



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki Kar

Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék

PhD téziszfüzet

Folyószakaszok áramlási és morfológiai viszonyainak térbeli vizsgálata

Baranya Sándor

Témavezető: **Dr. Józsa János**

Budapest, 2009

A kutatások előzménye és vizsgálati eszközei

A vízmérnöki tudományok egyik legrégebbi kutatási területe a folyók áramlási és hordalékmozgási viszonyainak a vizsgálata. A terepi megfigyelések és mérések a kutatások mindig is fontos részét képezték, és a mérési technikáknak főleg az utóbbi évtizedben bekövetkezett jelentős fejlődésével a folyók áramlási és morfológiai viszonyainak feltárását ma már nagyon részletes tér- és időbeli felbontással vagyunk képesek elvégezni. Az áramlások mérésében a fejlődést elsősorban a szerencsére már itthon is egyre szélesebb körben alkalmazott akusztikus Doppler elven működő ADCP sebességmérő műszer (Acoustic Doppler Current Profiler) hozta. Az eszközt egy mérőhajóhoz rögzítve, előre választható függőleges, és a mérőhajó sebességétől függő vízszintes felbontással mérhető a tetszőlegesen bejárt út menti térbeli sebességeloszlás, így akár nagyobb folyószakaszok térbeli sebességeloszlása is feltárható. Nagyobb mérőhajó-sebesség esetén a vizsgált folyószakaszra átfogó, de lokálisan pillanatnyi, vagyis a folyami áramlások természeténél fogva erősen egyenlőtlen sebességeloszlás kapható, míg kis sebesség vagy szélső esetként teljesen rögzített mérőhajóval egy függélyre hosszúidejű sebességprofil-idősor nyerhető. Előbbi előnye a térben nagykiterjedésű információ, utóbbié pedig a részletes időbeli jellemzés, ahol is az átlagolt sebességprofilra például a turbulens áramlásokra levezetett analitikus sebességprofilok illesztetők. A profilillesztéssel egyúttal számszerű becslést kapunk a mederfelszín érdességmagasságára és a fenék-csúsztatósebességre, továbbá származtatható belőle a fenék-csúsztatófeszültség valamint a szennyezőanyagok elkeveredési viszonyait jellemző, azok numerikus modellezéséhez szükséges longitudinális diszperziós együttható lokális értéke. Doktori kutatásaim egyik fő területét a fent említett terepi áramlásmérések, és azok értékelő elemzése adja.

A folyami hidraulikai kutatómunkámban használt másik vizsgálati eszköz a numerikus térbeli áramlás- és hordalékmodellezés. A numerikus modellekkel, a számítástechnika jelenlegi hardver és szoftver fejlettségi szintjén egyre nagyobb kiterjedésű és bonyolultságú feladatok végezhetők el egyre finomabb részleteket reprodukálni képes felbontással, így folyószakaszok turbulens áramlási és hordalékmozgási viszonyait leíró egyenletek három dimenzióban való közelítő megoldása is napjaink kutatási eszközévé válhatott. Addig, amíg a gyakorlati alkalmazást tekintve számos vízmérnöki feladat kapcsán célszerűen elegendő az egy- és kétdimenziós leírást alkalmazni, jól körülhatárolhatók azok az esetek, amikor térbeli megközelítés szükséges. Ilyen például a folyókanyarulatokban vagy folyószabályozási művek közvetlen környezetében kialakuló szekundér áramlási struktúrák, melyekről ismert, milyen jelentős hatást gyakorolnak a

helyi hordalék- és szennyezőanyag-transzport folyamatokra. A háromdimenziós leírással pontosabb becslés adható a mederfenék közeli áramlási viszonyokra is, ami a hordalékmozgási vizsgálatoknál különösen felértékelődik, hiszen a felkeveredési és kiüledési folyamatok, durvább mederanyag esetén pedig a görgetett hordalékmozgás a mederfenék közelében játszódhatnak le. A térbeli áramlásmoდეllek turbulens viszonyok leírására való alkalmasságát a modellek különböző bonyolultságú leírást alkalmazó turbulencia-modellekkel kapcsolható össze. Ezek a vízmozgás turbulens jellegéből adódó hatások pontosabb leképzésére adnak módot.

A terepi mérési eljárások jól alkalmazhatók a meglévő folyami áramlási viszonyok feltárására, és a mérési eredmények értékelő elemzésén keresztül önmagukban is hasznosíthatók. A numerikus modelleket ezzel szemben önmagukban általában már nem, csak megfelelő bearányosítását és igazolást lehetővé tevő mérési eredmények birtokában tekintjük megbízható vizsgálati eszköznek. Ez a vélekedés az utóbbi időben azonban jelentősen tompult, felismervén a numerikus modelleknek azt a nagy előnyét, hogy terepen vagy laboratóriumi modelleken nehezen mérhető szituációkat is vizsgálhatunk velük, sőt az egyedi áramlási jelenségek ún. numerikus kísérleteken keresztüli tanulmányozása hozzásegít a jobb megismeréshez, aminek alapján egy adott mérés módszerére, helyére, idejére, stb. lehet megalapozottabb ajánlást tenni, illetve a méréseket célirányosabban lehet végrehajtani.

Célkitűzések

Részletes folyami áramlás- és hordalékmérési adatok felhasználásával és háromdimenziós numerikus áramlási- és hordaléktranszport modellvizsgálatokkal a doktori értekezés céljait a következő pontokban fogalmaztam meg:

- Hasonló méretű folyók íves összefolyású torkolati szakaszának áramlástanai vizsgálata rögzített és mozgóhajós ADCP mérések célirányos végrehajtásával és numerikus térbeli áramlásmoდეllel.
- ADCP mérések újszerű adatelemzési módszerének kidolgozása, melynek segítségével a vizsgált folyószakaszra jellemző hidromorfológiai paraméterek számszerűsíthetők.
- Tiszta homokmedrű és homokos-kavics medrű folyószakaszok morfordinamikai vizsgálata részletes terepi áramlásmérésekkel,

medergeometriai felméréssel, hordalék mintavételezéssel és numerikus morfordinamikai modellel.

- Folyók lebegetett hordaléktöménységének becslése ADCP mérőeszköz visszavert hangjel erőssége alapján, az eljárás kalibrálása és a mérési bizonytalanságok számszerűsítése.

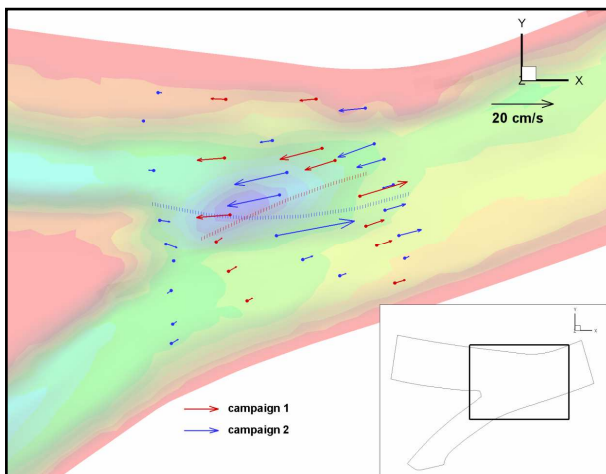
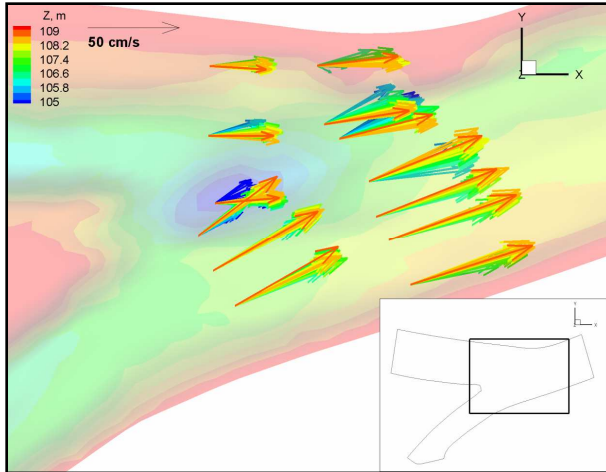
Új tudományos eredmények

A doktori kutatásaim során kapott új eredményeket négy tézisben foglaltam össze:

1. Tézis: Folyók találkozásánál kialakuló térbeli áramlási struktúrák

Bebizonyítottam, hogy több függélyben rögzítetten végrehajtott, hosszúidejű sebességprofil-mérés szükséges és elégséges a folyók találkozásánál kialakuló térbeli áramlási struktúrák feltárásához. A kialakuló csavaráramlások erősségét és irányát a mért sebességekből származtatott vektoriális formában értelmeztem. A háromdimenziós áramlási struktúrát térbeli numerikus modellel reprodukáltam, továbbá igazoltam, hogy a másodlagos áramlási képet nagymértékben a folyók impulzusának aránya határozza meg. [1]

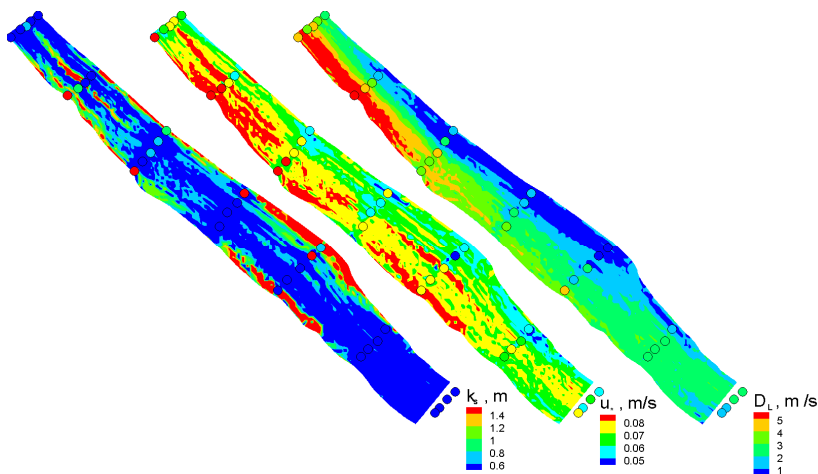
Két közepes méretű folyó (Mosoni-Duna és Rába) találkozásánál végrehajtott részletes áramlásmérések rámutattak a térben összetett csavaráramlási struktúra jelenlétére. A kétcellás másodlagos köröző áramlást a folyók helyszínrajzi vonalvezetése eredményezi. A rögzített pontú mérések mellett elvégzett szelvények menti mozgóhajós áramlásmérésekkel sikeresen validáltam egy háromdimenziós numerikus áramlási modellt, amivel a mért térbeli áramlási struktúrákat elfogadható egyezéssel reprodukáltam.



Hosszúidejű ADCP mérésekből előállított időátlagolt sebességvektorok (fent) és pontbeli csavaráramlási vektorok két mérési kampányra (lent).

2. Tézis: Hidromorfológiai jellemzők becslése függély menti sebesség adatokból

Bebizonyítottam, hogy nagy folyókban mind a rögzített pontú, hosszúidejű, mind a mozgóhajós sebességmérés alkalmas a meder érdességmagasságának, a fenék-csúsztatósebességnek és a hosszirányú diszperziós együtthatónak becslésére. A pontbeli átlagsebességekre és a vonal menti tér- és időbeli átlagsebességekre illesztett analitikus sebességprofilból származtatott paraméterek elfogadható és indokolható eloszlást mutatnak. A becsült érdességmagasság értékek jól képesek jelezni a mederfelmérés során észlelhető mederformák okozta makroérdességet is. A turbulens diszperziós együttható nagyságrendi becsléséhez az előzőekben származtatott jellemzőket használtam fel és rámutattam a paraméter összetett medermorfológiai és áramlási viszonyok okozta jelentős térbeli változékonyságára. [3]



ADCP adatokból származtatott érdességmagasság (balra), fenék-csúsztatósebesség (középen) és hosszirányú diszperziós együttható (jobbra) eloszlások.

A Duna homokmedrű szakaszán elvégzett részletes ADCP mérések elemzésével megmutattam, hogy az elegendően hosszú pontbeli sebességmérések alapján előállított időátlagolt függély menti sebességeloszlások jól illeszkednek a turbulens határretegre jellemző, analitikusan levezetett függvényre. A mért sebességadatokra a legkisebb négyzetes hiba elvén illesztett függvény paraméterei alapján a mederfenék érdességmagassága és a fenék-csúsztatófeszültség származtatható. A mozgóhajós sebességmérési adatokból kapott pillanatnyi sebességprofilok a turbulens áramlás

miatt nagy pulzációt mutatnak, de célirányos térbeli és időbeli adatszűrési technikával elfogadható térbeli eloszlás állítható elő a fenti jellemzőkre.

3. Tézis: Homokmedrű folyó morfordinamikai modellezése

A magyarországi Alsó-Duna tipikus homokmedrű szakaszán bebizonyítottam, hogy a numerikus morfordinamikai modellezés pontosabb eredményt szolgáltat a többfrakciós hordalékmozgás-leképezés esetén. Megmutattam, hogy a mederfenék-közeli hordalékviszonyok leírására van Rijn teljes hordalékmozgás számítására vonatkozó összefüggése eredményezi a legjobb egyezést a mért és számított mederváltozások között. A megfelelő modellparaméterezés és validálás célirányos *in situ* áramlásmérés, hordalék mintavételezés és mederfelmérés végrehajtását teszi szükségessé. Egy mederformáló vízjárás-időszak előtti és utáni felmérések a modellellenőrzéshez kellő információt szolgáltatnak, ami ezáltal alkalmassá teszi a numerikus vizsgálati eszközt folyamszabályozási művek beépítésének hatására végbemenő morfológiai változások becslésére. [4]

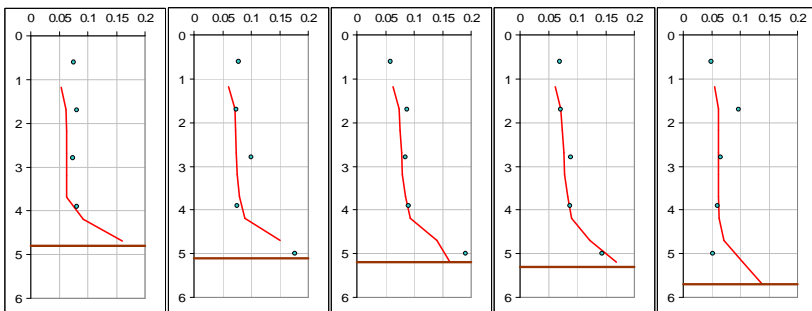
A magyarországi Duna egy jelentős szakasza összetett, homokos-kavics mederanyaggal jellemezhető, melynek numerikus leképzése nehezebb feladat, mint a tiszta homokmedrű folyószakaszé. A modellezés komplexitását a görgetett hordalék megjelenése és a kisméretű szemcsék nagyok közötti elrejtőzése okozza. A modellvizsgálatokkal kimutattam, hogy a hordalékszemcsék áramlásnak való kitettségét is figyelembe vevő Wu-féle összefüggést részletes terepi hordalékkadatokkal paraméterezve, a mérések során észlelt stabil meder viszonyok megfelelően reprodukálhatók.

4. Tézis: Lebegtetett hordaléktöménység becslése visszavert ADCP jelerősség adatok alapján

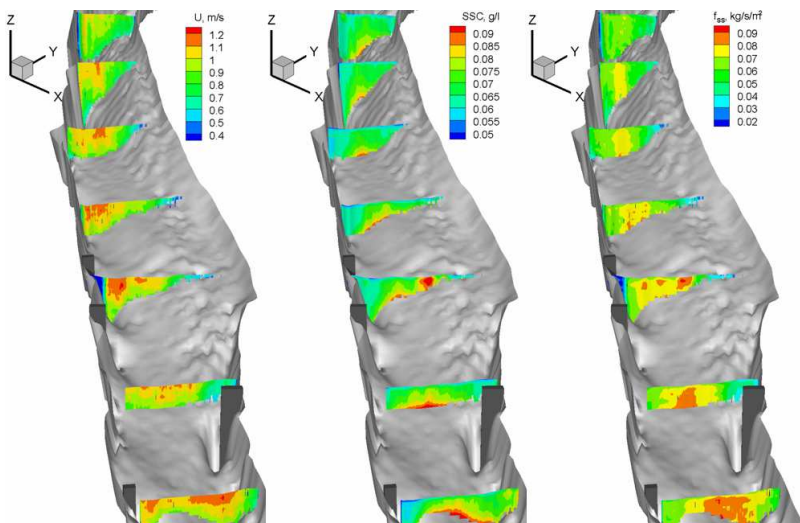
Az akusztikus Doppler elvű mérőműszer visszavert hangjel-erősség adatai alapján becslési eljárást adtam a folyó által szállított lebegtetett hordalék töménységre és annak térbeli eloszlására. A módszert részletes terepi hordalék mintavételezési adatokkal kalibráltam. Számszerűen becsültem a mérési eljárás bizonytalanságából és a mérési adatok szűréséből adódó hibákat is. [2]

A hang vízben való terjedésének számításában szereplő paraméterek egy részét tapasztalati összefüggések alapján becsültem, mások mérhetőek voltak. Az ADCP által rögzített visszavert hangerősség és a mért lebegtetett hordaléktöménység adatok

közötti kapcsolatot regressziós eljárással mutattam ki. Az így kapott összefüggés felhasználásával függély menti és keresztzselvények menti hordaléktöménység eloszlásokat állítottam elő. Megmutattam, hogy a mederfenék közeli, a mérési technikából és az összetett hordalékmozgási folyamatokból származó bizonytalanság jelentős hibával terhelheti a hordalékhozam számítását. Kimutattam továbbá, hogy a nyers sebesség és jelerősség adatok szűrése elhanyagolható eltérést eredményez.



Mért (pontok) és ADCP adatokból becsült (vonal) lebegtetett hordalék koncentráció (x-teng.: koncentráció, g/l; y-teng.:mélység, m).



Mért áramlási sebesség (balra), származtatott hordaléktöménység (középen) és számított hordalékhozam (jobbra) eloszlások.

Eredmények hasznosulása

Az új eredmények hozzájárulnak a folyókban kialakuló térbeli áramlási struktúrák pontosabb megismeréséhez, mérhetőségének és reprodukálhatóságának módszertani fejlesztéséhez. Numerikus áramlásmodellezési eredményekkel megfelelő hidrodinamikai alapadatok szolgáltatathatók további hordalék- vagy szennyezőanyag-transzportfolyamatok számításához.

Az új módszerek és eredmények nagyban hozzájárulnak a folyók hordalékviszonyainak leírásához, és különösen fontos szerepük lehet például a Duna magyarországi szakaszára kiterjedő aktuális hajózhatósági kérdések vizsgálatában és megoldásában, elsősorban, mint a terepi mérések és numerikus modellezés összekapcsolt végrehajtását megvalósító, folyószabályozás-tervezést támogató eszközök.

A kutatásban kifejlesztett és az értekezésben bemutatásra kerülő ADCP adatfeldolgozási módszer jelentősen hozzájárul a folyószakaszok hatékony hidromorfológiai állapotjellemezéséhez, valamint lehetőség ad a numerikus modellek pontosabb paraméterezésére. Megjegyzendő, hogy a folyók hidromorfológiai viszonyainak rendszeres megfigyelése egyik alapfeladata az Európai Unió Víz Keretirányelvének, így az eredmények ebben a körben is hasznosulnak.

A tézisekhez kapcsolódó tudományos közlemények

1. **Baranya S., Józsa J. (2007):** Numerical and laboratory investigation of the hydrodynamic complexity of a river confluence. *PERIOD POLYTECH CIV ENG* **51**:(1) 3-8.
2. **Baranya S., Józsa J. (2010):** ADCP alkalmazása lebegtetett hordalék koncentráció becslésére. *HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY* szerk. alatt. 7 o.
3. **Baranya S., Józsa J. (2009):** ADCP data analysis to explore hydro-morphologic and dispersion conditions in the Hungarian Danube. In: Proc. *7th ISE & 8th HIC*, Concepción, Chile. , 2009.01.16-2009.01.19. 10 p. Paper conf187a323.

4. **Baranya S., Józsa J.** (2009): Morphological modelling of a sand-bed reach in the Hungarian Danube. In: *Proc. XXXIII. IAHR Congress*. Vancouver, Kanada, 2009.08.09-14. pp. 3680-3687.

További tudományos közlemények

Magyarországon megjelent idegen nyelvű lektorált folyóiratcikk

1. **Baranya S., Józsa J.** (2006): Flow analysis in river Danube by field measurement and 3D CFD turbulence modelling. ***PERIOD POLYTECH CIV ENG*** 50:(1) 57-68.

Nemzetközi részvételű konferencia kiadványában megjelent idegen nyelvű lektorált előadás

2. Krámer T., **Baranya S., Józsa J., Farkas P.** (2004): Hydro- and geoinformatics support to flood mitigation planning of a transboundary floodplain *Proc. of the Eco-Geowater Conference on GI for International River Basin Management*, Budapest, Hungary, 117-124
3. Sokoray-Varga B., **Baranya S., Józsa J.** (2006): Turbulence analysis of vertical slot fish pass by in situ measurements and CFD modelling. *Proc. River Flow 2006*, Lisbon, Portugal, 693-700.
4. **Baranya S., Józsa J.** (2007): Comparative CFD and scale model analysis of the flow complexity at a river confluence. In: *Proc. XXXII. IAHR Congress*. Venice, Olaszország, 2007.06.29. 10 p.
5. Sokoray-Varga B., **Baranya S., Józsa J.** (2007): Turbulent structures in vertical slot fish pass revealed by in situ measurements and numerical modelling. In: CD-ROM *Proc. Fifth International Symposium on Environmental Hydraulics (ISEH V)*. Phoenix, Egyesült Államok, 2007.12.04. 7 p.

6. **Baranya S.**, Goda L., Józsa J., Rákóczi L. (2008): Complex hydro- and sediment dynamics survey of two critical reaches on the Hungarian part of river Danube. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol 4 (1) 13 p. doi: 10.1088/1755-1307/4/1/012038
7. Rakóczi L., **Baranya S.**, Józsa J. (2008): Improving the navigability on a sand-bed section of the Hungarian Danube reach. In: Altınakar M *et al.* (szerk.). *River Flow 2008: Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics*. Izmir, Törökország, 2008.09.03-2008.09.05. pp. 1497-1503.
8. **Baranya S.**, Józsa J., Kéri B. (2008): Methodological analysis of fixed and moving boat ADCP measurements on three Hungarian river reaches. In: Altınakar M. *et al.* (szerk.). *River Flow 2008: Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics*. Izmir, Törökország, 2008.09.03-2008.09.05. pp. 2375-2382.

Helyi részvételű rendezvény kiadványában megjelent idegen nyelvű előadás

9. **Baranya S.**, Józsa J. (2004): Investigation of flow around a groin with a 3D numerical model. CD-ROM Proc. *II. Ph.D. CivilExpo*, Budapest, Hungary.

Magyar nyelvű, kiadványban megjelent konferencia-előadás

10. **Baranya S.** (2005): „A Duna Szap-Gönyü közötti szakaszának áramlástanai vizsgálata terepi mérésekkel és numerikus áramlásmoddellel”, *Ipari Nyílt Nap*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 2005, 7 p.
11. **Baranya S.** (2006): „Térbeli numerikus áramlásmoddell alkalmazása a Mosoni-Duna – Rába torkolat áramlási viszonyainak vizsgálatához”, *Doktori Kutatások a BME Építőmérnöki Karán*, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 2006, 185-191 p.