

EGYSÉGES DIGITÁLIS TEREPMODELLEK KÉSZÍTÉSE VÁLTOZÓ RÉSZLETESSÉGŰ ÉS MINŐSÉGŰ MEDERFELMÉRÉSEK ALAPJÁN

Fleit Gábor^{1,2,*} és Baranya Sándor¹

¹ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék
² MTA-BME Vízgazdálkodási Kutatócsoport, Eötvös Loránd Kutató Hálózat

Kivonat

Folyóink mederalakja természetes állapotban egy dinamikus egyensúlyi állapot körül alakulna, elsősorban mederalakító hidrológiai események hatására. A különböző folyószabályozási művek, illetve a duzzasztóművekhez vízhozam szabályozó és hordalékviszatartó hatásai miatt a morfológiai viszonyok lokális és folyószakasz léptékben is intenzívebb, maradandó változásokat eredményezhetnek. Ezen folyamatok nyomon követése fontos vízrajzi és megértése kulcsfontosságú a folyóink fenntartható kezeléséhez. A rendszeresített mederfelmérések ehhez nagyban hozzájárulnak, azonban a változékony felmérési stratégiák, mérőműszer típusok és az utófeldolgozás során alkalmazott interpolációs technikák eredményeként az időben egymást követő medertérképek sokszor nem alkalmasak a morfológiai változások pontos és megbízható számszerűsítésére. A dolgozat célja egy olyan számítási eljárás bemutatása, mely lehetőséget biztosít változó minőségű és milyenségű mederfelmérési adatok alapján számított terepmodellek közötti átjárhatóság biztosítására, ezzel kínálva lehetőséget a mederváltozások, illetve a hordalékhiányviszonyok pontosabb, megbízhatóbb és egységesített vizsgálatát.

Kulcsszavak: medermorfológia, DTM, interpoláció, vízrajz, folyami mederfelmérés

BEVEZETŐ

Folyóink mederalakja mind természetes, mint antropogén hatások következtében folyamatos változásokon megy keresztül. A változás üteme nagyban függ a helyi hidromorfológiai viszonyoktól – elsősorban a mederanyag szemösszetételétől és az uralkodó áramlási viszonyoktól. A folyómedrek jellemzően fokozatos morfordinamikájára lökészerű hatással lehet valamilyen helyi beavatkozás (pl. egy sarkantyú építése), vagy egy extrém hidrológiai esemény is (*Török és Baranya 2017*).

A fentiek, illetve a folyók használatára/hasznosítására való igények fényében kulcsfontosságú, hogy tisztában legyünk a mindenkori morfológiai állapotokkal, vagyis pontos medertérképekkel rendelkezünk. A naprakész medertérképek elengedhetetlenek a biztonságos hajózás szempontjából is – a helyi mederváltozásokat figyelembe véve lehet, illetve kell aktualizálni nagyobb folyóink hajózási térképeit, de az árvízi levezetőképesség, vagy éppen a vizes élőhelyek minőségét is döntően meghatározzák a mindenkori morfológiai viszonyok (*Baranya et al. 2018*).

Napjainkban egyre szélesebb körben (a tudományos közegekből kitörve, a mérnöki gyakorlatban is) elterjedtek a magasabb dimenziószámú (két-, illetve háromdimenziós) numerikus áramlásmodellek. Ezek a modelleszközök (megfelelő terepi mérésekkel támogatva és igazolva) egyaránt alkalmasak folyók hidromorfológiai állapotértékelésére, vagy akár ki nem mért, vagy ki nem mérhető állapotok (pl. múltbeli, vagy tervezett állapot) számszerű vizsgálatára is (*Baranya és Józsa 2006, 2007; Baranya et al. 2015*). Míg a vízmérnöki gyakorlatban még mindig (jogosan) használt egydimenziós modellek keresztshelvény-jellegű mederadat-igényét sokáig ki tudták szolgálni a szabványosított VO szelvények adatai, úgy a 2- és 3D modellek esetén már a területi változékonyságot is leíró domborzati térképekre, digitális terepmodellekre (DTM) van szükség.

Ha egy folyószakaszra időben egymást követő mederfelmérések állnak rendelkezésre, úgy lehetőség van a térképek különbsége alapján becslést adni helyi morfológiai változásokra, vagyis kimutatható, hogy mely területeken történt feltöltődés, vagy éppen kimélyülés. Az ilyen eredmények elengedhetetlenek folyóink hordalékhiányviszonyainak megértéséhez, továbbá

kiváló ellenőrző adatot szolgáltatnak a jövőbeli mederváltozások becslését célzó számítógépes modellszimulációkhoz is (Török *et al.* 2019).

Napjainkban egyre szélesebb körben elérhetőek olyan eszközök, melyekkel közel egyenletes pontsűrűséggel tárhatjuk fel vizeink mederalakját. Ilyen például az ún. többsugaras mederfelmérő rendszer (multibeam echosounder, MBES), mely a konvencionális egysugaras, vonalmenti felmérések helyett sávokat képes nagy térbeli felbontással és pontossággal rögzíteni (Ádány 2015). Hasonló a – nemzetközi gyakorlatban egyre szélesebb körben alkalmazott – zöld lézeres letapogató rendszer (LiDAR). A zöld LiDAR nagy előnye a hagyománnyal szemben, hogy behatol a vízfelszín alá is, így a hullámtéren túlmenően a vízzel borított területek felmérésére is alkalmas (Kinzel *et al.* 2012). A két módszer szinte maradéktalanul képes kielégíteni a vízmérnöki feladatok DTM adatigényét, mind térbeli felbontás (adatsűrűség), mind pontosság szempontjából.

Leggyakrabban azonban a mai napig az egysugaras mederfelmérők, illetve tipikusan vízhozammérésre alkalmazott akusztikus Doppler-elvű áramlásmérők (ADCP) mélységadatai a használatosak. Ilyen felmérések esetén az adatok térbeli eloszlása nem egyenletes – jellemzően keresztshelvény menti, esetleg valamilyen pásztázó (cikcakk) felmérési útvonal mentén állnak rendelkezésre adatok. A keresztshelvény-menti adatgyűjtés mégis a legpraktikusabb, mivel ADCP mérés esetén ilyenkor közvetlenül rendelkezésre áll az aktuális vízhozam is, illetve – figyelembe véve, hogy a folyómedrek keresztirányú változékonysága lényegesen nagyobb, mint a hosszirányú – ez a méréstípus ad egységnyi felmérési hossz esetén a legtöbb hasznos információt.

Ahhoz, hogy ezekből az egyenlőtlen területi eloszlású adatokból medertérképeket szerkeszt-hessünk, interpolációs eljárások alkalmazására van szükség. A gyakorlatban alkalmazott sé-mák (pl. lineáris interpoláció, természetes szomszéd módszer, inverz-távolság módszer) tipikusan nem veszik figyelembe a szórt adatpontok területi eloszlását, ami ún. interpolációs ano-máliákhoz (ld. Kardos 2013), illetve általánosságban pontatlan medertérképekhez vezethet-nek. Számos kutatás foglalkozik a különböző interpolációs módszerek hatékonyságával külön-böző felmérés típusok esetén (pl. Ádány 2015; Kardos 2013; Uciechowska-Garkowicz és Herrera-Grandos 2021), sőt, többen az eredményül kapott domborzati térképek numerikus áramlásmodellezési célú felhasználhatóságát is vizsgálták (Chen és Liu 2017; Cutamura *et al.* 2016; Santillan *et al.* 2016). Eredményeik alapján általánosságban kijelenthető, hogy a bilineáris interpoláció adja a legjobb és leginkább konzisztens domborzati térképeket, azon-ban a már korábban említett (egyenlőtlen ponteloszlásból és háromszögelésen alapuló inter-poláció okozta) anomáliák megjelenhetnek. Ezt a problémát próbálják orvosolni a szelvénymenti felmérések jellegét, illetve a folyók áramlási irányát is figyelembe vevő inter-polációs módszerek (pl. Caviedes-Voulliéme és Hernández-Morales 2014; Kardos 2013; Ostig 2004); ezek azonban tipikusan rácshálón alapuló eljárások, azok korlátaival és többlet feldol-gozási időigényével.

Jelen tanulmány célja egy olyan rácshálómentes interpolációs módszer bemutatása és teszte-lése mely alkalmas i) tetszőleges felmérési stratégiával gyűjtött mederadat alapján; ii) a folyók fő áramlási irányának figyelembevételével; iii) tetszőleges lekérdezési pontokra vagy a mérés-ek által lefedett (és automatikusan számított) poligonon belüli rácsterpontokra pontos és anomáliamentes DTM-ek generálására.

MÓDSZER

A kidolgozott interpolációs eljárást lokális iránymenti inverz-távolság (LIIT) módszer névre kereszteltük. Ebben a fejezetben a LIIT eljárás tömör matematikai háttérét mutatjuk be.

Lokális iránymenti inverz-távolság módszer

A LIIT módszer alapját – ahogy a neve is sugallja – a széles körben alkalmazott inverz-távolság (IT) interpolációs eljárás adja. A klasszikus IT módszer esetén egy adott $\mathbf{x} = [x, y]$ horizontális koordinátájú pontban a függőleges $z(\mathbf{x})$ értéket a mérési adatok szintjeinek ($z_i = f(\mathbf{x}_i)$) távolsággal fordítottan arányos súlyozásával kapjuk:

$$z(\mathbf{x}) = \frac{\sum_{i=1}^N w_i(\mathbf{x}) z_i}{\sum_{i=1}^N w_i(\mathbf{x})}, \quad [1]$$

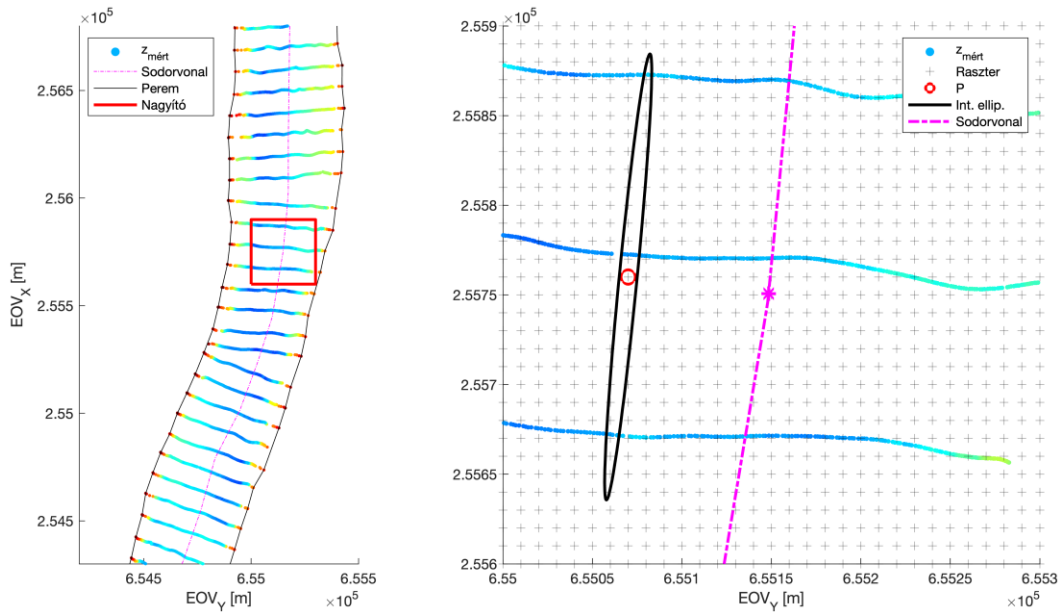
ahol N az interpolációhoz használt pontok száma, w_i pedig az adott mérési pont súlya:

$$w_i(\mathbf{x}) = \frac{1}{d(\mathbf{x}, \mathbf{x}_i)^p}, \quad [2]$$

ahol p a távolság alapú súlyozás hatványkitevője, a módszer egyik szabad paramétere. Mivel a távolsággal arányosan csökken a súly (p függvényében akár drasztikusan), kidolgozásra került a – számítási igény szempontjából is kedvezőbb – lokális IT módszer, mely esetén csak az \mathbf{x} koordinátájú ponthoz legközelebb eső N mérési pontot figyelembe véve történik az interpoláció.

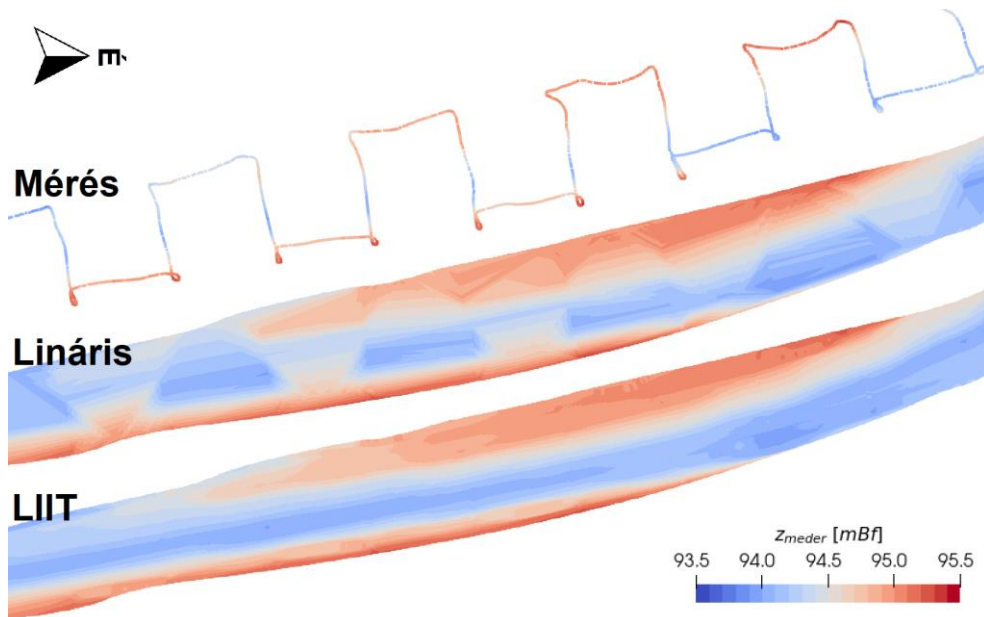
Az itt bemutatott LIIT módszer lényege, hogy az interpolációhoz használt pontok nem pusztán az Euklideszi-távolság alapján, hanem egy, a folyás irányát is figyelembe vevő poligonon belülről kerülnek kiválasztásra (1. ábra:). Az interpolációs poligon jelen esetben egy ellipszis, vagyis a vizsgálati pont környezetében lévő keresztirányú mérési pontok nagyobb számban kerülnek be az interpolációba, mint a távolabbi keresztiszelvények pontjai. Az interpolációs ellipszis tengelyei szintén szabad paraméterek, ezek optimális mérete a felmért szelvények közötti távolság, illetve az egyes szelvényeken belüli pontsűrűségtől függ. Az eddigi tapasztalatok alapján az ellipszis nagy tengelyének méretét a szelvények közti távolság 2,5–3,5-szörösére érdemes felvenni, míg (keresztirányú) kistengelyét a mérési sűrűség (pont/méter) reciprokéval 5–10-szeresére. Azon szélső rászterpontok esetén, ahol az interpolációs ellipszisbe nem esnek mérési pontok, az algoritmus a klasszikus lokális IT módszert alkalmazza a legközelebbi N' pont felhasználásával (N' értéke jellemzően 8–16).

A felmérési pontfelhőn túl a módszer bemeneti adata még a sodorvonal, mint pontok sorozata ($\mathbf{s} = [x, y]$). A pontokból előáll a sodorvonal, mint vonallánc, melyet *Chaikin* módszerével (1974) automatikus sűrít és simít a program. A DTM generálása során az algoritmus minden rászterpontban megkeresi a sodorvonal (\mathbf{s}) hozzá legközelebb eső pontját, és az ottani elsőrendű derivált (érintő meredekség, \mathbf{s}') mértékében elforgatja az interpolációs ellipszist középpontja körül (1. ábra:). Az ellipszisen belül eső pontok esetén számításra kerül a mérési pontok és az aktuális rászterpont közötti távolság, mivel a mederszintek számításánál – az IT módszernek megfelelően – ezekkel fordítottan arányosan kerülnek súlyozásra a mért értékek. A kezdeti eredmények alapján az $p = 0,5–1,5$ közötti értékek esetén teljesít legjobban az algoritmus.



1. ábra: A LIIT módszer bemutatása. Balra: keresztmetszvény-menit mederfelmérés eredményei, a sodorvonal és az automatikusan detektált perem; jobbra: a pirossal nagyított terület; a medertérkép raszterpontjai és az interpolációs ellipszis, illetve a legközelebbi sodorvonal töréspont a pirossal jelölt raszterpont esetén.

Kellően sűrű szelvénymenti felmérések esetén a lineáris interpoláció rendszerint kielégítő eredményt ad, mivel az interpoláció alapján képző háromszögek egyik csúcsa jellemzően egy szomszédos szelvénybe esik, így a szelvények közt hasonló eredményt érhetünk el, mint a rácshálón alapuló, iránymenti interpolációs eljárásokkal. Abban az esetben, ha a szelvénymenti felmérések közötti hajómozgás során a part közelében is rögzítjük a mélységeket – ami a megtett út szempontjából irreleváns, mégis többlet adatot jelent – úgy e pontok jelenléte interpolációs anomáliákhoz vezet. A 2. ábra ezt a jelenséget szemlélteti és egyúttal bemutatja a LIIT módszer érzéketlenségét a problémára.



2. ábra: A partközeli mederfelmérésekkel bővített keresztmetszvénymérések problematikája lineáris interpoláció esetén és a LIIT módszer érzéketlensége a jelenségre.

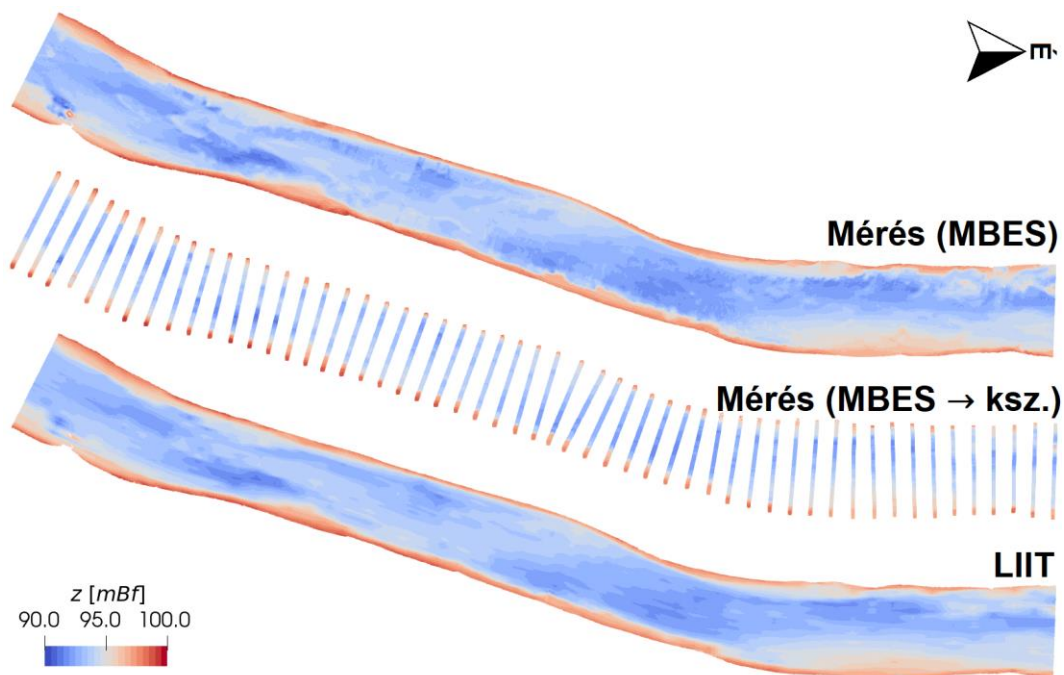
A fenti ábrán bemutatott, LIIT módszerrel számított eredmény ugyan jól szemlélteti az interpolációs eljárás robusztusságát és mentességét helyi interpolációs anomáliáktól, a medertérkép pontosságának ellenőrizhetőségét és így a LIIT módszer kvantitatív értékelését nem teszi lehetővé.

Interpolált eredmények ellenőrzése

Hogy képet kaphassunk a LIIT módszer pontosságáról, egy mesterséges számítási kísérletet végeztünk el. Egy 2016-os dunai többsugaras mederfelmérés (MBES) nagysűrűségű és közel egyenletes eloszlású pontfelhője alapján 100 méteres távolságonként állítottunk elő keresztmetszeti mérési pontokat. A LIIT módszer teszteléséhez a szelvénymenti adatokat felhasználva számítottuk vissza a mederszinteket az eredeti MBES felmérés (horizontális) pontjaira. Ez a módszertan lehetőséget adott az eljárás realiztikus adatokkal történő tesztelésére és a valósággal való egy-egy összevetésére egyaránt.

EREDMÉNYEK

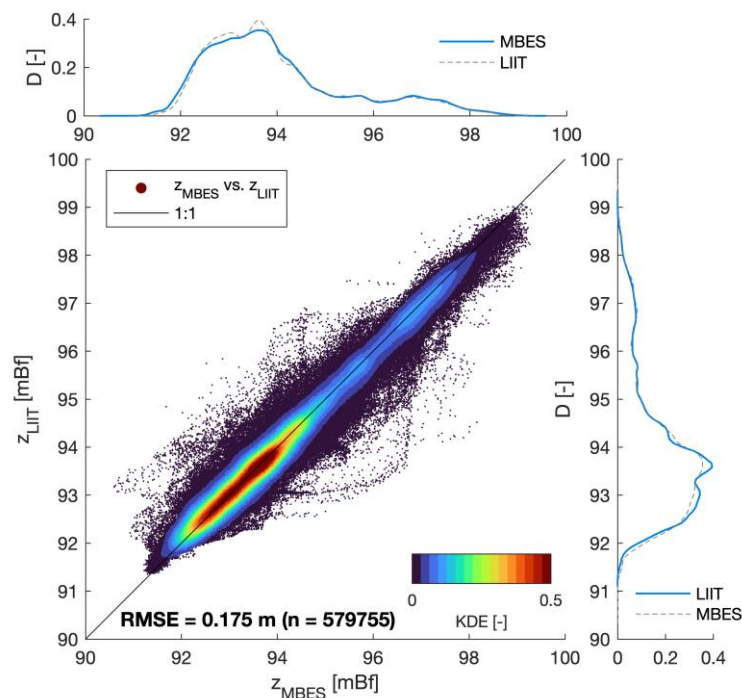
A mesterségesen előállított keresztmetszeti adatok alapján LIIT módszerrel számítottunk medertérképet. Az eredeti MBES és a szelvénymenti (generált) mérési adatokat, illetve a számított medertérképet a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra: A LIIT módszerrel számított interpolált medertérkép kvalitatív összevetése a nyers és a keresztmetszvényekre redukált többsugaras (MBES) felmérés eredményeivel.

A fenti ábrán bemutatott medertérképek kvantitatív összevetése alapján kijelenthető, hogy a LIIT módszer alkalmas realiztikus medertérkép készítésére a keresztmetszeti mederfelmérések alapján. A térkép általánosságban plauzibilis, jó minőségű, interpolációs anomáliáktól mentes. Az eredeti MBES felmérésben megjelenő finomabb léptékű mederformák a forrásadat kis mennyiségéből és a módszer jellegéből adódóan nem jelennek meg a medertérképen, azok kisimulnak a számított megoldásban. Ilyen jellegű egyezés azonban nem is lehet cél egysugaras felmérések esetén – ez a MBES felmérési eljárás egyik vitathatatlan előnye a klaszszikus mederfelmérési (és a kapcsolódó interpolációs) eljárásokkal szemben.

A kvalitatív összevetésen túl, a mért és számított mederszintek közvetlen összevetését is elvégeztük az összes (közel 580 ezer) pontra. Az összevetést szórásdiagramos megjelenítésben a 4. ábra szemlélteti. Az ábra pontjait a két-dimenziós kernelsűrűség (kernel density estimation, KDE) alapján színeztük. A KDE megmutatja, hogy az ábra egyes részterületein mekkora a pontok fajlagos sűrűsége, így ilyen nagy elemszámú pontfelhő esetén is szemléltethetővé válik a pontok 1:1 egyeneshez viszonyított helyzete és szórása. A KDE szerinti színezés így rávilágít, hogy a pontok döntő többsége csak kis méretű hibával terhelt. A teljes adathalmazra számított négyzetes középhiba (root-mean-squared error, RMSE) értéke 0,175 m.



4. ábra: A LIIT módszerrel számított interpolált mederszintek kvantitatív, statisztikai összevetése a többsugaras (MBES) felmérés eredményeivel.

A szórásdiagramos megjelenítés tengelyeivel párhuzamosan megjelenítettük a kapcsolódó értékek (horizontális – MBES; függőleges – LIIT) becsült kernel sűrűségeit is (D) (a szórásdiagramos megjelenítés horizontális és függőleges vetületei), illetve mindkét ábrarészen megjelenítettük a másik változóra számított D görbét is. Ez a megjelenítés lehetővé teszi a mért és számított mederszintek egyszerű statisztikai összevetését is. A görbék jó egyezése alapján kijelenthető, hogy a LIIT módszerrel számított terepmodell e statisztikai összevetés szempontjából is jól közelíti a valós mederverviszonyokat.

DISZKUSSZIÓ

Ez a tanulmány egy meglévő ötlet, az folyásirányt is figyelembe vevő interpoláció egy újszerű adaptációja, mely feloldja a konvencionális interpolációs eljárások néhány problémáját. Szemben a szakirodalomban fellelhető hasonló módszerekkel (pl. *Caviedes-Voulliéme* és *Hernández-Morales* 2014; *Kardos* 2013; *Ostig* 2004), a LIIT egy rácshálómentes algoritmus, mely így könnyebben és gyorsabban alkalmazható.

Egy egyszerű mintaalkalmazáson keresztül bemutattuk, hogy a LIIT névre keresztelt eljárás egy, a lineáris interpolációnál gyakran megjelenő anomáliától mentes medertérképek generálására alkalmas olyan esetben, amikor nem csak tisztán keresztmetszvény-menti adatok állnak

rendelkezésre. Az újszerű eljárást egy MBES felmérés alapú esettanulmányon keresztül igazoltuk: mesterségesen kimetszett keresztmetszvény adatok generálásával vizsgáltuk a LIIT-tel előállítható DTM pontosságát az eredeti (valós) felméréssel összevetve. A kezdeti eredmények biztatóak, a LIIT egyszerre alkalmas pontos és konzisztens medertérképek generálására.

A bemutatott eredményekből látható, hogy a módszer fejlesztése és elsősorban a tesztelése még kezdeti fázisban van – számos további vizsgálat elvégzése szükséges még. A LIIT-el számított medertérképek kvantitatív összevetése más determinisztikus és geostatistikai eljárásokkal (pl. *Kriging* (Uciechowska-Garkowicz és Herrera-Grandos 2021)) tovább hangsúlyozhatná a módszer gyakorlati relevanciáját és előnyeit. A módszer esetleges továbbfejlesztése más interpolációs módszerek előnyös tulajdonságainak implementálásával szintén potenciális irány. A LIIT algoritmus általános alkalmazhatóságának igazolásához a szabad paraméterekre (pl. súlyozás hatványkitevője, ellipszis relatív méretei) vonatkozó részletes érzékenységvizsgálat elvégzése szükséges. A LIIT eljárás egy másik potenciális fejlesztési iránya a jelenleg alkalmazott helyi sodorvonal deriváltat figyelembe vevő ellipszis lecserélése egy a helyi görbületet is figyelembe vevő interpolációs poligonra, mely kisebb méretű és gyakran nagyobb görbületekkel rendelkező folyókon és/vagy ritkább szelvényfelmérések esetén tovább javíthatná a LIIT-tel készült DTM-ek minőségét.

Az MBES felmérésekből a keresztmetszvény-menti adatok generálásán túl más mérési stratégiák hatékonysága is vizsgálható lenne (cikcakkos pásztázó felmérés; hosszszelvények menti felmérés stb.). Ilyen jól ellenőrizhető adatok esetén az itt bemutatott módon lehetne vizsgálni az egyes interpolációs módszerek hatékonyságát különböző felmérési útvonalak esetén (Cutamora et al. 2016; Santillan et al. 2016; Uciechowska-Garkowicz és Herrera-Grandos 2021), illetve rá lehetne mutatni, hogy az egyes módszerek közül melyik alkalmas leginkább eltérő mérési stratégiák esetén konzisztens DTM-ek generálására. Az eredmények alapján akár általános érvényű javaslatot is lehetne tenni, pl. adott felmérési úthossz (idő) alatt milyen stratégiával lehet a legnagyobb folyószakaszt lefedni a végső DTM minőségének megőrzése mellett.

Bár a LIIT sok szempontból előnyösebb a jelenleg elérhető interpolációs eljárásoknál, megvan a maga hátrányai is. Az általános interpolációs módszerekkel szemben a LIIT ugyan rácshálómentes, de a sodorvonal, mint vonallánc mégis szükséges bemeneti adat. Keresztmetszvény menti adatok esetén ennek legyártása automatizálható, de nem általánosítható más típusú (pl. cikcakk) felmérési stratégiák esetén. Az eljárás jellegéből adódóan nagyobb számítási igényű, mint a konkurens módszerek (pl. lineáris interpoláció), azonban a jelenleg elérhető számítási kapacitásokat figyelembe véve ennek gyakorlati relevanciája minimális. A LIIT úgy lett megtervezve, hogy figyelembe vegye a folyók természetes hosszirányú változékonyságát, azonban a mesterségesen épített helyi művek (pl. sarkantyúk és egyéb terelőművek) automatizált DTM-be való beépítésére nem alkalmas. Ez a hátrány általánosságban igaz más interpolációs eljárásokra is, ilyen „éles” geometriával jellemezhető elemek beépítése minden esetben manuálisan kell történnjen a lehető legrészletesebb geodéziai felmérések alapján.

Fontos hangsúlyozni, hogy a jövő felmérési módszerei mindenképp a többsugaras akusztikus és optikai eljárások. Ilyen például a MBES eljárás, mely olyan sűrűségű mérési eredményeket tud szolgáltatni, mely további interpoláció (adatpótlás) nélkül is teljes mértékben ki tudja elégíteni a vízmérnöki feladatok adatigényét (ld. Ádány 2015), sőt akár finomabb léptékű vizsgálatok, például dűnemozgások vizsgálatának elvégzését is lehetővé teszi (Muste et al. 2016). Fontos továbbá megemlíteni a zöld lézeres LiDAR rendszerekről is, melyek akár drónokra szerelve is alkalmasak folyók medrének és hullámterének együttes nagy felbontású dombor-

zati térképezésére a hajós mérések korlátait kiküszöbölve. Ezek a rendszerek – főleg a kapcsolódó nagyobb költségek, illetve nagyobb szakértelemigény miatt – még kevésbé elterjedtek, mint a már széles körben alkalmazott MBES rendszerek.

A fenti legkorszerűbb műszerek és mérési eljárások még jelenleg is csak elterjedőben vannak, így az egysugaras mederfelméréseknek továbbra is nagy a gyakorlati relevanciája. Igaz ez egyrészt a friss felmérésekre, és különösen a meglévő, korábbi években/évtizedekben végzett felmérésekre, melyek kulcsfontosságúak folyóink nagyléptékű morfordinamikai folyamatainak megértésében. Az évről évre, vagy akár gyakrabban végzett mederfelmérések, illetve az azokból készült DTM-ek alapján van ugyanis lehetőség olyan különbségtérképek készítésére melyek alapján detektálható és számszerűen értékelhető a helyi kimélyülések és feltöltődések helye és mértéke, továbbá folyószakasz léptékben a hordalékmérleg felállítását is lehetővé teszik (pl. *Török és Baranya 2017*). A pontos és konzisztens terepmodellek elengedhetetlenek továbbá a megbízható két- illetve háromdimenziós numerikus áramlásmodellek építéséhez is (*Chen és Liu 2017; Cutamora et al. 2016; Santillan et al. 2016*).

KONKLÚZIÓK

A dolgozatban bemutatott LIIT módszer egy hálómentes, egyszerűen implementálható interpolációs eljárás, elsősorban folyami medertérképek generálására. A módszer mentes a gyakorlatban széles körben alkalmazott interpolációs eljárásokban gyakran előforduló interpolációs anomáliáktól így modellezési és pl. morfológiai számítások elvégzéséhez is megbízhatóbb inputot szolgál.

Ugyan az eljárás pontossága kvantitatívan csak a konvencionálisnak mondható keresztzelvény-menti mérésekre lett igazolva, a partmenti mérésekkel kiegészített mérések példája azt sugallja, hogy különböző mérési stratégiák esetén is konzisztensen működik. Ezen a téren további vizsgálatok szükségesek.

A LIIT módszer jelenleg fejlesztés alatt áll, a szerzőknek további ötleteik vannak az eljárás javítására, illetve szélesebb körű felmérési stratégiákat, pontsűrűségeket és egyéb változókat érintő tesztek és érzékenységvizsgálatok végzésére. A fentiek fényében a LIIT egy ígéretes eszköz folyami morfordinamikai számítások megbízhatóbb elvégzésére és számítógépes modellezési feladatok támogatására.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült. A második szerző köszönetét fejezi ki az MTA Bolyai János kutatási ösztöndíjért. A vizsgálatokhoz további segítséget nyújtott az ELKH Támogatott Kutatócsoportok Irodája is.

IRODALOMJEGYZÉK

- Ádány Sz. (2015) A többsugaras mederfelmérési módszer vizsgálata a Duna példáján keresztül. Diplomamunka, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék.
- Baranya S., Józsa J. (2006) Flow analysis in river Danube by field measurement and 3D CFD turbulence modelling. *Periodica Polytechnica Civil Engineering* 50(1):57—68.
- Baranya S., Józsa J. (2007) Numerical and laboratory investigation of the hydrodynamic complexity of a river confluence. *Periodica Polytechnica Civil Engineering* 51(1):3—8.
- Baranya S., Olsen N.R.B., Józsa J. (2015) Flow analysis of a river confluence with field measurements and RANS model with nested grid approach. *River Research and Applications* 31:28—41.
- Baranya S., Fleit G., Józsa J., Szalóky Z., Töth B., Czeglédi I., Erős T. (2018) Habitat mapping of riverine fish by means of hydromorphological tools. *Ecohydrology* 11:e2009, 13p.
- Caviedes-Voulliéme D., Hernández-Morales M., López-Marijuan I., Garvía-Navarro P. (2014) Reconstruction of 2D river beds by appropriate interpolation of 1D cross-sectional information for flood simulations. *Environmental Modeling & Software* 61:206—228.
- Chaikin G. (1974) An algorithm for high-speed curve generation. *Computer Graphics and Image Processing* 3 (1974), 346—349.
- Chen W-B., Liu W-C. (2017) Modeling the influence of river cross-section data on a river stage using a two-dimension/three-dimensional hydrodynamic model. *Water* 9:203, 24p.
- Cutamora L.C., Serviano J.L., Pulido S.P., Santillan J.R., Makinano-Santillan M.M., Makinano R.M., Berdera M.A., Esterque A.C.N., Culdora J.P. (2016) Assessment of spatial interpolation techniques for river bathymetry generation and integration in LiDAR DTM: Impacts in river flow simulations. In 37th Asian Conference on Remote Sensing 2016, 17—21 October 2016, Colombo Sri Lanka.
- Kardos M. (2013) Interpolation of river's morphological model from cross sectional survey. In Proceedings of the 2nd Conference of Junior Researchers in Civil Engineering, Budapest 2013.06.17—18., pp. 243—248.
- Kinzel P.J., Carl J.L., Jonathan M.N. (2012). Mapping River Bathymetry with a Small Footprint Green LiDAR: Applications and Challenges. *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)* 49(1):183—204.
- Muste M., Baranya S., Tsubaki R., Kim D., Ho H., Tsai H., Law D. (2016) Acoustic mapping velocimetry. *Water Resources Research* 52(5):4132—4150.
- Santillan J.R., Serviano J.L., Makinano-Santillan M., Marqueso J.T. (2016) Influence of river bed elevation survey configurations and interpolation methods on the accuracy of LiDAR DTM-based river flow simulations. In The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W1, 2016 International Conference on Geomatic and Geospatial Technology (GGT) 2016, 3—5 October 2016, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Osting T.D. (2014) An improved anisotropic scheme for interpolating scattered bathymetric data points in sinuous river channels. Center for Research in Water Researches (CRWR) Online Report 04-01. Bureau of Engineering Research, The University of Texas at Austin, J.J. Pickle Research Campus, Austin, US.
- Török G.T., Baranya S. (2017) Morphological Investigation of a Critical Reach of the Upper Hungarian Danube. *Periodica Polytechnica Civil Engineering* 61(4):752—761.
- Uciechowska- Grakowicz A., Herrera-Granados O. (2021) Riverbed mapping with the usage of deterministic and geo-statistical interpolation methods: The Odra River case study. *Remote Sensing* 13:4236, 16p.
- Vetter M., Höfle B., Mandlbürger G., Rutzinger M. (2011) Estimating changes of riverine landscapes and riverbeds by using airborne LiDAR data and river cross-sections. *Zeitschrift für Geomorphologie* 55(2):51—65.