

A DUNA LEBEGTETETT HORDALÉKTÖMÉNYSÉGÉNEK MONITORINGJA FIX TELEPÍTÉSŰ ZAVAROSSÁGMÉRŐ MŰSZER ALKALMAZÁSÁVAL

Vas László Tamás

kiemelt műszaki referens

Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság, Vízrajzi Osztály

KIVONAT

A folyók hordalékszállításának megbízható mérése és számítása az operatív és nem operatív folyami monitoringfolyamatok szinte utolsó jelentősebb pontatlanságokkal tarkított szegmense. A jelenleg alkalmazott hordalékhozam-görbés ($G=f(Q)$) módszer a legtöbb esetben nem nyújt kellő pontosságú eredményt, a bizonytalanság akár 150%-os is lehet. Kísérleti jelleggel zavarosságregisztráláson alapuló közvetett módszert tesztelünk, amely a part menti zavarosság és a szelvényen átáramló hordalékhozam közötti összefüggés keresésén alapul. A part menti zavarosságot fix telepítésű zavarosságmérővel regisztráljuk, míg a szelvényen átáramló hordalékhozamot hagyományos módszerekkel mérjük. A feldolgozás során elvégezzük a vett minták laboratóriumi feldolgozását, a lebegtetett hordalékhozam meghatározását, valamint az egyidejű mérések és mintavételek alapján a módszerek összehasonlítását. A kutatás során kapcsolatot állítunk fel a zavarosság és a lebegtetett hordaléktöménység, a szonda által mért zavarosság és a kézi zavarosságmérő által mért zavarosság, valamint a part menti hordaléktöménység és a szelvénymenti hordalékhozam között. A két módszerrel mért értékek jó egyezést mutatnak, de a közvetett módszer verifikálását szükségesnek tartjuk nagyobb adathalmazra kiterjeszteni.

KULCSSZAVAK: Duna, lebegtetett hordalék, zavarosság, hordalékhozam, monitoring

BEVEZETÉS

A folyók hordalékszálítási viszonyainak és hordalékháztartásának ismerete elengedhetetlen a folyógazdálkodással foglalkozó szakemberek számára. A folyók mentén lévő hordaléknyilvántartó szelvényekben rendelkezésre álló adatok segítségével megfigyelhetőek az időbeli változások, a mellékágak és a hullámterek hatása a hordalékháztartásra, ami lehetővé teszi a szelvények közötti lerakódás és kimosódás vizsgálatát. Fontosságát mutatja továbbá az is, hogy az elmúlt évtizedben számos neves intézmény (University of Natural Resources and Life Sciences, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Víztudományi Kar) vizsgálták a kérdéskört, számos projekt (SEDDON, DanubeSediment) keretében (*Baranya és társai 2015, Habersack és társai 2019a, 2019b*).

A hordalékszállítás törvényszerűségei régóta ismertek, azonban a gyors és hatékony mérési, pontos számítási vagy származtatási módszerek további fejlesztést igényelnek. A magyarországi gyakorlatban jelenleg egy folyó hordalékszálítási viszonyait egy adott szelvényben az aktuális szelvényre szerkesztett hordalékhozam-görbe írja le, amely a vízhozam függvényében adja meg a hordalékhozamot ($G=f(Q)$). A hordalékhozam görbéket a vízhozamméréssel egyidőben történő lebegtetett hordalékmintavétel eredményei alapján lehet megszerkeszteni. Ezeknek a méréseknek az időbeli ütemezését az Országos Vízügyi Főigazgatóság és a vízügyi igazgatóságok mérési terve szabályozza. A jelenlegi gyakorlat szerint évente 5 mérés történik, előre meghatározott időpontokban. Hidrológiai helyzet függvényében többletmérések kerülnek elvégzésre, így az egy évben elvégzett mérések száma egy szelvényben 5-10. A mérési eredményekre szerkesztett hordalékhozam görbével a hordalékszálítási viszonyokat csak közelítő módon lehet leírni. A görbe és a mért pontok, valamint a mért pontok közötti eltérés azonos vízhozam esetén jelentős: a Duna dunaújvárosi szelvényében például $\sim 3\,000\text{ m}^3/\text{s}$ vízhozamnál átáramolhat 80 kg és 250 kg lebegtetett hordalék is másodpercenként. A hordalék-

hozam görbe nem tudja figyelembe venni az árhullám során levonuló hordalék mennyiségének valószínűsíthető hurokgörbéjét. Nem lehet a görbével továbbá figyelembe venni egyéb, nem feltétlenül a folyómederben lezajló folyamatokat, amik hatással vannak a levonuló hordalék mennyiségére. A hordalék mennyisége függhet attól, hogy a milyen forrásból (csapadék vagy hóolvadás) vagy melyik részvízgyűjtőből érkezik az árhullám. Számít természetesen az is, hogy milyen vízállással vonul le az árhullám, hiszen a magasabbak lerakódott iszapot moshatnak ki a mellékágakból vagy a hullámtérről. Az árhullámok egymásutánisága szintén befolyásolhatja a vízhozam és a lebegtetett hordalékmennyiség kapcsolatát. Míg az első árhullám ki-moshatja a mellékágakból az oda lerakódott iszapot, így növelve a főmeder hordaléktöménységét, addig a későbbi árhullámok ezt már nem tudják megtenni.

A hordalékhozam görbe által adott eredmények a fentiek miatt tehát jelentős bizonytalansággal terheltek. Szakmai szempontból szükséges ezért egy olyan módszer, amely a jelenleg alkalmazottnál gyorsabban szolgáltat megbízhatóbb adatok, jobb időbeli felbontással. Nemzetközi szakirodalmakban számos jó gyakorlat található (*Habersack és társai 2013*), de fellelhető magyarországi példa is (*Kutai 2014, Pomázi és Baranya 2020*). A DanubeSediment projekt keretében számos publikáció készült, melyek alkalmazandó jó gyakorlatokat ajánlanak a Duna teljes szakaszára. A Dunán levonuló hordalék tömegének meghatározásához egy távjelzősített zavarosság mérésen alapuló, integrált módszert ajánlottak. A módszer lényege, hogy egy parthoz közel telepített szenzor folyamatosan regisztrálja a zavarosságot, melyet egy kalibrációs egyenlet segítségével át lehet számolni szenzor melletti hordaléktöménységgé. A parthoz közel, egy pontban regisztrált hordaléktöménységet egy ismételt kalibrációs egyenlet segítségével át lehet számítani szelvény középtöménységgé. A szelvény középtöménységet szorozva a vízhozammal számítható az egész szelvényen átáramló hordalékhozam, melyet időben integrálva megkapható a levonult hordalék tömege (*Habersack és társai 2018a*). Az ajánlott módszer sikeres alkalmazására van nemzetközi és hazai példa is. A University of Natural Resources and Life Sciences (Bécsi Agrártudományi Egyetem, Ausztria) munkatársai sikeresen állították fel a többlépcsős kapcsolatot a partmenti zavarosság és a szelvény középtöménysége között (*Habersack és társai 2013*). Magyarországon a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem munkatársai szintén sikerrel alkalmazták a módszert. A Duna sződligeti és ráckevei szakaszán (1674 fkm, 1604 fkm) állítottak fel kapcsolatot a part mentén mért lebegtetett hordaléktöménység és a szelvény menti hordalékhozam között (*Pomázi és Baranya 2020*). Az ajánlott módszer folyamatábrája az 1. ábrán látható.



1. ábra. Lebegtetett hordalékhozam meghatározása zavarosság alapján (*Habersack és társai 2019b, szerző fordítása*)

Terminológia

Szárazanyag-tartalom: A tetszőleges térfogatú vízmintában lévő szárazanyag tömege [mg, g].

Hordaléktöménység: A hordalék víz térfogategységre vonatkoztatott tömege [mg/l, kg/m³].

Hordalékhozam: A folyó kiválasztott keresztmetszelyén időegység alatt áthaladó hordalék tömege [kg/s, t/év].

Zavarosság: A víz csökkent átlátszósága, melyet a benne lévő részecskék a rajta áthaladó fény szétszórásával és elnyelésével okoznak [NTU, FTU, FNU].

Szakirodalmi áttekintés

A hazai és nemzetközi szakirodalmakat áttekintve a lebegtetett hordalékmintavételi módszerek az alábbiak szerint csoportosíthatók:

- közvetlen módszerek
 - o pillanatnyi
 - o szivattyús
 - o izokinetikus
- közvetett módszerek
 - o zavarosságméréssel
 - o lézerdiffrakcióval
 - o nyomáskülönbséggel
 - o akusztikus módszerrel

A mintavételi módszerek közül csak a cikk szempontjából relevánsak (közvetlen szivattyúval és a közvetett zavarosságméréssel) kerülnek röviden bemutatásra. A módszerek részletesebb bemutatását Pomázi és társai megtették 2020-as cikkükben (*Pomázi és társai 2020*).

A szivattyús mintavétel során a mintát szivattyú segítségével hozzák a felszínre. A nemzetközi szakirodalomban a szivattyús mintavétel alatt értik azt is, amikor a monitoringállomáson a mintavételt a beépített szivattyú kiépített szerelvényezésen keresztül, automatikusan veszi meg. A magyar szakirodalomban a szivattyús mintavétel során a szivattyú szívócsövének végét leeresztik a mintavételi pontba és felszívják a szükséges térfogatú mintát. A szivattyús módszer hátránya, hogy amennyiben a mintavételi sebesség nem egyezik meg a pontban lévő vízsebességgel, úgy a megvett minta hordaléktöménysége sem fog. A relatív mintavételi arány (mintavételi sebesség/vízsebesség) függvényében a töménységbeli eltérés -20-+60% is lehet. Eltérést eredményez továbbá az is, ha a szívócső vége nem párhuzamos a folyásiránnyal, hanem azzal valamilyen szöget zár be. A különböző paraméterek eltéréseinek hatásait az Iowai Egyetemen vizsgálták és publikálták (*Iowa University 1941*).

A közvetlen módszerek a mintavételi függvények száma szerint tovább bonthatók, a szakirodalmak megkülönböztetnek egyfüggélyes, illetve többfüggélyes módszereket. Az egyfüggélyes módszernél a függély helyét műszaki megfontolás alapján kijelölik (középen, legnagyobb mélységben) és a mintavevőt a kiválasztott függélyben folyamatos mintavétel mellett le-, majd felengedik. A többfüggélyes módszerek közül a nemzetközi szakirodalom hármat ajánl: mintavétel azonos vízhozamú lamellákban, azonos szélességű lamellákban, illetve azonos területű lamellákban. A mintavétel hasonló módon történik a többfüggélyes módszereknél, mint az egyfüggélyes módszernél (azonos sebességgel történő mozgatás), eltérés a függélyek számában van. Az azonos vízhozamú lamellák módszerénél 4-9 függélyben, az azonos szélességű lamellák módszerénél legalább 10 függélyben kell függély átlagmintát venni. A lebegtetett hor-

dalék mintavételre vonatkozó magyar szabályozás (ME-10-231-20:2009: Felszíni vizek lebegtetett hordalékának mérése szivattyús vízmintavevővel) olyan többfüggélyes módszert ír elő, ahol a lamellák egyenlő szélességűek, azonban az átlagmintát nem folyamatos le-és felengedéssel kell megvenni. A hazai gyakorlatban a függély átlagmintát úgy kell előállítani, hogy a függélyben 10, egyenletesen kiosztott mélységben kell 1-1 liter mintát venni, majd ezt összeöntve képezni a 10 liter térfogatú függély átlagmintát. A Duna esetében a Műszaki Előírás 7 mintavételi függélyt ír elő (Gray és Landers 2014, ME-10-231-20:2009).

A hordaléktöménységet közvetett módon zavarosság-méréssel is lehet mérni. A víz zavarossága annak csökkent átlátszóságát fejezi ki, amit a vízben lévő részecskék a vízen áthaladó fénysugarak szórásával vagy elnyelésével okoznak. A napi használatban elterjedt zavarosság-mérő műszerek nefelometria törvényszerűségein alapulnak (nefelométerek). A nefelometriás mérés során a fény 90°-os szóródását mérik látható vagy infravörös tartományban. Az optikai visszaverődést mérő készülékek infravörös tartományban mérik a 140-165°-ban szórt fénysugarakat. Az ilyen készülékek alkalmasak kis térfogatú minta (néhány cm³) elemzésére is. A fény szóródása függ a mintában lévő részecskék méretétől, színétől, a törésmutatótól és a részecskék alakjától (Sutherland és társai 2000). Előnye ennek a módszernek, hogy beépíthető és automatizálható, ami nagyban növeli az adatok időbeli felbontását. A módszer hátránya, hogy a zavarosság függ a hordalék méretétől, összetételétől, színétől és formájától. A beépítés hátránya, hogy a pontosságot a szondán való biofilmképződés nagymértékben csökkenteni tudja, ezért gondoskodni kell a folyamatos tisztántartásról. Közvetett módszer lévén a zavarosság hordaléktöménységgé való átszámításához kalibráció szükséges.

A fentiekről összegzésként elmondható, hogy a közvetlen módszerek során adat csak akkor keletkezik, ha a mintavevő csoport fizikailag jelen van a helyszínen, megveszi a mintákat és elvégzi a szükséges laborálási és feldolgozási munkákat. A közvetlen módszerekkel szerzett adatok időbeli felbontása nem lehet tetszőleges alacsonyan, függnék a rendelkezésre álló emberi erőforrástól és a mérési körülményektől. A közvetett módszerek valamely fizikai összefüggés használatán nyugszanak, így mindegyikhez szükséges a mért és a keresett paraméter közötti kalibráció. A kalibráció felállításáig fokozott számú mintavételezés szükséges, utána elegendő expedíciós jellegű mintavétellel ellenőrizni a felállított kalibráció helyességét. A közvetett módszerek nem adnak a teljes keresztshelvényre jellemző információt, csak pontbelit. A pontbeli információk keresztshelvénymenti kiterjesztéséhez külön kalibráció szükséges. Előnye ezeknek a módszereknek, hogy távjelzősíthetőek, ezért helyszíni jelenlét nélkül, szinte tetszőleges időbeli felbontásban tudnak adatot szolgáltatni.

Jelen cikk célja a DanubeSediment projekt keretében ajánlott és Ausztriában, valamint Magyarországon is sikeresen használt, távjelzősített zavarosság-mérése alapuló integrált módszer alkalmazhatóságának vizsgálata a Duna magyarországi szakaszán, különös tekintettel a bajai szelvényre. Az ajánlott módszert kismértékben módosítottuk, az alkalmazott módszertant a következőkben mutatjuk be.

ALKALMAZOTT MÓDSZEREK, MÉRÉSI TECHNOLÓGIÁK

Lebegtetett hordalék-mintavétel

A lebegtetett hordalék mintavételét a vonatkozó hatályos műszaki előírás szerint végezzük (ME-10-231-20:2009: *Felszíni vizek lebegtetett hordalékának mérése szivattyús vízmintavevővel*). A műszaki előírás szerinti módszer a nyíltfelszínű vízfolyások lebegtetett hordalékhozamának alkalmankénti, de legfeljebb napi 1-2 alkalommal történő mérésére alkal-

mazható (csónakból vagy hídról). A módszer akkor alkalmazható, ha a legnagyobb függély közepesség nem haladja meg az 1,8 m/s-ot, illetve, ha a vízmélység minden mintavételi pontban nagyobb, mint 1 m (ME-10-231-20:2009).

A mintavétel vízhozamméréssel együtt történik, ezért azt egy, legalább 4 átkeléssel végrehajtott, Doppler-elvű (ADCP) műszerrel történő vízhozammérés előzi meg a vonatkozó műszaki előírás szerint (ME-10-231-17:2009: Felszíni vizek vízhozamának mérése ADCP berendezéssel). A vízhozammérést követően a mérőcsoport elvégzi a lebegtetett hordalékmintavételt. A dunai hordalékmérési szelvények esetében a mintavétel 7, közelítőleg azonos szélességű függélyben történik, függélyenként 10 pontban, a vonatkozó műszaki előírás szerint (ME-10-231-20:2009). A mintázás során függély-átlagmintát veszünk: a függély mentén 10, egyenletesen elosztott mélységű pontból mintavevő szivattyúval kiemelünk 1 liter mintát. Az egy függélyhez tartozó minták egy tárolóba kerülnek, így a 10 minta egybeöntve adja a függély átlagmintáját (ME-10-231-20:2009, ME-10-231-20:2009).

Laboratóriumi vizsgálatok

A mérés után a mintákat egy napig fény- és fagymentes helyen tároljuk. A rövid tárolás után kézi zavarosságmérővel megmérjük a minták zavarosságát. A zavarosság méréséhez Hach 2100QIS kézi zavarosságmérőt használunk, amely a zavarosságot az EPA 180.1 szabvány alapján határozza meg. A műszer a mintán átbocsájtott fény 90°-os szóródását méri nefelometriás zavarossági egységben (NTU – Nephelometric Turbidity Unit). A zavarosságmérő a 15 mL-es minta zavarosságát 0 – 1 000 NTU közötti tartományban képes megmérni. A műszer megfelelő működése a 6 részből álló, ismert zavarosságú standardsorozattal rendszeres ellenőrizhető, szükség esetén ugyanezzel a sorozattal egyszerűen kalibrálható. A zavarosságmérés során a jól felkevert függély átlagmintából kisebb edénnyel mintát veszünk, majd ezzel feltöltjük a műszer küvettáját. A küvettát annak megtisztítása után ismét fel kell rázni, majd behelyezni a műszerbe és elindítani a mérést. A zavarosság meghatározását mintánként háromszor végzük el, mindig új mintát véve a felkevert függély átlagmintából. Amennyiben a három mérés között van az átlagostól jelentősen eltérő eredmény, azt kizárva végzünk egy pótmérést. A függély átlagminta zavarossága a három mérési eredmény átlaga lesz.

A zavarosságmérés után a hordalékmintákat leülepítjük, ~ 1 literre leszívjuk és laboratóriumba küldjük, ahol meghatározzák szárazanyag-tartalmukat és szemeloszlási görbéjüket (a szemeloszlási adatok jelen cikk szempontjából irrelevánsak). A laboratóriumi feldolgozás módját az ME-10-231-19:2009 (Felszíni vizek lebegtetett hordalékának mérése palackos mintavevővel) műszaki előírás szabályozza. Az előírás szerint a minták szárazanyag-tartalmát lepárlócsészében történő szárítással, a szemeloszlását hengeres ülepitőberendezéssel kell meghatározni.

A szárazanyag-tartalom meghatározásához az 1 literes palackban lévő vízmintát le kell ülepíteni, majd a megtisztult vizet (az alján lévő kiülepedett hordalék felkavarása nélkül) le kell szívni. A maradék mintát lepárlócsészébe kell önteni és szárítószekrényben tömegállandóságig szárítani, majd meghatározni a hordalék tömegét. A visszamért tömeget leosztva a vett minta térfogatával megkapható a függély átlagtöménysége. A szárazanyag-tartalom meghatározásához a lepárlócsésze helyett lehet használni szűrőpapírt is.

Lebegtetett hordalékhozam számítása

A hordalékhozam számításának alapegyenlete:

$$G = \sum_{i=1}^n q_i * c_i$$

ahol:

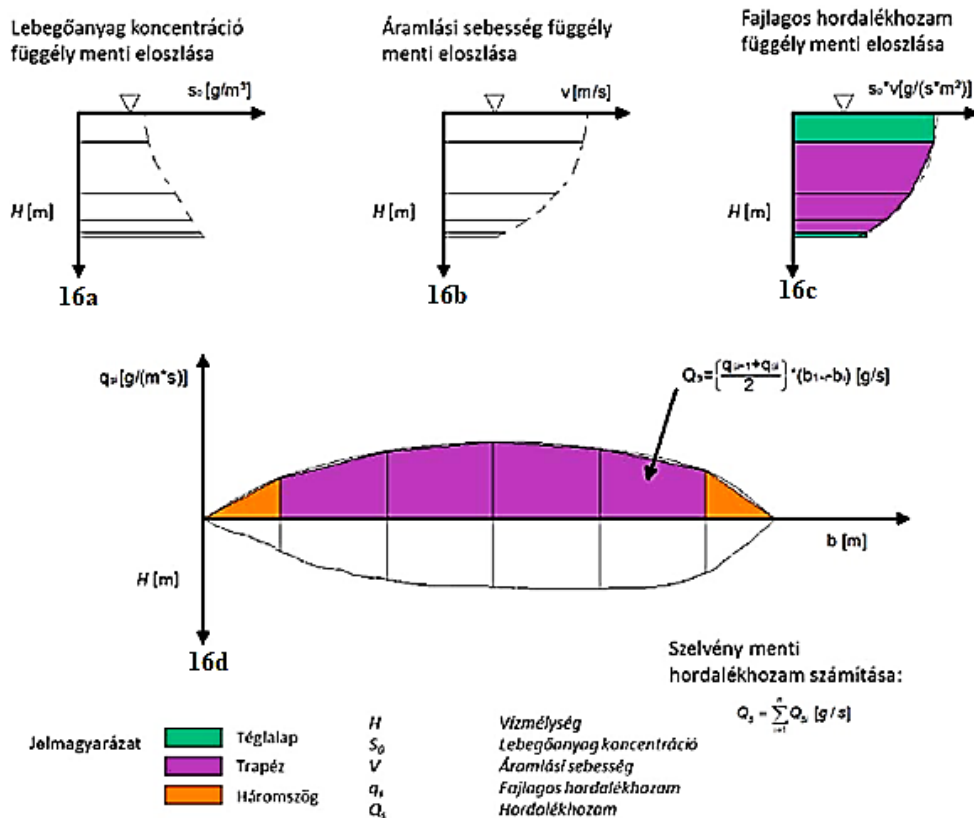
G – szelvény lebegtetett hordalékhozama [g/s]

n – hordalékmintavételi függvények száma [db]

q_i – hordalékmintavételi lamella részvízhozama [m³/s]

c_i – hordalékmintavételi függvény hordaléktöménysége [g/m³]

A számítás során elő kell állítani a hordalék mintavételi függvények lamelláit (függvényhez tartozó mederszélesség). Egy hordalékmérési lamella több vízhozammérési lamellából áll, ezért a hordalékmintavételi lamella részvízhozama az abban lévő vízhozammérési lamellák részvízhozamainak összege. A vízhozammérési lamellákban a vízhozam a lamellák átlagsebességének és területének szorzata. A hordalékmérési lamella részvízhozamának és a hordalékmintavételi függvény hordaléktöménységének szorzata megadja a lamella hordalékhozamát. Lamellánként összegezve a hordalékhozamokat megkapható a keresztaszelvény lebegtetett hordalékhozama (VMS 251/8-81).



2. ábra. Lebegtetett hordalékhozam számítása
(Haimann és társai 2014a, Pomázi és társai 2020 fordítása)

A számítást számítógéppel (HOZAM2 programban) egyszerűen el lehet végezni. Az ADCP-s vízhozammérési fájlt a szoftverbe be lehet olvasni, amit az átkonvertál függvény átlagsebességeké. Megadva a hordalékmintavételi függvények helyét és hordaléktöménységét a program a fenti módszerrel elvégzi a szükséges számításokat.

Zavarosság regisztrálása

A zavarosság folyamatos észlelésére OTT Hydrolab HL7 multiparaméteres szondát használunk. A szonda által mért paraméterek a beszerzéskor választhatóak, a gyártó összesen 13 szenzort kínál a szondához. Az általunk üzemeltetett szonda zavarosságot, α -klorofillt, valamint vízhőmérsékletet mér. Az alkalmazott zavarosságmérő szenzor 0-3 000 NTU tartományban képes mérni a zavarosságot. A mérést ISO 7027 szabvány szerint végzi, 880 nm hullámhosszú (infravörös) fény segítségével. Mivel az optikai zavarosságmérők mérési pontosságát a szenzoron kialakuló biofilm jelentősen rontja, ezért a szonda egy központi kefével van felszerelve, amely a műszert folyamatosan tisztán tartja.

A zavarosságmérő szonda és a kézi zavarosságmérő működése a használt szabvány alapján eltérő. A szonda az ISO 7027 szabvány szerint az infravörös fény optikai visszaverődését méri, míg a kézi zavarosságmérő az EPA 180.1 szabvány szerint 90°-os szóródást. Különbözik továbbá az elemzett minta is, míg a zavarosságmérő szonda in-situ, addig a kézi zavarosságmérő többször zavart mintát elemez.



1. kép. Hydrolab HL7 (védőkupak eltávolítva, szerző fényképe)

A multiparaméteres szondát távjelző állomásként építettük ki. Az állomás a Duna bajai szakaszára van telepítve, a folyam $\sim 1479,6$ fkm szelvényében, a bal parton lévő úszó pontonra. A védőcsőből és a műszerdobozból álló tartószerkezet a ponton alvízi részére van felfogatva. Az úszótestre való elhelyezés biztosítja, hogy a mérési pont mindig $\sim 1,5$ m mélységben legyen. Az alvízi elhelyezés nagyobb védelmet biztosít a Dunán érkező uszadéktól, amely a kanyarulati viszonyok miatt valós veszélyt jelent. A szonda a pontonra erősített védőcső alján lévő védőkosárban helyezkedik el. Az állomás szondából, adatgyűjtőből, kiegészítő elektronikából és a tartószerkezetből áll. A folyamatos energiaellátásról napelem és pufferakkumulátor gondoskodik. A szonda a paramétereket óránként méri és küldi a műszerdobozban elhelyezett adatgyűjtő felé, amely továbbítja az adatokat az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság (ADUVIZIG) távmérő központjába, ahol a mért adatok minimális késéssel láthatóak. Az eszközök alacsony energiafogyasztásának köszönhetően az 50W-os napelem és a 22 Ah-ás pufferakkumulátorral problémamentesen látja el a rendszert energiával.



2. kép. Távjelzős zavarosságmérő állomás (Duna folyam, 1479,6 fkm, bal part, szerző fényképe)

A szonda által mért zavarosságot a hidrológiai helyzet függvényében, szinte minden árhullámkor összehasonlító mérésekkel ellenőrizzük. A rendszeres ellenőrzés során mintát veszünk a szonda mellől, majd a vett minta zavarosságát kézi zavarosságmérővel, az „alkalmazott módszerek és mérési technológiák, laborálás” pontjában ismertettek szerint megmérjük.

Kampányszerű összeméréssel ellenőrizzük a klorofillszenzor megfelelő működését is. Az alkalmankénti mintavételek során ellenőrizzük a klorofilltartalom és vízhőmérséklet megfelelő regisztrálását, valamint további kémiai paramétereket is mérünk (pH, fajlagos vezetőképesség, oldottoxigén-tartalom és telítettség). Ezek a paraméterek a cikk szempontjából nem releváns célből kerülnek mérésre és ellenőrzésre.

Alkalmazott módszer összefoglalása

Az általunk alkalmazott módszer során a telepített szonda által regisztrált zavarosságokat a kézi zavarosságmérővel történt ellenőrző mérések alapján korrigáltuk. A rendelkezésre álló kézi zavarosság és a hordaléktöménység közötti megbízható kapcsolat alapján a korrigált zavarosságot átszámítottuk part menti lebegtetett hordaléktöménységgé. Az egyidejű lebegtetett hordalékmérések és part menti zavarosságmérések alapján felállított összefüggések segítségével a part menti hordaléktöménység alapján számítottuk a szelvény menti hordalékhozamot. Az alkalmazott módszer folyamatábrája a 3. ábrán látható.



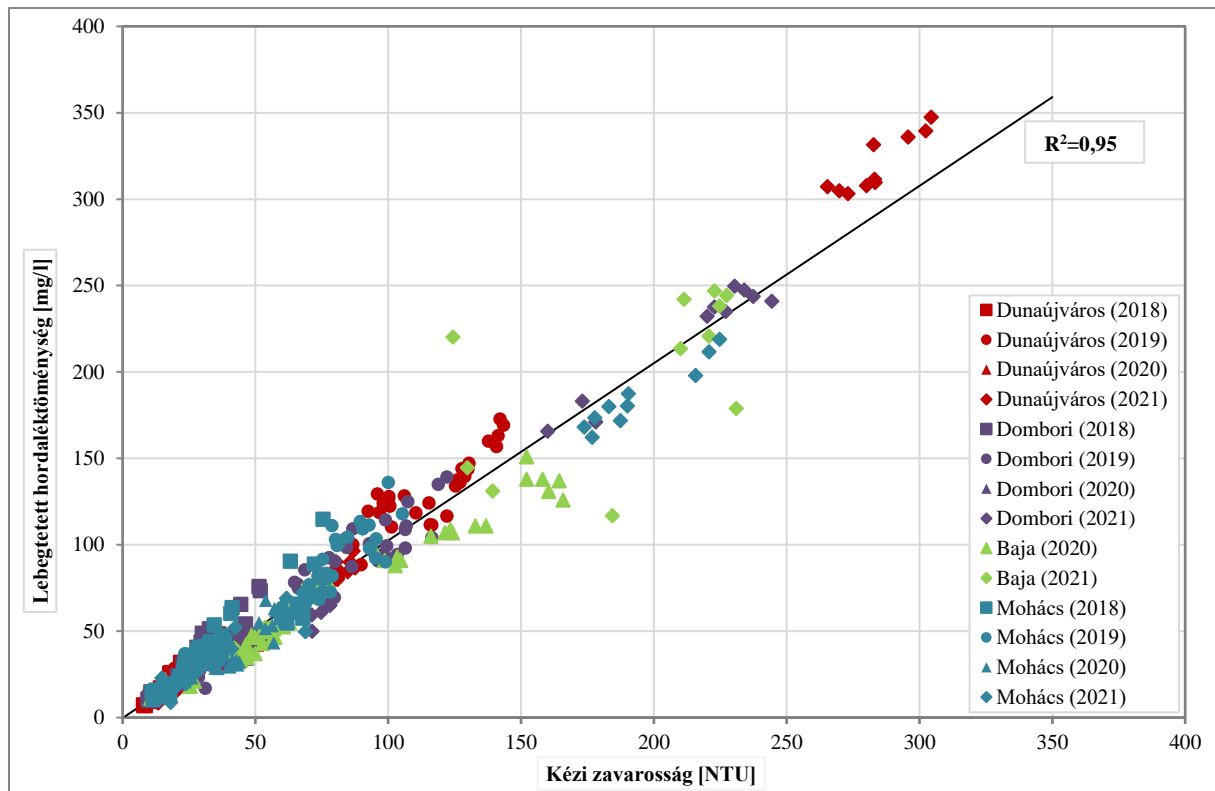
3. ábra. Lebegtetett hordalékhozam meghatározása zavarosság alapján – az alkalmazott módszer

EREDMÉNYEK ÉS KIÉRTÉKELÉSÜK

Zavarosság-lebegtetett hordaléktöménység összefüggés

Első lépésben azt vizsgáltuk, hogy a dunai minták kézi zavaroságmérővel mért zavarossága összefüggésben van-e a labor által adott hordaléktöménységgel. A vizsgálat célja a lebegtetett hordaléktöménység meghatározásának idő- és költséghatékonyabbá tétele. A helyszínen elvégezhető zavaroságméréssel kiváltható vagy ellenőrizhető a laboratóriumi elemzés.

A zavarosság és a lebegtetett hordaléktöménység összefüggésének vizsgálatához a Duna folyam Dunaújváros alatti szakaszán található hordalékmérő állomásainak (Dunaújváros, Dombori, Mohács), valamint a bajai állomás adatait használtuk fel. Az előbbi három rendszeres hordalékmérő (ún. hordaléknyilvántartó) állomás, az utóbbin pedig expedíciós jelleggel végzünk lebegtetett hordalékmintázást. A hordalékminták zavarosságának kézi zavaroságmérővel való mérését 2018-ban kezdtük a hordaléknyilvántartó állomásokon, majd 2020-ban a bajai expedíciós állomáson. A vizsgált időszak a rendelkezésre álló négy teljes év, azaz a 2018-2021-es időszak. A négy év alatt körülbelül 1 000 mintán végeztük el az összehasonlítást. Az elemzést az összes hordaléknyilvántartó állomás minden adatára elvégeztük összesítve, illetve állomásonkénti és évenkénti bontásban is. A részletesen bontott adatsorokat a 4. ábra tartalmazza.



4. ábra. Kézi zavarosság-töménység összefüggés állomásonkénti és évenkénti bontásban

A részletező diagramot vizsgálva megfigyelhető, hogy sem a kisvízi (5-50 mg/l hordaléktöménység) tartományban, sem a közép-és nagyvízi tartományban (50-350 mg/l hordaléktöménység) nincs számottevő különbség az állomásokra külön szerkesztett regressziós egyenes és az összesített adatokra szerkesztett regressziós egyenes között. Ezeket figyelembe véve megállapítható, hogy lehetséges a négy állomás eredményeinek együttes használata.

A kapcsolat szorosságát kifejező determinációs együttható (R^2) az egyes görbékre 0,92-0,99 között alakul, az összesítő görbére pedig 0,95. Kijelenthető tehát, hogy a kézi zavarosságmérővel mért zavarosság és a lebegtetett hordaléktöménység között statisztikailag nagyon erős kapcsolat van. A kézi zavarosságmérővel mért zavarosságot tehát megbízhatóan át lehet számolni lebegtetett hordaléktöménységgé.

Megvizsgáltuk a mért hordaléktöménység függvényében a kapcsolat alapján a zavarosságból visszszámított hordaléktöménységeket. Alacsonyabb töménységtartományban a kisebb abszolút hiba is nagyobb relatív eltérést eredményez. A magasabb töménységtartomány felé haladva nő számítás abszolút hibája, azonban ezek relatív értelemben kisebb eltérést eredményeznek. A 150-200 mg/l feletti töménységtartományban a nagyobb abszolút eltéréseket a szállított nagyobb átmérőjű lebegtetett hordalékszemszecsék gyorsabb ülepedése okozhatja. Ebben a tartományban a kézi zavarosságmérő által elemzett kis térfogatú, többször bolygatott minta kevésbé reprezentatív. A hibaszámítás eredményeit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat. Töménységyszámítás bizonytalansága

Mért töménység	Visszaszámítás hibája	Visszaszámítás hibája
[mg/l]	[%]	[mg/l]
0-50	14	4
51-100	12	9
101-150	17	21
151-200	9	16
201-	7	19

Távjelzett zavarosságok pontossága

A további számítások elvégzése előtt megvizsgáltuk a szonda által regisztrált értékek megfelelőségét. A felhasználói tájékoztató alapján a szondát az első használat előtt, továbbá rendszeres időközönként kalibrálni szükséges. A kalibráló standard sorozat 7 mintából áll (0,1-4 000 NTU), amelyből a Dunán legalább 5 szükséges (0,1-1 000 NTU).

A szondát tehát a mérési pontosságának javítása céljából kalibrálni szükséges. A kalibrálsorozat nélkül a szonda mérési pontosságának nyomon követésére és javítására a szonda mellől rendszeresen vízmintát veszünk, és kézi zavarosságmérővel megmérjük a vett minta zavarosságát. Egy minta zavarosságát háromszor mérjük meg, valamint kétszer veszünk mintát a szonda mellől.

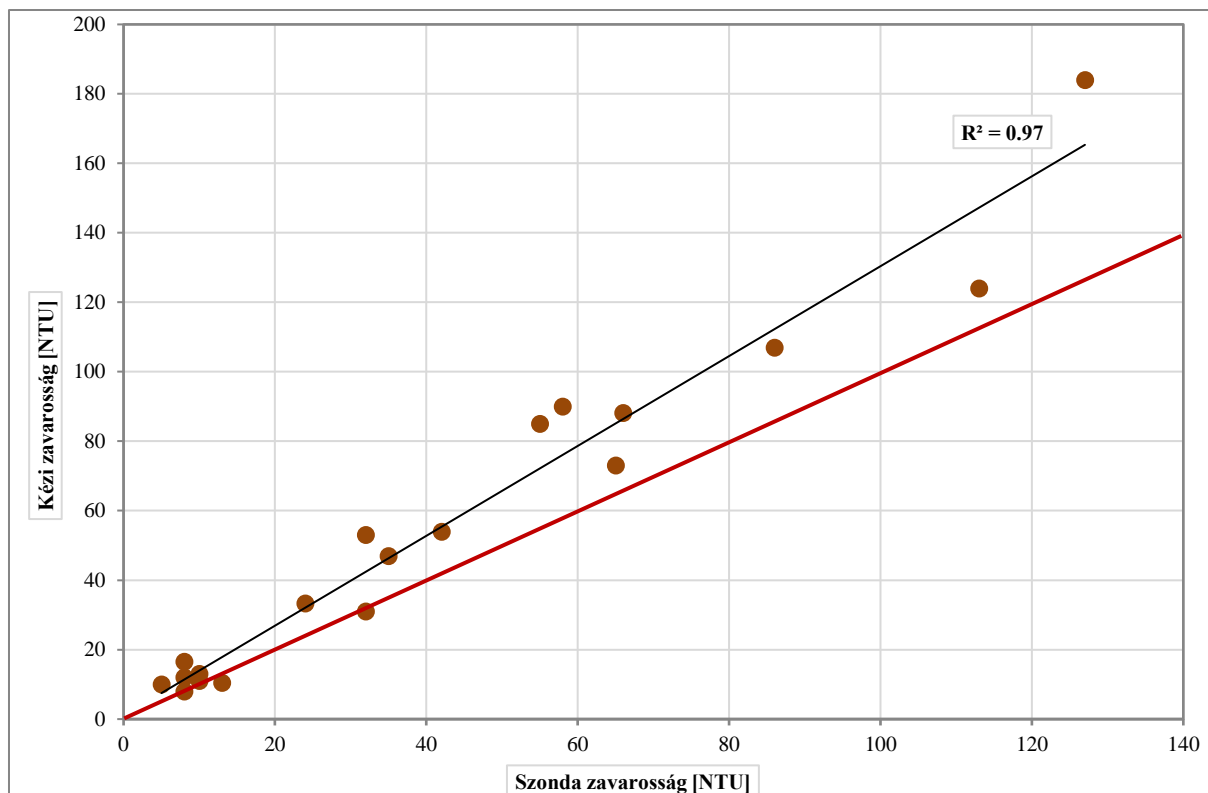
A telepítés óta 28 ellenőrző mérést végeztünk, melyek közül 23 esetben történt zavarosságösszehasonlítás. A mérési eredmények alapján az látható, hogy 50 NTU kézi zavarosság alatt a szonda a kézi zavarosság 50-125%-át méri. Az 50 NTU zavarosság alatti tartomány kisvízes, lebegtetett hordalékban szegény, így ebben a tartományban a nagyobb hiba abszolút értelemben nem fog jelentős eltérést okozni. Az 50 NTU feletti tartományban a szonda a kézi zavarosságnak rendre a 60-90%-át méri. A kézi zavarosságmérő és a szonda által mért zavarosságok közötti különbség egyrészt az alkalmazott módszerek közötti eltérésekből, másrészt abból adódhat, hogy a szonda in-situ eszköz, míg a kézi zavarosságmérő kis térfogatú, többször zavart mintát elemez.

Az 5. ábrán a kézi zavarosságmérővel mért zavarosságot ábrázoltuk a szonda által mért zavarosság függvényében. A fentieknek megfelelően megfigyelhető, hogy az összehasonlító méréseket reprezentáló pontok az 1:1 egyenestől felfelé helyezkednek el, továbbá az is, hogy azok egy egyenes körül szóródnak. A mérési pontokra illesztett regressziós egyenes determinációs együtthatója 0,97, amely statisztikailag nagyon erős kapcsolatot fejez ki.

A szonda által mért zavarosságot az illesztett egyenes egyenlete alapján át lehet számolni kézi zavarosságértékre, amely kézi zavarosság és a hordaléktöménység között már rendelkezésre áll kapcsolat és egyenlet. Így a szonda által mért zavarosságot két lépcsőben át lehet számítani a szonda melletti (partmenti) hordaléktöménységgé.

Idősorok vizsgálata

A regisztrált vízállás és a regisztrált zavarosság közötti összefüggés keresése érdekében megvizsgáltuk azok kapcsolatát idősorosan, valamint a regisztrált zavarosságot a vízállás függvényében is. A vizsgálatokat a 2. táblázatban közölt árhullámoknál végeztük el. A feltüntetett tetőző vízállások és vízhozamok a bajai vízmércére vonatkoznak.

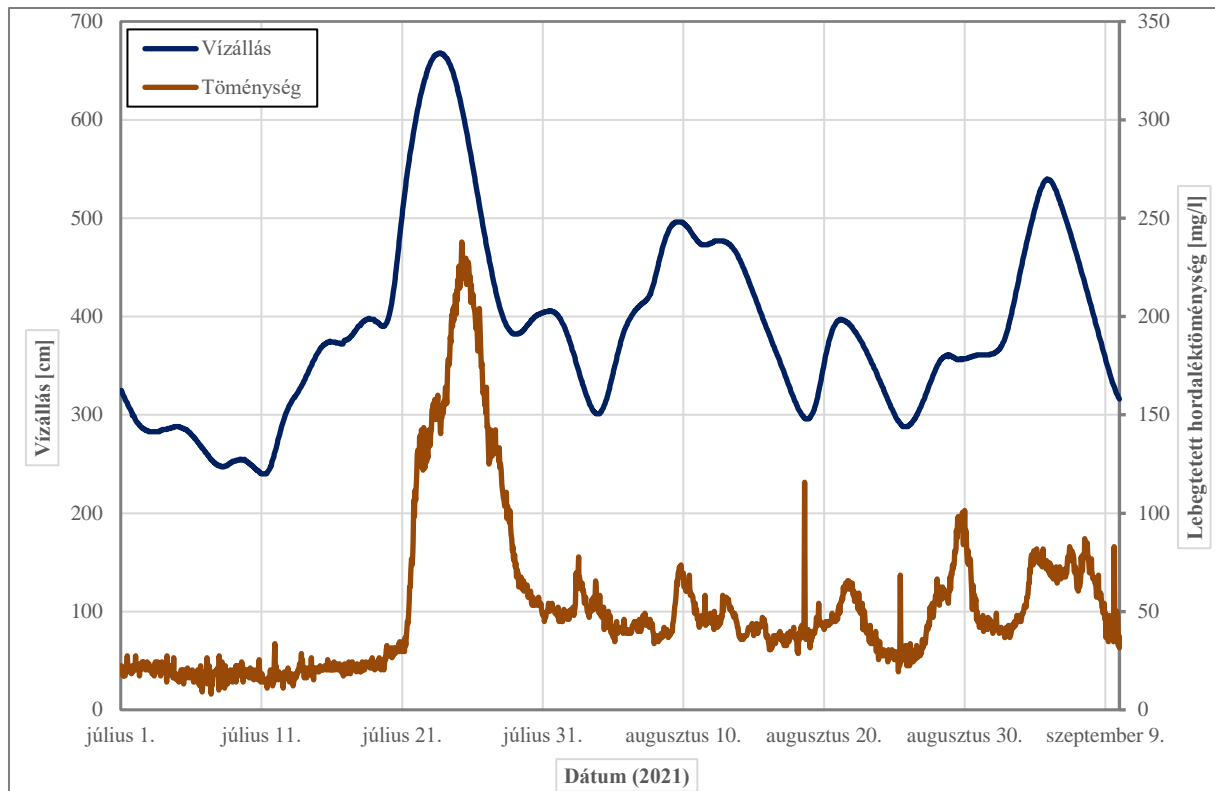


5. ábra. Szonda által mért zavarosság - mért zavarosság összefüggés

2. táblázat. Vizsgált árhullámok

Időszak	Kategória	Tetőző vízállás	Tetőző vízhozam
		[cm]	[m ³ /s]
2020. február	nagy	639	4 450
2020. június- július	nagy	574	4 000
2020. június- július	közepes	483	3 350
2020. június- július	közepes	400	2 800
2021. július-szeptember	nagy	668	4 700
2021. július-szeptember	nagy	540	3 750
2021. július-szeptember	közepes	496	3 450
2021. július-szeptember	közepes	397	2 800

A vízállás-hordaléktöménység idősor, valamint a tetőző vízállások és a hordaléktöménység vizsgálatából több következtetés vonható le. Feltételezhető a hordaléktöménység (vízhozamhoz hasonlóan), a vízszint után való tetőzése. Az idősorokat vizsgálva megfigyelhető, hogy a vízállás és a hordaléktöménység nem mindig ugyanabban az időpontban tetőzik, a vízállás apadóági tetőzésen túl azonban előfordul áradóági vagy egyidőben való tetőzés is. A tetőző vízállások és a hordaléktöménységek összehasonlításánál megállapítható, hogy az azonos vízállással tetőző árhullámok nem azonos hordaléktöménységgel tetőznek. A tetőző értékek részletesebb összehasonlításakor az is megfigyelhető, hogy azok nem követik konzekvensen egymást: 400 cm-es tetőző vízálláshoz 61 mg/l tetőző töménység tartozott, a két héttel későbbi árhullám során 350 cm-es tetőző vízállás mellett az előzőnél több, 102 mg/l volt a tetőző töménység. A megvizsgált árhullámok között található továbbá olyan, ahol az árhullám teljes időtartama alatt nem növekedett a töménység. A 6. ábrán a 2021. július-szeptember havi vizsgált árhullámok vízállás- és töménység-idősorai láthatóak.



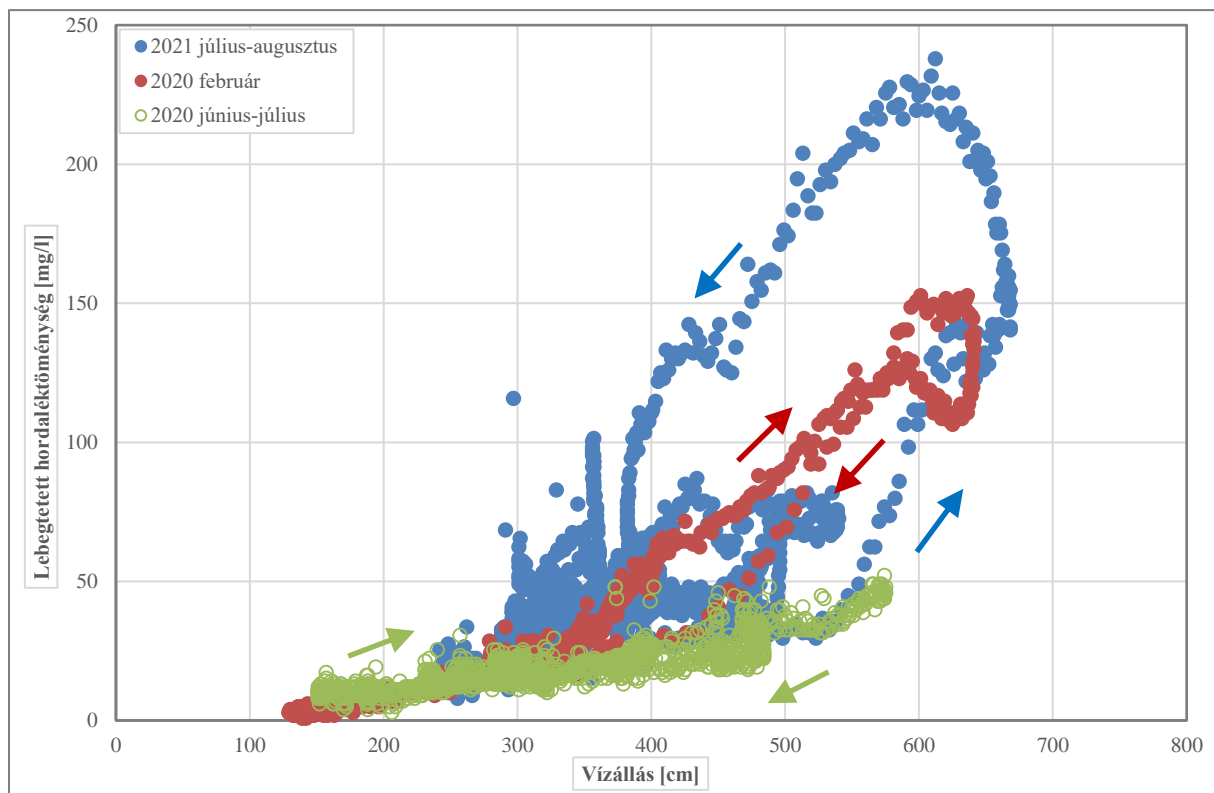
6. ábra. Vízállás és hordaléktöménység idősor

Az egyidejű vizsgálatokból és a fentiek alapján megállapítható, hogy egyértelmű vízállás-hordaléktöménység kapcsolat a rendelkezésre álló adatok alapján nem állítható fel. A nem egyértelmű kapcsolat számos okra visszavezethető, amelyek azonban inkább vízgyűjtő-léptékűek lehetnek. Az árhullámmal levonuló hordaléktömeg függhet az árhullámot kiváltó tényezőktől (hóolvadás, csapadék), valamint attól, hogy az árhullám melyik főági vagy mellékági részvízgyűjtőről érkezik, továbbá ennek a részvízgyűjtőnek a tulajdonságaitól. A fentiekén túl a lebegtetett hordalék mennyiségét befolyásolja a levonuló ár magassága is: az árhullám olyan magas szinttel is levonulhat, hogy a mellékágakon keresztül folyva az azokban lerakódott iszapot kimossa, vagy a hullámtérre kilépve az ott lerakódott anyagot elragadja. Az érkező árvízi vízhozam az árvizes időszakok között képződött mederpáncélzatot felszakításával szintén növeli a szállított hordalék mennyiségét. Az árhullámok egymásutánisága szintén számíthat, míg az első árhullám kimossa a mellékágakból az oda lerakódott iszapot vagy felszakítja a mederpáncélzatot, így növelve a főmeder hordaléktöménységét, addig a későbbi árhullámok ezt már nem tudják megtenni. Az árhullámok egymásutániságának hatását megfigyelhetjük a 6. ábrán is. A legtöbb lebegtetett hordalékot az első árhullám szállítja, míg a későbbiek esetében a tetőző hordaléktöménységek aránytalanul kisebbek. A jelenséget tehát annak komplexitása miatt a jelenleg használatban lévő egyváltozós kapcsolattal nem lehet egyértelműen leírni (Lohani és társai 2009).

A vízállás és lebegtetett hordaléktöménység (vagy a vízhozam és a zavarosság) hiszterézisének irányával kapcsolatban számos nemzetközi szakirodalom (Lannergård és társai 2021, Wymore és társai 2019, Lewis és társai 2002) érhető el. Közepes méretű vízgyűjtőkön a Lannergård és társai által végzett kutatásban számos árhullám egyidejű vízhozam és zavarosság adatait vizsgálták, melyek alapján több hiszterézismintát (óramutató járásával megegyező irányú, óramutató járásával ellentétes irányú, nyolcas alakú, komplex) különítettek el. A kutatás eredménye-

ként a különböző hiszterézisminták kialakulását az árhullámot kiváltó tényezőkkel, hordalékforrások számával, a hordalékforrások távolságával az észlelési helytől, valamint az egyes hordalékforrások mobilizálhatóságával magyarázták (Lannergård és társai 2021).

A fentiek ellenére érdemes mégis megvizsgálni a hordaléktöménységet a vízállás függvényében. A 7. ábrán a fenti három kiválasztott időszak vízállás-hordaléktöménység adatai láthatóak. A három nagyobb árhullám 570-670 cm-es vízállással tetőzik, a tetőző hordaléktöménységek azonban nem arányosak a tetőző vízállással, azok 51-154-236 mg/l. Megfigyelhető továbbá a két legnagyobb árhullám esetén a hordaléktöménység vízhozamhoz hasonló, hurok-görbeszerű levonulása. Előfordult azonban olyan árhullám, ahol a hurokgörbe iránya fordított volt, ugyanannál a vízállásnál az apadó ágon nagyobb volt a hordaléktöménység, mint az áradó ágon. A 2021. július-augusztusi árhullámnál az apadó ágon alakultak ki a nagyobb hordaléktöménységek, míg a 2020. februári árhullámnál az áradó ágon. A 2020. június-júliusi árhullámnál az azt 2 hónappal megelőző árhullámok miatt nem tudott nagyobb hordaléktöménység, így hurokgörbe sem kialakulni.



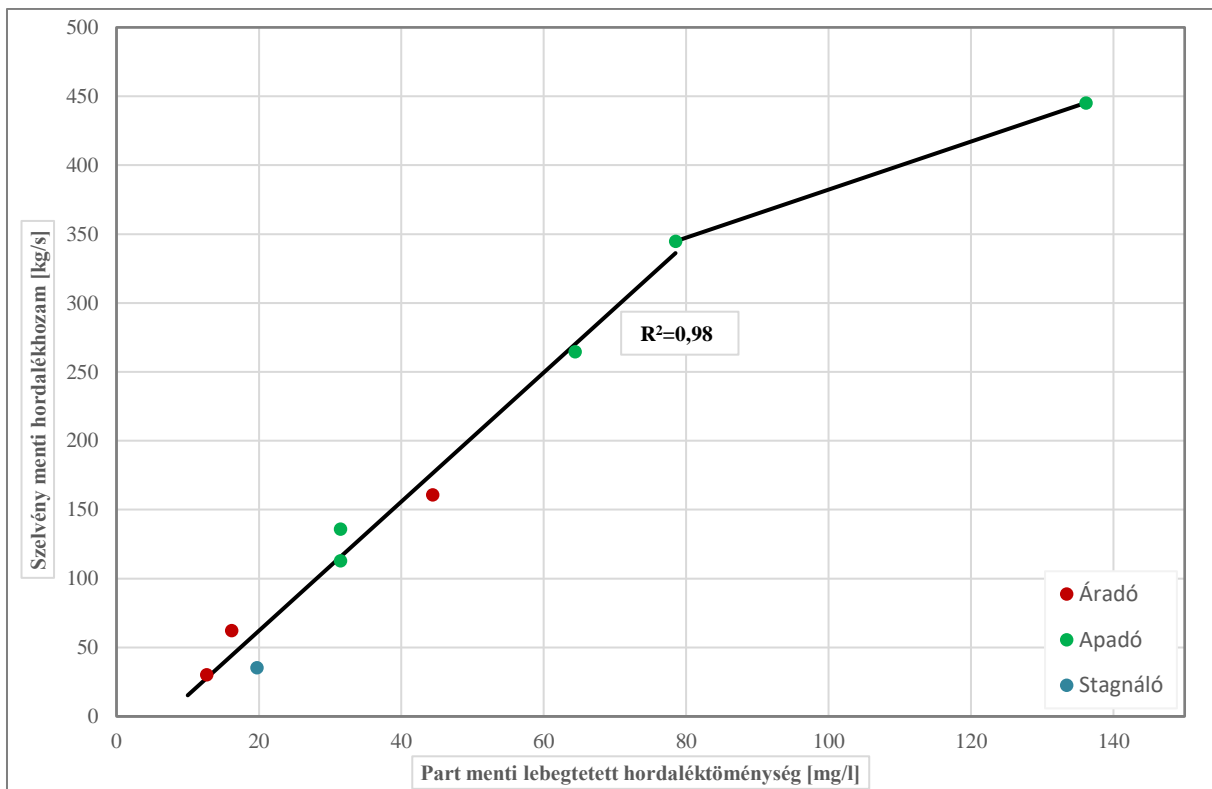
7. ábra. Lebegtetett hordaléktöménység a vízállás függvényében több árhullám idején

Part menti hordaléktöménység – szelvény menti hordalékhozam összefüggés

Az elemzés utolsó lépésében kapcsolatot kerestünk a part menti hordaléktöménység és a szelvény menti hordalékhozam között. A part menti lebegtetett hordaléktöménységet a regisztrált zavarosság alapján számítottuk, figyelembe véve a szonda és a kézi zavarosságmérő által mért zavarosságok közötti korrekció szükségességét.

A távjelző állomás telepítése óta 9 hordalékhozam-mérést végeztünk a bajai szelvényben, ezek eredményeit vetettük össze a part menti lebegtetett hordaléktöménységgel. Az eddigi eredmények alapján található használható összefüggés a két mennyiség között. A szakirodalom (Habersack és társai 2013, Haimann és társai 2014b, Pomázi és Baranya 2020) alapján a mérési eredményekre két egyenest illesztettünk, ugyanis 80 mg/l hordaléktöménység körül az

egyenes meredeksége jelentősen csökken. Az egyenes illeszkedése az alsó tartományban nagyon erős, a determinációs együttható 0,98. A kevés (kettő) mérési eredmény miatt a felső tartomány illeszkedésének megfelelőségét még nem lehet eldönteni. Az egyenesek egyébként jól illeszkednek az áradó, az apadó, illetve a stagnáló mérési eredményekre is. Az eredmények és illesztett egyenesek a 7. ábrán láthatóak. A két egyenes közötti töréspontot a mérések számának növelésével pontosabban lehet majd kijelölni. *Pomázi és Baranya 2020*-as cikkükben, szintén a Dunán (Sződliget és Ráckeve) a két egyenes közötti töréspontot 30 mg/l hordaléktöménység körül határozta meg. A töréspontok közötti eltérést okozhatja a szelvények közötti nagy távolságon (130-190 km) túl a szelvények geometriai különbözősége is. A bajai szonda a Duna bajai kanyarulatának homorú partján van elhelyezve, amely oldalon a vízhozam és a hordalék nagy része is levonul, így az ezen a parton mért part menti hordaléktöménység értékek mindig nagyobbak.



8. ábra. Part menti hordaléktöménység – szelvény menti hordalékhozam összefüggés

ÖSSZEFOGLALÁS

A hazai gyakorlatban a lebegtetett hordalékhozam számítását jelenleg hordalékhozam görbével ($G=f(Q)$) végezzük, azonban egyértelmű egyváltozós összefüggést a jelenség komplexitása miatt nem lehet felállítani. A közelmúltban zárult DanubeSediment projekt eredményei között szerepelnek ajánlások a dunai hordalékmonitoring időbeli felbontásának és minőségének javítására, melyek közül egyik az optikai zavarosságmérő alkalmazása. A lebegtetett hordalékhozam közvetett módon, optikai zavarosságmérővel való meghatározására a nemzetközi és hazai szakirodalomban (*Habersack és társai 2013, Haimann és társai 2014b, Habersack és társai 2018a, Pomázi és Baranya 2020*) több sikeres példa is fellelhető. A módszer nagy előnye, hogy a hagyományos módszerhez képest jelentősen megnöveli a monitoring időbeli felbontását. A vizsgálat célja az ajánlott módszer alkalmazhatóságának a vizsgálata volt a Duna bajai szelvényében, sikeres alkalmazás esetén pedig a monitoring idő- és költséghatékonyosságának növelése.

A folyamatos zavarosság-mérést egy zavarosság-regisztráló szonda segítségével végeztük, melyet a Duna bajai szakaszára, egy úszópontonra telepítettünk ki távjelzős állomásként. A zavarosság-regisztráló szonda által mért értékeket rendszeresen ellenőriztük kézi zavarosság-mérővel. Mivel nagyobb zavarosságtartományban a szonda nem mért kellő pontossággal, ezért kapcsolatot kerestünk és állítottunk fel sikeresen a szonda által mért zavarosság és a kézi zavarosság-mérővel mért zavarosság között. A kettő közötti erős kapcsolat felhasználásával elvégeztük a nyers, regisztrált adatok korrekcióját. A korrigált zavarosságokat a kézi zavarosság és a lebegtetett hordaléktöménység között felállított erős kapcsolat alapján számítottuk át lebegtetett hordaléktöménységgé. A zavarosság és a lebegtetett hordaléktöménység közötti erős kapcsolat felállításához 4 (3 rendszeres, 1 expedíciós) dunai hordaléknyilvántartó állomáson 4 éven keresztül vett, mintegy 1 000 db mintát használtuk fel. Ezután egyidejű partmenti zavarosság-mérések és lebegtetett hordalék mintavételek alapján a partmenti lebegtetett hordaléktöménység és a teljes szelvényen átáramló lebegtetett hordalékhozam között kerestünk és találtunk az eddigi eredmények alapján jó kapcsolatot.

Az eddigi eredmények jó kiindulási alapot szolgáltatnak, azonban **a 9 mérés még nem elegendő** ahhoz, hogy megbízható és minden méréstartományra kiterjedő összefüggéseket lehessen felállítani. A jövőben tehát célszerű folytatni a méréseket a kapcsolat pontosítása érdekében. Egy elfogadható part menti hordaléktöménység-szelvény menti lebegtetett hordalékhozam összefüggés felállítása után el lehet végezni az integrált módszer teljes körű összehasonlítását a hordalékhozam görbés módszerrel. Mivel a Duna bajai szelvénye nem rendszeres hordaléknyilvántartó állomás, ezért sem érvényes hordalékhozam görbe, sem történelmi hordalékadatok nem állnak rendelkezésre. A végleges összehasonlításhoz tehát előbb ezt a hagyományos összefüggést is fel kell állítani. További vizsgálatokat kell elvégezni a kiválasztott szelvény megfelelőségével kapcsolatban. Az eddigi mérések között nem volt olyan, amikor a Duna kilépett volna a főmederből (400 m széles), ezért a hullámtér (7 km széles) víz- és hordalékszállítás hatásait az integrált módszerre még nem lehetett felderíteni.

KÖZREMŰKÖDŐK, FINANSZÍROZÁS

Az eszközbeszerzést az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) valósította meg intézményi beruházás keretében 2019-ben. A zavarosság-mérő távjelző állomást az OVF tervezte. A kivitelezést a VITUKI HUNGARY Zrt és az ADUVIZIG közösen végezte 2020-ban. A kivitelezés után az OVF az állomást tesztelésre és üzemeltetésre átadta az ADUVIZIG-nek 2020-ban.

A lebegtetett hordalékmintavételezéseket az Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság Vízzrajzi Osztályának vízhozammérő csoportja (Csóka János, Geszthelyi Norbert, Kalmár Endre) végezte.

IRODALOMJEGYZÉK

- A. K Lohani, N. K Goel, K. K. S Bhatia (2007) Deriving stage–discharge–sediment concentration relationships using fuzzy logic, *Hydrological Sciences Journal*, 52:4, 793-807, DOI: [10.1623/hysj.52.4.793](https://doi.org/10.1623/hysj.52.4.793)
- Baranya S., Józsa J., Török G., Kondor G.T., Ficsor Johanna, Mohácsiné Simon Gabriella, Habersack H., Haimann Marlene, Riegler Angelika, Liedermann M., Hengl M. (2015). „A Duna hordalékvizsgálatai a SEDDON oszt-rák-magyar együttműködési projekt keretében” *Hidrológiai Közöny* 95. évf. 1. sz. pp. 41-46.”
- Gray, John & Landers, Mark. (2014). Measuring Suspended Sediment. *Comprehensive Water Quality and Purification*. 12. 159-204. 10.1016/B978-0-12-382182-9.00012-8.
- Habersack H., Baranya S., Holubova K., Vartolomei F., Skiba H., Schwarz U., Krapesch M., Gmeiner Ph., Haimann M. (2019a). ‘Danube Sediment Management Guidance’, Output 6.1 of the Interreg Danube Transnational Project DanubeSediment co-funded by the European Commission, Vienna.

http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_out-put/0001/39/ee566924f1764d4798dc7bb9b59537ce84d98101.pdf (2022.01.20)

Habersack H., Baranya S., Holubova K., Vartolomei F., Skiba H., Schwarz U., Krapesch M., Gmeiner Ph., Haimann M. (2019b). Sediment Manual for Stakeholders. Interreg Danube Transnational Programme. DanubeSediment. Project co-funded by European Union funds (ERDF, IPA). Coordinated and published by: BOKU – University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Institute of Hydraulic Engineering and River Research (IWA) Vienna.

http://www.interreg-danube.eu/uploads/media/approved_project_out-put/0001/40/2bb0ceb6b0c9eb3cf605916ba456ae3143d788c8.pdf (2022.01.20)

Habersack H., Liedermann M., Trirrhart M., Haimann Marlene, Kreisler Andrea (2013). Innovative Approaches in Sediment Transport Monitoring and Modelling. Proceedings of the 35th IAHR World Congress, Chengdu.

Haimann M., Gmeiner P., Liedermann M., Aigner J., Kreisler A., Riegler A., Blamauer B., Baranya S., Török G. T., Ficsor J., Józsa J., Mohácsiné Simon G., Hengl M., Habersack H. (2014a). Hordalékvizsgáló kézikönyv. SEDDON projekt

Haimann M., Liedermann M., Lalk P., Habersack H. (2014b). An integrated suspended sediment transport monitoring and analysis concept. International Journal of Sediment Research 29(2):135-148, DOI: 10.1016/S1001-6279(14)60030-5

John R. Gray, Jeffrey W. Gartner, Surrogate technologies for monitoring suspended-sediment transport in rivers, Sedimentology of Aqueous Systems, Blackwell Publishing, 2010

Kutai R. (2014). Pontbeli zavarosság mérésén alapuló hordalékhozam becslő eljárás implementálása a Dunára, Tudományos Diákköri Konferencia, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

Lannergård, Emma & Fölster, Jens & Futter, Martyn. (2021). Turbidity-discharge hysteresis in a meso-scale catchment: The importance of intermediate scale events. Hydrological Processes. 35. 10.1002/hyp.14435.

Lewis, David & Tate, Kenneth & Dahlgren, Randy. (2002). Turbidity and Total Suspended Solid Concentration Dynamics in Streamflow from California Oak Woodland Watersheds1. Proc. Symp. on Oak Woodlands in California's Changing Landscape.

Pomázi F., Baranya S., Török G. (2020). Nagy folyók lebegtetett hordalékvándorlásának új vizsgálati módszerei 1. – A továbbfejlesztett hordalékmonitoring módszertan bemutatása. Hidrológiai Közöny 100. évf. 2. sz. pp. 37-47

Pomázi F., Baranya S. (2020). Nagy folyók lebegtetett hordalékvándorlásának új vizsgálati módszerei 2. – Közvetlen és közvetett lebegtetett hordalékmérési eljárások összehasonlító vizsgálata. Hidrológiai Közöny 100. évf. 3. sz. pp. 64-73

Sutherland, Terri & Lane, Pierre & Amos, Carl & Downing, J. (2000). The calibration of optical backscatter sensors for suspended sediment of varying darkness levels. Ž. Marine Geology. 162. 587-597. 10.1016/S0025-3227(99)00080-8.

Wymore, Adam S. and Leon, Miguel C. and Shanley, James B. and McDowell, William H. (2019). Hysteretic Response of Solutes and Turbidity at the Event Scale Across Forested Tropical Montane Watersheds, Frontiers in Earth Science, Volume 7/2019, DOI 10.3389/feart.2019.00126, ISSN 2296-6463

*** (1941). Laboratory investigation of suspended-sediment amplifiers, Interagency Report No. 5, Hydraulics Laboratory, Iowa University, Iowa

*** (2008). ME-10-231-20:2009 (2008): Felszíni vizek lebegtetett hordalékának mérése szivattyús mintavevővel, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium.

*** (2008). ME-10-231-19:2009 (2008): Felszíni vizek lebegtetett hordalékának mérése palackos vízmintavevővel, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium.

*** (2008). ME-10-231-17:2009 (2008): Felszíni vizek vízhozamának mérése ADCP berendezéssel, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium.

*** (1981). VMS 251/8-81(1981): Hidrológiai mérési adatok elsődleges feldolgozása: A lebegtetett hordalék adatai, OVH Vízügyi Szabványosítási és Egységesítési Központ, MSZH Kiadó, Budapest.