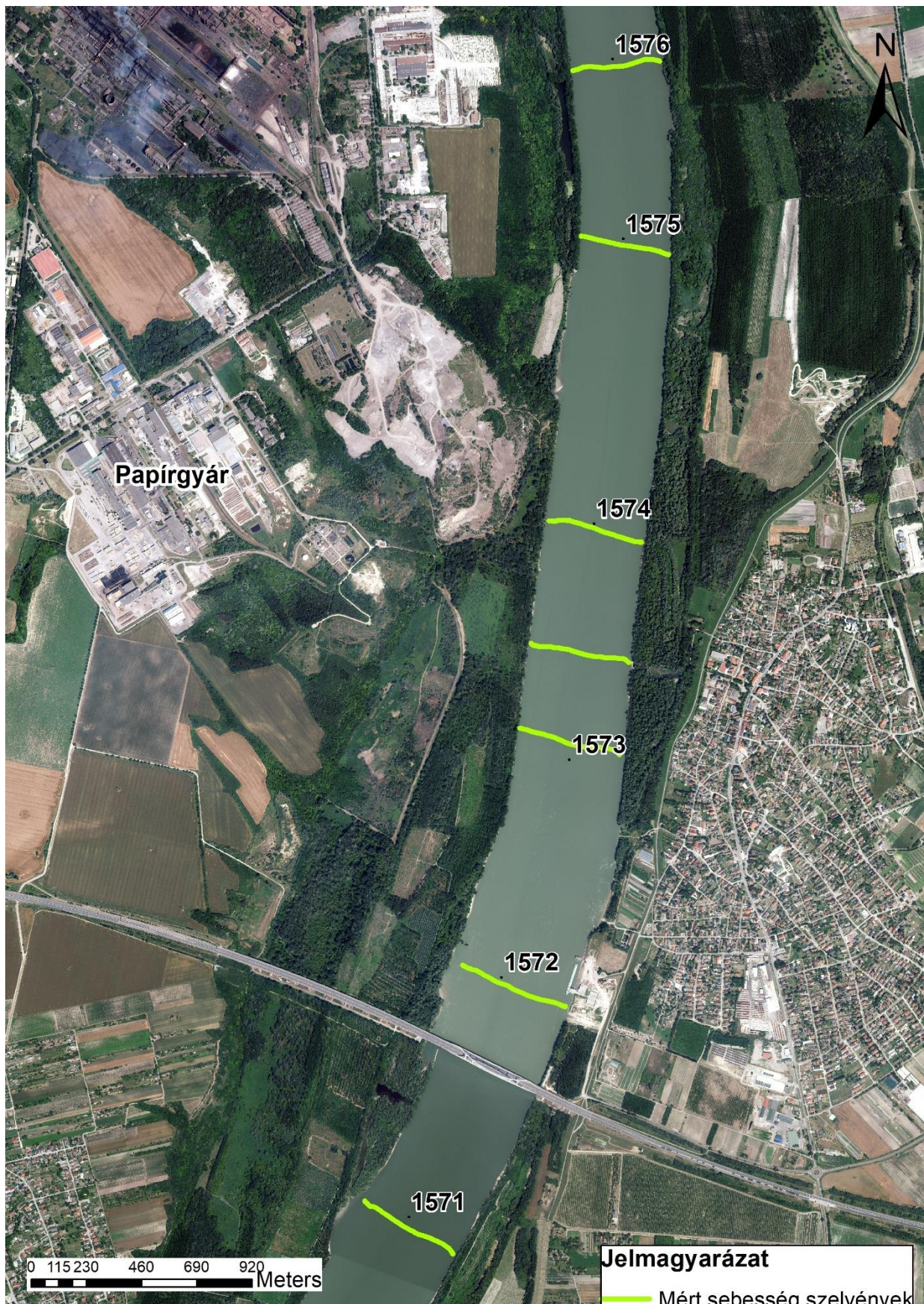
(A keresztaszvénny mérésekor szükséges a partél- és a part közvetlen közelében lévő mederszakasz felmérése is, amely a merülési mélység korlátai miatt esetlegesen csónakkal már nem megközelíthető.)

- Áramlási sebességek és irányok mérése a keresztaszvénnyekben: 1571, 1572, 1573, 1573.5, 1574, 1575 és 1576 fkm szelvényekben, összesen 7 db szelvény. A szelvények kiosztását a 19. ábra szemlélteti.

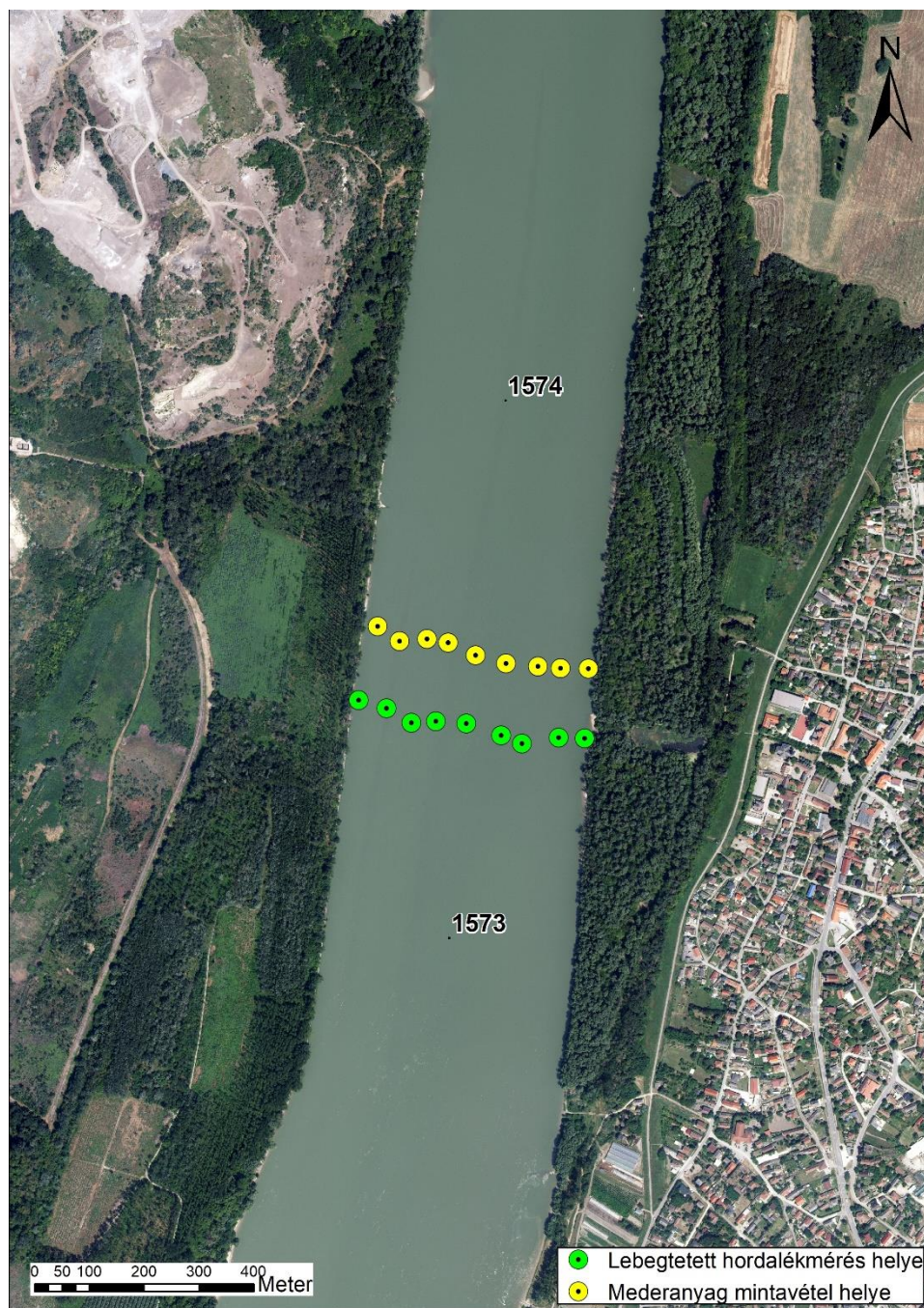
- Lebegtetett hordalék mérése: 1573.5 fkm keresztaszvénnyben egyenletes kiosztásban 20 méterenként, függélyekben: 0.5 méterenként.

- Mederhordalék mérés és mederfenék anyagmintavétel a 1573.5 fkm keresztaszvénnyben 50 méterenként. A szelvények kiosztását a 20. ábra szemlélteti.

- Partmenti sávban, közel a vízszélhez geodézia felmérés GPS segítségével.



19. ábra: Mérési szelvények (vízsebesség mérés).



20. ábra: Lebegtetett hordalékmérés és medermintavétel függélyei.

Mérések megvalósítása

A méréseket 2024.07.24. – 2024.07.31. közötti időszakban az alábbi eszközökkel végeztük:

- Mederfelmérés: Multibeam Echo Sounder + Geodéziai felmérés
- Mederminta vételezése: Mintavevő harang.
- Vízsebesség mérése keresztaszvénýekben: ADCP¹⁴.
- Lebegtetett hordalék mérése: Szivattyús mintavétel.

¹⁴ Acoustic Doppler Current Profiler.

Az alkalmazott szabvány, illetve ágazati rendelkezések:

Hivatkozási szám	Cím
MSZ 12739-1:1978	Felszíni vizek üledékének vizsgálata. Általános irányelvek.
MSZ 12739-2:1978	Felszíni vizek üledékének vizsgálata. Mintavétel és a mintaelőkészítés.
MSZ EN ISO 6416:2006	Hidrometria. Vízhozammérés ultrahangos (akusztikus) módszerrel (ISO 6416:2004).

A vízhozammérésekre használt ADCP és NORBIT¹⁵ medermérő eszközök a gyártók tanúsítása szerint nem igényelnek hitelesítést. Ugyanakkor, a műszerek kétévenként a vízrajzi mérőgyakorlat során az ágazati műszerek összemérésén kerülnek alkalmazásra, mikor is az átlagtól való eltérés alapján minősítik az ADCP-eket. Az ágazatban meglévő két NORBIT műszer gázlómérései minden évben összehasonlításra kerültek, és tökéletes egyezést mutattak.

A lebegtetett hordalék mintavételezésére használt szivattyús függély átlagminta vétel az ágazati előírásoknak megfelelően történt. Az alkalmazott mederanyag-mintavető, a pontszerű harangos mederanyag mintavevő is az ágazat gyakorlatának megfelelően került alkalmazásra.

2.4.2.1. Mederfelmérés

Maga a meder felmérés folyamata az alábbiak szerint két részből állt. A nedvesített mederrészt NORBIT iWBMS kétféjes ultrahanggal működő Multibeam medermérő eszközzel mértük. A mérés a folyásiránnyal párhuzamos mérési vonalakon történt a Dr. Csoma János hajóról (21. ábra és 22. ábra). A mérőfejek 160 fokos szögben egymást átfedő sávokban tapogatták le a medret. A pozicionálást integrált RTK GPS pár és mozgásérzékelő biztosította. Az ultrahang terjedési sebességét egy integrált érzékelő folyamatosan mérte. Az eredmények az előfeldolgozás során elvégzett szükség szerinti utókalibráció, valamint zaj- és hibaszűrés után álltak elő. A felbontás tetszőleges lehet (leggyakrabban 25 cm, 50 cm és 1 m) raszter (GEOTIFF, vagy XYZ) formátumban.



21. ábra: Dr. Csoma János mérőhajó.

¹⁵ Compact, high resolution, tightly integrated, broadband multibeam sonar solution from NORBIT (www.norbit.com).



22. ábra: Dr. Csoma János mérőhajó vezetőállása.

Az eredmények tartalmazzák a bal és jobb parti árvízvédelmi töltéskorona középvonal magasságait is. A száraz és a nedvesített mederrészek határának felmérését ún. RTK GPS¹⁶-sel végeztük a központi területen 50, azon kívül 500 m-es szelvények felvételével mind a jobb-, mind a balparton, átfedéssel a multibeam-es meder és a szárazföldi LIDAR mérésekkel, mintegy összekötve azokat. A méréseket az RTK vételt akadályozó növényzeti takarás nehezítette.



23. ábra: Egy és többsugaras ultrahangos mélységmérő (Multibeam).

A száraz keresztaszelvény-részt hagyományos földi geodéziai módszerrel mértük fel. Az alkalmazott műszer Geodimeter 610 SR robot mérőállomás (24. ábra), amelynek pontossága 3", így alappont sűrítésre is használható. A mérés során a felmérendő vonalon sokszögvonalat fektettünk, majd arra támaszkodva mértük fel a keresztaszelvény vonalában a terepet. A sokszögvonal a Duna bal partján ért véget, itt az utolsó állaspontból mértük fel a jobb parti keskeny hullámtér és árvízvédelmi töltés tereppontjait.

¹⁶ Real-Time Kinematic GPS.



24. ábra: Geodimeter 610 SR.

2.4.2.2. Vízsebesség és vízhozammérés

A nedvesített keresztaszelvénnyel felmérését robot mérőállomással, a mérőhajón elhelyezett Raymarine ST40 ultrahangos mélységmérővel, -melynek pontosság $\pm 2,5$ cm-, és az ahhoz kapcsolt adatgyűjtő segítségével végeztük (25. ábra). A mérőállomás és a mélységmérő által gyűjtött adatok szinkronizálását a két eszköz belső órájának mérés előtti szinkronizálásával oldottuk meg, amelyet a mérés végén ellenőriztünk.



25. ábra: Raymarine ST40 ultrahangos mélységmérő érzékelő feje és kijelzője.

A mérést mozgóhajós módszerrel végeztük. A keresztaszelvénnyel navigációs GPS segítségével mozgó mérőhajót, a rajta elhelyezett aktív (jeladóval felszerelt) prizma segítségével a mérőállomás robot üzemmódban automatikusan követte. A követés során a mérőhajó helyzetét 3 másodpercenként a mérőállomás mérte és a koordinátákat automatikusan tárolta. A mérőhajón elhelyezett mélységmérő adatait az adatgyűjtő másodpercenként mérte. A mélységmérési pontok koordinátáit a mért mélységekkel időszinkron segítségével párosítottuk össze.

A vízhozammérő rendszer lényegi elemei a Doppler mérőfej, a mérőfejet vezérlő, az adatgyűjtést- és feldolgozást végző szoftver. Kiegészítő eszköz a pozicionálást támogató, szubméter pontosságú GPS.



26. ábra: Teledyn WorkHorse Rio Grande 600 kHz vízhozam-mérőberendezés.

A mérésekhez egy Doppler-alapú, nevezetesen Teledyn WorkHorse Rio Grande ADCP 600 kHz mérőberendezést (26. ábra), és ahhoz illesztett szoftvereket használtunk. A mérést mozgóhajós üzemmódban, a mérőcsónakra rögzített mérőfejjel végeztük. Az alkalmazott Doppler mérőfej 4 jeladó/vevő-vel (transducer) rendelkezik, amelyek ennek megfelelően 4 sugárirányban képesek ultrahang impulzusokat bocsátani a vízbe. A 4 sugárzási tengely 20-20°-os szöget zár be a mérőfej központi, függőleges tengelyével. A víz lebegtetett hordalékának részecskéiről (amelyek a vízzel együtt mozognak) visszhang verődik vissza, amit ugyancsak a transducerek érzékelnek. A kibocsátott és visszavert impulzusok eltéréseiből, továbbá a mérőfejben működő elektronikus iránytű adataiból a rendszer képes meghatározni a mozgó hajó irányát és sebességét, továbbá a vízmozgás 3D-s vektoriális jellemzőit (a sebesség irányát és nagyságát) az érintett szelvény számos függvényében, illetve a függvények meghatározott pontjaiban. A mélység meghatározása ugyancsak a visszhang alapján történik (ezúttal a fenékről visszaverődve) a négy sugár jeleinek átlagolásával. A hajómozgás adataiból, a mélységadatokból és az említett sebességadatokból a vízhozam meghatározható.

Az alkalmazott mérőrendszert elsődlegesen nagy folyók pillanatnyi vízhozamának megméréseire fejlesztették ki. Emellett az – igen nagy mennyiségű – mérési részeredményből számos további hasznos információ is kinyerhető, így pl. a szelvénymenti sebességeloszlás. Ez utóbbi a jelen vizsgálat keretében igen fontos információ volt számunkra a hordalék mozgás számításához.

A technológiából adódóan mind a vízfelszín közelében, mind pedig a fenék közelében adódik egy bizonyos mérési holtter. A vízhozam meghatározásakor ezekre a holtterekre a szoftver a mérési adatok extrapolációjával becsüli a részvízhozamot. A sebességek közvetlen vizsgálatakor viszont figyelembe kell venni, hogy a holtterekből nem állnak rendelkezésre adatok. A mederfenék menti holtter – fontos sáv a csúszató sebesség miatt – a jellemző magasság a teljes mélység 6 %-a.

A partok a mérés során az M1 módnál 2,0-2,5 m, az M12 módnál 1,5-2,0 m vízmélységig közelíthetők meg. Az ezen kívül eső vízszéli területekre ugyancsak extrapolációval történik a vízhozam meghatározása. Megjegyezzük, hogy a Duna esetében rendszerint igen csekély a mérési területen kívül eső parti hozamok aránya.

A korábban elvégzett részletes felmérésből kapott adatok felhasználásával a bal parton kitűztük a szelvény irányát. Rögzítettük a balparti kezdőpont koordinátáit. A mérést a kitűzött irány figyelembevételével, mozgó hajóval hajtottuk végre.

Bár a vízhozam megméréséhez nem előírás az egyenes vonalú áthaladás, az eredmények jobb hasonlíthatóságának érdekében és sebesség adatok értékeléséhez a kitűzött (és kézi GPS-en is beprogramozott) szelvényt követtük. A feldolgozó szoftver minden átkelés végeztével megadta a mérés legfontosabb eredményeit (vízhozam, szelvényterület, szelvénytérület, középsebesség stb.). A négy átkelés eredményeinek összehasonlító értékelésével döntöttünk azok elfogadásáról vagy további átkelések szükségességéről.

A mérések legfontosabb eredményeit a feldolgozó szoftver közvetlenül szolgáltatja. További feldolgozásra a szelvényadatok pozicionálásához (valamely meghatározott geodéziai rendszerbe illesztéséhez), valamint a szelvény-sebességadatok kinyerésére volt szükség.

Első lépésként a négy átkelés nagy sűrűséggel megmért útvonal adatait a kijelölt mérőszelvénybe vetítettük. (Tekintettel a kitűzött vonalon haladó, közel egyenes vonalú átkelésekre, az egyes átkelések szelvényei között nem volt jelentős eltérés.) Ezt követően a szelvényeket adott számú vagy adott távolságú szelvénypontokra osztottuk, és az így meghatározott szelvénypontokban számítottuk az egyes átkelésekből származó mélységek átlagait. Az így adódó szelvényt fogattuk el az adott méréshez tartozó szelvényként.

Ezt követően a szelvényben – a Megbízó kívánságának megfelelően – 30-50 m-ként virtuális függőlegeseket vettünk fel. A függőlegesek kijelölése a bal parttól indult. Ezután az egyes függőlegesek mélységi pontjaiban szintenként számoltuk a pont horizontális környezetébe eső, megmért sebesség vektorok átlagos értékét (opcionálisan: a függőlegestől való távolság figyelembevételével súlyozott átlagát). Az így adódó eredő vektort fogadtuk el az adott pontbeli sebességnek. Az eredmények táblázatában a mélységpontonkénti, vízszintes síkba eső sebességeket, és azok É-i irányba bezárt szövegét közöljük.

A mérés és feldolgozás eredményeit a „Vízhozam mérési jegyzőkönyv”-ben rögzítettük, amely formailag egy Excel táblázat (II. melléklet). Az Excel állomány több jegyzőkönyvet is tartalmaz, de minden jegyzőkönyv külön munkalapra került. A jegyzőkönyveket a munkalap megnevezésben a mérési dátum azonosítja.

A jegyzőkönyv tartalma:

Állomás- és környezeti adatok:

- Helyszín
- Dátum
- Mérés kezdete, vége
- Vízmérce azonosító
- Vízállás, cm
- Mérési körülmények:

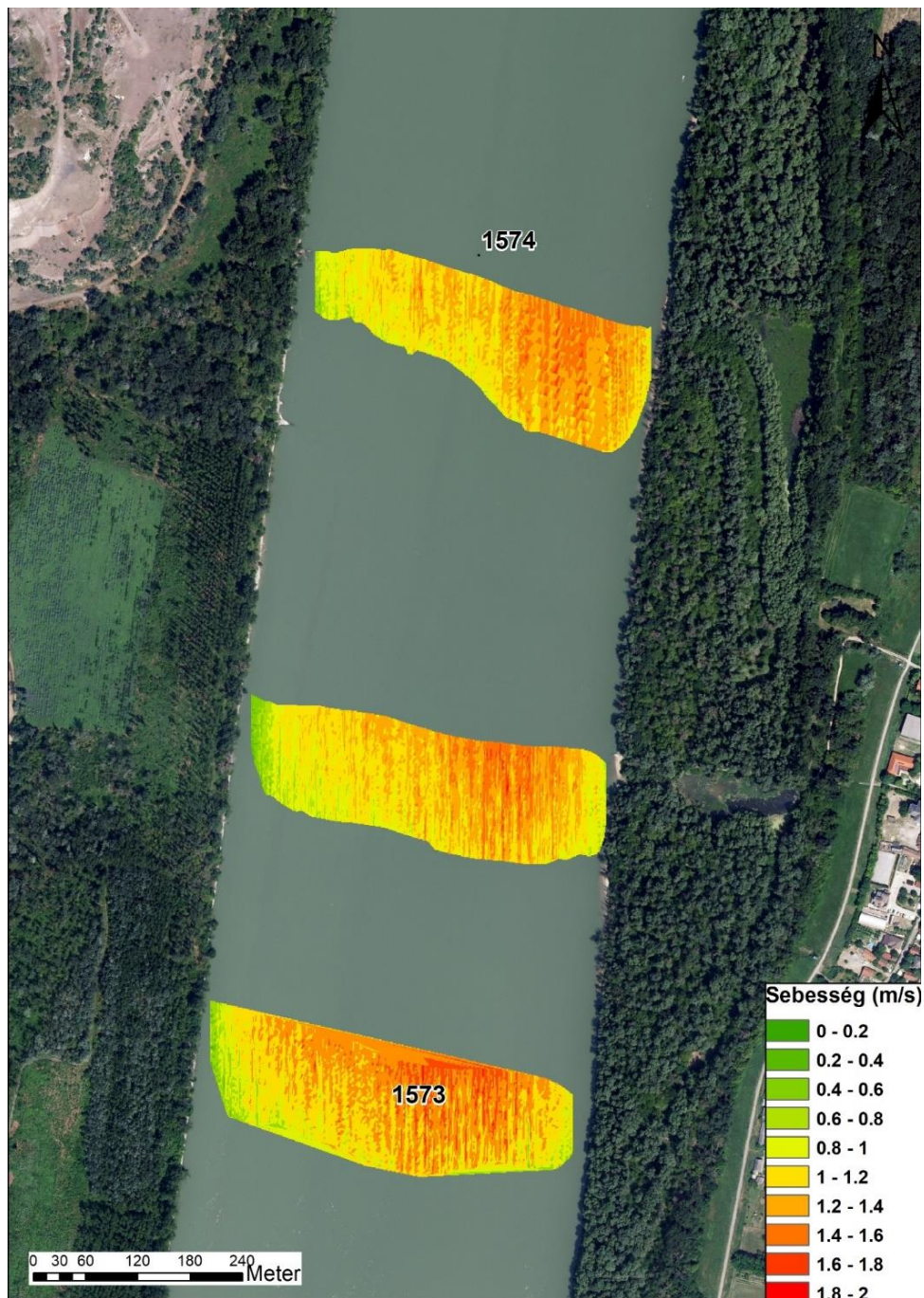
Vízhozammérés eredményei:

- Vízhozam, m³/s
- Szelvényterület, m²
- Szelvény szélessége, m
- Szelvény középsebesség, m/s
- Szelvény iránya, fok

Íránymérések eredménye:

- Függély száma, távolsága, pozíciója (EOV, WGS84 és WGS84-UTM rendszerekben) (Ismételve minden függélyre)
- Teljes mélység, függély-középsébség (horizontális), irány (É-től)
- Pontmélység, pontbeli sebesség (horizontális), irány (É-től) Ismételve minden mélységi pontra.

A felmért mélység szerinti sebességeloszlás három szelvényben vízszintes értelemben kivetítve a 27. ábra mutatja be. Az ADCP a vízfelszín közeli 20 centiméterben a mederhez közeli alsó fél méterben nem ad megbízható sebességértékeket, így ezek az ábrán sem szerepelnek. A sebességek a hajózóút közelében 1.0-1.5 m/s körüli értékeket vesznek fel, ezek a partokhoz közeledve lecsökkennek 0.5 m/s közeli tartományba.



27. ábra: A felmért mélység szerinti sebességeloszlás 3 jellemző szelvényben. (A mélységek vízszintes értelemben kivetítve ábrázolva.)

2.4.2.3. Lebegtetett hordalékmérés

A vízhozamméréssel egybekötött lebegtetett hordalék mintavétel a kijelölt 1573+500 fkm szelvényben történt, amely során a vízhozamot ADCP-vel, négy átmenettel mértük, majd a víztükör szélesség ismeretében kiosztottuk a lebegtetett hordalék mintavételi függőlyeket (7 db), amelyek egyenletes kiosztásban egymástól 50 méteres távolságban helyezkedtek el (20. ábra).

A lebegtetett hordalék mintavételre kijelölt függőlyekben szivattyúval (28. ábra) 10 – 10 pontban 1 – 1 liter mintát vettünk. A szivattyú szívócsőve a mérő súlyhoz volt rögzítve. A minták függőlyenkénti összeöntésével mérésenként 7 db átlagmintát készítettünk.

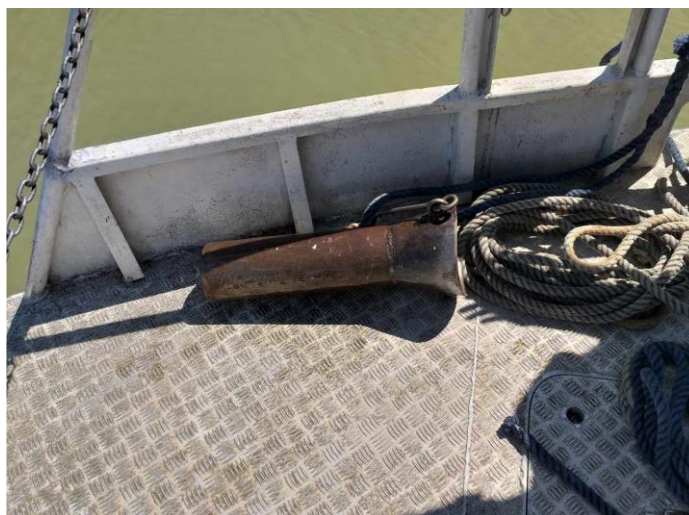


28. ábra: Lebegtetett hordalék mintavételezése (szívócső a merülő súlyra szerelve).

A mérésenkénti 7 db minta koncentrációjának és szemszerkezetének meghatározását az akkreditált laboratóriumban határozták meg az ME-10-231-18:2000 szabvány szerint.

A fenékanyag minta függőlyben mintavevő haranggal került kiemelésre (29. ábra). A kivett mederanyag minták függőlyenként lettek tárolva (30. ábra).

A laboratóriumi vizsgálat leírása, valamint a lebegtetett hordalék és a mederanyag minták elemzésének jegyzőkönyvei a IV mellékletben találhatók.



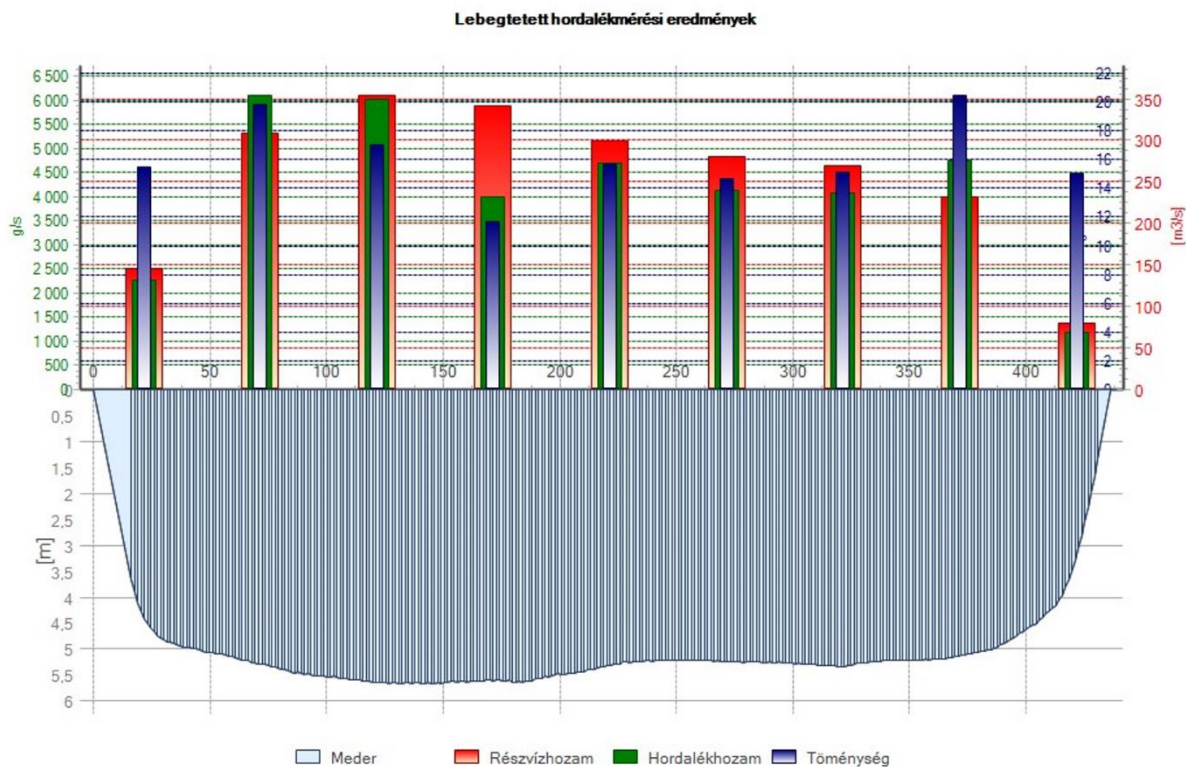
29. ábra: Mederanyag mintavevő harangja.



30. ábra: Mederanyagminta függélyenkénti tárolása.

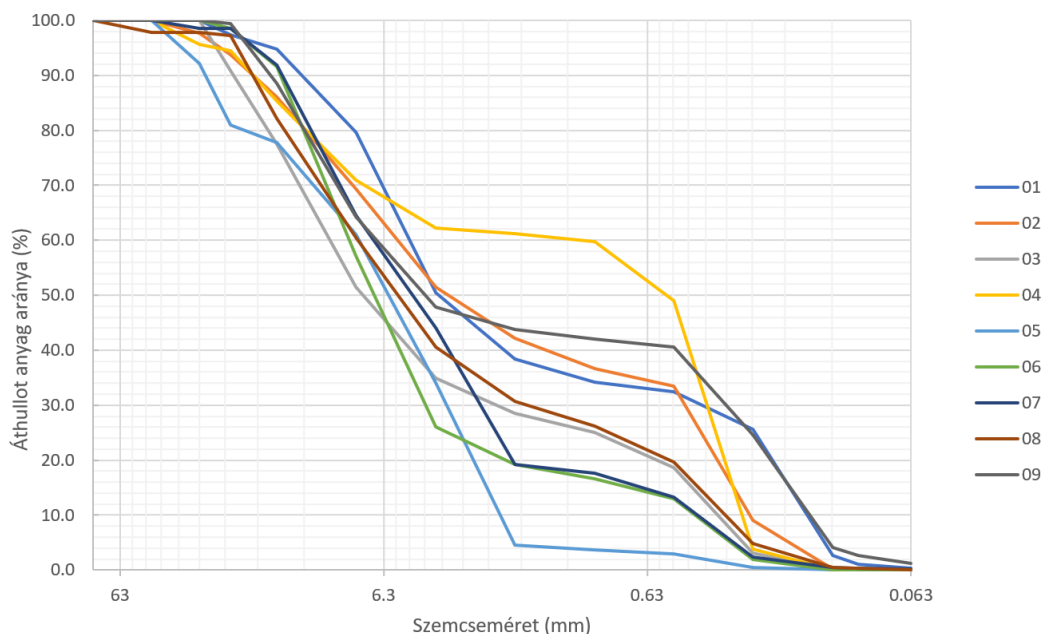
2.4.2.4. Hordalékhozam számítása

A laboreredmények ismeretében számítottuk a szelvény hordalékhozamát az ágazatban használatos HOZAM2 programmal, amely az ADCP átmenetekből (4 db) a program átlagszelvényt számol. A megadott függélyek környezetében (a szomszédos függélyek felezőpontjáig terjedő területen lévő mérési adatokból) függélyekben számított középsebességek, és az azokhoz tartozó részterületek szorzatából számítottuk a vízhozamokat. A lebegtetett hordalékhozamot a függélyek átlag koncentrációjának, és a részterületek vízhozamának szorzatösszege adta (31. ábra).

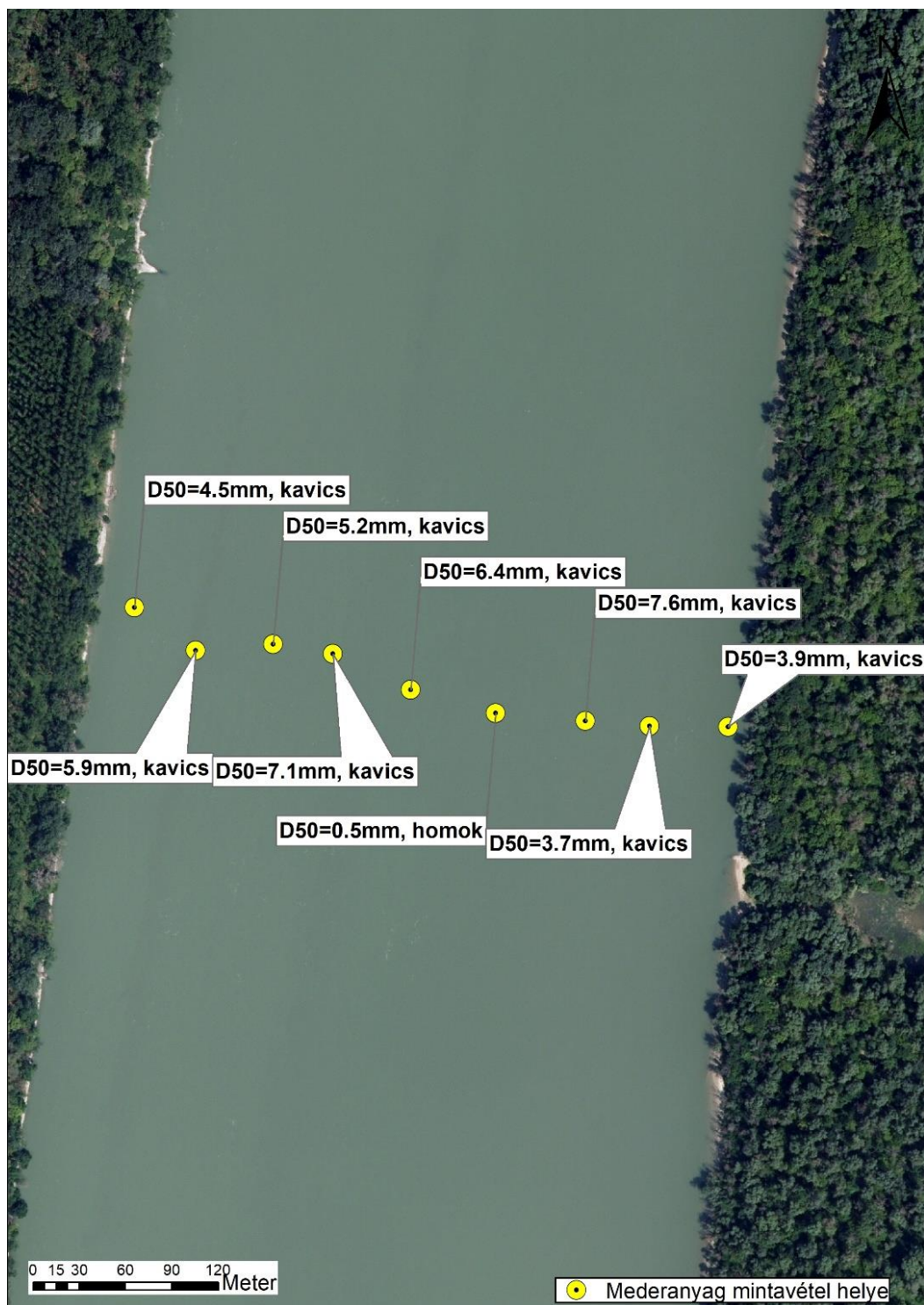


31. ábra: Lebegtetett hordalékmérés (részvízhozam, hordalékhozam, koncentráció/töménység) eredményei.

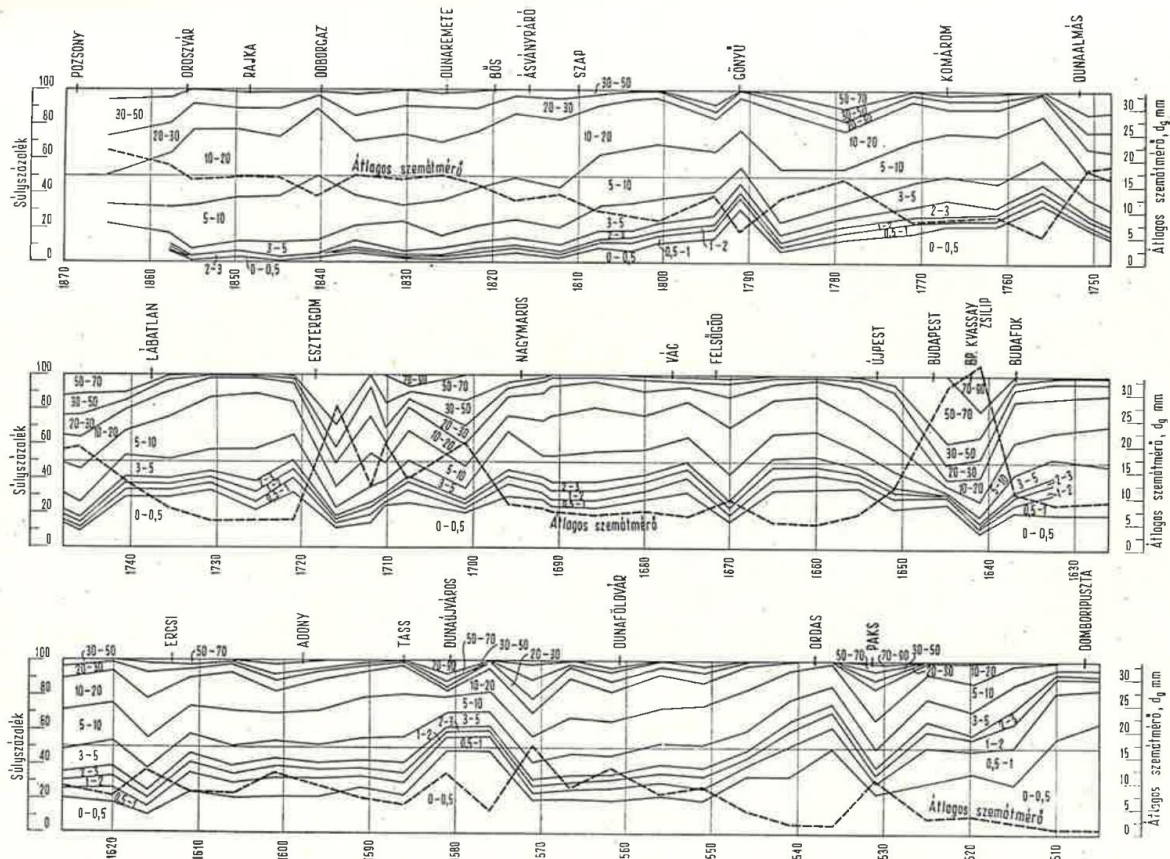
A mederanyag szítálásának laboratóriumi eredményét (szemcseméret eloszlás) a 32. ábra mutatja be, míg a 33. ábra a jellemző (d_{50}) szemcseméreteket a különböző függvényekben. A mérések hasonló eredményeket mutatnak Bogárdi (1971) által dokumentált szemeloszlási összetétellel (34 ábra), aki Dunaújváros közelében az átlagos szemátmérő értékére $\sim 7\text{-}8\text{mm}$ nagyságot adott.



32. ábra: A mederanyagminta mérés eredményének összefoglalása.

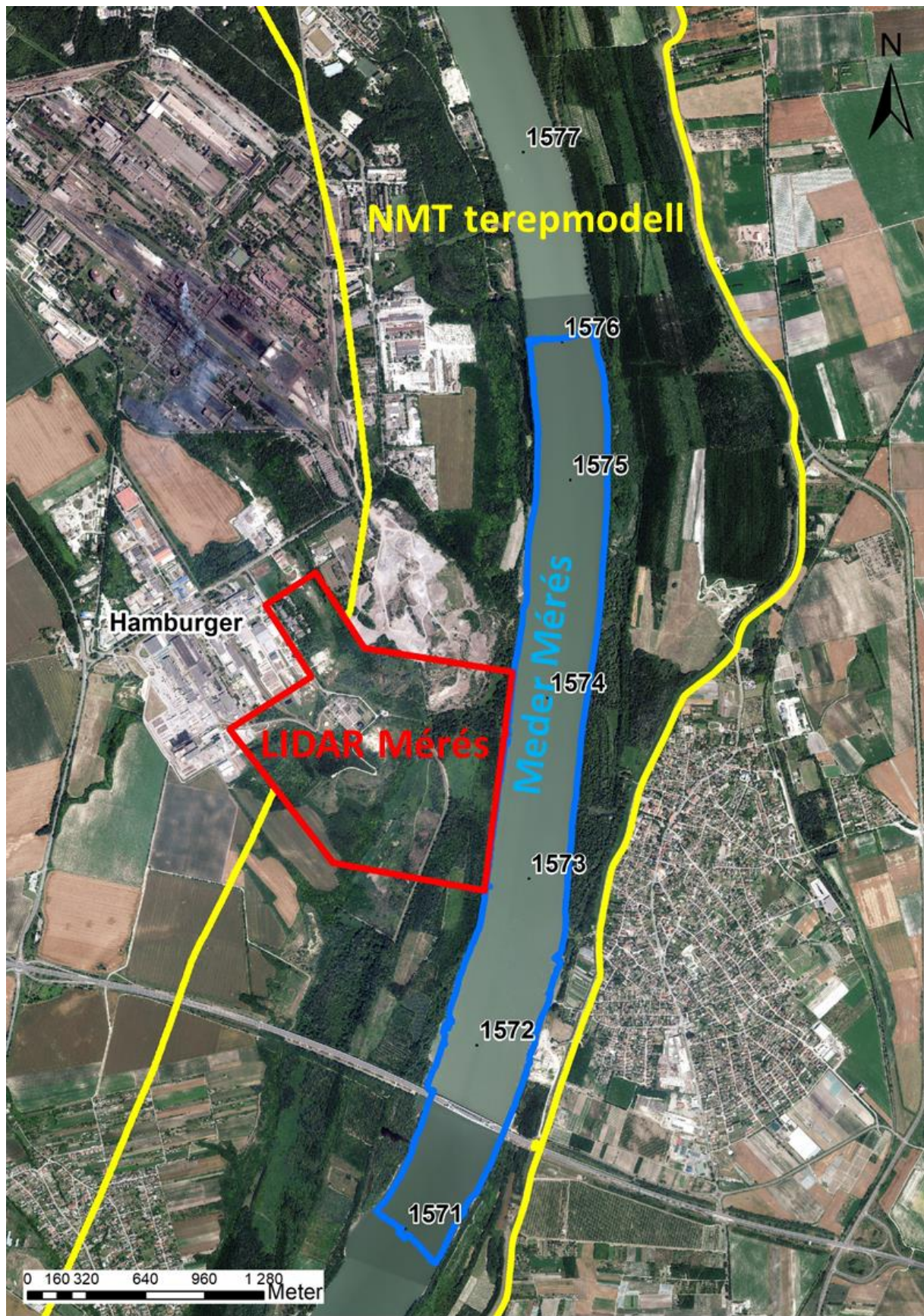


33. ábra: A jellemző (D50) szemcseméret a különböző függélyekben.

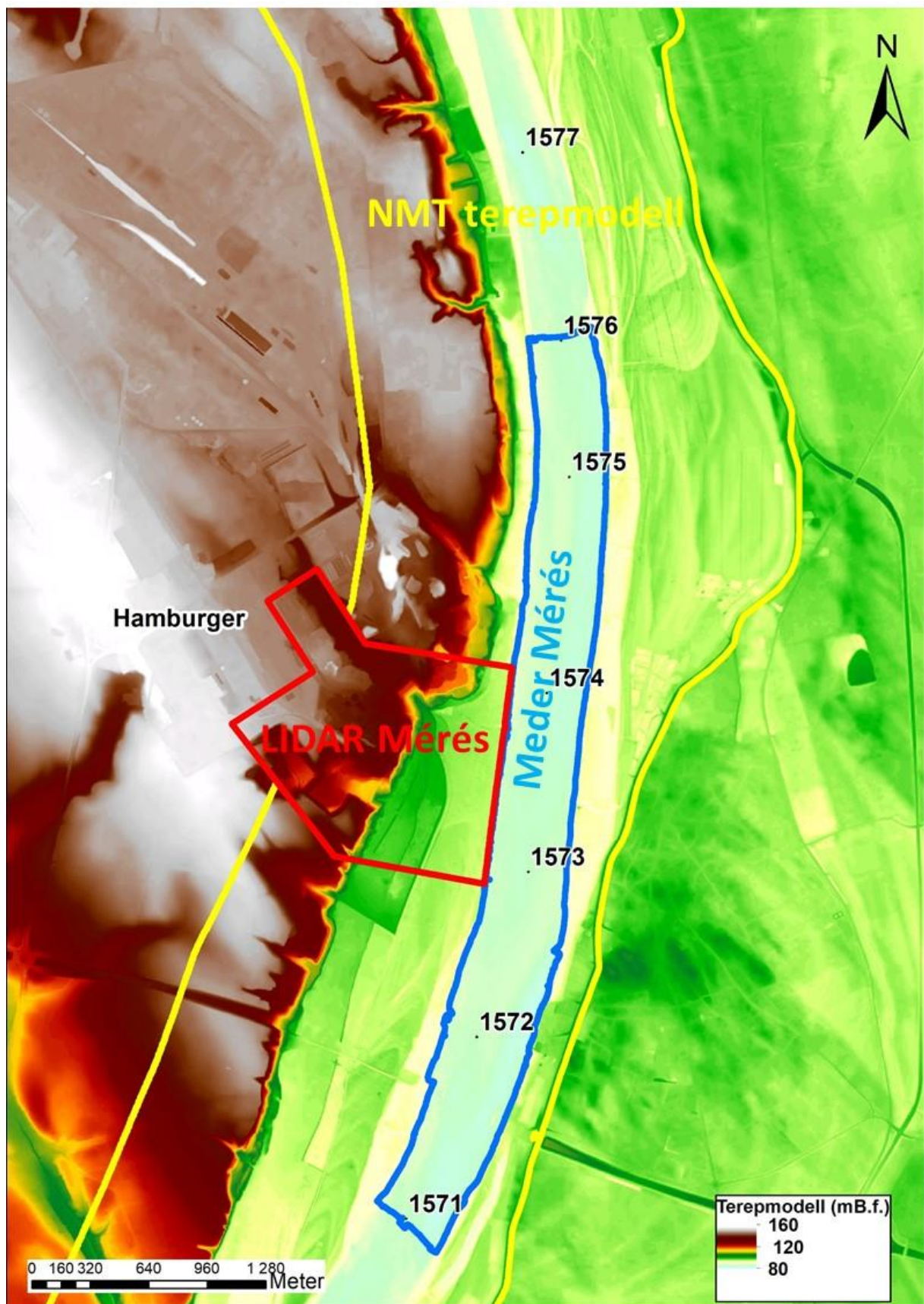


34. ábra: A Duna Pozsony-Dombori-pusztá közötti szakaszának szemösszetételi hossz-szelvénye (Bogárdi 1971).

A vizsgálat érdekében a teljes vizsgált ártérre előállítottuk a digitális terepmodellt, melynek gerincét az 1 571 és 1 576 fkm között készült meder mérések adják. A Multibeam által készített pontsereg és a parti mérések összedolgozásra kerültek, eredményül egy 0.5 méteres rasztert kaptunk. Ezt egészítettük ki a tervezési területre készült LIDAR mérésekkel, amelyek alkalmazott felbontása szintén 0.5 méteres. Megjegyezzük, mind a LIDARral, mind a Multibeammel lehetséges nagyobb felbontású terepmodellt előállítani, azonban a vizsgálatainkhoz elegendő volt a 0.5 méteres felbontás is. A hiányzó részeket az Nagyvízi Mederkezelési Terv (NMT) modelljében található, a nagyvízi mederre előállított 2 méteres felbontású terepadatokkal egészítettük ki, valamint az egész országra előálló pontatlanabb, 5 méteres raszterrel.



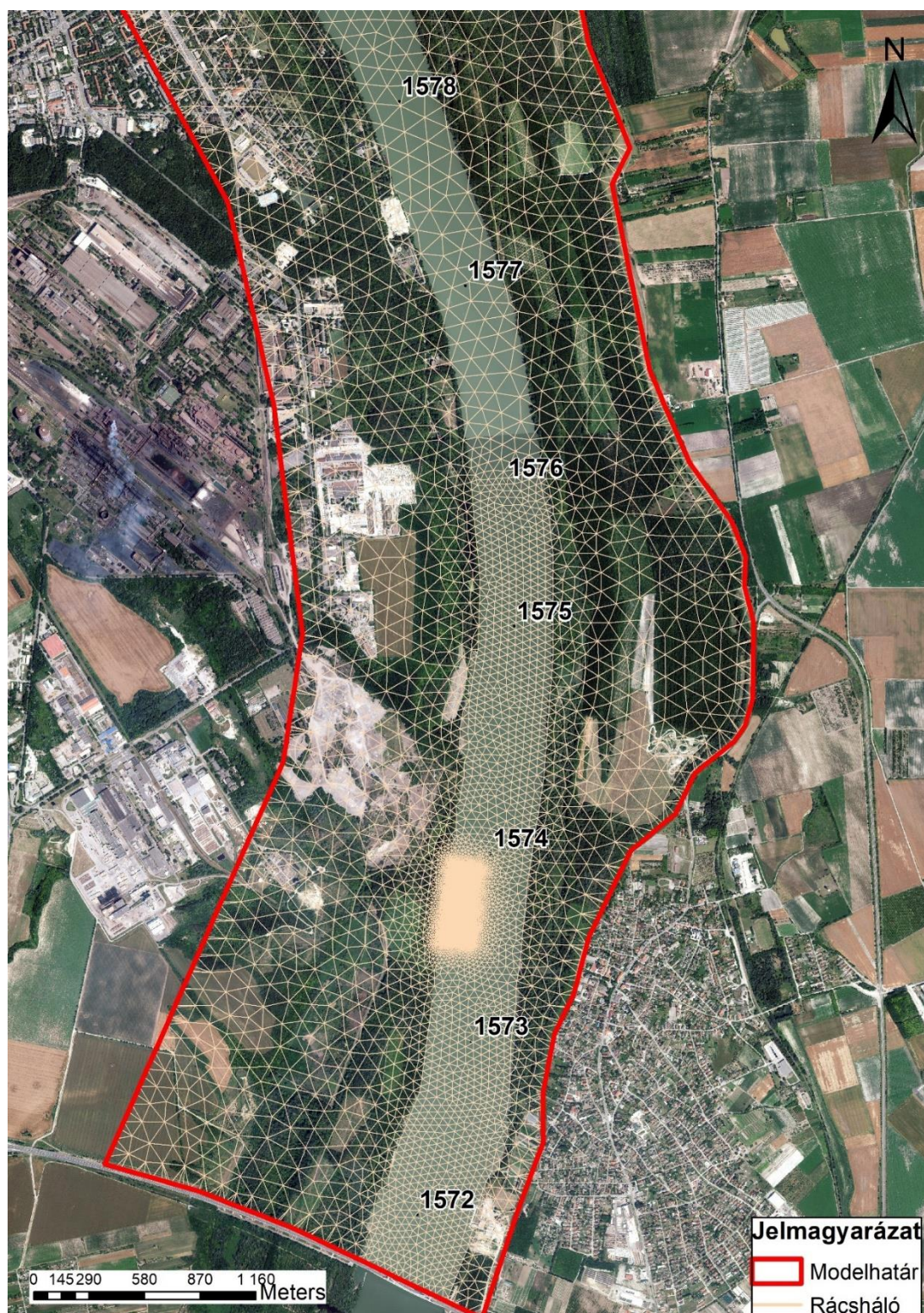
35. ábra: Különböző terepadatok lehatárolása az összesített terepmodell építéséhez.



36. ábra: A vizsgált területre elkészített terepmodell.

3. HÁROMDIMENZIÓS MODELL

Az érintett folyószakaszra egy háromdimenziós hidrodinamikai modellt készítettünk, mely az 1 579 fkm szelvénytől a Penteli-hídig tartott. A modell célja kizárólag a különböző vízhozamtartományokhoz tartozó sebességmezők előállítása volt, amellyel a mérési tapasztalatokat kiterjeszthetjük az egész éves vízjárásra.



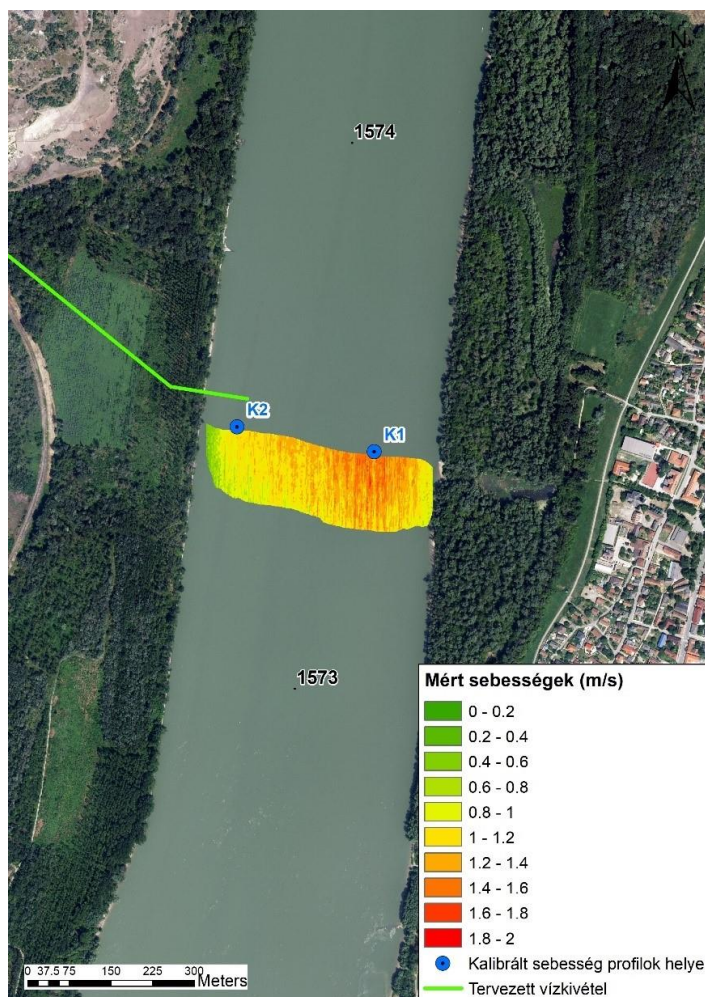
37. ábra: A háromdimenziós modell kiterjedése és az alkalmazott rácsháló, rásűrítve a Hamburger Hungária Kft. telephely környéki szakaszára.

A modellt a széles körben használt Telemac3D nevű szoftverrel készítettük. A Telemac3D egy nyílt forráskódú, szabadon hozzáférhető numerikus modellrendszer, amelyet a hidrodinamikai folyamatok háromdimenziós szimulációjára terveztek. A szoftver kifejezetten a folyadékáramlások, mint például folyók, tavak, tengerpartok és árterek, részletes modellezésére használatos. A Telemac3D segítségével modellezhetők az árapály, hullámozás, szennyezőanyagok terjedése, üledéktranszport és hőmérsékletváltozások is. A Telemac3D különösen hasznos a vízügyi tervezésben, kutatásban és környezeti hatásvizsgálatokban, ahol a víztestek mozgásáról és az azokkal kapcsolatos folyamatokról pontos előrejelzésekre van szükség.

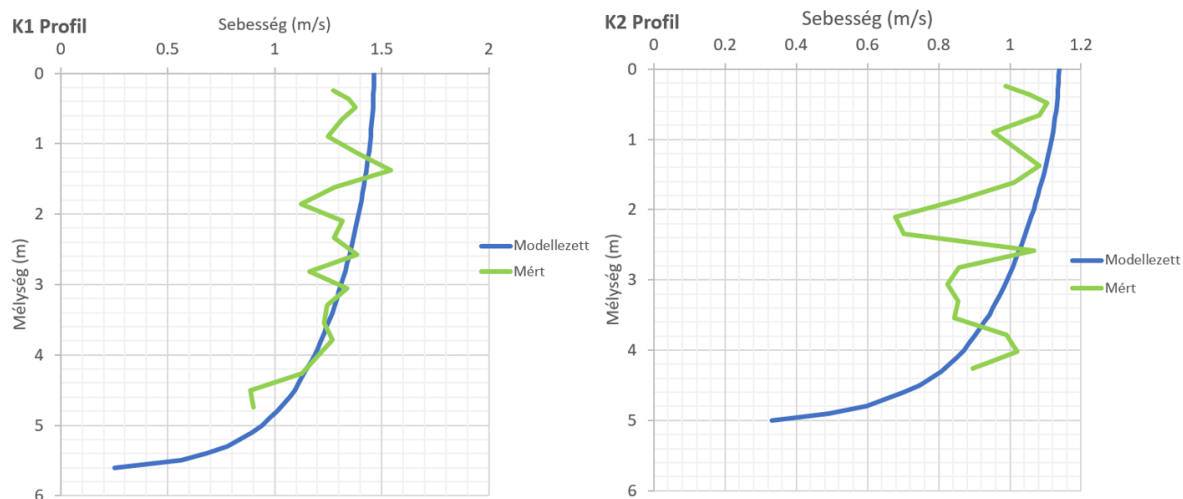
A Telemac-3D 2022 szoftver a *véges elemek módszert* (Finite Element Method, FEM) alkalmazza, amely különösen alkalmas bonyolult geometriai formájú, természetes környezetekben történő áramlások modellezésére. A megoldó a Navier-Stokes egyenleteken alapul, amelyek a folyadékok mozgását írják le. A program képes a kompresszibilis és nem kompresszibilis áramlások kezelésére is, ami lehetővé teszi a különféle hidrodinamikai jelenségek (pl. árapály, hullámozás) pontos modellezését.

A modell felső perem feltétele minden esetben vízhozamként definiáltuk kvázi permanens állapotban, értéke a dunaujvárosi vízmércén előforduló jellemző tartományokban adtuk meg. Az alsó perem vízszintként adtuk meg, amely értéket nagyságrendileg a Q-H görbék (vízhozam és vízállás összefüggés) alapján becsültük.

A modell a 2024 júliusi mérések alapján kalibráltuk. A peremfeltételek közelsége miatt a vízszintek nem voltak kalibrálhatók, mert a peremhatás nem volt elhanyagolható. Ezért kizárólag a sebességprofilok kalibrációját végeztük el, a két kalibrált sebességprofil helyét a 38. ábra mutatja, a kalibrált profilokat pedig a 39. ábra szemlélteti.

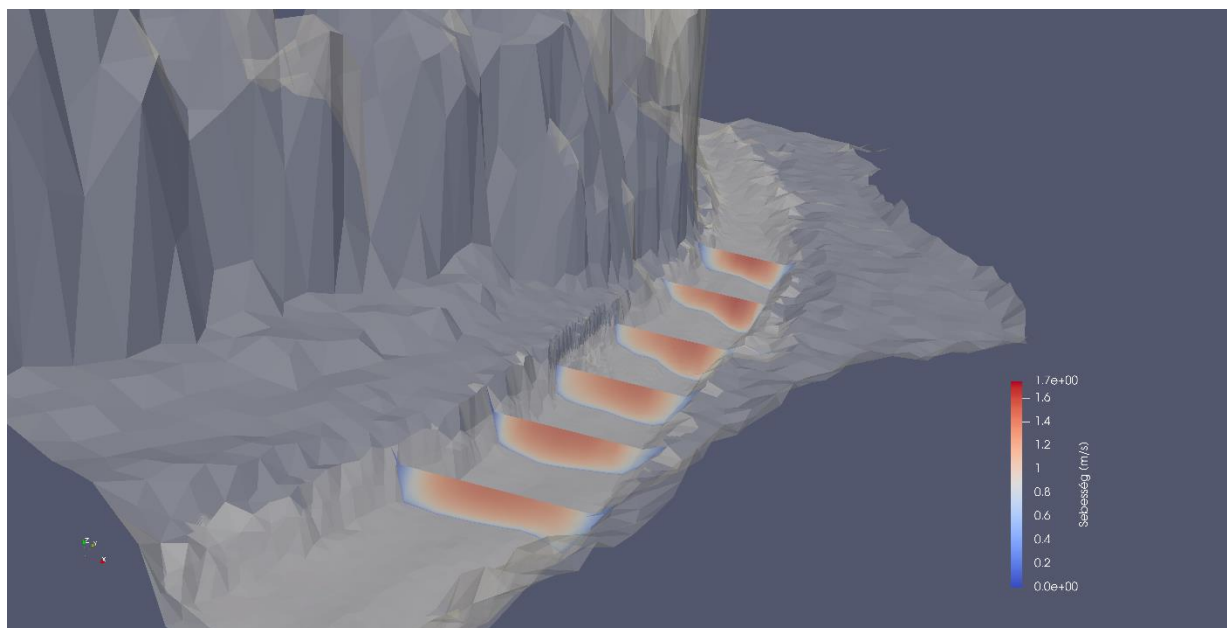


38. ábra: A háromdimenziós hidrodinamikai modellben kalibrált sebesség függvények helye.



39. ábra: Kalibrált sebességprofilok.

A kalibrált állapotról mutat egy részletet a 40. ábra. A különböző vízhozamhoz tartozó szelvény menti sebességeloszlásokat és a fenékcúszató sebességeket a dokumentum végén lévő I-II-III. függelékek tartalmazzák., ahol a különböző keresztaszelvényekben lekért sebességeloszlások láthatók.



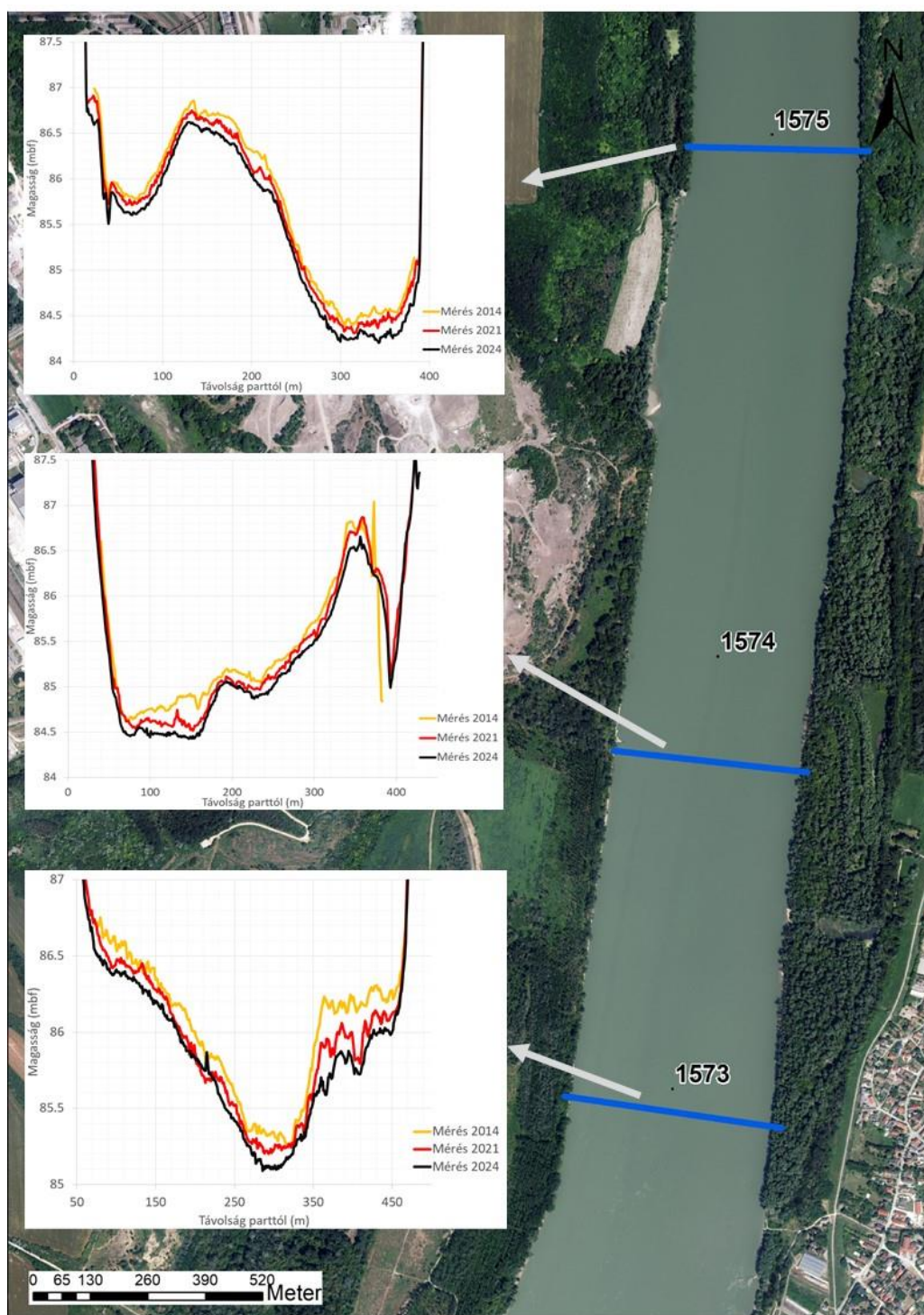
40. ábra: A háromdimenziós modell kalibrált állapotában előállított sebességeloszlások hat jellemző szelvényben.

A különböző vízhozamhoz tartozó szelvény menti sebességeloszlásokat és a fenékcúszató sebességeket a dokumentum végén lévő I-II-III. függelékek tartalmazzák.

4. MEDERVÁLTOZÁS ÉRTÉKELÉSE

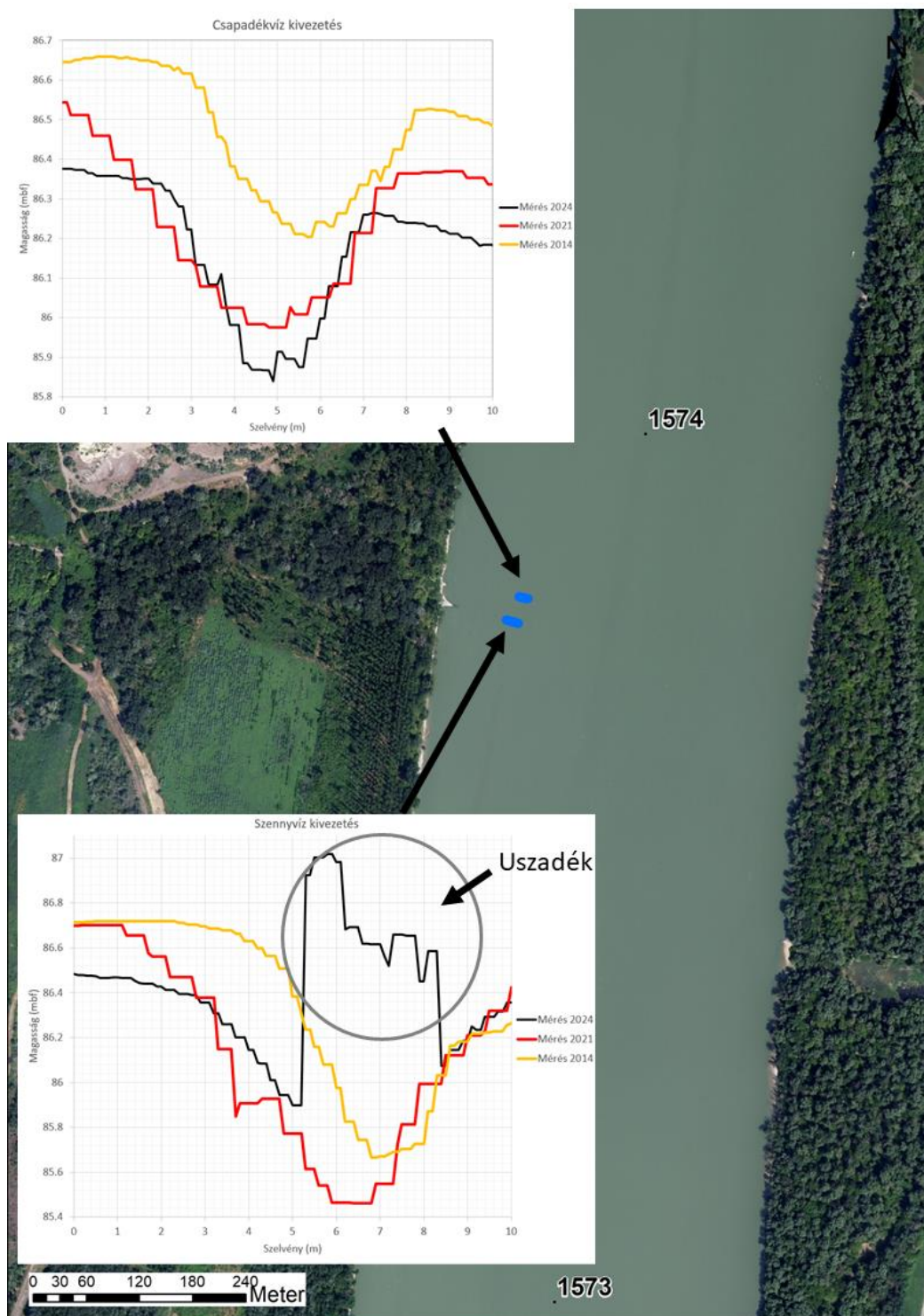
4.1. Korábbi medermérések és a jelen állapot összehasonlítása

A mederváltozás nyomonkövetésének érdekében összehasonlítottuk a 2014-ben és 2021-ben mért méréseket a vizsgálatához elkészített terepmérésekkel (2024). Az összehasonlítás pontosságát nagymértékben javította, hogy a korábbi mérések ugyanazon mérési technikával készültek, így a mérési technikák különbségéből adódó eltérés nem befolyásolta a mederváltozással kapcsolatos megállapításokat. A mérések három jellemző szelvényben való összehasonlítását a 41. ábra mutatja.



41. ábra: Korábbi mérések és jelen állapoti mérés összehasonlítása a vizsgált szakasz környezetében három jellemző szelvényben

A 41. ábra alapján elmondható, hogy a meder egy folyamatos trendszerű csökkenést mutat az egész szelvényben annak ellenére, hogy az érintett időszakban jelentős árhullám nem vonult le a Dunán. Ebből következik, hogy a mederszelvényben sehol sem alakul ki jelentős mederpáncélozódás, amely csak nagyobb vízhozamok esetén lazulna fel, ezért a trendszerű medersüllyedés várhatóan nagyobb árvizek nélkül is folytatódik a jövőben. A mederpáncélozódás hiányát erősítik a medermérések is, ugyanis a mederpáncélozódás egyik fő indikátora a mederben lévő homok frakciók hiánya (Török 2018), azonban a laborvizsgálatok minden pontban jelentős homokmennyiséget is mutattak.



42. ábra: Korábbi mérések és jelen állapoti mérés összehasonlítása a szennyvíz- és csapadékvíz kivezetéseknél.

Vizsgáltuk a terep változását a csapadék- és szennyvízkivezetések környezetében is. A két kivezetésnél készített ~10 méter hosszú szelvény (42. ábra) hasonló trendszerű csökkenést mutatott, mint ami az egész szelvényben tapasztalható volt, azaz körülbelül 20-30 centimétert változott a 10 év alatt. A szennyvízkivezetésnél a mostani mérésekben egy nagyobb kiugrás jelentkezett, ezt a vélhetően mérési hibát a 2021 évi búvár jelentés alapján a felgyülemlett uszadék okozhatta.

A három különböző idejű terepmodell Pentele-híd és 1576 fkm közötti összehasonlítását a 43. ábra mutatja. Az 1 572 és 1 573 fkm szelvények között kirajzolódik egy lokális feltöltődés a bal parton, azonban ez a tervezett vízkivétel alatt helyezkedik el, ezért várhatóan nem befolyásolja azt. Az 1 573 és 1 576 fkm közötti szakaszon a süllyedés homogénen jelentkezik végig a szakaszon.



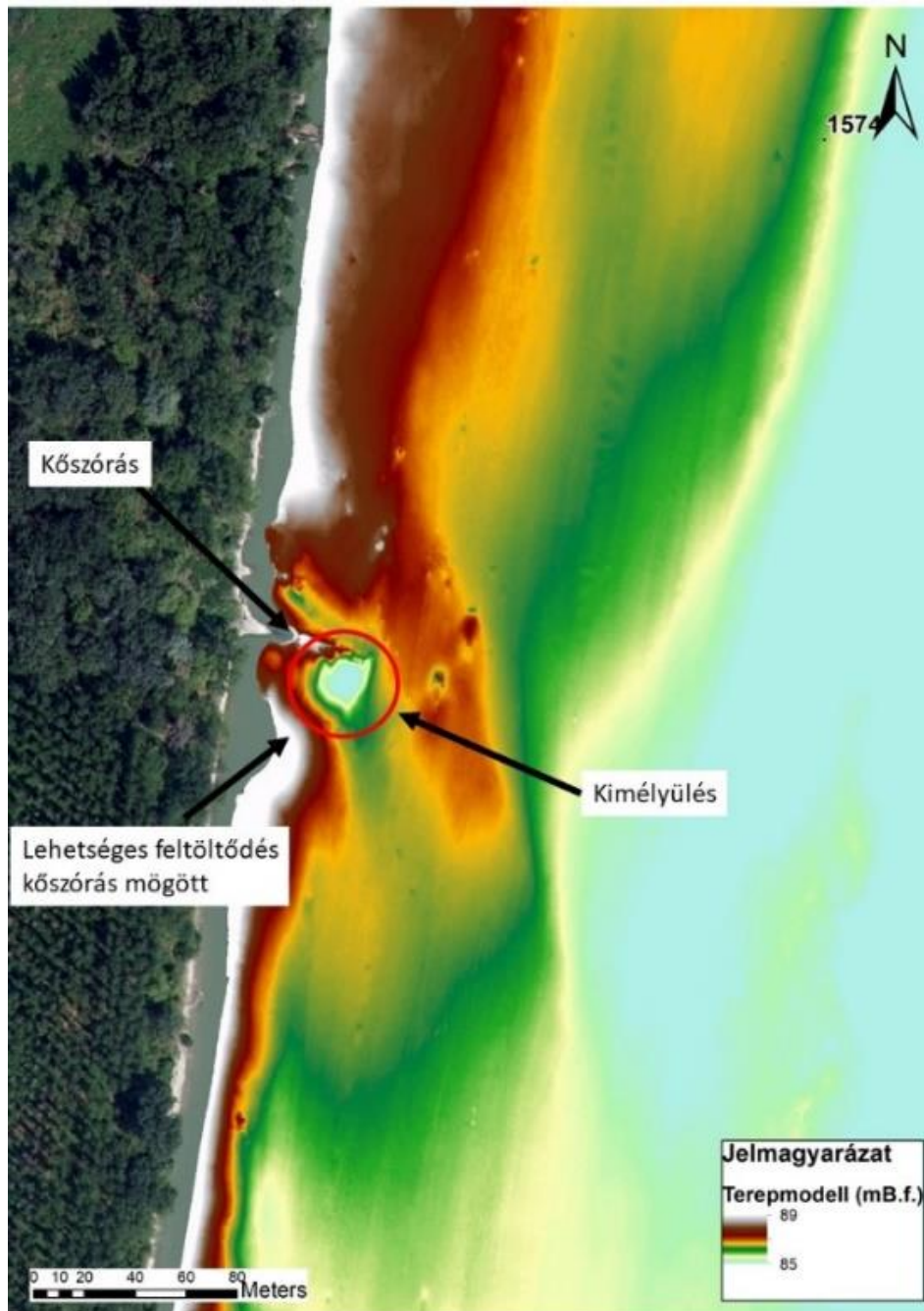
43. ábra: A meder változása 2014, 2021 és 2024-es (jelen) mérések alapján

A különbségtérképek alapján a 2014-2024 közötti időszakban az 1 573 és 1 574 közötti szelvények között 79.3 ezer m³ meder anyag hagyta el a területet, ez évente körülbelül 21 ezer tonnás hordalékhozamot jelent. Ez nagyságrendileg összhangban van a *DanubeSediment* nevű *Interreg*-es (2020) projekt megállapításával, mely szerint 8 éves időtávra az 1 573 szelvényben körülbelül 100 ezer m³ eróziót adtak meg. A különbségtérképek értékeit integrálva a szakaszra kiderül, hogy az átlagos mélyülés az egész területen 2 cm/év sebességgel történik.

Időszak	Mederváltozás az 1573 és 1574 szelvények között			
	Térfogat (ezer m ³)	Mederhozam (ezer tonna/év)	Átlagos szelvényterület változás (m ² /év)	Átlagos szelvény mélyülés (cm/év)
2014-2021 között	-34.3	-13.0	-4.9	-1.3
2021-2024 között	-52.1	-46.1	-17.4	-4.5
2014-2024 között	-79.4	-21.0	-7.9	-2.0

4.2. Görgetett hordalék várható változásai

A görgetett hordalék és a mederváltozás pontosabb megértése érdekében vizsgáltuk a korábban kiépített szennyvízkivezetés környezetében a meder geometriáját (44. ábra).



44. ábra: A meder terepmodellje a szennyvízkivezetés közelében.

A kőszórás végénél kialakult kimélyülés és a mögötte lévő lokális feltöltődés alapján a tapasztalatok azt mutatják, hogy a szennyvízbevezetés feletti kőszórás hatását egy *sarkantyú* hatásához lehet hasonlítani.

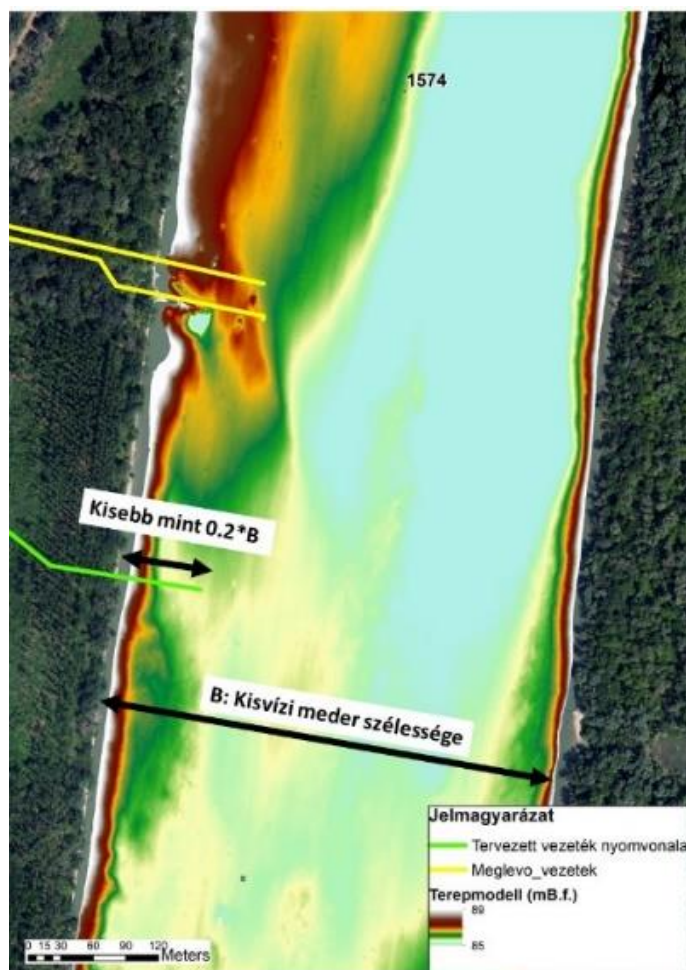
Mintaként egy sarkantyúkról készült légifényképet, mutatunk be.



45. ábra: Sarkantyúk a Duna medrében kisvíz esetén.

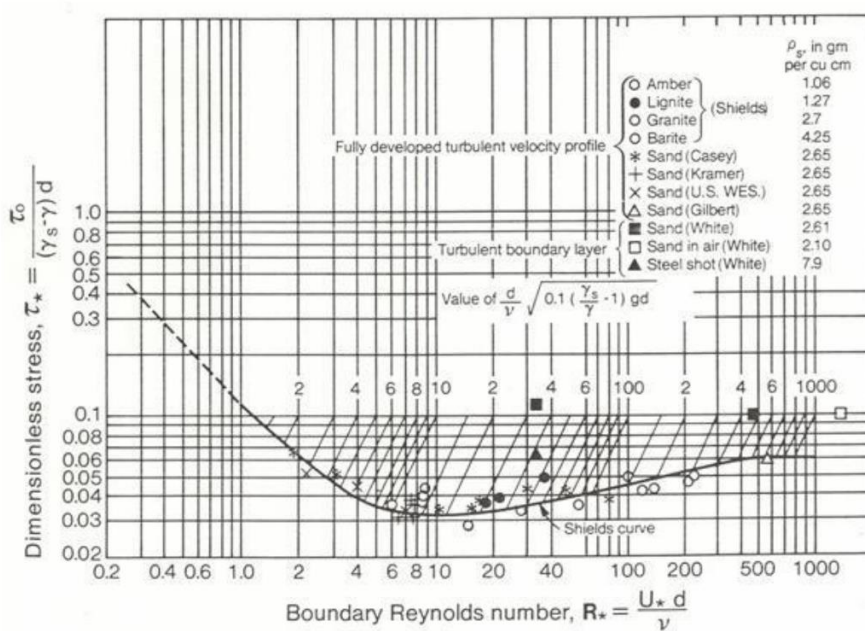
Szakmai tapasztalatok alapján ismeretes, hogy magas sarkantyúk sok helyen medermélyülést okoznak. A sarkantyú hatása az áramlásra annál erősebb minél jobban a *gerincmagassága* megközelíti a nagyvizek vízszintjét. Esetünkben a tervezett vízkivétel kőszórás takarása várhatóan nem közelíti meg még a kisvízi vízfelszint sem, ezért a „sarkantyúhatás” kisebb lesz, és következésképpen csak korlátozott mederváltozások várhatók. Ugyanakkor, a *sarkantyúfej* a meder sodorvonal felőli részének kialakításánál figyelembe kell venni, hogy meredek részsű esetén a fejnél kimélyülés keletkezhet. Ez pedig a takarás fejrészének állékonyságát esetleg veszélyeztetheti. Ezért minél laposabb részsű kialakításra kell törekedni a kőszórásos takarás fejrészének kialakításakor.

Mivel a tervezett vezeték várhatóan a meder szélességének közel 20 százalékába benyúlik (46. ábra), ezért szükséges vizsgálni annak a görgetett hordalékra gyakorolt hatását. A görgetett hordalék általában a fenéken gördülve, csúszva vagy ugrálva mozog. A hordalék akkor kerül mozgásba, ha a folyó áramlásának köszönhetően a ráható erők nagyobbak, mint a mozgás ellenében működő erők. Általában a mozgásának iránya párhuzamos a folyási irányával. A hordalék szemcsék a valóságban nem egyszerre indulnak meg, ugyanis az ellenállásuk különböző. Teljes hordalékmozgásról akkor beszélhetünk, amikor a legnagyobb szemek is mozgásba jönnek (Bogárdi 1971).



46. ábra: Meglévő és tervezett vezetékek elhelyezkedése a mederben,

A széleskörben használt Shields diagram szerint a részecskék akkor jönnek mozgásba, ha a Részecske Reynolds számuk (R^*) és a Shields paraméter (τ^*) hányadosa a Shields diagram (47. ábra) görbéje felett helyezkedik el.



47. ábra: Shields diagramm (Török 2018).

A Shields paraméter értéke: $\tau_c^* = \tau_c / ((\gamma_s - \gamma)D)$, a Részecske Reynolds szám értéke: $Re^* = u_* D / \nu$, ahol:

- τ_c : Kritikus fenékcúsztató-feszültség, másnéven az a fenékcúsztató-feszültség, amelynél az adott részecske mozgásba jön
- γ_s, γ : A hordalék és a víz fajsúlya
- D : az adott szemátmérő
- u_* : Fenékcúsztató sebesség (értéke a háromdimenziós modellből származott)
- ν : kinematikai viszkozitás

A képletek megoldásával kiolvasható az adott pontra és részecskére vonatkozó kritikus fenékcúsztató-feszültség, amely értéket összehasonlítva az áramlás okozta fenékcúsztató-feszültséggel ($\tau = u_*^2 \rho_{\text{víz}}$) eldönthető, hogy milyen állapotban indul meg a hordalékmozgás (Deltares 2014).

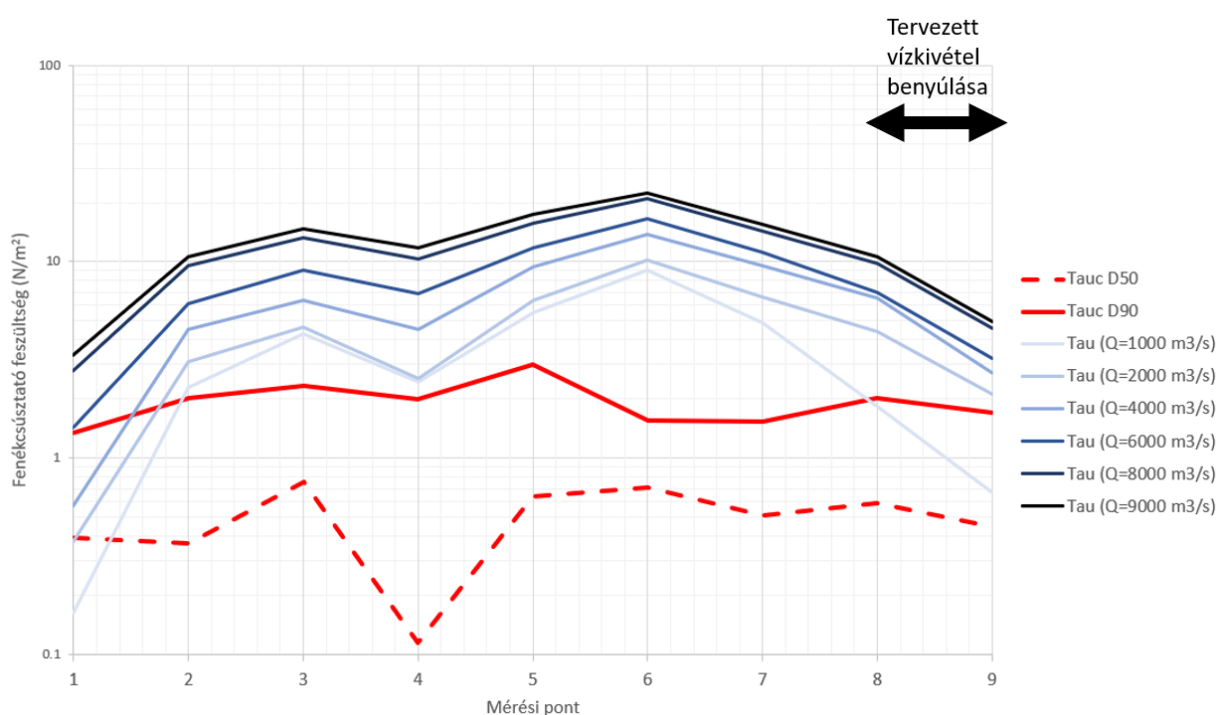
A vizsgálatokat a tervezett vízkivételhez közeli szelvényben végeztünk el a mederanyagminta mérések pontjaiban, a mérések és a háromdimenziós modellezés eredményeként előálló sebességprofilok alapján (48. ábra).



48. ábra: A fenékcúsztató feszültségek megállapításához használt mérési pontok.

Célunk volt meghatározni, hogy a szelvény adott pontjaiban mekkora vízhozamnál várható, hogy az átlagos szemcseméretrehoz tartozó (D50) mederanyag megindul-e görgetett hordalék formájában, valamint mikor várható a teljes mederanyag (közelítve D90) megindulása. Az eredmények részletezése a dokumentum végén a IV-V. függelékben található.

A számítások eredményeit a 49. ábra foglalja össze, amelyen a mérési pontokhoz tartozó kritikus fenékcúsztató-feszültségeket hasonlítottuk össze a különböző vízhozamértékekhez tartozó fenékcúsztató-feszültségekkel. Az ábrán látható, hogy a bal part (1-2 mérési pontok) közelében 1000-2000 m³/s vízhozam között nem várható jelentős medermozgás, ugyanis az 1. mérési pontban még az átlagos szemcseméretrehoz tartozó fenékcúsztató-feszültséget sem éri el az áramlás ereje. A hajózási útban (3-5 pontok) egész évben várható intenzív medervándorlás, emellett a jobb part (8-9 mérési pontok) közelében is tapasztalható, hogy a görgetett hordalék vándorlás az év nagy részében intenzív. A mederből kiemelkedő kőszórás ahogyan a sebesség irányát, úgy a görgetett hordalékhozam irányát is befolyásolja, de a görgetett hordalék-rezsim a szakaszon várhatóan nem változik.



49. ábra: A kritikus fenékcúsztató-feszültségek (piros vonalak) és a különböző vízhozamokhoz tartozó fenékcúsztató-feszültségek (kék vonalak) a mérési pontokban.

5. A LEBEGTETETT HORDALÉK ÉS TERVEZETT VÍZKIVÉTEL KAPCSOLATA

A lebegtetett hordalékmérések eredményeiként megkaptuk, hogy mekkora a hordalékhozam egy közel 2300 m³/s-os vízhozam esetén, és ez hogyan oszlik meg a szelvény mentén. A mérési eredmények extrapolálásával és az irodalomban használt összefüggések alapján egy közelítő becslést lehet adni, hogy a vízkivétel rendszerébe mekkora a hordaléktöménység várható éves eloszlásban.

Pomázi (2024) becslést adott a lebegtetett hordalékhozam (SSL) értékére a vízhozam függvényében, a magyarországi Duna középső részére az alábbi összefüggést javasolta:

$$SSL = 4.6461e^{0.0010Q}$$

A képlet 2300 m³/s-os vízhozam esetén 46.3 kg/s lebegtetett hordalékhozamot adott eredményül, a mért 37.2 kg/s-os hordalékhozamnál 9.1 kg/s-mal többet. Mivel nagyságrendileg a két érték megegyezik, ezért elfoghatónak találtuk az összefüggést a nagyobb vízhozamtartományokhoz tartozó hordalékhozam becslésére. Megjegyezzük, Bogárdi 1971-ben alacsonyabb vízállás esetén hasonló becslést adott a vízállás-hordalékhozam kapcsolatára (10. ábra), magasabb vízállások esetén azonban a két összefüggés némileg eltér. Ennek egyik lehetséges oka, hogy Bogárdi kevesebb mintával rendelkezett magasabb vízállások esetén.

A képlet (Pomázi) segítségével becsültük a szelvény hordalékhozamát a különböző vízhozam tartományokra, majd szétszöttük a mérési pontokban a mérésnél tapasztalt arányokban. Az így kapott hordalékhozamokat a 4. táblázat mutatja.

4. táblázat: A hordalékhozam a teljes szelvényben és a mérési pontokra (m.p.) szétszétva különböző vízhozamok esetén

	Vízhozam (m ³ /s)	SSL, hordalékhozam (kg/s)									
		Teljes szelvény	1. m.p.	2. m.p.	3. m.p.	4. m.p.	5. m.p.	6. m.p.	7. m.p.	8. m.p.	9. m.p.
Mért	2300	37.2	2.3	6.1	6.0	4.0	4.7	4.1	4.1	4.7	1.2
Képlet (Pomázi)	1000	12.6	0.8	2.1	2.0	1.4	1.6	1.4	1.4	1.6	0.4
Képlet (Pomázi)	2000	34.3	2.1	5.6	5.6	3.7	4.3	3.8	3.7	4.4	1.1
Képlet (Pomázi)	2300	46.3	2.8	7.6	7.5	5.0	5.8	5.1	5.1	5.9	1.5
Képlet (Pomázi)	4000	254	15	42	41	27	32	28	28	32	8
Képlet (Pomázi)	6000	1874	114	308	304	201	237	208	205	238	60
Képlet (Pomázi)	8000	13850	842	2273	2243	1489	1748	1537	1511	1762	445
Képlet (Pomázi)	9000	37648	2289	6178	6097	4046	4751	4178	4109	4790	1209

Ezután a mérési pont környezetéhez tartozó vízhozammal elosztottuk a hordalékhozamot megkapva a mérési pont függélyének mélységátlagolt koncentrációját (31. ábra).

Egy függvényében a hordalék koncentráció (SSC) eloszlása a Rouse-egyenlet alapján számolható ki (Pomázi 2024): $SSC(y)/SSC_a = [(h-y)a/y(h-a)]^{Z_R}$, ahol:

- $SSC(y)$: y magasságban a hordalék koncentráció
- a: Referencia magasság, közelíthető a vízmélység 1%-val
- SSC_a : Koncentráció a referencia magasságban, azaz a mederközeli koncentráció
- h: Vízmélység
- Z_R : Rouse-féle szám, $Z_R = w/\kappa u_*$
- w: Lebegtetett hordalékszemesék ülepedési sebesség
- κ : Kármán-féle állandó, $\kappa = 0.4$
- u_* : Fenékcúsúszató-sebesség

A képlet segítségével különböző vízhozamokra meghatároztuk a lebegtetett hordalék koncentrációját a mederfenék közelében (SSC_a) a vízkivételnél (8. mérési pont). Az eredmények alapján a vízkivételen keresztül a rendszerbe az év legnagyobb részében 30-100 g/m³ hordalékkoncentrációjú víz érkezik, azonban nagyobb árvizek esetén ez az érték akár 3000-5000 g/m³-ra is nőhet (5. táblázat).

A hordalékkoncentrációt (SSC_a vízkivétel) megszorozva a vízkivétel 0.7 m³/s üzemi vízhozamával megkaptuk a vízkivétel hordalékhozamát (SSL vízkivétel). Összehasonlítva a Duna adott vízhozamhoz tartozó hordalékhozamával (SSL Duna) látható, hogy a vízkivétel által kivett lebegtetett hordalékmennyiség több nagyságrenddel kisebb a Duna hordalékhozamánál, hatása ezért elhanyagolható.

A lebegtetett hordalékhozam számításához tartozó részeredmények a dokumentum végén a IV-V. függelékben megtalálható.

5. táblázat: A lebegtetett hordalékkoncentrációk és hordalékhozamok különböző vízhozamok esetén

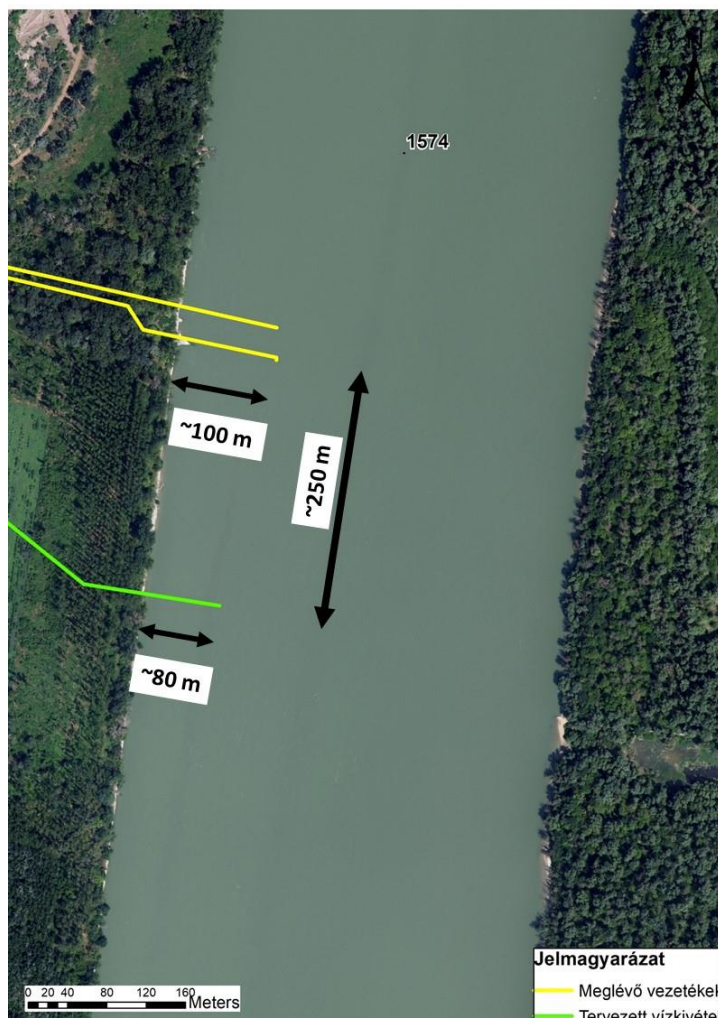
Vízhozam (Q m ³ /s)	Tartósság	SSC _a vízkivétel (g/m ³)*	SSL vízkivétel (kg/s)**	SSL Duna (kg/s)
1000	Évi 361 nap	31	0.02	12.6
2000	Évi 191 nap	29	0.02	34.3
4000	Évi 19 nap	102	0.07	253.7
6000	Évi 1-2 nap	529	0.37	1874.4
8000	3 évente	3039	2.13	13849.8
9000	Rendkívüli	7374	5.16	37647.7

*: Lebegtetett hordalék koncentrációja

**: Lebegtetett hordalék hozama

6. A SZENNYVÍZKIVEZETÉS HATÁSA A VÍZKIVÉTELRE

A tervezett vízkivétel tervezői megfontolások alapján a szennyvízkivezetés alatt körülbelül 250 méterrel található (50. ábra). Mivel a kivezetés jelentős mennyiségű szennyvizet vezet ki, szükséges volt vizsgálni a várható vízminőséget a vízkivétel közelében.



50. ábra: A tervezett vízkivétel és a meglévő vezetékek egymáshoz képesti elhelyezkedése

Az itt bevezetett tisztított szennyvíz minőségét és mennyiségét összesen 4 ipari telephely együttes vízhozama adja, melynek jellemző értékeit az alábbi táblázat mutatja.

6. táblázat: Az összesített szennyvíz koncentrációjának meghatározása a különböző minőségi elemekre

Kibocsátó	Mennyiség		Minőség					
			KOI	BOI	Összes szervesetlen nitrogén	Összes foszfor	AOX	Összes lebegőanyag
	m ³ /h	m ³ /s	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Hamburger Hungária Kft.	650	0.181	685	50	10	2	1.643	200
DUNAPACK Kft.	2.8	0.00078	7500	4000	30	6.5	1.4	3500
DUNACELL Kft.	0.4	0.00011	4000	1500	30	6.5	7.1	1500
DUNAFIN Kft.	2.3	0.00064	3000	1500	10	2	2.1	1400
Súlyozott átlag:	-	-	724.3	72.8	10.1	2.02	1.65	219.1

A folyó egy adott pontjában a szennyvíz elkeveredésének következtében várható többlet koncentráció az alábbi képlet segítségével számolható (Somlyódy 2018):

$$C(x, y) = \frac{C_{szv} \cdot Q_{szv}}{2h\sqrt{u \cdot D_y \cdot \pi \cdot x}} \cdot \left(\exp\left(-\frac{u \cdot (y - y_{szv})^2}{4D_y \cdot x}\right) + \exp\left(-\frac{u \cdot (y + y_{szv})^2}{4D_y \cdot x}\right) \right)$$

ahol:

- $C(x, y)$: A többlet koncentráció
- x : A szennyvízbevezetéstől a folyó sodorvonalával párhuzamosan mért távolság
- y : A jobb parttól a folyó keresztmetszetével párhuzamosan mért távolság
- y_{szv} : Szennyvízbevezetés távolsága a jobb parttól $y_{szv} \approx 100\text{m}$
- Q_{szv}, C_{szv} : A beengedett szennyvíz vízhozama és a benne lévő szennyezőanyag koncentrációja
- u : x tengely irányú szelvény-középsébség
- h : Vízmélység
- D_y : Keresztirányú diszperziós tényező, $D_y = d_y \cdot u^* \cdot R$
- d_y : dimenziótlan diszperziós tényező, Somlyódy (1985) a Duna középső szakaszára 0.15 értéket adott legkedvezőtlenebb esetben
- R : Hidraulikus sugár
- u^* : fenékcúszató sebesség

A képlet alapvetően kétdimenzióban számol, azonban a mélység menti elkeveredés (Első elkeveredési távolság) várhatóan bekövetkezik a vízmélység*12 távolságban, ami egy nagyobb árvíz esetén is kisebb, mint a szennyvíz kivezetés és a vízkivétel közötti 250 méteres távolság. Ennél fogva a kétdimenziós közelítés megengedett. A számítások alapján készített szennyvízcsóva terjedésre mutat egy példát az alábbi 51. ábra:

		Tervezett vízkivétel szelvénye																		
Parttól mért távolság	Távolság a kibocsátástól a folyó irányában	Még nincs teljes mély: Még nincs																		
		0 m	25 m	50 m	75 m	100 m	125 m	150 m	175 m	200 m	225 m	250 m	275 m	300 m	325 m	350 m	375 m	400 m	425 m	450 m
75.00	-----		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.004	0.006	0.008	0.010	0.013	0.017
80.00	-----		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.004	0.007	0.012	0.018	0.025	0.033	0.042	0.051	0.061	0.071	0.081
85.00	-----		0.000	0.000	0.000	0.002	0.009	0.021	0.038	0.058	0.081	0.105	0.130	0.154	0.177	0.199	0.220	0.240	0.258	0.275
90.00	-----		0.000	0.007	0.049	0.122	0.204	0.283	0.353	0.413	0.463	0.505	0.540	0.568	0.592	0.611	0.626	0.639	0.649	0.657
95.00	-----		0.243	0.825	1.137	1.278	1.337	1.355	1.352	1.338	1.317	1.294	1.269	1.245	1.220	1.196	1.173	1.151	1.129	1.109
100.00	-----		5.599	3.959	3.233	2.799	2.504	2.286	2.116	1.979	1.866	1.771	1.688	1.616	1.553	1.496	1.446	1.400	1.358	1.320
105.00	-----		0.243	0.825	1.137	1.278	1.337	1.355	1.352	1.338	1.317	1.294	1.269	1.245	1.220	1.196	1.173	1.151	1.129	1.109
110.00	-----		0.000	0.007	0.049	0.122	0.204	0.283	0.353	0.413	0.463	0.505	0.540	0.568	0.592	0.611	0.626	0.639	0.649	0.657
115.00	-----		0.000	0.000	0.000	0.002	0.009	0.021	0.038	0.058	0.081	0.105	0.130	0.154	0.177	0.199	0.220	0.240	0.258	0.275
120.00	-----		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.004	0.007	0.012	0.018	0.025	0.033	0.042	0.051	0.061	0.071	0.081
125.00	-----		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.004	0.006	0.008	0.010	0.013	0.017
max koncentráció egész szelvényben (y = y0):			5.599	3.959	3.233	2.799	2.504	2.286	2.116	1.979	1.866	1.771	1.688	1.616	1.553	1.496	1.446	1.400	1.358	1.320
össz anyag [g/fm] a megjelenített szelvényben:			836.8	773.4	770.7	770.6	770.6	770.6	770.6	770.6	770.5	770.5	770.4	770.2	770.0	769.7	769.3	768.8	768.2	767.5

*A cellában szereplő értékek a KOI koncentrációját mutatják 0.18 m³/s vízhozamú 724 g/m³ koncentráció bevezetés esetén

51. ábra: A szennyvízcsóva terjedése a Duna első 450 méteres szakaszon a parttól mért 75-125 méteres távolságban 2000 m³/s-os vízhozam esetén.

Az eredményekből látszik, hogy a szennyvíz csóvája gyorsan terjed a folyóval párhuzamos irányban, azonban viszonylag lassú a keresztirányú elkeveredése. Ezt erősíti meg az ún. második elkeveredési hossz távolságának számítása is, amely megadja, hogy várhatóan mekkora távolság szükséges ahhoz, hogy a szennyvíz csóvája elérje a partéleket. Sodorvonali bevezetés esetén ez az alábbi képlettel számolható (Somlyódy 2018):

$$L_{2,s} \approx 0.028 \frac{u}{D_y} B^2$$

Ez alapján egy középvízi 2000 m³/s-os vízhozam esetén a szennyvízcsóva várhatóan 135 kilométerrel lentebbi szakaszon éri el a partokat.

Az eredményeket az alábbi foglalja össze. Kisebb vízhozamok esetén az elkeveredés rosszabb hatásfokú, ilyenkor a szennyvíz kivezetés vonalában (jobb parttól 100 méterre) még megjelenhetnek jelentős többlet koncentrációk. Azonban ahogy közeledünk a part felé a koncentráció nagy mértékben csökken, és a tervezett vízkivételnél (jobb parttól 80 méterre) a többlet koncentráció már elhanyagolható.

7. táblázat: Koncentrációk a szennyvízkivezetés vonalában (felső), a vonaltól számított 10 méterre (középső) és a vonaltól számított 20 méterre (alsó).

Koncentrációk a tervezett vízkivétel szelvényében a jobb parttól 100 méter távolságra (mg/l)							
Duna Q (m ³ /s)	1000	1500	2000	4000	6000	8000	9000
KOI (724 mg/l)	4.39	3.04	1.77	0.85	0.52	0.40	0.35
BOI5 (73 mg/l)	0.44	0.31	0.18	0.09	0.05	0.04	0.04
Összes lebegőanyag (219 mg/l)	1.33	0.92	0.54	0.26	0.16	0.12	0.11
AOX (1.65 mg/l)	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Összes szerves nitrogén (10.1 mg/l)	0.06	0.04	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00
Összes foszfor (2.0 mg/l)	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Koncentrációk a tervezett vízkivétel szelvényében a jobb parttól 90 méter távolságra (mg/l)							
Duna Q (m ³ /s)	1000	1500	2000	4000	6000	8000	9000
KOI (724 mg/l)	0.64	0.38	0.51	0.27	0.20	0.14	0.13
BOI5 (73 mg/l)	0.06	0.04	0.05	0.03	0.02	0.01	0.01
Összes lebegőanyag (219 mg/l)	0.19	0.12	0.15	0.08	0.06	0.04	0.04
AOX (1.65 mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Összes szerves nitrogén (10.1 mg/l)	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Összes foszfor (2.0 mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Koncentrációk a tervezett vízkivétel szelvényében a jobb parttól 80 méter távolságra (mg/l)							
Duna Q (m ³ /s)	1000	1500	2000	4000	6000	8000	9000
KOI (724 mg/l)	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
BOI5 (73 mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Összes lebegőanyag (219 mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
AOX (1.65 mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Összes szerves nitrogén (10.1 mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Összes foszfor (2.0 mg/l)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

* A zárójeles értékek mutatják, hogy a szennyvízben mekkora az adott elem koncentrációja

7. KÖVETKEZTETÉSEK

A hidrometriai vizsgálatok alapján az alábbi javaslatokat és megállapításokat tesszük:

1. Számolni kell a szakaszon folyamatos trendszerű medermélyüléssel, melynek mértéke átlagosan 2 cm/év. Annak érdekében, hogy a meder a vízkivétel vezetéke alatt ne mélyüljön ki, javasoljuk a vízkivétel környezetét kőszórással stabilizálni.
2. A tervezett vízkivétel a Duna lebegtett- és görgetett hordalék rezsimét számottevően nem befolyásolja.
3. A vízkivételnél az év nagy részében átlagosan 30 g/m³ lebegtetett hordalékkoncentrációval kell számolni, nagyobb árvizek idején ez a koncentráció akár 100-szorosára is nőhet. Azonban vizsgálatunk nem terjed ki ennek technológiai vonatkozásaira.
4. A vízkivételi bemenetét célszerű minimum 0.5 méterrel a mederszint fölé helyezni, annak érdekében, hogy nagyvizek esetén elkerüljék a jelentős mennyiségű mederhordalék rendszerbe jutását. Tekintve, hogy a vízkivételi szelvényt medermélyülés jellemzi, ezért a jövőben sem várható olyan feltöltődés, melynek következtében a megemelt vízkivétel a mederrel egy szintbe kerülne.
5. A tervezett vízkivétel fölött elhelyezkedő szennyvízbevezetés csóvája jóval gyorsabban terjed a folyó hosszirányában, mint keresztirányban. Ezért a szennyvíz vízkivételi műbe kerülését megakadályozandó, javasoljuk, hogy a tervezett vízkivétel parttól való benyúlása minimum 10 méterrel nagyobb vagy kisebb legyen, mint a szennyvízbevezetés parttól való benyúlása.
6. Vízkészletgazdálkodási okokból a vízkivétel korlátozására nem kell számítani.
7. Árhullámok levonulása a vízkivétel biztonságos működését nem befolyásolja. Árvíz esetén azonban a kivett vízben megemelkedett hordalékkoncentrációval kell számolni.
8. Összehasonlítottuk az idő során mért keresztiselvények változásait. Olyan mértékű változást, ami intenzív parteróziót mutatna nem tapasztaltunk.
9. A tervezett bevezetés sem a hajóutat, sem a hajózási feltételeket nem érinti.

8. IRODALOMJEGYZÉK

Danube Sediment (2020) Long-term Morphological Development of the Danube in Relation to the Sediment Balance. Approved project report. [http:// www.interreg-danube.eu/approved-projects/danubesediment/outputs](http://www.interreg-danube.eu/approved-projects/danubesediment/outputs). (Utoljára megtekintve 2024.09.27)

Deltares system, “3D/2D modelling suite for integral water solutions.” Deltares, Delft, p. 710, 2014.

Bogárdi János – Vízfolyások hordalék-szállítása, Akadémiai Kiadó, Budapest (1971)

Gergely T. Török - Methodological improvement of morphodynamic investigation tools for rivers with non-uniform bed material Ph.D. thesis (2018)

Pomázi Flóra - Multidimensional analysis of suspended sediment transport in rivers (2024)

Somlyódy László – Felszíni vizek minősége, Typotex, Budapest (2018)

Somlyódi László - A szennyezőanyagok terjedésének meghatározása vízfolyásokban, Vízügyi Közlemények, 1985 (67. évfolyam) | Könyvtár | Hungaricana

Telemac-3D - User Manual (2022)

02.NMT.03. számú nagyvízi mederkezelési terv: Duna Tassi-zsilip [1586+000 fkm] – Dunaföldvár [1560+600 fkm] közötti szakasza (2014)

Jelentés a Hamburger Hungária Kft. telephelyének csapadékvíz, és tisztított szennyvíz sodorvonalai bevezetések vizsgálatról, állapotfelmérésből, Dunaújváros térségében, a Duna-folyó 1573+770 és a 1573+800 fkm szelvényében (2021)

9. FÜGGELÉKEK

	Sebesség (m/s) (Q=1000 m³/s)																							Víznyéltség (h)	
Pont	85mB.f.	85.5mB.f.	86mB.f.	86.5mB.f.	87mB.f.	87.5mB.f.	88mB.f.	88.5mB.f.	89mB.f.	89.5mB.f.	90mB.f.	90.5mB.f.	91mB.f.	91.5mB.f.	92mB.f.	92.5mB.f.	93mB.f.	93.5mB.f.	94mB.f.	94.5mB.f.	95mB.f.	95.5mB.f.	96mB.f.		Átlag
1. m.p.	-	-	-	-	-	-	-	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.24	0.50
2. m.p.	-	0.23	0.51	0.60	0.65	0.69	0.72	0.74	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.59	3.50
3. m.p.	-	0.60	0.73	0.80	0.86	0.90	0.93	0.95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.82	3.50
4. m.p.	-	0.64	0.79	0.87	0.94	0.98	1.01	1.03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.90	3.50
5. m.p.	-	0.49	0.72	0.83	0.90	0.95	0.98	1.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.84	3.50
6. m.p.	-	0.35	0.64	0.74	0.81	0.86	0.90	0.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.75	3.50
7. m.p.	-	-	0.53	0.64	0.71	0.76	0.79	0.82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.71	3.00
8. m.p.	-	-	0.43	0.53	0.58	0.62	0.65	0.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.58	3.00
9. m.p.	-	-	-	0.25	0.33	0.36	0.39	0.41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.35	2.50

	Sebesség (m/s) (Q=2000 m³/s)																							Víznyéltség (h)	
Pont	85mB.f.	85.5mB.f.	86mB.f.	86.5mB.f.	87mB.f.	87.5mB.f.	88mB.f.	88.5mB.f.	89mB.f.	89.5mB.f.	90mB.f.	90.5mB.f.	91mB.f.	91.5mB.f.	92mB.f.	92.5mB.f.	93mB.f.	93.5mB.f.	94mB.f.	94.5mB.f.	95mB.f.	95.5mB.f.	96mB.f.		Átlag
1. m.p.	-	-	-	-	-	-	-	0.43	0.54	0.58	0.60	0.61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.55	2.50
2. m.p.	-	0.27	0.63	0.75	0.82	0.87	0.91	0.94	0.97	0.99	1.00	1.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.83	5.50
3. m.p.	-	0.71	0.88	0.96	1.03	1.08	1.12	1.15	1.18	1.20	1.22	1.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.07	5.50
4. m.p.	-	0.76	0.95	1.05	1.12	1.18	1.23	1.26	1.29	1.32	1.33	1.34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.17	5.50
5. m.p.	-	0.57	0.87	1.00	1.08	1.15	1.20	1.23	1.26	1.29	1.30	1.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.11	5.50
6. m.p.	-	0.44	0.78	0.92	1.01	1.07	1.12	1.15	1.18	1.20	1.22	1.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.03	5.50
7. m.p.	-	-	0.68	0.82	0.90	0.97	1.01	1.05	1.09	1.11	1.13	1.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.99	5.00
8. m.p.	-	-	0.57	0.69	0.77	0.82	0.87	0.90	0.93	0.96	0.97	0.98	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.85	5.00
9. m.p.	-	-	-	0.34	0.44	0.50	0.54	0.56	0.58	0.60	0.60	0.61	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.53	4.50

	Sebesség (m/s) (Q=4000 m³/s)																							Víznyéltség (h)	
Pont	85mB.f.	85.5mB.f.	86mB.f.	86.5mB.f.	87mB.f.	87.5mB.f.	88mB.f.	88.5mB.f.	89mB.f.	89.5mB.f.	90mB.f.	90.5mB.f.	91mB.f.	91.5mB.f.	92mB.f.	92.5mB.f.	93mB.f.	93.5mB.f.	94mB.f.	94.5mB.f.	95mB.f.	95.5mB.f.	96mB.f.		Átlag
1. m.p.	-	-	-	-	-	-	-	0.51	0.66	0.75	0.80	0.84	0.87	0.89	0.91	0.92	-	-	-	-	-	-	-	0.80	4.50
2. m.p.	-	0.39	0.86	1.03	1.12	1.20	1.25	1.30	1.34	1.37	1.40	1.43	1.45	1.46	1.47	1.48	-	-	-	-	-	-	-	1.24	7.50
3. m.p.	-	0.95	1.15	1.27	1.35	1.42	1.48	1.53	1.57	1.60	1.63	1.66	1.68	1.70	1.71	1.71	-	-	-	-	-	-	-	1.49	7.50
4. m.p.	-	1.00	1.23	1.36	1.45	1.53	1.59	1.64	1.69	1.73	1.76	1.79	1.81	1.83	1.84	1.85	-	-	-	-	-	-	-	1.61	7.50
5. m.p.	-	0.76	1.13	1.30	1.40	1.49	1.55	1.61	1.65	1.69	1.73	1.76	1.78	1.80	1.81	1.81	-	-	-	-	-	-	-	1.55	7.50
6. m.p.	-	0.59	1.02	1.21	1.32	1.40	1.47	1.52	1.56	1.60	1.63	1.66	1.68	1.70	1.71	1.72	-	-	-	-	-	-	-	1.45	7.50
7. m.p.	-	-	0.89	1.09	1.20	1.28	1.35	1.40	1.45	1.49	1.52	1.55	1.57	1.59	1.60	1.61	-	-	-	-	-	-	-	1.40	7.00
8. m.p.	-	-	0.75	0.92	1.02	1.09	1.15	1.20	1.24	1.28	1.31	1.34	1.36	1.38	1.39	1.40	-	-	-	-	-	-	-	1.20	7.00
9. m.p.	-	-	-	0.45	0.60	0.68	0.73	0.77	0.80	0.83	0.84	0.86	0.87	0.88	0.88	0.89	-	-	-	-	-	-	-	0.77	6.50

I: függelék: Sebességprofilok különböző vízhozamok esetén a háromdimenziós modellezés eredményei alapján (Q = 1000 , 2000, 4000 m³/s)

	Sebesség (m/s) (Q=6000 m³/s)																							Víznyéltség (h)	
Pont	85mB.f.	85.5mB.f.	86mB.f.	86.5mB.f.	87mB.f.	87.5mB.f.	88mB.f.	88.5mB.f.	89mB.f.	89.5mB.f.	90mB.f.	90.5mB.f.	91mB.f.	91.5mB.f.	92mB.f.	92.5mB.f.	93mB.f.	93.5mB.f.	94mB.f.	94.5mB.f.	95mB.f.	95.5mB.f.	96mB.f.		Átlag
1 .m.p.	-	-	-	-	-	-	-	0.72	0.90	1.00	1.08	1.14	1.18	1.23	1.26	1.29	1.32	1.34	1.35	1.36	-	-	-	1.17	6.50
2 .m.p.	-	0.45	0.97	1.15	1.26	1.34	1.40	1.46	1.51	1.55	1.59	1.62	1.65	1.67	1.70	1.71	1.73	1.74	1.75	1.75	-	-	-	1.47	9.50
3 .m.p.	-	1.03	1.24	1.37	1.46	1.53	1.59	1.65	1.69	1.73	1.77	1.80	1.83	1.85	1.87	1.89	1.91	1.92	1.93	1.93	-	-	-	1.68	9.50
4 .m.p.	-	1.06	1.30	1.44	1.54	1.62	1.69	1.74	1.79	1.83	1.87	1.90	1.93	1.96	1.98	2.00	2.01	2.02	2.03	2.03	-	-	-	1.78	9.50
5 .m.p.	-	0.82	1.17	1.35	1.47	1.56	1.63	1.68	1.74	1.78	1.82	1.85	1.88	1.90	1.93	1.95	1.96	1.97	1.98	1.98	-	-	-	1.71	9.50
6 .m.p.	-	0.63	1.08	1.26	1.38	1.47	1.54	1.59	1.64	1.68	1.72	1.75	1.78	1.80	1.82	1.84	1.86	1.87	1.88	1.88	-	-	-	1.60	9.50
7 .m.p.	-	-	0.95	1.14	1.26	1.34	1.41	1.47	1.51	1.56	1.59	1.62	1.65	1.68	1.70	1.72	1.73	1.75	1.75	1.76	-	-	-	1.53	9.00
8 .m.p.	-	-	0.79	0.96	1.07	1.14	1.20	1.25	1.30	1.34	1.37	1.40	1.43	1.45	1.47	1.49	1.50	1.52	1.52	1.52	-	-	-	1.32	9.00
9 .m.p.	-	-	-	0.50	0.66	0.74	0.79	0.83	0.87	0.90	0.92	0.94	0.96	0.97	0.99	1.00	1.01	1.01	1.02	1.02	-	-	-	0.89	8.50

	Sebesség (m/s) (Q=8000 m³/s)																							Víznyéltség (h)	
Pont	85mB.f.	85.5mB.f.	86mB.f.	86.5mB.f.	87mB.f.	87.5mB.f.	88mB.f.	88.5mB.f.	89mB.f.	89.5mB.f.	90mB.f.	90.5mB.f.	91mB.f.	91.5mB.f.	92mB.f.	92.5mB.f.	93mB.f.	93.5mB.f.	94mB.f.	94.5mB.f.	95mB.f.	95.5mB.f.	96mB.f.		Átlag
1. m.p.	-	-	-	-	-	-	-	0.77	0.96	1.07	1.15	1.22	1.27	1.32	1.36	1.40	1.43	1.46	1.48	1.50	1.52	1.53	-	1.30	7.50
2. m.p.	-	0.48	1.02	1.21	1.32	1.41	1.47	1.53	1.58	1.63	1.66	1.70	1.73	1.76	1.78	1.81	1.83	1.84	1.86	1.87	1.88	1.88	-	1.58	10.50
3. m.p.	-	1.06	1.28	1.42	1.52	1.60	1.66	1.72	1.76	1.81	1.84	1.88	1.91	1.94	1.96	1.98	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.05	-	1.79	10.50
4. m.p.	-	1.10	1.34	1.50	1.60	1.68	1.75	1.81	1.86	1.91	1.94	1.98	2.01	2.04	2.06	2.09	2.11	2.12	2.14	2.15	2.16	2.16	-	1.88	10.50
5. m.p.	-	0.85	1.23	1.41	1.54	1.63	1.70	1.76	1.81	1.86	1.90	1.93	1.96	1.99	2.02	2.04	2.06	2.08	2.09	2.10	2.11	2.11	-	1.82	10.50
6. m.p.	-	0.67	1.13	1.33	1.45	1.54	1.61	1.67	1.72	1.77	1.80	1.84	1.87	1.89	1.92	1.94	1.96	1.98	1.99	2.00	2.01	2.02	-	1.72	10.50
7. m.p.	-	-	1.00	1.20	1.33	1.42	1.49	1.55	1.60	1.65	1.69	1.72	1.75	1.78	1.80	1.83	1.84	1.86	1.88	1.89	1.89	1.90	-	1.65	10.00
8. m.p.	-	-	0.85	1.04	1.16	1.24	1.30	1.36	1.41	1.46	1.49	1.53	1.56	1.58	1.61	1.63	1.65	1.66	1.67	1.68	1.69	1.69	-	1.46	10.00
9. m.p.	-	-	-	0.62	0.81	0.92	0.99	1.04	1.08	1.12	1.15	1.18	1.20	1.22	1.24	1.26	1.28	1.29	1.30	1.31	1.32	1.32	-	1.14	9.50

	Sebesség (m/s) (Q=9000 m³/s)																							Víznyéltség (h)	
Pont	85mB.f.	85.5mB.f.	86mB.f.	86.5mB.f.	87mB.f.	87.5mB.f.	88mB.f.	88.5mB.f.	89mB.f.	89.5mB.f.	90mB.f.	90.5mB.f.	91mB.f.	91.5mB.f.	92mB.f.	92.5mB.f.	93mB.f.	93.5mB.f.	94mB.f.	94.5mB.f.	95mB.f.	95.5mB.f.	96mB.f.		Átlag
1 .m.p.	-	-	-	-	-	-	-	0.78	0.98	1.10	1.18	1.25	1.30	1.35	1.39	1.43	1.47	1.50	1.53	1.55	1.57	1.58	1.59	1.35	8.00
2 .m.p.	-	0.50	1.05	1.23	1.35	1.44	1.50	1.56	1.61	1.66	1.70	1.73	1.77	1.79	1.82	1.84	1.87	1.88	1.90	1.91	1.92	1.93	1.94	1.63	11.00
3 .m.p.	-	1.09	1.32	1.46	1.56	1.64	1.70	1.76	1.81	1.85	1.89	1.92	1.96	1.98	2.01	2.03	2.05	2.07	2.09	2.10	2.11	2.12	2.12	1.85	11.00
4 .m.p.	-	1.12	1.38	1.54	1.65	1.73	1.80	1.86	1.91	1.96	2.00	2.03	2.07	2.10	2.12	2.15	2.17	2.19	2.20	2.22	2.23	2.23	2.24	1.95	11.00
5 .m.p.	-	0.88	1.27	1.46	1.59	1.68	1.75	1.82	1.87	1.92	1.96	1.99	2.03	2.06	2.09	2.11	2.13	2.15	2.17	2.18	2.19	2.20	2.20	1.89	11.00
6 .m.p.	-	0.70	1.18	1.38	1.50	1.60	1.67	1.73	1.78	1.83	1.87	1.90	1.94	1.96	1.99	2.01	2.04	2.05	2.07	2.08	2.10	2.10	2.11	1.80	11.00
7 .m.p.	-	-	1.03	1.25	1.38	1.48	1.55	1.61	1.67	1.71	1.76	1.79	1.82	1.85	1.88	1.90	1.92	1.94	1.96	1.97	1.98	1.99	1.99	1.74	10.50
8 .m.p.	-	-	0.89	1.09	1.21	1.30	1.37	1.43	1.48	1.53	1.57	1.60	1.63	1.66	1.69	1.71	1.73	1.74	1.76	1.77	1.78	1.79	1.79	1.55	10.50
9 .m.p.	-	-	-	0.68	0.88	0.99	1.07	1.13	1.17	1.21	1.25	1.28	1.31	1.33	1.35	1.38	1.39	1.41	1.43	1.44	1.45	1.46	1.46	1.25	10.00

II: függelék: Sebességprofilok különböző vízhozamok esetén a háromdimenziós modellezés eredményei alapján (Q = 6000 , 8000, 9000 m³/s)

	Fenékcsúsztató sebesség (m/s)								
Q (m ³ /s)	1 m.p.	2 m.p.	3 m.p.	4 m.p.	5 m.p.	6 m.p.	7 m.p.	8 m.p.	9 m.p.
1000	0.013	0.048	0.066	0.050	0.075	0.096	0.071	0.043	0.026
2000	0.020	0.056	0.069	0.051	0.081	0.102	0.082	0.067	0.047
4000	0.024	0.068	0.080	0.068	0.098	0.119	0.099	0.082	0.053
6000	0.038	0.079	0.096	0.084	0.110	0.130	0.106	0.084	0.057
8000	0.053	0.098	0.116	0.103	0.127	0.146	0.121	0.100	0.069
9000	0.058	0.104	0.123	0.109	0.133	0.151	0.126	0.104	0.071

III: függelék: Fenékcsúsztató sebességek a háromdimenziós modellezés eredményei alapján

Q= 1000 m ³ /s									
Mérési pont	1 m.p.	2 m.p.	3 m.p.	4 m.p.	5 m.p.	6 m.p.	7 m.p.	8 m.p.	9 m.p.
SSL, Lebegtetett hordalékhozam (kg/s)	0.768	2.073	2.045	1.357	1.594	1.402	1.378	1.607	0.406
B, Vízűkör szélesség (m)	46.5	50	50	50	50	50	50	50	50
h, Modellezett vízmélység (m)	2.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3.5	3	3	2.5
u, Modellezett átlagsebesség (m/s)	0.24	0.59	0.82	0.90	0.84	0.75	0.71	0.58	0.35
u*, Modellezett fenékcúsztató sebesség (m/s)	0.013	0.048	0.066	0.050	0.075	0.096	0.071	0.043	0.026
z0, Érdesség magasság (m)	0.040	0.060	0.071	0.060	0.090	0.047	0.046	0.060	0.051
a, referencia magasság (m)	0.025	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.030	0.030	0.025
SSC, Lebegtetett hordalék koncentráció átlag (g/m3)	28	20	14	9	11	11	13	18	9
SSCa, Mederközi lebegtetett hordalék koncentráció (g/m3)	78	33	19	11	15	12	17	31	21
Tau, Fenékcúsztató feszültség (N/m2)	0.2	2.3	4.3	2.5	5.5	9.0	4.9	1.8	0.7
TauC50, Kritikus csúsztatófeszültség D50 esetén (N/m2)	0.39	0.37	0.76	0.05	0.64	0.71	0.51	0.59	0.45
TauC90, Kritikus csúsztatófeszültség D90 esetén (N/m2)	1.34	2.01	2.35	2.00	3.00	1.56	1.54	2.01	1.71

Q= 2000 m ³ /s									
Mérési pont	1 m.p.	2 m.p.	3 m.p.	4 m.p.	5 m.p.	6 m.p.	7 m.p.	8 m.p.	9 m.p.
SSL, Lebegtetett hordalékhozam (kg/s)	2.087	5.634	5.560	3.690	4.333	3.810	3.747	4.368	1.103
B, Vízűkör szélesség (m)	46.5	50	50	50	50	50	50	50	50
h, Modellezett vízmélység (m)	3.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5	5	4.5
u, Modellezett átlagsebesség (m/s)	0.55	0.83	1.07	1.17	1.11	1.03	0.99	0.85	0.53
u*, Modellezett fenékcúsztató sebesség (m/s)	0.020	0.056	0.069	0.051	0.081	0.102	0.082	0.067	0.047
z0, Érdesség magasság (m)	0.040	0.060	0.071	0.060	0.090	0.047	0.046	0.060	0.051
a, referencia magasság (m)	0.035	0.055	0.055	0.055	0.055	0.055	0.050	0.050	0.045
SSC, Lebegtetett hordalék koncentráció átlag (g/m3)	23	25	19	12	14	13	15	21	9
SSCa, Mederközi lebegtetett hordalék koncentráció (g/m3)	46	38	25	15	19	16	19	29	15
Tau, Fenékcúsztató feszültség (N/m2)	0.4	3.1	4.6	2.5	6.4	10.2	6.6	4.4	2.1
TauC50, Kritikus csúsztatófeszültség D50 esetén (N/m2)	0.39	0.37	0.76	0.05	0.64	0.71	0.51	0.59	0.45
TauC90, Kritikus csúsztatófeszültség D90 esetén (N/m2)	1.34	2.01	2.35	2.00	3.00	1.56	1.54	2.01	1.71

Q= 4000 m ³ /s									
Mérési pont	1 m.p.	2 m.p.	3 m.p.	4 m.p.	5 m.p.	6 m.p.	7 m.p.	8 m.p.	9 m.p.
SSL, Lebegtetett hordalékhozam (kg/s)	15.423	41.630	41.084	27.263	32.015	28.152	27.683	32.274	8.148
B, Vízűkör szélesség (m)	46.5	50	50	50	50	50	50	50	50
h, Modellezett vízmélység (m)	4.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7.5	7	7	6.5
u, Modellezett átlagsebesség (m/s)	0.80	1.24	1.49	1.61	1.55	1.45	1.40	1.20	0.77
u*, Modellezett fenékcúsztató sebesség (m/s)	0.024	0.068	0.080	0.068	0.098	0.119	0.099	0.082	0.053
z0, Érdesség magasság (m)	0.040	0.060	0.071	0.060	0.090	0.047	0.046	0.060	0.051
a, referencia magasság (m)	0.045	0.075	0.075	0.075	0.075	0.075	0.070	0.070	0.065
SSC, Lebegtetett hordalék koncentráció átlag (g/m3)	93	90	73	45	55	52	57	77	32
SSCa, Mederközi lebegtetett hordalék koncentráció (g/m3)	162	128	92	54	71	58	70	102	49
Tau, Fenékcúsztató feszültség (N/m2)	0.6	4.6	6.3	4.5	9.4	13.8	9.5	6.6	2.7
TauC50, Kritikus csúsztatófeszültség D50 esetén (N/m2)	0.39	0.37	0.76	0.05	0.64	0.71	0.51	0.59	0.45
TauC90, Kritikus csúsztatófeszültség D90 esetén (N/m2)	1.34	2.01	2.35	2.00	3.00	1.56	1.54	2.01	1.71

IV: függelék: A görgetett- és lebegtetett hordalékszámítás részeredményei 1000, 2000 és 4000 m³/s vízhozam esetén (Zöld cella mutatja a hordalékconcentrációt a vízkivételnél)

Q= 6000 m ³ /s									
Mérési pont	1 m.p.	2 m.p.	3 m.p.	4 m.p.	5 m.p.	6 m.p.	7 m.p.	8 m.p.	9 m.p.
SSL, Lebegtetett hordalékhozam (kg/s)	114.0	307.6	303.6	201.4	236.6	208.0	204.6	238.5	60.2
B, Vízűkör szélesség (m)	46.5	50	50	50	50	50	50	50	50
h, Modellezett vízmélység (m)	6.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9.5	9	9	8.5
u, Modellezett átlagsebesség (m/s)	1.17	1.47	1.68	1.78	1.71	1.60	1.53	1.32	0.89
u*, Modellezett fenékcúsztató sebesség (m/s)	0.038	0.079	0.096	0.084	0.110	0.130	0.106	0.084	0.057
z0, Érdesség magasság (m)	0.040	0.060	0.071	0.060	0.090	0.047	0.046	0.060	0.051
a, referencia magasság (m)	0.065	0.095	0.095	0.095	0.095	0.095	0.090	0.090	0.085
SSC, Lebegtetett hordalék koncentráció átlag (g/m3)	323	440	380	239	292	273	297	402	159
SSCa, Mederközi lebegtetett hordalék koncentráció (g/m3)	461	597	461	277	364	305	359	529	235
Tau, Fenékcúsztató feszültség (N/m2)	1.4	6.1	9.1	6.9	11.8	16.6	11.1	7.0	3.2
TauC50, Kritikus csúsztatófeszültség D50 esetén (N/m2)	0.39	0.37	0.76	0.05	0.64	0.71	0.51	0.59	0.45
TauC90, Kritikus csúsztatófeszültség D90 esetén (N/m2)	1.34	2.01	2.35	2.00	3.00	1.56	1.54	2.01	1.71

Q= 8000 m ³ /s									
Mérési pont	1 m.p.	2 m.p.	3 m.p.	4 m.p.	5 m.p.	6 m.p.	7 m.p.	8 m.p.	9 m.p.
SSL, Lebegtetett hordalékhozam (kg/s)	842.1	2272.9	2243.1	1488.5	1748.0	1537.1	1511.5	1762.1	444.9
B, Vízűkör szélesség (m)	46.5	50	50	50	50	50	50	50	50
h, Modellezett vízmélység (m)	7.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10	10	9.5
u, Modellezett átlagsebesség (m/s)	1.30	1.58	1.79	1.88	1.82	1.72	1.65	1.46	1.14
u*, Modellezett fenékcúsztató sebesség (m/s)	0.053	0.098	0.116	0.103	0.127	0.146	0.121	0.100	0.069
z0, Érdesség magasság (m)	0.040	0.060	0.071	0.060	0.090	0.047	0.046	0.060	0.051
a, referencia magasság (m)	0.075	0.105	0.105	0.105	0.105	0.105	0.100	0.100	0.095
SSC, Lebegtetett hordalék koncentráció átlag (g/m3)	1862	2734	2389	1507	1831	1703	1829	2409	821
SSCa, Mederközi lebegtetett hordalék koncentráció (g/m3)	2405	3500	2805	1698	2219	1881	2166	3039	1135
Tau, Fenékcúsztató feszültség (N/m2)	2.8	9.5	13.3	10.4	15.7	20.8	14.4	9.9	4.6
TauC50, Kritikus csúsztatófeszültség D50 esetén (N/m2)	0.39	0.37	0.76	0.05	0.64	0.71	0.51	0.59	0.45
TauC90, Kritikus csúsztatófeszültség D90 esetén (N/m2)	1.34	2.01	2.35	2.00	3.00	1.56	1.54	2.01	1.71

Q= 9000 m ³ /s									
Mérési pont	1 m.p.	2 m.p.	3 m.p.	4 m.p.	5 m.p.	6 m.p.	7 m.p.	8 m.p.	9 m.p.
SSL, Lebegtetett hordalékhozam (kg/s)	2289.0	6178.5	6097.5	4046.2	4751.4	4178.2	4108.6	4789.9	1209.2
B, Vízűkör szélesség (m)	46.5	50	50	50	50	50	50	50	50
h, Modellezett vízmélység (m)	8	11	11	11	11	11	10.5	10.5	10
u, Modellezett átlagsebesség (m/s)	1.35	1.63	1.85	1.95	1.89	1.80	1.74	1.55	1.25
u*, Modellezett fenékcúsztató sebesség (m/s)	0.058	0.104	0.123	0.109	0.133	0.151	0.126	0.104	0.071
z0, Érdesség magasság (m)	0.040	0.060	0.071	0.060	0.090	0.047	0.046	0.060	0.051
a, referencia magasság (m)	0.080	0.110	0.110	0.110	0.110	0.110	0.105	0.105	0.100
SSC, Lebegtetett hordalék koncentráció átlag (g/m3)	4571	6885	6001	3773	4560	4221	4510	5891	1929
SSCa, Mederközi lebegtetett hordalék koncentráció (g/m3)	5779	8697	6988	4220	5476	4646	5310	7374	2638
Tau, Fenékcúsztató feszültség (N/m2)	3.3	10.6	14.7	11.7	17.4	22.5	15.5	10.6	5.0
TauC50, Kritikus csúsztatófeszültség D50 esetén (N/m2)	0.39	0.37	0.76	0.05	0.64	0.71	0.51	0.59	0.45
TauC90, Kritikus csúsztatófeszültség D90 esetén (N/m2)	1.34	2.01	2.35	2.00	3.00	1.56	1.54	2.01	1.71

V: függelék: A görgetett- és lebegtetett hordalékszámítás részeredményei 1000, 2000 és 4000 m³/s vízhozam esetén (Zöld cella mutatja a hordalékconcentrációt a vízkivételnél)