



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2



VÍZÉPÍTÉSI ÉS VÍZGAZDÁLKODÁSI TANSZÉK

## **Folyók mederanyagának vizsgálata kép alapú eljárásokkal**

Tikász Gergely III. évf., Schrott Márton III. évf.

Konzulensek: Dr. Baranya Sándor, Ermilov Alexander Anatol

2021/22 őszi félév

## Tartalom

<b>1. TARTALMI KIVONAT.....</b>	<b>2</b>
<b>2. BEVEZETÉS.....</b>	<b>3</b>
2.1. TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA.....	3
2.2.1. VONALMENTI, SZEMCSE SZÁMLÁLÓ MÓDSZEREK.....	4
2.2.2. FELÜLETI MÓDSZEREK .....	4
2.3. A SZÁMÍTÓGÉPES ELEMZÉSI MÓDSZEREK TERJEDÉSE .....	5
2.4. A KUTATÁSUNK CÉLJA .....	6
<b>3. ELJÁRÁSOK .....</b>	<b>8</b>
3.1. ADCP ÁRAMLÁSMÉRŐ MŰSZER .....	8
3.2. SERLEGES MINTAVÉTELEZÉS .....	8
3.3. MEDER KAMERÁZÁS .....	10
3.4. WAVELET TRANSZFORMÁCIÓS KÉPELEMZÉS .....	11
3.5. KÉP ELEMZÉS MESTERSÉGES INTELLIGENCIÁVAL (AI) .....	11
3.6. MÓDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA .....	13
3.7. MINTATERÜLET BEMUTATÁSA .....	13
<b>4. EREDMÉNYEK.....</b>	<b>15</b>
4.1. ÖSSZEHASONLÍTÁS PONTOKBAN .....	15
4.1.1. FELSŐ SZELVÉNY .....	15
4.1.2. KÖZÉPSŐ SZELVÉNY.....	16
4.1.3. ALSÓ SZELVÉNY.....	17
4.2. FRAKCIÓK MEGOSZLÁSA SZELVÉNY MENTÉN .....	18
4.2.1. FELSŐ SZELVÉNY .....	18
4.2.2. KÖZÉPSŐ SZELVÉNY.....	20
4.2.3. ALSÓ SZELVÉNY.....	21
<b>5. ÉRTÉKELÉS, JAVASLATTÉTELEK .....</b>	<b>22</b>
<b>6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....</b>	<b>24</b>
<b>7. ÁBRAJEGYZÉK.....</b>	<b>24</b>
<b>8. IRODALOMJEGYZÉK.....</b>	<b>26</b>

## 1. Tartalmi kivonat

A folyók mederanyaga meghatározó szerepet játszik számos áramlási és hordalékvándorlási folyamatban. Ismereteink mégis korlátosak, mert - különösen nagy folyókban, mint a Duna - a közvetlen, fizikai mintavétel körülményes és limitált információval bír. Ebben a kutatásban olyan eljárásokat dolgozunk ki és tesztelünk, amelyek közvetett módon, a mederfenék videózásával, és a képsorozatok elemzésével szolgáltatnak információt a mederanyag szemösszetételéről. Segítségével a korábbi kisszámú, (pl. egy 400 méteres folyamszelvényen 5-7 db) pontbeli adat helyett akár mederanyag térképek előállítás is megvalósulhat.

A dolgozatban ismertetésre kerülnek a vizsgálatra kiválasztott dunai mintaterületeken végrehajtott terepi mérések hagyományos (ún. serleges mederanyagmintavételezés), valamint új, közvetett (vízalatti kamera) módszer kidolgozott eredményei. Előbbi esetben laboratóriumban, rázószitassal elemezzük a begyűjtött mederanyag mintákat, míg utóbbinál képelemző algoritmusokkal (köztük egy, a befogadó Tanszéken fejlesztett mesterséges intelligenciával [MI]) értékeljük ki a vízalatti felvételeket. A hagyományos, pontbeli minták eredményei a videók felülvizsgálásával, kézi úton kerülnek kiterjesztésre, azaz a felvételek segítségével kijelöljük a homogén, egybefüggő mederanyagú szakaszokat. Az így kapott becsléseket összevetjük a képfeldolgozó algoritmus, mederanyagfelismerő MI eredményeivel, valamint a terepen mért áramlási sebesség (Acoustic Doppler Current Profiler) – mederanyagösszetétel kapcsolati görbék alapján tett becslésekkel.

A dolgozatban bemutatott vízalatti felvételek és az új, innovatív képelemzési módszerek, melyek többek között mesterséges intelligenciára épülnek, nemcsak hazai, de nemzetközi szinten is újszerűek. A pontbeli mederanyagmérések ilyen jellegű folyamszelvénymenti, térképszerű kiterjesztése/helyettesítése részletes, folyószakasz léptékű hidromorfológiai vizsgálatok és számítógépes szimulációk alapjául szolgálhatnak.

## 2. Bevezetés

### 2.1. Témaválasztás indoklása

A folyók áramlása és a mederanyag között szoros összefüggés van. A folyómedret felépítő szemcsék mérete és mennyisége befolyásolja az áramlást, hiszen ellenállásként hat a rajta elmozdulni akaró folyadékokra. Ugyanakkor, a mederanyag összetétele nagyban függ az áramlás sebességétől is, hisz egy gyorsabb folyam nagyobb szemcséket (kavics, görgeteg) képes magával sodorni. A meder formája és anyaga sok emberi (pl.: hajózás) és állati tevékenységet (pl.: ívás) befolyásol.

Amikor egy folyó egy adott szakaszán lassul az áramlás, az elkezd lerakni addig szállított hordalékát, akadályozva ezzel a hajós közlekedést. Ez például a Duna esetében komoly gondokat okozhat, hiszen ez egy kiemelt fontosságú vízi útvonal Magyarország és a környező országok gazdaságában (UTIBER, 2020).

Ezen folyamatnak fordítottja, a medermélyülés, amely míg a hajózásnak kedvez, olyan problémákat okozhat, mint például a talajvízszint csökkenése, veszélyeztetve ezzel a partiszűrűsű csápos kutak vízellátását (pl.: Budapest esetében). De ugyanitt gondolhatunk a meder pórúsaira és az azokat a szivárgó víz elől elzáró, finomszemcséjű lebegtetett hordalékra (azaz a kolmatáció folyamatára) is (Rice et al., 1998), mint fontos jelenség.

A környezettudatosság nevében, lényeges az őshonos halakkal is foglalkozni. Különböző fajok különböző mederanyagot igényelnek íváskor. Hogy a szaporulatot ne veszélyeztessük, figyelni kell ezen területek megóvására, és ismerni kell az emberi beavatkozások medermorfológiára gyakorolt hatásait (Füstös et al., 2020).

Ezek mind a mederanyag gyakori és nagy kiterjedésű megfigyelését igénylik, melyet a tradicionális mérési eljárások azonban nem tesznek lehetővé, ugyanis a mederfeneket csak a mintavételek helyén, egy-egy pontban jellemzik (Ermilov et al., 2020). Így, amennyiben a folyó mederanyaga változékony (pl. átmeneti-jellegű folyószakasz, mint amilyen a Duna felső-magyarországi szakasza is, ahol akár 100 méteren belül előfordulhat homok és kavics meder egyaránt), akkor a mérési pontokat irreálisan sűríteni kellene, tovább növelve ezzel a munkaigényüket. Ilyen folyómedrek esetében nagy területre kiterjedő, térképszerű mederanyag felmérések adhatnak csak kielégítő válaszokat, viszont ilyen eljárások jelenleg nincsenek a gyakorlatban. Jelen dolgozatban tehát egy ilyen módszer alkalmazásának lehetőségeit vizsgáljuk

## 2.2. Az eddig használt módszerek

Mivel ez egy élénken kutatott és fontos terület, számos hagyományos módszer létezik a mederanyag vizsgálatra (Bunte et al., 2001). Ezekből a leggyakoribbakat kiemeljük az alábbiakban, kitérve arra, miért van szükség ezek mellett újabb eljárásokra.

### 2.2.1. Vonalmenti, szemcse számláló módszerek

A legegyszerűbb módszer valószínűleg a szemcsék megszámlálása. Ez érthető okokból csak kavicsok (szemcseátmérő  $D = 2 - 64$  mm) és görgetegek ( $D = 64$  mm fölött) esetén alkalmazható. Végezhető egy egyenes mentén, megadott lépésközönként, aminek nagyobbak kell lennie, mint a legnagyobb szemcseméret. Majd minden így kijelölt pontban véletlenszerűen kézzel begyűjtünk egy-egy szemcsét. Ezekből laborban darabszerinti eloszlást készítünk, tekintettel a kis elemszámra, és azok méretére.

Szinte minden lépésben megegyezik ezzel az úgynevezett rács módszer, de a mintát itt egyenes helyett egy például kötelekkel kijelölt rács pontjaiból vesszük.

Mindkét eljárás sekély vízben végezhető, melyben gyalog lehet közlekedni. Mélyebb vízben fizikailag gyűjtött minta helyett le is fényképezhetjük az adott területet. Itt kiemelten fontos, hogy a lépésköz meghaladja a legnagyobb szemcsét, hiszen így kerülhető el biztosan annak többszöri figyelembevétele. Ez a megoldás a terepen töltött időt is csökkenti.

### 2.2.2. Felületi módszerek

A következő nagy kategória a felületi mintavétel, melyben egy kis területről, jellemzően  $0,1 - 1,0$  m<sup>2</sup>-ről gyűjtünk be minden szemcsét. A folyó méreteihez képest ez még mindig pontszerű mérésnek felel meg. Ez az eljárás történhet sokféleképpen.

A legkisebb eszközigényű lehetőség egy erre a célra készített, szabványos kerettel kijelölt területről kézzel gyűjteni a mintát. Ez időigényes, és nagy odafigyelést igényel, hisz a kavicsok eltávolítása után, utólag már nem lehet eldönteni az apróbb szemcsékről, hogy a felszínhez tartoztak-e, vagy az alsóbb rétegből származtak, így érdekesebb azokkal kezdeni.

Adhéziós módszer segítségével is gyűjthetünk mintát. Ehhez epoxigyanta, viasz vagy ragasztó is használható, de csak a szárazra került meder részeken. Víz alatt agyag vagy lisztgyurma ajánlott. Első lépésként egy lemezt bekenünk a mintavételhez választott anyaggal és hozzányomjuk a mintázandó mederfelszínhez. A lemez merevsége, és az ajánlott kötőanyag függ a pontban

jellemző hordalékszemcsemérettől. Végezetül a megragadt szemcséket kiszedjük, a kötőanyag oldásával, vagy mechanikai úton.

Egy sok szempontból kiemelkedő opció a fagyasztásos módszer. Ennek során folyékony nitrogénnel vagy széndioxiddal összefagyasztunk egy megközelítőleg 2 cm mély és 10-15 cm sugarú, kör alakú mintát. Minden esetben, a gyűjtött mintákból a laborban egy szitasor segítségével tömeg szerinti eloszlást számíthatunk, és szemeloszlási görbét készíthetünk.

A megnevezés ellenére a folyómeder területéhez viszonyítva, ezek is csak pontbéli adatokat biztosítanak. Továbbá, ezek a módszerek is csak sekély vízben használhatóak. Kivétel ez alól a felületi fagyasztásos eljárás, mely egy kitűzőhajóval és a fedélzetén lévő nagyteljesítményű gépezettel (mely a fenéken ellen tud tartani a nagy folyókban fellépő erőknél) teljesíthető, viszont használata költség- és energiaigénye miatt nem jellemző.

Idetartozik elméletben az úgynevezett serleges mintavevővel végzett mintavételezés is, melynek során egy fémből készült serleget (harangot) eresztünk a mederfenékre és szántjuk fel azt, miközben a megmozgatott hordalék a serleg belsejében felhalmozódik. Itt pontszerű terület helyett egy vonal mentén (áramlással párhuzamosan) veszünk mintát. Ez a leggyakoribb eljárás a gyakorlatban és dolgozatunkhoz mi is ezt alkalmaztuk. Ezen módszernek is megvannak a maga korlátosságai, melyeket részletesebben a 4. fejezetben mutatunk be.

### 2.3. A számítógépes elemzési módszerek terjedése

Az ezredforduló környékén a hagyományos módszerek mellett, a már számos területen használt képfeldolgozó eljárásokkal próbálták morfológiai vizsgálatokat végezni, hasznos alapokat lefedtetve. A digitális fényképezőgépek és kamerák elterjedésével a képsorok nagy mennyiségben és megfelelő minőségben előállíthatóak. Emellett a számítógépek fejlődésének köszönhetően mára nagy tömegű adatok is gyorsan elemezhetőek. Ennek köszönhetően új számítógépes módszerek fejlesztésébe kezdtek, melyek, ha sikeresnek bizonyulnak forradalmasíthatják az adatgyűjtés és kiértékelés folyamatát. Segítségükkel többet megtudhatunk a mederben lejátszódó folyamatokról.

Korábban már más területeken használt fotogrammetria módszereket is igyekeztek felhasználni medermorfológiai elemzésekhez (Chandler et al., 2000). A céljuk meder adatok gyors és egyszerű gyűjtése volt, melyhez digitális fényképezőgépeket használtak fel. Laboratóriumi kisminimális modellel tesztelték az eljárásukat, egy 0,25m oldalú négyzet alakú területről készült felvételen.

A biztató eredményeket követően a kanadai Sunwapta folyónál végeztek további kutatást. A folyó sajátosságai megkönnyítették a vizsgálat menetét. A vízhozam intenzív változása miatt a reggeli méréskor a meder jelentős részét nem borítja víz. A folyó melletti magas szirtek kiváló helyet biztosítottak a fénykép magasból való készítéséhez. Referencia pontokat helyeztek el a vizsgált területen, majd elkészítették a képeket. A sekély víz borította részekről hagyományos módszerekkel szereztek adatokat. A kísérletek eredménye azt mutatta, hogy a terepi idő lecsökkenését eredményezi a fotogrammetria alkalmazása, viszont ehhez megfelelő minőségű képekre van szükség.

A BASEGRAIN egy MATLAB alapú képelemző szoftver, melyet a Zürichi Szövetségi Műszaki Főiskolán fejlesztettek (Detert et al., 2013). A képről először szürkeárnyalatok alapján kiválogatja a hézagokat, éldetektálást végez, majd ezek segítségével lehatárolja az egyes szemcséket, és azok b-tengelyét (a három irányú térbeli kiterjedése közül a középsőt). Később a felhasználó által beírt paraméterek alapján szemeloszlási görbét készít. A program megbízhatóságát már abban az évben vizsgálni kezdték (Rüther, et al.2013). Először laborban készült képeket elemeztek, összehasonlítva manuálisan vonalmentén végzett méréssel, és a minta ismert szemeloszlási görbéjével. Ehhez a kapott darabszerinti eloszlást tömegszerintivé alakították a Fehr-képlettel. Ezt követően a Surna nevű folyóban készítettek képeket. Tiszta vize és a rajta elhelyezett vízerőmű által szabályozott vízhozama miatt kiválóan megfelelt a teszteléshez. Az eredmények elfogadhatóak voltak, de a kisebb szemcséket alul becsülte. Sok paramétere miatt az eljárás időigényes, és tömeges adatgyűjtéshez nem alkalmas, inkább pontszerű elemzésekhez. Nagyon jó képminőséget igényel, ami nem minden folyóban teljesíthető.

Hasonló képelemző módszer a Wavelet-módszer (Buscombe, 2013), mely kevesebb input paramétere miatt már alkalmasabb nagy mennyiségű mintaelemzésre. A módszer vízalatti alkalmazását korábban már elkezdték vizsgálni (Ermilov et al., 2020), s mi is ezalapján választottuk az összehasonlító vizsgálatainkhoz. A módszert bővebben a 3. pontban mutatjuk be.

#### 2.4. A kutatásunk célja

Bár már számos módszer létezik a mederfenék összetételének vizsgálatára, ahogy a fentiekben ismertettük, de többségük csupán sekély vízben alkalmazható, időigényes, valamint csak pontbéli információval képes szolgálni. Kiemelkednek mégis a fénykép-elemző módszerek, hiszen mély vízben is kivitelezhetőek, valamint magukban rejtik az összefűzött képek (videók) egybefüggő (térfélszerű), automatizált elemzésének potenciálját. Dolgozatunkban ilyen módszerek

felmerülő hiányosságait és korlátjait keressük, hogy egy nagyobb területen tömegesen, egybefüggő szakaszokon lehessen mintavételt és elemzést végezni, majd nagy felbontású mederanyag térképeket készíteni. Ehhez megoldandó a képminőségi probléma és az elemzés automatizálása.

Dolgozatunkban terepi méréseket végeztünk, melyek lényege az volt, hogy kijelölt folyamszelvényekben, egy csónakból leeresztett vízalatti kamerával videóra vettük a folyó medrét. A felvételeket egy mederanyag-elemző mesterséges intelligencia (artificial intelligence, AI) használatával próbáljuk elemezni (Benkő et al., 2020). Az említett AI korábban csak szárazra került mederszakaszokon lett alkalmazva, s az általunk készített folyószelvénymenti mederfelvételek jelentették számára az első vízalatti alkalmazást. Az ekképpen előállított területi vizsgálat alapján felületi szemeloszlást készítettünk az adott szelvényekről. Ennek megbízhatóságát vizsgáltuk úgy, hogy több vizsgálati eljárással is összevetettük az eredményeket, melyek a következők voltak:

- a terepi mérések során hagyományos fizikai mintavétel serleges mintavevő eszközzel (Ild. 2.2.2, illetve 4. fejezet)
- ún. wavelet transzformációs módszer a felvételekre (Ild. 2.3.)
- a készített videók szemrevételezése és a homogén szakaszok kiterjedésének, jellegének megállapítása

Ezen elemzésekkel kívántuk értékelni az AI képelemzés létjogosultságát, és feltárni esetleges hibáinak és korlátjainak okát, valamint azokra javítási lehetőségeket felvázolni.



### 3. Eljárások

#### 3.1. ADCP áramlásmérő műszer

A mérések során a hajóhoz rögzített WorkHorse Rio Grande 1200 kHz típusú ADCP (1. kép) és hozzátartozó GPS segítségével rögzítettük a hajó mozgását. Ennek köszönhetően tudtuk térben elhelyezni a méréseket (vízmélység, mederalak, GPS-koordináták). Így a megfelelő pontokban hasonlíthattuk össze a serleges mintavétellel és a kamera képből kapott eredményeket.



1. Kép: WorkHorse Rio Grande 1200 kHz típusú ADCP

#### 3.2. Serleges mintavételezés

Régóta alkalmazott és széleskörűen elterjedt mederfenék vizsgálati módszer a serleges mintavétel, mely során fizikai mintát veszünk a fenék anyagából. A mintavételhez egy kör szelvényű csipkézett minta vevő serleget használunk (2. kép). Ezt a serleget húzzuk a meder felszínén, mely a csipkézés miatt bele-bele kap a mederanyagba és az a serleg belsejébe kerül. Az így szerzett mintát laborban 105°C-os szárítókemencében tömegállandóságig szárítjuk. A szárítás után a minta hajlamos összeállni, ezért azt mechanikailag szét kell zúzni, ügyelve arra, hogy a szemcséket ne törjük össze. Az így előkészített mintákat szabványos szitasoron átrázzuk és az egyes szitákon fent maradt szemcsék tömegét lemérjük. A kapott adatokból megrajzolhatjuk a minta sűrűség függvényét vagy szemeloszlási görbét.

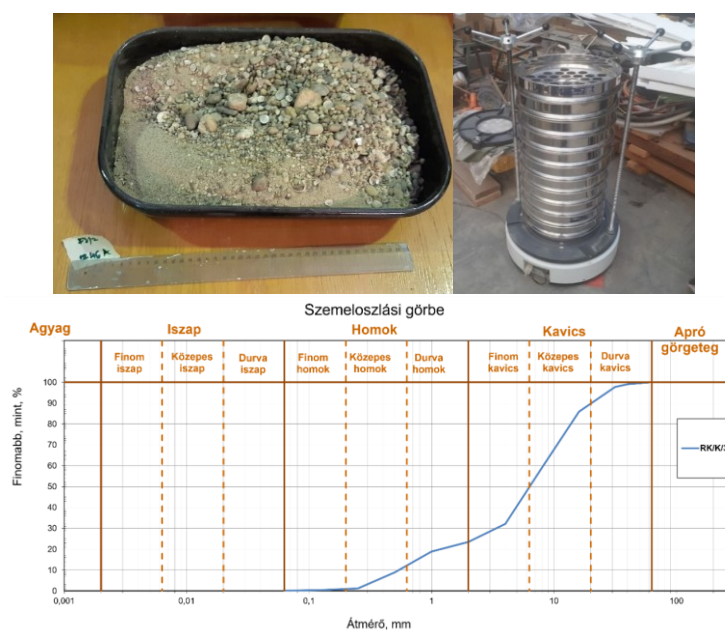
Ez az eljárás a vett mintára nagy pontosságú és részletes adatokat ad, ugyanakkor számos korlátja és hiányossága van. Például a minta származásának helye csak hozzávetőlegesen ismert, hiszen a serleg vízmélységtől függően több 10 méterre is lehet a hajótól. A minták nem minden esetben a mederfelszínéről származnak, mivel a serleg olykor mélyében belemar

a mederbe. A minta nem a teljes mintavételi szakasról, hanem azon belüli egyes helyekről származik, ahol a serleg belekapott a mederbe. A mintákat csak viszonylag hosszú szakaszon lehet gyűjteni, ezért nagyobb terület feltérképezése nagyon körülményes, ha egyáltalán lehetséges. A módszer átfutási ideje hosszú, egyes fázisai nem automatizálhatóak.



2. Kép: Serleges mintavevő eszköz

A serleges mintavételt a vizsgált szelvényekben mi végeztük. A fenti serleges mintavevőt mérőhajóval vontattuk, amíg elegendő mederanyagot nem gyűjtött, majd manuálisan felhúztuk azt. Ezek után a mintákat a VVT laborjába szállítottuk. Az előkészített mintákat gépi szitasoron ráztuk át majd az egyes frakciókat lemértük, a kagylók mennyiségét leszámoltuk a nagyobb frakciók esetében, a kisebbekben mennyiségi becslést adtunk. Az átszitált mintákról képet készítettünk úgy, hogy minden frakció látszódjon. A lemért tömegekből elkészítettük az egyes minták szemeloszlási görbéit (3. kép).



3. Kép: Laboratóriumi rázó gép, szabványos szitasorral felszerelve (jobb fent), Száritott minta (bal fent), Elkészített szemeloszlási görbe (alul)

### 3.3. Meder kamerázás

A mederfenékről mozgó hajóval videófelvételeket készítettünk. A felvételhez kereskedelmi forgalomban kapható GoPro kamerákat használtunk, melyek egy áramvonalas nehezékhez voltak rögzítve, két búvárlámpával és négy lézer mutatóval együtt (4. kép).



4. Kép: A mederfelvételekhez használt installáció

A mederfenék közelébe a felszíni fény már nem jut le, ezért a lámpák adják a felvételekhez szükséges fényt. A lézer fények az elkészült képek pixel/mm arányának megállapításához szükségesek. A nehezék a kamera lesúlyozását végzi, különben az felúszna. A nehezéket a hajóhoz egy drótsodrony rögzíti és a kamera egy elektromos csörlővel mozgatható függőlegesen. Az eljárás során a mérőhajó egyenletes sebességgel halad egy keresztmetszvényen, miközben a kamerát kezelő személy, a csörlővel megpróbálja közel azonos távolságban tartani a kamerát a fenéktől a kamera képe alapján. Ez nem egyszerű, mivel a kamera Wi-Fi jelen küldi az élő képet, amely egy okostelefonnal könnyedén fogható és megjeleníthető, de a jelek több méteres vízborítottság esetén elnyelődnek. Ezt kiküszöbölendő, egy Coax kábelt használunk antenna gyanánt, viszont ezen az úton hozzávetőlegesen 30 másodpercet késik a kamera képe. A hajó mozgása a hajóhoz erősített ADCP mérőeszköz által rögzített GPS adatok felhasználásával összekapcsolhatóak az elkészült képsorokkal.

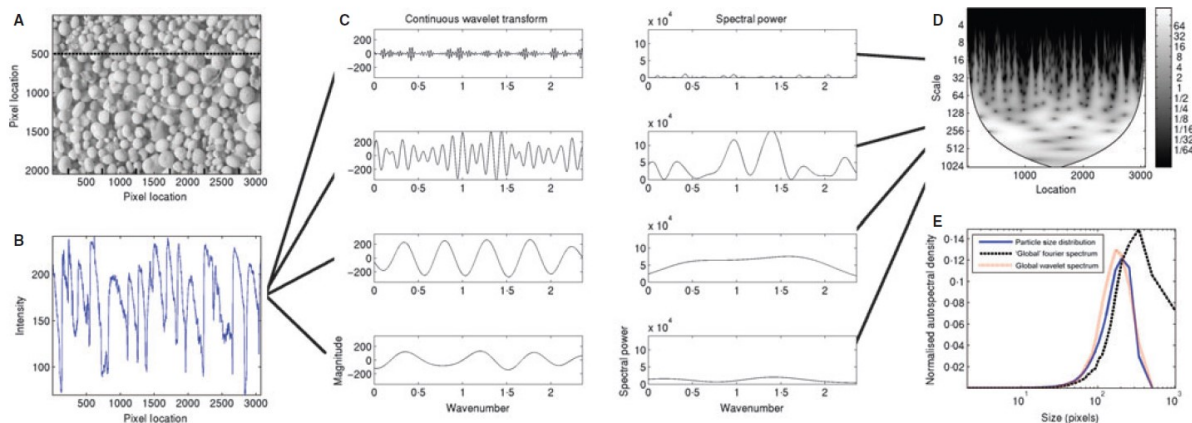
Az így létrehozott felvételeket elemeztük két képelemző eljárással. Valamint összehasonlítottuk a videókon szabadszemmel meghatározott homogén szakaszokkal.

A kamerázást a serleges mintavétel előtt végeztük, az elektromos csörlőt a kamera képe alapján mi irányítottuk. Mérések között ellenőriztük a lámpák elemeit, a GoPro-k akkumulátorát és tárhelyét.

### 3.4. Wavelet transzformációs képelemzés

Ez az eljárás a BASEGRAIN módszerrel szemben kevés input paramétert igényel, robosztusabb, csak a mm/pixel arányt szükséges megadni. Ezt akár egy automatizált folyamattal is megtehetjük. Ezzel gyorsabb elemzést érhetünk el, és nem leszünk pontbéli mérésekre limitálva.

Az eljárás során (5. kép) a képet először szürkeárnyalatossá alakítják, ezután vonalak mentén elemzik azt. A sorokban a pixelek intenzitás értékeiből függvényt készítenek. Ezt folytonos wavelet transzformációkkal különböző elemi hullámokra bontják, majd kiszámolják ezek teljesítményspektrumát. Ezek összegzésével megkapják a vonal menti eloszlást, melyből számítható a szemeloszlás sűrűségfüggvénye. Az összehasonlításához az egyes szemcse frakciók részarányát használtuk fel.



5. Kép: Wavelet transzformációs módszert szemléltető folyamatára (Church, 2006)

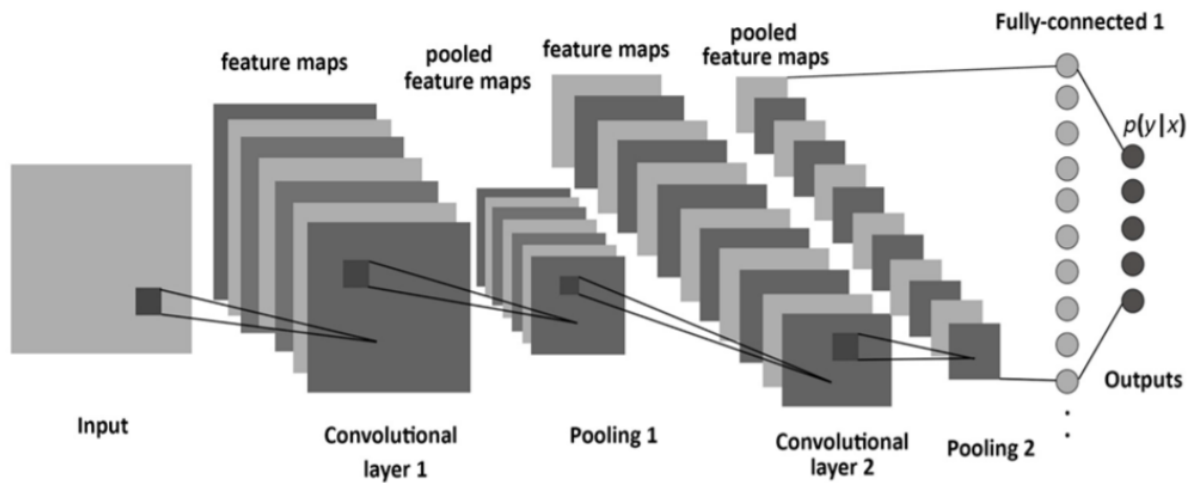
A program korlátosságából kifolyólag a 3 pixelnél kisebb és a vizsgált terület harmadánál nagyobb szemcséket figyelmen kívül hagyja (Buscombe, 2013), mely esetünkben átszámítva az 1 – 1,7 mm szemátmérők alatti szemcsék elhagyását jelentette. Mindez a használt videófelbontástól, valamint a teljesíthető kamera-mederfenék távolságtól függ.

### 3.5. Kép elemzés mesterséges intelligenciával (AI)

Az általunk használt mesterséges intelligenciát Benkő Gergely fejlesztette és tanította be. A módszer lényege, hogy egy mederfenéket ábrázoló képkockán az algoritmus felismerje és elkülönítse a homokos, kavicsos területeket, valamint a fellelhető nagyobb görgetegeket. A megvalósításhoz egy mélytanuláson (Deep Learning) alapuló módszert használtak. Ezt a módszert számos egyéb területen alkalmazzák. Célunk az, hogy megvizsgáljuk jelentőségét, lehetőségét vízalatti mederfenék vizsgálatok során is. Számos előnye között a kiváló osztályba soroló képessége miatt alkalmas a számunkra szükséges képelemzés elvégzésére. A konvolúciós

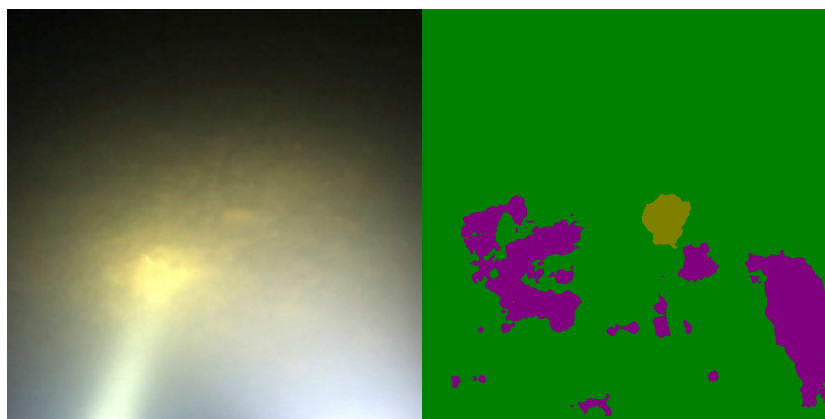


neutrális hálózati modellt használó szemantikus szegmentáción alapuló képfelismerő módszerek minden pixelhez egy osztályt rendelnek, ez alapján elhatárolnak minden egyes képen megjelenő osztályt (6.kép).



6. Kép: Konvolúciós neutrális hálózat (Benkő, 2018)

Ezeknek az algoritmusoknak nagyméretű adatbázisra van szükségük a képeken megjelenő tárgyak azonosításához. Ez hosszú betanítás során hozható létre, mivel egyelőre az elterjedt módszer szerint irányított és felügyelt folyamatként történik, vagyis a legegyszerűbb kézzel elvégezni. A betanítás során nagy mennyiségű képet mutatnak meg az algoritmusnak, majd azokon bejelölik a felismerendő és osztályozandó szegmenseket, ezután manuálisan megadják a szegmenshez hozzárendelni kívánt osztályokat.



7. Kép: Egy képkocka és a hozzá készült elemzés

Az általunk elemezni kívánt képsorok felbontását lecsökkentjük a futásidő rövidítése érdekében, majd különálló képekre bontjuk. Ezeket a betanított algoritmusnak egyenként adjuk oda. A mesterséges intelligencia minden képről készít egy kivonatot, ahol a homok, kavics és görgeteg frakciókat eltérő színnel jelöli (7. kép). Az, így kapott képeket egy általunk készített MATLAB program elemzi. Az eredeti felvétel minden 1,5 másodperceik képkockájára

(ezekhez a képekhez van ADCP adatunk) elkészíti az egyes frakciók eloszlását. A felvételi minőségből származó hirtelen változások kiküszöböléséhez (pár méteres) mozgóátlagot használunk a teljes adatsoron. Ezekből az adatokból ábrázolható a frakciók eloszlása egy teljes szelvény mentén.

Az egyik szelvény nyers képsorain lefuttattunk egy képjavító programot, mely kifejezetten vízalatti képek minőség javítására készült (Ancuti et al., 2018). Ez két másolatot készít a képekről, az egyik a fehéregyensúlyt, a másikon az élességet állítja, majd ezek kombinálásával hozza létre a javított képet. Ennek az elemzése nem hozott szignifikáns eltérést, így nem alkalmaztuk.

### 3.6. Módszerek összehasonlítása

A mérések alatt rögzített GPS koordináták alapján ábrázoltuk a mérési útvonalakat, a serleges mintavételezésekhez legközelebbi pontokat kiválasztottuk a mederkamerázásokból. A serleges mederanyagvételi pontokhoz tartozó képeket elemeztük a wavelet transzformációs eljárással és a mesterséges intelligenciával is. Mindhárom módszerrel meghatároztuk a frakciók részarányait a vizsgált pontokban.

### 3.7. Mintaterület bemutatása

A mederkamerázást Ercsőtől délre a Duna 1618 fkm és 1620 fkm közötti szakaszán végeztük három szelvényben (8. kép). Ezekre a továbbiakban felső, középső és alsó néven hivatkozunk. A mederanyag mintavételek ezen szelvényekre merőlegesen, a keresztshelvényen arányosan



8. Kép: A mintaterület a vizsgált szelvényekkel

elosztva készültek. Az egyes minták elnevezése a szelvényből és egy sorszámból állnak, pl.: F/1 a felső szelvényből származó 1. minta.

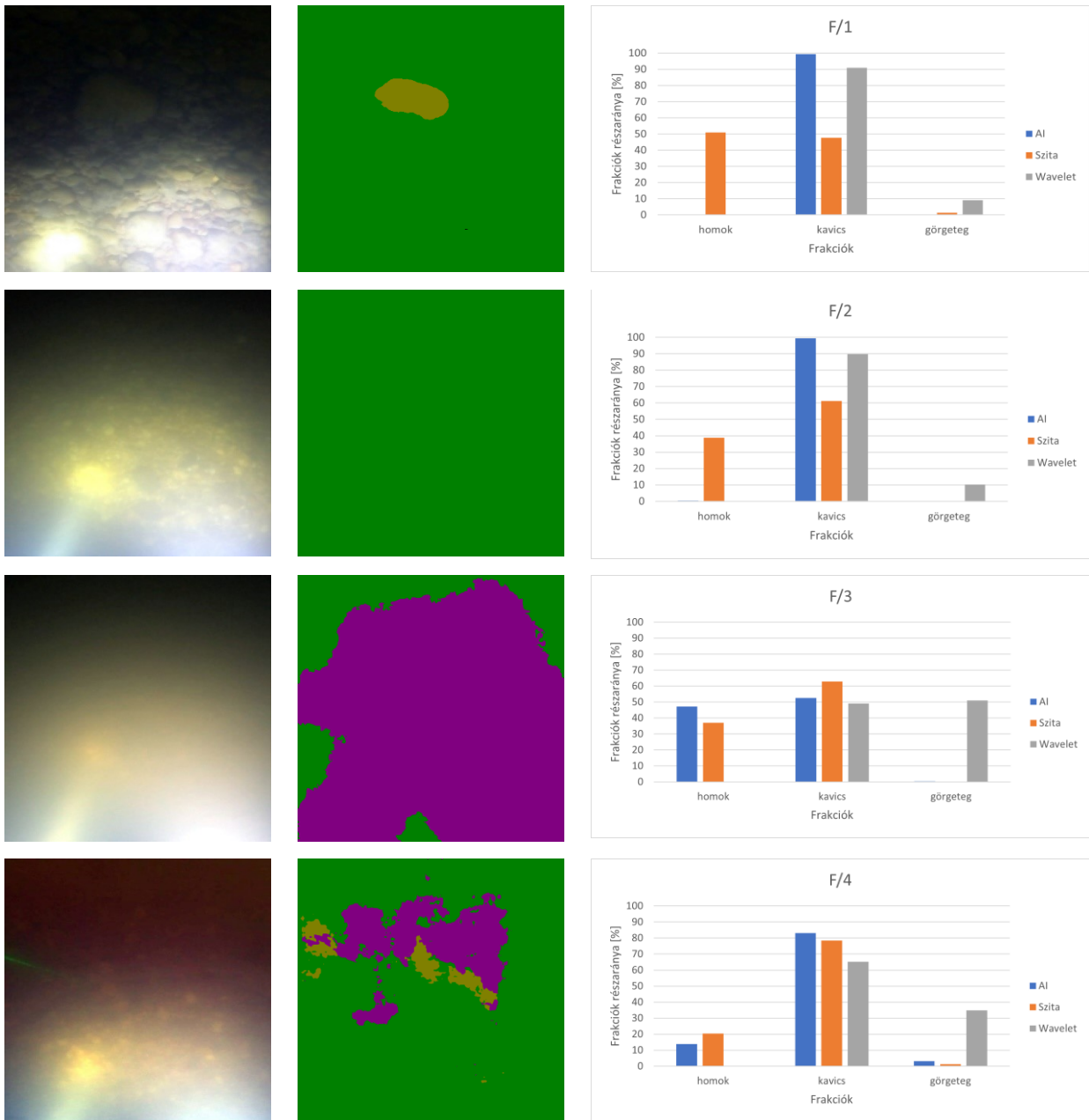
A Duna ezen a területen középső szakaszjellegű tulajdonságokat mutat. A mérés során a 6 méteres vízmélység is előfordult. Egy a közelben végzett kutatás során magas lebegtetett hordalékhozam értékeket mértek (Pomázi, 2020). Ez rosszabb láthatósági viszonyokat eredményez, mint az eddig képelemzéssel vizsgált folyókban. A nagy hajóforgalom nehezítheti az itt végzett méréseket.

## 4. Eredmények

### 4.1. Összehasonlítás pontokban

A korábban leírtak alapján összehasonlítottuk a különböző módszerekkel meghatározott szemcséfrakcióinak részarányait. Ezeket oszlopdiagramokkal ábráztuk minden egyes mintavételi pontra (9., 10., 11. képek)

#### 4.1.1. Felső szelvény



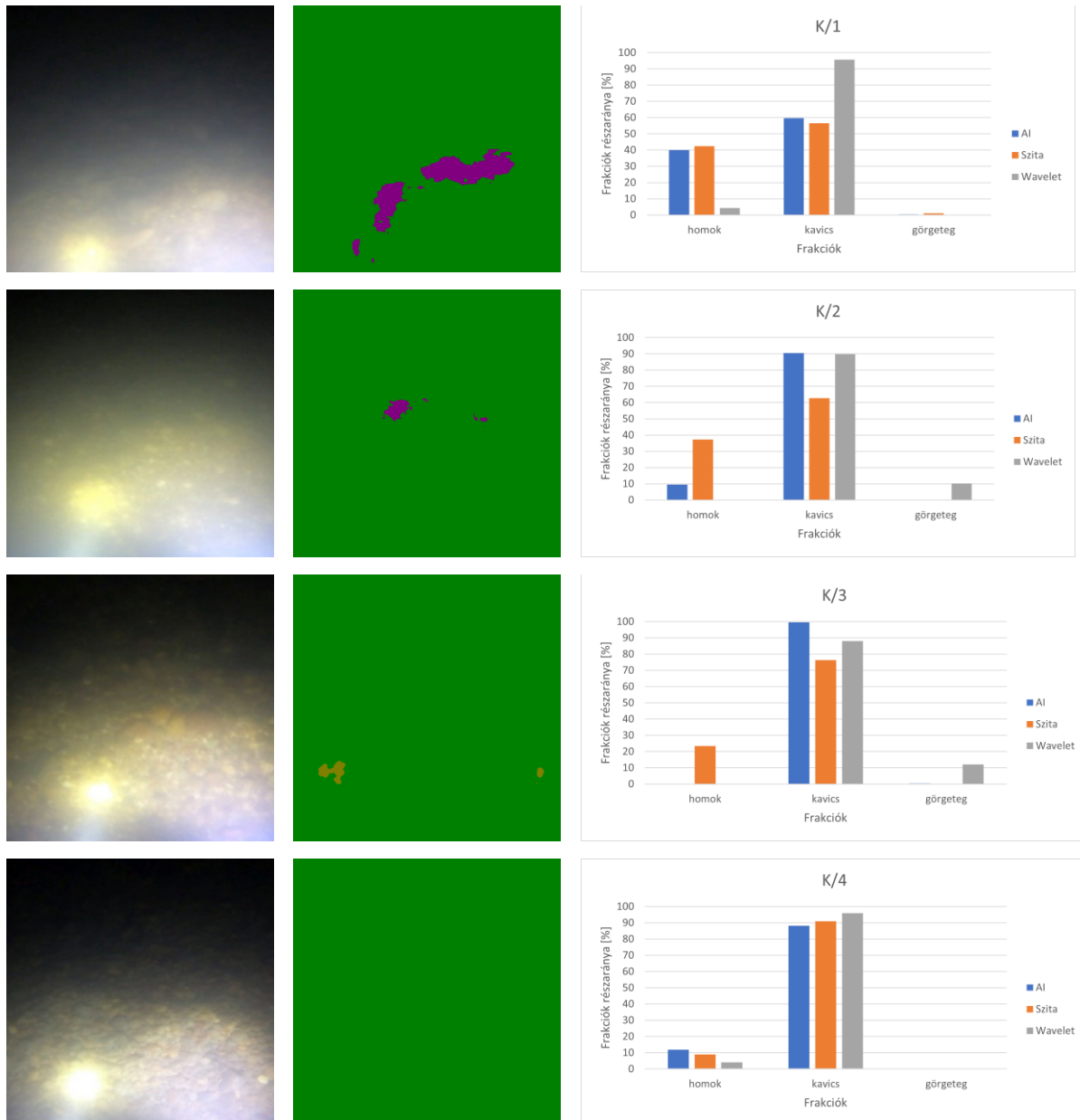
9. Kép: A felső szelvény különböző eljárásokkal nyert eredményeinek összehasonlítása.

Nyers képek az összehasonlítási pontokban (bal), azokból a mesterséges intelligenciával előállított képek (középen), eljárások összehasonlítása (jobb). A diagrammokon az AI oszlopok nem az adott kép, hanem az adott képhez tartozó mozgóátlagot ábrázolják.



A felső szelvényben (9. kép) a legtöbb homokot a serleges mintavétel, kavicsot a mesterséges intelligencia, görgeteget a Wavelet módszer adott. Ettől a 3. mérési pont kissé eltért, viszont itt látható, hogy a színekódolt kép nagyban eltérő eredményt mutat a diagramhoz képest, a mozgóátlag miatt.

#### 4.1.2. Középső szelvény

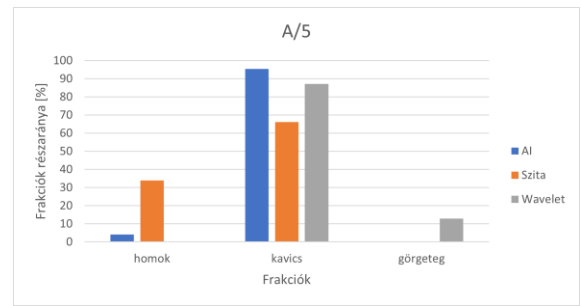
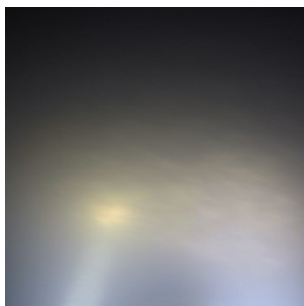
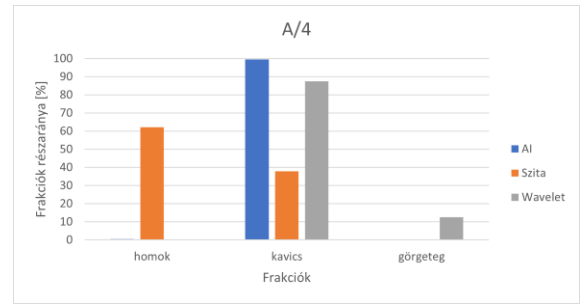
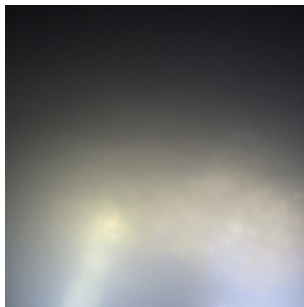
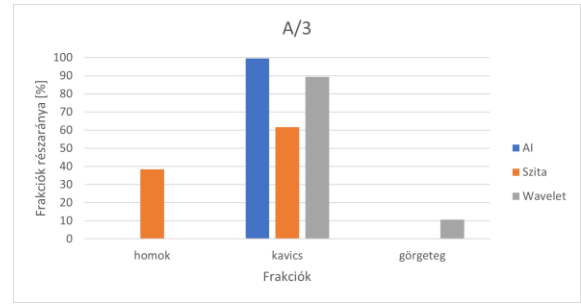
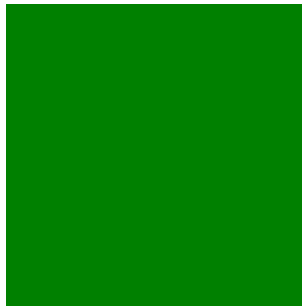
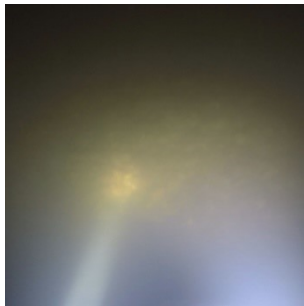
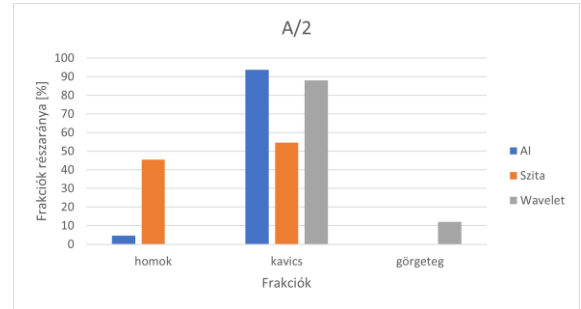
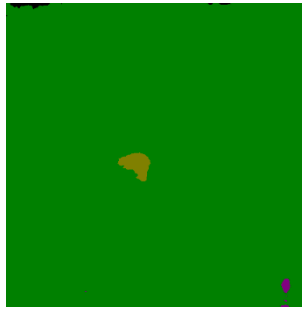
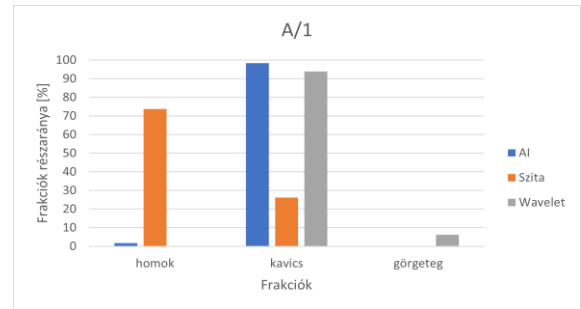
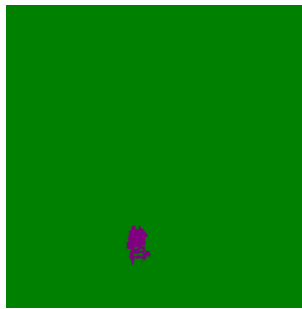
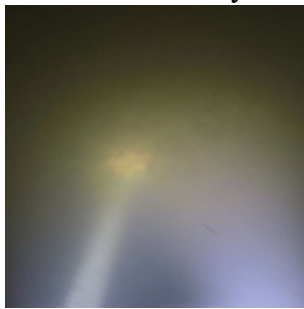


10. Kép: A felső szelvény különböző eljárásokkal nyert eredményeinek összehasonlítása.

Nyers képek az összehasonlítási pontokban (bal), azokból a mesterséges intelligenciával előállított képek (középen), eljárások összehasonlítása (jobb). A diagrammokon az AI oszlopok nem az adott kép, hanem az adott képhez tartozó mozgóátlagot ábrázolják.

A középső szelvényben (10. kép) az eredmények hasonlóak az 4.1.1. pontban leírtakhoz, viszont a Wavelet módszer kevesebb görgeteget észlelt, és a homok is megjelent benne. Ezek miatt jobb hasonlóságot mutat a másik két módszerhez.

4.1.3. Alsó szelvény



11. Kép: Az alsó szelvény különböző eljárásokkal nyert eredményeinek összehasonlítása. Nyers képek az összehasonlítási pontokban (bal), azokból a mesterséges intelligenciával előállított képek (középen), eljárások összehasonlítása (jobb). A diagrammokon az AI oszlopok nem az adott kép, hanem az adott képhez tartozó mozgóátlagot ábrázolják.

A Wavelet elemzés az alsó szelvényen is (11. kép) jobban megközelíti az mesterséges intelligencia által adott eredményeket. Viszont az A/4 és kisebb mértékben az A/5 pontokban ismét jelentkezik az anomália, hogy a képen nagy mennyiségű homok szerepel, viszont a mozgóátlag alapján ez lecsökkent.

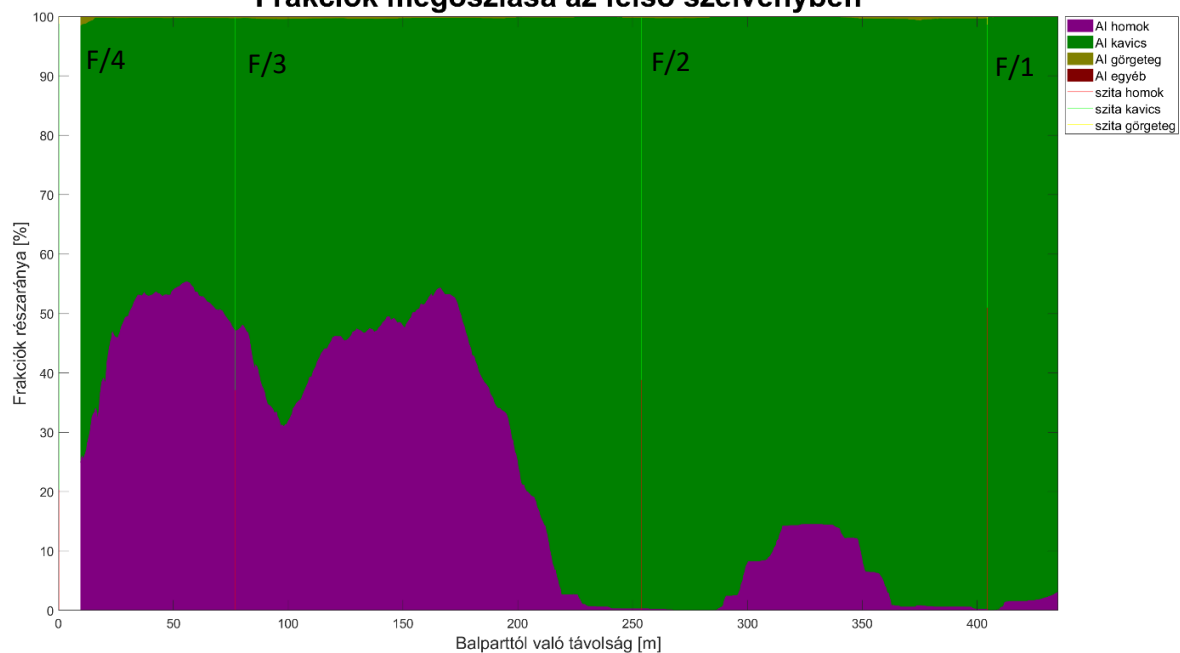
#### 4.2. Frakciók megoszlása szelvény mentén

A mesterséges intelligencia eredményeiből számított mozgó átlag alapján a frakció arányokat halmozott terület diagrammon ábrázoltuk, a bal parttól mért távolság függvényében. Erre felhelyeztük a serleges mintavételből készült eredményeket, halmozott oszlopokként (12., 13., 14. képek alsó ábráin függőlegesen). Ezt összehasonlítottuk a videók szabad szemmel történő elemzésének eredményével.

##### 4.2.1. Felső szelvény



**Frakciók megoszlása az felső szelvényben**

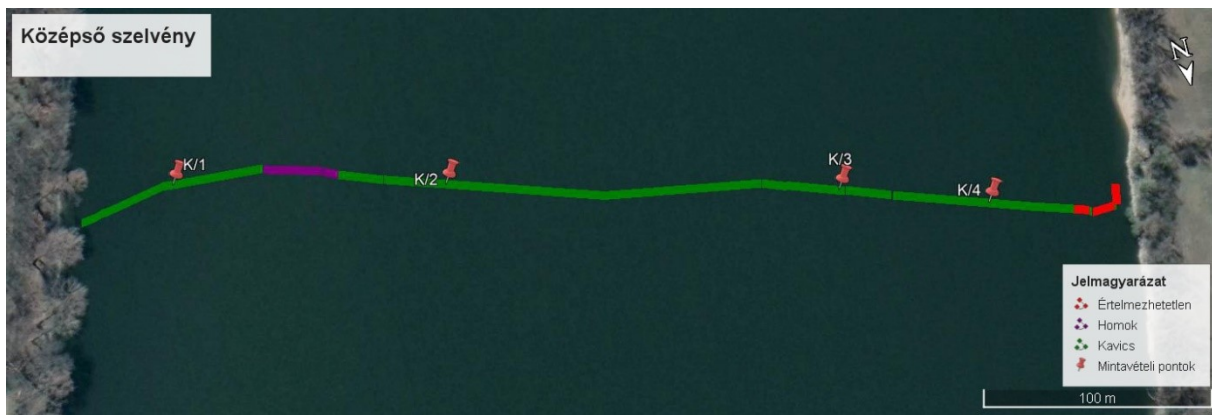


12. Kép: A felső szelvény különböző eljárásokkal nyert eredményeinek összehasonlítása.

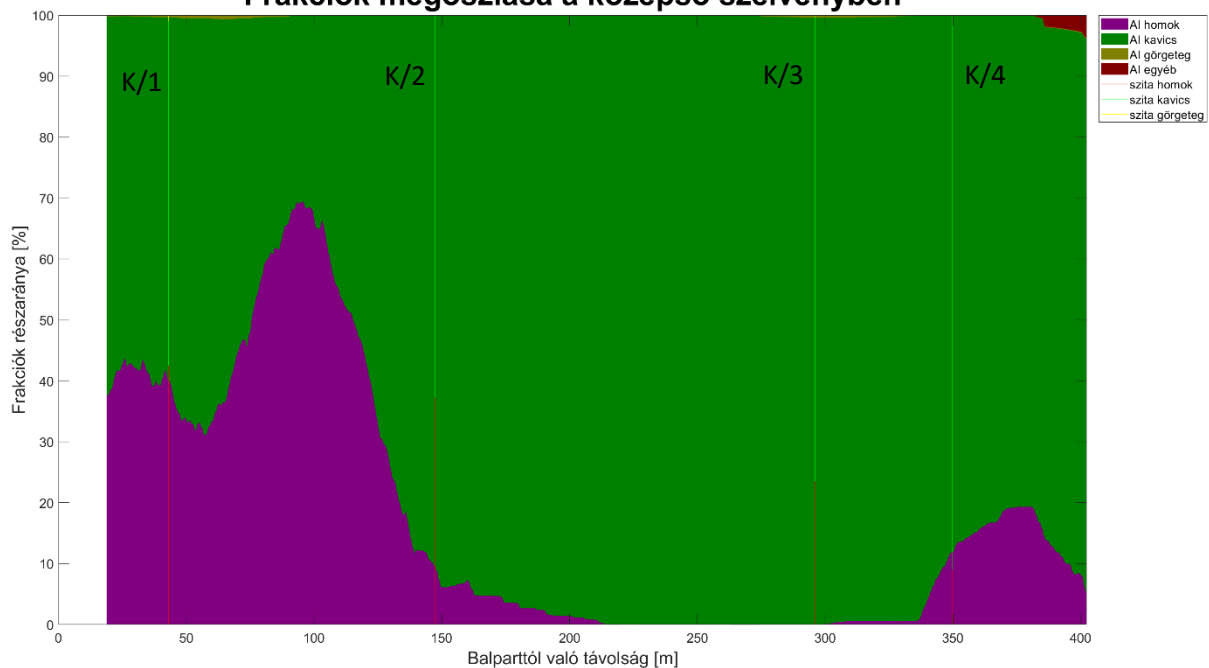
Az AI által, frakciók arányából készített görbék (alul). A serleges mintavétel eredményeit F/1-től F/4-ig függőleges, a szitálás eredményével arányos, vonalak jelölik. Videók szabad szemmel történt elemzéséből ábrázolt homogén szakaszok (felül).

Az F/4 serleges mintavételből származó eredmény nehezen látható az ábrán (12. kép), mivel az a kamerával vizsgált terület szélén van, és nincs mozgóátlag. A mesterséges intelligencia F/3, F/4 értékei nagyon szép egyezést mutatnak a mederanyag mintavétellel. A többi pontban viszont jelentősen nagyobb arányban mutat homokot, mint a mesterséges intelligenciával készített adatsor, ahogy az a pontokban való összehasonlításnál is látható volt (9. kép). A térképen a videó alapján jelölt szakaszok viszont szoros kapcsolatot mutatnak az AI görbével, a frakciók megoszlása a szelvénymentén jól illeszkedik a videók szabadszemmel végzett elemzéséhez (10. kép). Ez leginkább a homokos területeken látható.

#### 4.2.2. Középső szelvény



**Frakciók megoszlása a középső szelvényben**

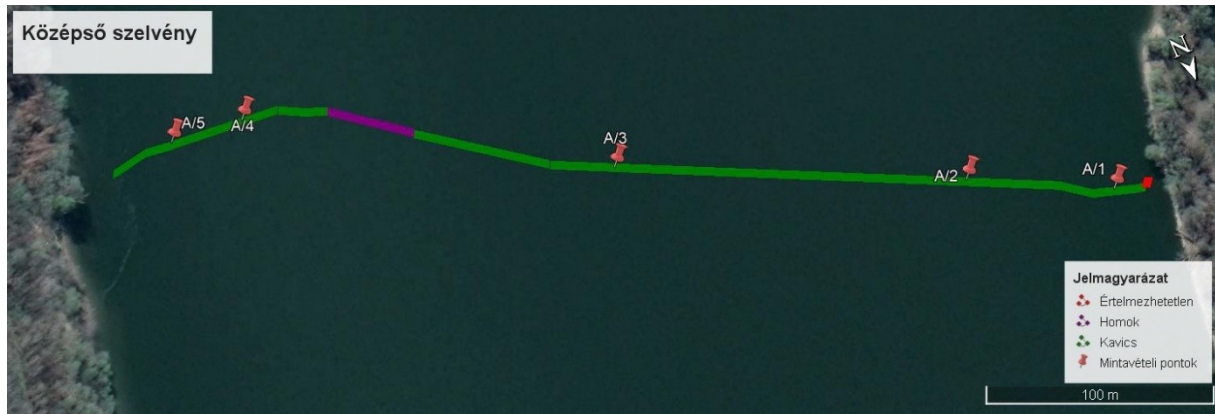


13. Kép: A középső szelvény különböző eljárásokkal nyert eredményeinek összehasonlítása.

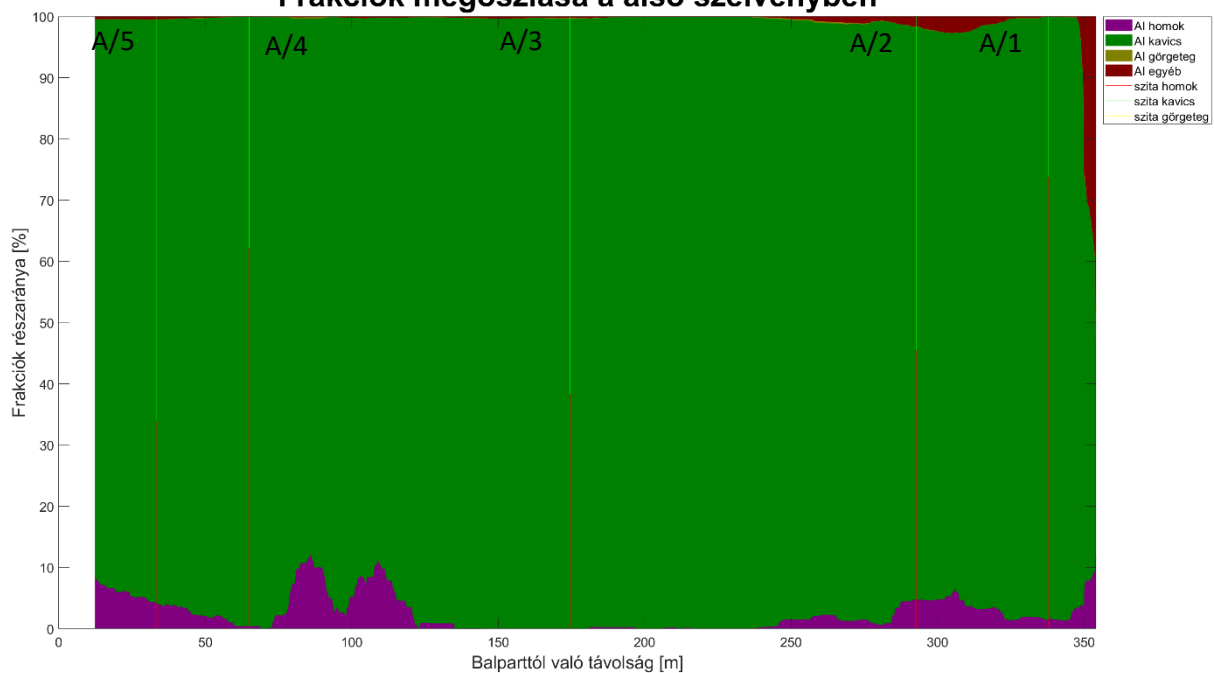
Az AI által, frakciók arányából készített görbék (alul). A serleges mintavétel eredményeit K/1-től K/4-ig függőleges, a szítálás eredményével arányos, vonalak jelölik. Videók szabad szemmel történt elemzéséből ábrázolt homogén szakaszok (felül).

A két szélső, a K/1 és a K/4-es pontban, serleges mintavétel nagyobb hasonlóságot mutat az AI által generált frakció arányokhoz, mint a középsők. A térképen jelölt homokos szakasz itt is megközelítőleg egybeesik a mesterséges intelligencia által jelölt csúccsal (13. kép).

### 4.2.3. Alsó szelvény



**Frakciók megoszlása a alsó szelvényben**



14. Kép: Az alsó szelvény különböző eljárásokkal nyert eredményeinek összehasonlítása.

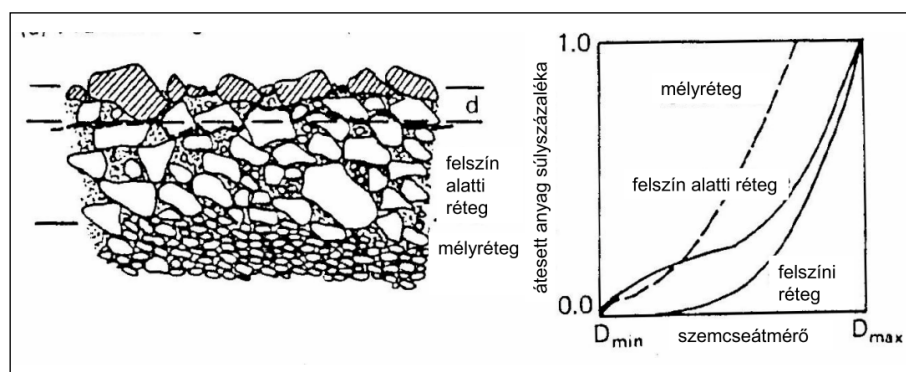
Az AI által, frakciók arányából készített görbék (alul). A serleges mintavétel eredményeit A/1-től A/5-ig függőleges, a szitálás eredményével arányos, vonalak jelölik. Videók szabad szemmel történt elemzéséből ábrázol homogén szakaszok (felül).

Az alsó szelvényben (14. kép), a korábbi generációs kamerával készült felvétel, az AI és a mederanyag mintavétel értékei nem egyeznek, sokkal lazább kapcsolatot mutatnak. A térképen jelölt homokos szakasz itt is egybeesik a mesterséges intelligencia által jelölt homokosabb szakasszal, bár a mozgó átlaggal kisebb a csúcs (azaz a homok részaránya), mint a másik két szelvényben volt.



## 5. Értékelés, javaslatlétételek

Az eredmények ismeretében általánosságban elmondható, hogy a fizikai mederanyag mintavételező eljárás az összes módszer közül a legtöbb homokot jelezte, amit véleményünk szerint az okozott, hogy ez az egyetlen módszer, amely nem csak közvetlenül a mederfelszín vizsgálja. Korábbi vizsgálatok ugyanis rámutattak, hogy homokos-kavics összetételű mederfenéken az ún. szelektív hordalékvándorlás következményeként megváltozik a mederfelszín összetétele, durvul, mert a jellemzően hosszú időn keresztül fennálló kis- és középvizes időszakokban a finomabb frakciók szinte teljesen kimosódhatnak a meder felszíni rétegéből. Ezt a jelenséget illusztrálja az alábbi ábra, amin a mederanyag rétegzettsége figyelhető meg (15. kép).



15. Kép: Szelektív erózió következtében kialakuló rétegzettség (Diplas, 1988)

Mivel ismert ez a jelenség, az eltérés a fizikai és kép alapú eljárások eredményei között magyarázható, jóllehet a mintavevő serleg mederanyagba való belemerülési mélysége nem ismert, és ez az adatok értékelésében nagyfokú bizonytalanságot okoz.

Az eredményeink alapján arra jutottunk, hogy a Wavelet transzformációs eljárás a finom szemcséket nem tudja feldolgozni, ezért jelentősen alul becsülte azok arányát a mederben. Fontos tapasztalat volt, hogy a módszer hatékonysága nagyban függ a képminőségtől, vagy másképpen, nagyon érzékeny a képminőségre. Elmondható, hogy ez a módszer jelezte, a többihez képest kiugró módon, a legtöbb görgeteget. Mivel a képek ellenőrzésével egyértelmű, hogy a görgeteg frakciót felülbecsli, azt feltételezzük, hogy a finom frakciójú területeket, összefüggő homogén foltokat érzékeli nagy hordalékszemcséknek. A Wavelet eljárás másik hátránya a mesterséges intelligenciával szemben, hogy képenként szükséges megadni a méretszorzót, amit egy a képen rögzített referenciával, mondjuk állandó távolságú lézerefényekkel ki lehetne küszöbölni.

A mesterséges intelligencia alapú eljárás a két másik módszer közé becsli a homok és görgeteg frakciókat, és általában magasabb kavics arányt jelez. A területek lehatárolása sokszor nem elég részletes, így látható volt, hogy sokszor homokos foltokat is kavicsnak érzékel. Mivel a betanítás a képen lévő szemcsék egymáshoz viszonyított mérete alapján történt így a frakcióhatárokat nem tudja konzekvensen kezelni. Ezeket további betanítással, vagy kalibrációval küszöbölhetnénk ki. Mivel a képminőség ennél a módszernél is fontos szerepet játszik, érdemesnek tartjuk nagyobb felbontású képek elemzését, és a számítási időt inkább az elemzett képek számával csökkenteni.

A fentiekből látszik, hogy a mederkamerázás módján mindenképpen érdemes lenne javítani, mivel a képalapú eljárások pontossága nagyban függ a képek minőségétől. Ezek jelentős területe túl sötét, vagy éppen túl világos az elemzésekhez, egyenletesebb megvilágítással és jobb kamera beállítással lehetne javítani rajta. Mivel a gyorsan változó medermélységet nehéz lekövetni a lassan felszínre érő kép alapján, gyakran túl messzi képet kapunk, amin alig látszik több a lebegtetett hordaléknál, vagy felkavarjuk a mederanyagot. Ezt akár egy nyomásmérő vagy egy távolságmérő (amennyiben a lebegtetett hordalék ellenére is pontos eredményt tud nyújtani) készülékkel, és esetleg egy automatizált irányító berendezéssel lehetne megoldani.

Látva a két képelemző eljárás alkalmazási korlátait, javaslatként megfogalmazható, hogy kombináljuk a szoftvereket a pontosabb eredmények érdekében, hiszen az AI képes az apróbb szemcséket is felismerni, a Wavelet módszer pedig a nagyobb frakciókat tudja pontosabban elemezni. Egy ilyen összetett eljárással vélhetően még részletesebb mederösszetétel elemzés lenne végrehajtható, több frakció számszerűsítésével.

Összefoglalásként, a TDK keretében elvégzett kutatásaink alapján kijelenthető, hogy a vizsgált képelemző módszerek, körültekintő alkalmazással és kiegészítő mérésekkel való igazolás után, megfelelő eszközök lehetnek nagy kiterjedésű, változékony szemösszetételű folyómedrek mederszemösszetétel térképeinek előállítására. Mivel mind a helyszíni mérés, mind az adatfeldolgozás hatékonyan, rövid idő alatt végrehajtható, megismételt mérésekkel a mederszemösszetétel időbeli változására is rá lehet mutatni, ami pl. egy árhullám hatását, vagy valamilyen beavatkozás mederanyagra való hatását mutathatja be. A képalapú módszerekkel előállítható eloszlások kiváló alapadatot szolgáltatnak olyan szimulációs modelleknek, amelyek képesek a területileg változó hordalékatokat kezelni, de megfelelő alapot adnak pl. élőhely-hidraulikai vizsgálatoknak is, ahol a mederösszetétel fontos szerepet játszik.



## 6. Köszönetnyilvánítás

Köszönjük Dr. Baranya Sándornak és Ermilov Alexander Anatolnak az iránymutatást, valamint az időt és energiát, amelyet a konzultációkra fordítottak. És köszönjük a Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék munkatársainak, hogy lehetővé tették a terepi méréseket.

## 7. Ábrajegyzék

1. Kép: WorkHorse Rio Grande 1200 kHz típusú ADCP .....	8
2. Kép: Serleges mintavevő eszköz.....	9
3. Kép: Laboratóriumi rázógép, szabványos szitasorral felszerelve (jobb fent), Szárított minta (bal fent), Elkészített szemeloszlási görbe (alul).....	9
4. Kép: A mederfelvételekhez használt installáció .....	10
5. Kép: Wavelet transzformációs módszert szemléltető folyamatábra (Church, 2006).....	11
6. Kép: Konvolúciós neutrális hálózat (Benkő, 2018) .....	12
7. Kép: Egy képkocka és a hozzá készült elemzés.....	12
8. Kép: A mintaterület a vizsgált szelvényekkel .....	13
9. Kép: A felső szelvény különböző eljárásokkal nyert eredményeinek összehasonlítása. Nyers képek az összehasonlítási pontokban (bal), azokból a mesterséges intelligenciával előállított képek (középen), eljárások összehasonlítása (jobb). A diagrammokon az AI oszlopok nem az adott kép, hanem az adott képhez tartozó mozgóátlagot ábrázolják. ....	15
10. Kép: A felső szelvény különböző eljárásokkal nyert eredményeinek összehasonlítása. Nyers képek az összehasonlítási pontokban (bal), azokból a mesterséges intelligenciával előállított képek (középen), eljárások összehasonlítása (jobb). A diagrammokon az AI oszlopok nem az adott kép, hanem az adott képhez tartozó mozgóátlagot ábrázolják. ....	16
11. Kép: Az alsó szelvény különböző eljárásokkal nyert eredményeinek összehasonlítása. Nyers képek az összehasonlítási pontokban (bal), azokból a mesterséges intelligenciával előállított képek (középen), eljárások összehasonlítása (jobb). A diagrammokon az AI oszlopok nem az adott kép, hanem az adott képhez tartozó mozgóátlagot ábrázolják. ....	17
12. Kép: A felső szelvény különböző eljárásokkal nyert eredményeinek összehasonlítása. Az AI által, frakciók arányából készített görbék (alul). A serleges mintavétel eredményeit F/1-től	

- F/4-ig függőleges, a szitálás eredményével arányos, vonalak jelölik. Videók szabad szemmel történt elemzéséből ábrázolt homogén szakaszok (felül)..... 18
13. Kép: A középső szelvény különböző eljárásokkal nyert eredményeinek összehasonlítása. Az AI által, frakciók arányából készített görbék (alul). A serleges mintavétel eredményeit K/1-től K/4-ig függőleges, a szitálás eredményével arányos, vonalak jelölik. Videók szabad szemmel történt elemzéséből ábrázolt homogén szakaszok (felül)..... 20
14. Kép: Az alsó szelvény különböző eljárásokkal nyert eredményeinek összehasonlítása. Az AI által, frakciók arányából készített görbék (alul). A serleges mintavétel eredményeit A/1-től A/5-ig függőleges, a szitálás eredményével arányos, vonalak jelölik. Videók szabad szemmel történt elemzéséből ábrázol homogén szakaszok (felül)..... 21
15. Kép: Szelektív erózió következtében kialakuló rétegzettség (Diplas, 1988)..... 22

## 8. Irodalomjegyzék

1. Benkő, G., Baranya, S., Török, T.G., Molnár, B. (2020): Folyami mederanyag szemösszetételének vizsgálata Mély Tanulás eljárással drónfelvételek alapján (in English: Analysis of composition of river bed material with Deep Learning based on drone video footages). *Hidrol. Közlöny* 2020, 100, 61–69.
2. Bunte, K., Abt, R.S. (2001): Sampling surface and subsurface particle-size distributions in wadable gravel- and cobble-bed streams for analyses in sediment transport, hydraulics, and streambed monitoring. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-74. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 428 p.
3. Buscombe, D. (2013): Transferable wavelet method for grain-size distribution from images of sediment surfaces and thin sections, and other natural granular patterns. *Sedimentology* 2013, 60, 1709–1732.
4. Buscombe, D., Ritchie, A.C. (2018): Landscape Classification with Deep Neural Networks. *Geosciences* 2018, 8, 244.
5. Chandler, J., Lane, S. N. , Ashmore, P. (2000): Measuring river-bed and flume morphology and parameterising bed roughness with a Kodak DCS460 digital camera. January 2000. *Archives of Photogrammetry, Cartography and Remote Sensing XXXIII*.
6. Church, M. (2006): Bed material transport and the morphology of alluvial river channels. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, Vol. 34:325-354 (Volume publication date 30 May 2006)
7. Detert, M., Weitbrecht, V. (2013). User guide to gravelometric image analysis by BASEGRAIN. In: *Advances in Science and Research*, S. Fukuoka, H. Nakagawa, T. Sumi, H. Zhang (Eds.), Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-00062-9, pp. 1789-1795.
8. Diplas, P. (1988): Sampling techniques for gravel sized sediments. May 1988, *Journal of Hydraulic Engineering* 114(5). DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(1988)114:5(484)
9. Ermilov, A.A, Baranya, S., Török, G.T. (2020): Image-Based Bed Material Mapping of a Large River. *Water* 2020, 12(3), 916; <https://doi.org/10.3390/w12030916>
10. Füstös, V., Baranya, S., Fleit, G., Erős, T., Szalóky, Z., Tóth, B., Józsa, J. (2020): A felső-magyarországi Duna élőhely szempontú hidrodinamikai vizsgálata. *PISCES HUNGARICI* (13). pp. 81-90. ISSN 1789-1329

11. Pomázi, F., Baranya, S. (2020): Nagy folyók lebegtetett hordalékvándorlásának új vizsgálati módszerei 2. - Közvetlen és közvetett lebegtetett hordalékmérési eljárások összehasonlító vizsgálata. Hidrológiai közlöny, 100 évf., 3.szám, 2020.
12. Pomázi, F., Baranya, S., Török, G. T. (2020): Nagy folyók lebegtetett hordalékvándorlásának új vizsgálati módszerei 1. –A továbbfejlesztett hordalékmonitoring módszertan bemutatása. Hidrológiai közlöny, 100 évf., 2.szám, 2020.
13. Rice, S.; Church, M. Grain size along two gravel-bed rivers: Statistical variation, spatial pattern and sedimentary links. Earth Surf. Process. Landf. 1998, 23, 345–363.
14. Rüter, N., Aberle, J. (2013): Verifying a photogrammetric method to quantify grain size distribution of developed armor layers. September 2013, 35th World Congress of IAHR, Chengdu, China
15. Seitz, L., Haas, Ch., Noack, M., Wieprecht, S. (2018): From picture to porosity of river bed material using Structure-from-Motion with Multi-View-Stereo. April 2018, Geomorphology, Volume 306, p. 80-89. 10.1016/j.geomorph.2018.01.014
16. USDA, 2007, Technical Supplement 13A: Guidelines for Sampling Bed Material.
17. UTIBER-Vízterv-BME (2020): „A NIF Zrt. beruházásában megvalósuló a Transzeurópai Közlekedési Hálózat – TEN-T belvízi út fejlesztéséhez kapcsolódó tervezői feladatok ellátása tervezési szerződés keretében” 2014-HU-TMC-0606-S. HELYZETÉRTÉKELŐ TANULMÁNY. Szakértői jelentés. Budapest. 2020.