

A HORDALÉK-ELEMZÉS MÓDSZEREI, TAPASZTALATAI ÉS FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI

Koch Dániel - Eötvös József Főiskola, Koch Gábor - Alsó-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság
Lektorálta: Dr. Tamás Enikő Anna főiskolai docens, Sziebert János főiskolai docens
Eötvös József Főiskola, Vízépítési és Vízgazdálkodási Intézet, Baja, Bajcsy-Zsilinszky út 14.

A bajai Eötvös József Főiskola több mint egy évtizede foglalkozik a folyami hordalékszállítás vizsgálatával. A hordalék vizsgálat fontossága az EU Víz Keretirányelvben is megjelenik, mely a folyók, víztetek jó állapotának eléréséhez, és annak megőrzéshez, valamint az állapotváltozások nyomon követése céljából rendszeres monitorozást irányoz elő. A folyók hordalékszállításának, mederalakulásának, azaz hidromorfológiai állapotának rendszeres ellenőrzése szempontjából fontos a monitorozás.

A hordalékot keletkezése után a víz - mint szállító közeg - magával ragadja, és mozgása ezt követően számos összetett, ok-okozati problémát vet fel. A folyók felső, nagy esésű szakaszán a víz elragadó ereje jelentős, így ott a görgetett hordalékszállítás a jellemző, a középső és alsó szakaszon a görgetett hordalék részaránya csökken, a lebegtetetté nő. A hordalék mozgása során annak aprózódása is megfigyelhető. A görgetett hordalék a műtárgyak, védművek károsodását idézheti elő, míg a kisebb esésű folyószakaszok finomabb hordalék frakció a vízkivételi- és duzzasztó művek üzemszerű működését nagymértékben befolyásolja.

Hazánkban a középszakasz jellegű a folyók nagy része. A középszakasz jellegű folyók medre részben meanderező meder. Ilyen szakaszon a folyamszabályozás, ármentesítés a túlfejlett kanyarok átmetszésével valósul meg, amelynek következményeképpen jelentős esésnövekedés áll elő. Ennek következtében felszabaduló energia a hordalékszállító képesség növekedését okozza. Mivel a felső szakasról rendszerint nem érkezik a megnövekedett hordalékszállító képességnek megfelelő mennyiségű hordalék, így a többletenergia a mederből veszi fel a hiányzó hordalékmenyiséget. Ez a jelenség erodálja a medret. Az ilyen jellegű folyókon medersüllyedéssel kell számolnunk.

Árvíz esetén az egyre mélyebben berágódó meder és a hullámtéri antropogén hatások miatt a hullámtéren, nyílt ártereken jelentős feltöltődést figyelhetünk meg. Az árterek feltöltődése

veszélyezteteti a vizes élőhelyek jó ökológiai állapotát, mivel azok egyre magasabb vízszintek mellett kerülnek vízborítás alá.

A gyakorló mérnöki szakmában mindezek miatt fokozott jelentőséget bír a hordalék mintavételezés módszertana, és laboratóriumi feldolgoása.

Hordalék fogalma

- „A vízfolyásokban a vízzel együtt szilárd anyagok is mozognak, amelyeket – eredetüktől és származásuktól függetlenül – gyűjtőnéven hordaléknak nevezünk.” (Bogárdi 1971)
- A mérnöki gyakorlatban, 0,002 mm-nél nagyobb ásványi eredetű anyagot tekintjük hordaléknak. Mozgásforma szerint a következő típusokat különböztetjük meg:
- Lebegtetett hordalék: ásványi eredetű anyag, amely a vízfolyás keresztmetszében, bizonyos eloszlásban, lebegve, vízsebességgel közel azonos sebességgel mozog.
- Görgetett hordalék: a mederfenéken guruló, csúszó, hosszabb- rövidebb ideig nyugalmi helyzetbe kerülő, szakaszosan mozgó ásványi eredetű anyag.
- Mederanyag: az az ásványi anyag, amelyből vízfolyások medre áll, alluviális medreknél a mederfenéken hosszú ideig nyugvó, esetleg rövid ideig mozgásba kerülő, hordalék.

A hordalékszállítás vizsgálatának problémái

A világ országaiban, de még Európa országaiban is a hordalékszállítás vizsgálata nem egységes. A mintavételezés során más-más típusú eszközt használnak és még különböző módszertani kérdések is fölmerülnek mind a mintavételezés módszerei és körülményei, mind a minták laboratóriumi feldolgozás kapcsán.

Hazánkban az idők során eltérő mintavételezési és laboratóriumi mérési módszereket alkalmaztak. E mellett a hordalékmérések rendszertelenül folynak, ritkán igazodnak a hidrológiai eseményekhez. A fentiek miatt az eredmények sokszor nem, vagy nehezen összehasonlíthatóak, az adatsorok inhomogének, statisztikailag értékelhetetlenek, korszerű adatigények kielégítésére nem alkalmasak.

A kevés és rendszertelen adatok miatt nem lehet jól leírni a hordalékjárás és a vízjárás kapcsolatát. A fent leírt problémák jelentőségét kiemeli, hogy az elterjedőben lévő számítógépes 1D, 2D és 3D hidrodinamikai modellezés adatigénye rendkívül nagy.

A korszerű hordalékmérési módszerek alkalmazása (akusztikus Doppler-elvű sebességeloszlás-mérő - ADCP, valamint a lézeres elven működő lebegtetett hordalékmérő - LISST) sem nélkülözheti a kalibráló mintavételezéseket és azok kiértékelését. Ezek kalibrációjához is megfelelő mennyiségű és minőségű hordalékmintákra lenne szükség.

A mai magyar gyakorlatot az érvényben lévő műszaki előírások, irányelvek és az íratlan szakmai gyakorlat határozza meg. Ezek a sok évtizeddel ezelőtt születtek, és a mai kor követelményeinek nem mindenben felelnek meg. Nem veszik figyelembe például az élőköltségek drasztikus növekedését és a korszerű berendezések relatív olcsóbbodását, azokhoz való könnyebb hozzáférést.

Hordalék mintavételezési módszerei

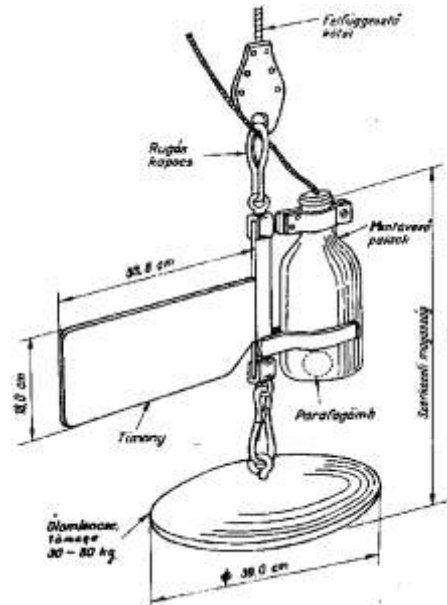
A lebegtetett hordalék mintavételezésének lényege, hogy a vízfolyás keresztmetszében, több (5-7-9) függélyben, függélyenként több (5-10) pontban pontszerű mintát veszünk.

A mintavétel eszköze és módszere változatos. A palackos mintavevő akkor alkalmazható, ha a mérőszelvényben a legnagyobb függély közepsebesség nem haladja meg a 2,5 m/s-ot, és a vízmélység minden mintavételi függélyben nagyobb 1 m-nél. A palack vertikálisan kerül lesüllyesztésre a mintavételi pontig, ahol mechanikusan vagy elektromos úton kinyitásra kerül a palack nyílása. A palack megtöltődése után a palackot automatikusan elzáró úszó dugóval történik a mintavétel befejezése. A feltöltődés időtartama 20 és 400s között változhat. A nem megfelelő bemeneti sebességekből származó hibákat NELSON és BENEDICT (1950) írta le, kísérleti meghatározás alapján. A kísérleteknél egy, a folyásirányra merőleges bemeneti nyílású mintavevőt használtak. Az optimális mintavételhez a mintavevőbe való bemeneti sebességnek egyenlőnek kell lennie az adott helyen a vízfolyás sebességével (izokinetikus mintavételezés). A bemeneti sebesség és az adott helyen mért vízfolyás-sebesség közötti eltérések mintavételi hibaként jelennek meg. Ha alacsonyabb sebességgel vesszük a mintát, mint a környező víz sebessége, magasabb hordalék koncentrációt kapunk, mint a tényleges, mivel a szétágazó áramlási vonalakat a hordalékrészecskék nagyobb sűrűségük miatt nem tudják követni. Ugyanez fordított esetben is érvényesül.

A palackos mintavevők leginkább egyenletes folyásviszonyoknál használhatóak, de nem jók olyan esetben, amikor a folyásviszonyok az idő függvényében változókéonyak. Vertikális helyzetű palack esetén a homokkoncentráció-mérés hibája akár 50%-os is lehet. Az iszapkoncentráció-mérés pontatlansága terepi mérések alapján akár 10% is lehet. Ezek alapján elmondhatjuk, hogy a hordalékszállítás ily módon történő mérése csak nagyságrendi pontosságú adatokat szolgáltat.



1. fotó. Vízszintes tengelyű mintavevő



2. fotó. Palackos mintavevő

Árvízi körülmények között, a mérési idő csökkentése és a mintavétel egyszerűsítése céljából előfordul az ún. „integrál” mintavétel. Egy 10 l-es kannát a mederfenékre leeresztve és ott kinyitva, lassan a felszínre emeljük, miközben az a függély mentén „integrál” mintát vesz a hordalékos vízből.

A bemeneti nyílás megfelelő helyzete és a megfelelő áramlási sebesség elérésére nagyon sok féle palackos mintavevő létezik a világon. Hazánkban nem ez a módszer terjedt el.

Szivattyús mintavevő akkor alkalmazható, ha a mérésnél a vízfelszín és a szivattyú közötti távolság nem haladja meg a szivattyú szívómagasságának értékét. A mérőszelvényben a legnagyobb függély középsebesség nem haladja meg az 1,8 m/s-ot, a vízmélység minden mintavételi függélyben nagyobb kell, hogy legyen 1 m-nél. A mintavételt olyan szivattyú fordulatszám, illetve hozam mellett kell végezni, hogy a mintavevő csonkon belépő víz sebessége (v_{be}) a folyó becsült, pontbeli áramlási sebességétől (v) ne térjen el jelentős mértékben, és a beömlő csőcsonk nézzen szembe az áramlással.

A görgetett hordalék szakaszosan mozog a fenéken a folyamatosan változó csúsztató erő függvényében. A görgetett hordalék mintavevők megzavarják az áramlási viszonyokat, így hatással

vannak azok mozgására. A mintavevő megválasztásakor a legfontosabb szempont, a zavaró hatások minimalizálása.



3. fotó. Helley-Smith görgetett hordalék mintavevő

A görgetett hordalék mintavételénél többnyire a Helley-Smith mintavevőt, vagy annak valamilyen módosított változatát használjuk. Az eszköz a vizsgált folyóra jellemző hordalék szemnagyságától és hozamától függően különböző belépő nyílásméretekkel rendelkezik, továbbá a hordalékgyűjtő zsák szövetének sűrűsége is változtatható.

A görgetett hordalék mintavétele során gyakori hiba, hogy a meder aljára leengedett mintavevő felborul, vagy nem megfelelően ül rá a fenékre, pl. nagyobb kő kerül alá, így a hordalék egy része a beömlőnyílás alatt, mellett elhalad. Ennek kiküszöbölésére célszerű a mintavevő szája elé kamerát rögzíteni, hogy a hajó fedélzetén elhelyezett képernyőn pontosan meghatározható legyen mintavevő elhelyezkedése és a hordalék mintavétel nyomon követése.

Sokszor a nagy mélység, a nagy vízsebesség miatt nem tudunk görgetett hordalékot venni. Ekkor legalább mederanyag mintát kell venni, amelynek szemszerkezeti görbájéből lehet következtetni a meder stabil, kimosódó, feltöltődő jellegére. A görgetett hordalék mintavétel mellett is lehet mederanyag mintát venni, amely kiegészíti a görgetett mintavétel eredményeit.

A mederanyagot a serleges mintavevővel vesszük. A lazább szerkezetű mederben a kör profilú szájjal kialakított mintavevő is megfelelő, de a tömörebb, esetleg bepáncélozott mederfenék esetén a mintavevő harang száját csipkézett formában célszerű kialakítani, a meder felszínébe történő behatolás elősegítése érdekében. Kis vízsebesség esetén a Van-Veen mintavevő is alkalmazható.



5. fotó. Serleges mintavevő

Hordalék minták laboratóriumi feldolgozása

A mederanyag és görgetett hordalék minták laboratóriumi feldolgozása során a mintákat szárítószekrényben 105 °C-on tömegállandóságig szárítjuk, majd tömegmérés után szitálással választjuk szét a különböző frakciókat. Abban az esetben, ha a szitálási maradék 10% -nál nagyobb, ülepítéssel kell a finom frakció szemeloszlását meghatározni.

A lebegtetett hordalék minták tároló edényeit, 24 óra ülepítés után dekantáljuk. A leszívott víz mennyiségét visszamérjük, a kannában maradt hordalék víz elegyet térfogatmérés után tálakba mossuk át. Így a víztérfogatból, majd a szárítást követően, megkapott hordalék tömegből megkapjuk a hordalék koncentrációt. Az ismert tömegű hordalék mintákat kis térfogatú alumínium tálba helyezünk 0,65%-os ammónium-hidroxid (NH₄OH) oldatba. Az anti-koaguláció elősegítésére használt vegyszerben 24 órán keresztül tároljuk. Ezt követően a tömegszázalékos frakció szétválasztása ülepítéssel történik. Az ülepítést módosított Atterberg-féle csöves ülepítő berendezéssel végezzük. A mintákat egy ismert térfogatú vertikális kiképzésű üveghengerbe öntjük, melyet mért hőmérsékletű ammónium-hidroxid oldattal töltöttünk fel előzőleg. A hőmérséklet függvényében meghatározható az egyes frakciók ülepedési időtartama, amely idő után a kiülepedett hordalékot tartalmazó víztérfogatot bepárló csészébe engedjük le. A szárazanyag tartalom a bepárlás után megmérhető. A berendezéssel 6 frakció különíthető el.

Az elmúlt időszakokban vett és feldolgozott jelentősebb munkák:

- DANUBE EHT 2010 IPA CBC HU-SRB/0901/221/001
- 350 db lebegtetett hordalék minta, 70db mederanyag minta
- TÁMOP 4.2.2.B-10/1-2012-0032 Tudományos képzés műhelyeinek támogatása az Eötvös József Főiskolán
- 75db lebegtetett hordalék minta, 10db görgetett hordalék minta,
10db mederanyag
- Dráva morphological monitoring IPA CBC HU-HR/1001/112/0009
- 125db lebegtetett hordalék minta, 75db görgetett hordalék minta,
75db mederanyag
- szerbiai "MORE" projekt
- 175db lebegtetett hordalék minta, 35db görgetett hordalék minta,
35db mederanyag

A tapasztalatok:

- A lebegtetett hordalékkoncentráció széles határok között változik: 0,01 – 0,3 g/l
- A pontos bemérés analitikai mérleget igényel (méréshatár: 230 g, pontosság 0,0001 g).
- Az ülepítő berendezés nagy élőmunka igényű, precíz kezelést, nagy odafigyelést igényel.
- A kétszeri beszárítás és visszamérés csökkenti a pontosságot.
- A minták beszárítása utáni visszamérés a bepárló csészékből nehézséget okoz azok letapadása miatt. Ez egyben csökkenti a pontosságot is.
- A pontosságot a minták térfogatának növelésével lehetne fokozni, de ennek gátat szab a minták össz-súlya, a megnövekedő szállítási, tárolási igény.
- A hordalékhozam görbék jó definiálásához több hidrológiai helyzetben kellene mintát venni.
- A kevés számú minta nem elégítik ki a XXI. századi adatigényeket, többek között nem alkalmasak a továbblépést jelenthető korszerű berendezések (pl. ADCP) kalibrálására, valamint nem alkalmasak a bonyolultabb hidrodinamikai modellekben való alkalmazásra sem.

Fejlesztési lehetőségek:

A fejlesztés a vizsgálati idő és a humán erőforrás szükséglet csökkentésére irányul. A tervezett innovációs tevékenység egy már létező technológia továbbfejlesztésére és gyakorlati alkalmazhatóság kialakítására koncentrál. A létező technológia a szedimentációs analízis, amelynek során a folyadéktérben ülepedő lebegtetett hordalékminta részecskéit a vízfelszín alatti tárcsán gyűjtjük össze, miközben mérjük annak tömegének növekedését az időben. A gyűjtött adatokból meghatározható a minta szemeloszlása részminták vétele és annak bepárlása, visszamérése nélkül.

A fejlesztés során meg kell határozni a részegységek műszaki paramétereit, a szükséges mérési pontosságot és annak elérési technikáját. Ki kell dolgozni a mérő szett összeállítását és üzemeltetésének módszerét. El kell készíteni a mérési utasítást és az eredmények kiértékelésének módját. Ki kell gondolni a mérési dokumentáció részleteit.

A szedimentációs mérleg alkalmazásával elkerülhető az időigényes és a mérési hibát növelő másodszori bepárlás és visszamérés, az ülepítő berendezés alkalmazása során fellépő veszteségek, amelyek csökkentik a mérési pontosságot.

A hordalék mintavétel közben egyidejű állóhajós ADCP mérést végeztünk, hogy a későbbiekben az egyes mintavételi pontokhoz a vízsebesség vektorokat hozzá tudjuk rendelni, ez ad majd lehetőséget arra, hogy a hordalék szempontjából kalibrálni tudjuk az ADCP-t.

A ViSea DAS PDT program alkalmas arra, hogy az ADCP adatok alapján, a mintavételi cellából visszaverődő jelerősség és a lebegtetett hordalék koncentráció között kapcsolatot találjon. Ugyanakkor a program használata nehézkes: nem választja szét a kalibrációs fázist a számítási fázistól. Az eredmények térbeli grafikus megjelenítésében erős, de a részeredmények nem exportálhatók jegyzőkönyvbe, vagy további számításokhoz.

Lézeres - LISST- berendezés drága és szűk spektrumot fog át, de helyszíni méréssel hordalék koncentráció és szemeloszlás meghatározására alkalmas. Emiatt kalibrációs igénye igen nagy a koncentrációra és szemeloszlásra is.

Felhasznált irodalom:

- Sziebert J. (2011.): Lebegtetett hordalékhozam mérés tapasztalatai ADCP-vel (előadás – Magyar Hidrológiai Társaság – XXIX. Vándorgyűlés, Eger)
- Szlávik L. & Sziebert J. (2005.): Hidrológia és meteorológia (Eötvös József Főiskola - Főiskolai jegyzet)
- Tamás E. A. (2003): Hullámtéri morfológiai folyamatok vizsgálata, különös tekintettel a hordaléklerakódásra. - Kutatások az Eötvös József Főiskolán, 3: 81-97.
- Tamás E. A. (2005.): Morfológiai célállapot-meghatározás kérdései és lehetőségei a magyarországi alsó Duna-szakaszon . - Kutatások az Eötvös József Főiskolán, 5: 255-262.
- Graf W.H.: Hydraulique Fluviale - Écoulement et phénomènes de transports dans les canaux à géométrie simple, vol. 16, Lausanne, Suisse, Presses Polytechnique et Universitaires Romandes, 2000.
- Bogárdi János (1978): Sediment transport in alluvial streams
- Rast G. – Schwarz U. (szerk.) (2008.): Assessment of the balance and management of sediments of the Danube waterway, WWF.