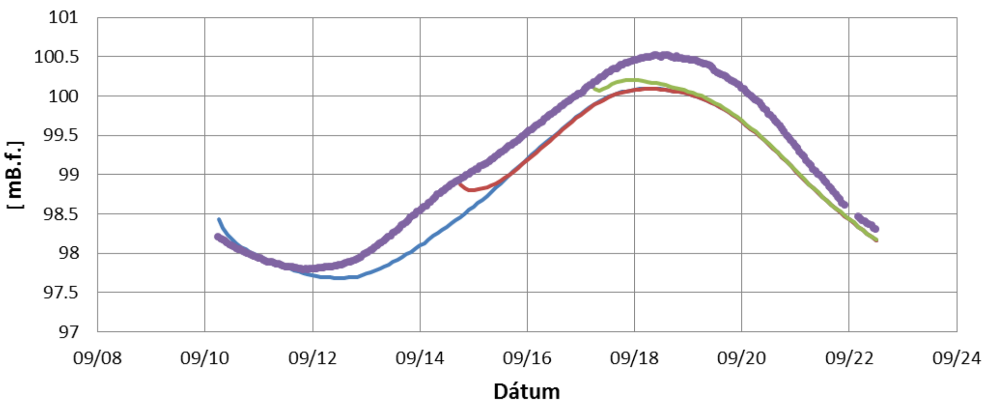
Építőmérnöki Kar
Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék
TDK Konferencia 2014

Rövidtávú árvízi előrejelzés egydimenziós hidrodinamikai modell alkalmazásával



készítette:

Csiti Bence

konzulensek:

Torma Péter

Dr. Krámer Tamás

Budapest, 2014

Tartalom

Bevezetés

Meghatározni egy jövőben lejátszódó esemény pontos viselkedését igen komoly kihívást jelent a tudomány bármely területén. A meteorológia és a hidrológia terén ezeknek a prognózisoknak a felállítása különösen nagy nehézséget jelent, mivelhogy mindkét tudományág igen komplex. Rengeteg állapotváltozótól függ egy esemény viselkedése, melyek a térben pontról-pontra, illetve időben pillanatról-pillanatra változhatnak.

Azonban az élet- és vagyonvédelem megköveteli a lehető legpontosabb előrejelzéseket. Egy-egy komoly esőzés, hóolvadás hatalmas árhullámokat képes megindítani és ezen árvizeket csak komoly erőfeszítéssel lehet megfékezni, illetve igen komoly anyagi áldozatok árán lehet helyreállítani az általuk okozott kárt. Bár a ma Magyarországon használt vízszint előrejelzések a fizikai alapokon nyugvó leírásnak, a fejlett numerikus módszerek ismeretének illetve a nagy múlttal rendelkező vízmérnöki gyakorlatnak köszönhetően már elég pontosnak mondhatók, azonban az alkalmazott módszer igen nagy problémája, hogy csak bizonyos diszkrét helyeken képes előre jelezni egy árhullám levonulását. Ez sok esetben azonban nem elegendő a megfelelő védekezés biztosításához és annak hatékony irányításához . Emiatt a probléma miatt kért segítséget az Országos Vízügyi Főigazgatóság a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéktől, a 2014. szeptemberében a Dráván kialakult árhullám előrejelzésére. A kérésnek eleget téve a Tanszék egy egydimenziós hidrodinamikai modell segítségével kívánta megoldani ezt a problémát, mely képes az egész vízfolyás mentén megbecsülni a várható vízszinteket, vízhozamokat és azok időbeli alakulását.

Az Országos Vízjelző Szolgálat és a Tanszék előrejelzésének eredményeit összevetve a valós árhullámmal kiderült, hogy bár eleinte az egydimenziós modell elég jó közelítést adott a későbbi tetőzésre néhány nap távlatából, ám közeledve a tetőzéshez a Vízjelző Szolgálat ún. kaszkádmodellje általában pontosabban becsülte meg a majdani vízszinteket. Ez annak volt köszönhető, hogy a két módszer közötti alapvető különbség, hogy az egydimenziós (1D) módszernél nem lehet a modellel felhasználtatni az aktuálisan beérkező mérési adatokat, és így javítani az előrejelzést, míg a kaszkádmodellnél ez megoldható. További probléma az 1D modellel, hogy mindig egy a tetőzéstől távoli kezdeti időponttól kell indítani a szimulációkat, hogy a megadott kezdeti feltétel esetleges hibái a tetőzés körüli időkre elenyészővé váljanak.

Ezen TDK dolgozat célkitűzése az, hogy a korábban alkalmazott 1D modell felhasználásával fejlessze tovább az előrejelzési módszertant oly módon, hogy az képes legyen felhasználni az esemény előrehaladtával méréskeből közvetlenül érkező információkat, ezzel mintegy egyesítve és kihasználva mindkettő árhullám-transzformációs leírás előnyös tulajdonságait. Ehhez az adatasszimilációs módszerek egy egyszerű változatát használom fel és vizsgálom meg a dolgozatban. A vizsgálat során az 1D modell szimulációjához igyekszem oly módon előállítani a kezdeti feltételeket, hogy közvetlenül a jelen pillanattól indíthassuk el azt. A kezdeti feltételt számos előzetes permanens futtatás eredményei alapján interpolációs technikával igyekszem előállítani.

Az előrejelzés szimulálására egy már levonult árhullám adatait használom fel. Ez az árvíz a 2014. szeptemberében a Dráván levonult árvíz. A szimulációhoz rendelkezésre állnak a folyón végzett mérések illetve a Tanszék által használt egydimenziós modell. A szimulációk kezdeti feltételének előállítását végül két alapadatból kiindulva végzem el, az egyik esetben a vízmércéken olvasott vízállásokból a másik esetben pedig az ezen adatokból Q(H) görbék segítségével számított vízhozamokból.

A vizsgálatokat a HEC-RAS programmal végzem el, a levonult árhullám tetőzésének közeli időpontjában. A vizsgált időszak (2014.09.10. – 2014.09.19.). Mivelhogy mért adatokból dolgozunk ezen vizsgálatok bizonytalansága nem felel meg egy a valós helyzetben lejátszódó esemény bizonytalanságának. Azért hogy ezen hibasáv mértékét megkapjuk bizonyos értékkel eltorzítjuk a mért lefolyás adatokat mind negatív mint pozitív irányba. Ennek hatására képesek vagyunk megadni egy hibasávot is mely mutatja a mederbeli lefolyás előrejelzésének bizonytalanságát.

A vizsgálatok eredményeinek kiértékelése után fejlesztési javaslatokat mutatunk be, majd a dolgozatot egy rövid összefoglalás zárja.

Árvízi előrejelzés folyókra

A természeti katasztrófák közül még napjainkban is az árvizek okozzák az egyik legnagyobb problémát. Mind emberéletben mérve, mind anyagi kár tekintetében jelentős az árvizek pusztítása. Hazánk földrajzi elhelyezkedése folytán igen jelentős árhullámok képesek kialakulni, a Kárpátokkal körül ölelt medencében a hegységekből idezúduló vizek jelentős vízszinteket képesek produkálni. A Dunán érkező árhullámok viszonylag jól előrejelezhetők, a Tisza felső vízgyűjtőjéről azonban viszonylag rövid idő alatt ideérnek az árhullámok. A legfőbb problémát a külön vízgyűjtőkről esetlegesen egyszerre érkező árhullámok egymást felerősítő hatása okozza. Az élet- és vagyonbiztonság érdekében komoly figyelmet kell szentelnünk az árvízi védekezésre illetve az árvizek minél pontosabb és hatékonyabb előrejelzésére. (Somlyódy 2002)

Napjaink vízállás előrejelzése Magyarországon

Az Országos Vízjelző Szolgálat rövid története

Hazánkban az árvizek dokumentálása egyidős magával az állammal. Az első hazai árvízről szóló leírást 1012-re datáljuk, valamint az első vízállás-feljegyzések (a Dunáról) is már több mint 300 éve készültek. Az első létesített vízmércéket a XIX. század első harmadában építették ki, majd a század végére Baross Gábor rendelete nyomán létrejött a Vízjelző Szolgálat. A Vízjelző Szolgálat működését 1892 március 1-én kezdte meg a Tisza-völgyében, majd az egész országra kiterjedő hálózat jött létre. Azóta kisebb-nagyobb átszerveződések nyomán szakadatlan látja el feladatát.(Stelczer Károly 1986).

OVSZ előrejelzés módszertana

Előrejelzéseiket úgy nevezett diszkrét lineáris kaszkád modell segítségével végzik (Gauzer és Batha 2001).

Elméleti háttér

Természetes mederbeli, nyíltfelszínű, fokozatosan változó áramlást a Saint-Venant egyenletekkel tudjuk jellemezni, azon feltételezésekkel élve, hogy az áramlás egydimenziós és a teljes modellezett szakasz vízszintjének és vízhozamának segítségével leírható. A nempermanens vízmozgások matematikai leírása az impulzus- és a térfogat-megmaradás elvén alapszik. Az elsőből egy áramlás dinamikai egyenlete vezethető le míg a másodikból a folytonossági egyenlete. A Saint-Venant egyenleteket általánosan így írhatjuk fel. (Cunge et al 1980):

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$S_F = \underbrace{\underbrace{\underbrace{S_0}_{\text{áramló vízmozgás}} - \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{1}{g}\frac{Q}{A}\frac{\partial\left(\frac{Q}{A}\right)}{\partial x}}_{\text{fokozatosan változó, áramló vízmozgás}} - \frac{1}{g}\frac{\partial\left(\frac{Q}{A}\right)}{\partial t}}_{\text{fokozatosan változó, rohanó nyíltfelszínű vízmozgás}}$$

Mely egyenletekben:

t - idő
A - nedvesített szelvényterület
x - hosszirányú koordináta
Q - vízhozam
q - hossz mentén egyenletesen megoszló hozzáfolyás
g - nehézségi gyorsulás
S_0 - mederesés
$S_f = n^2 Q^2 A^{-2} R^{-\frac{4}{3}}$ energiavonal esése a Manning-Strickler féle képlettel számolva
n - Manning-féle érdességi tényező
R - hidraulikus sugár

A szabadfelszínű áramlásokat közelítő modellek ezen Saint-Venant egyenletek bizonyos egyszerűsített változatait használják. (Szilágyi és Szöllösi-Nagy 2010)

A fokozatosan változó nempermanens nyíltfelszínű áramlásokat leíró Saint-Venant egyenletek rendszere egy osztott paraméterű rendszert ír le, melynek függő változói az idő és a távolság folytonos függvényei. A valóságban azonban csak diszkrét szelvényekben rendelkezünk adatokkal így az egyenleteket oly módon kell átalakítani, hogy azokban a függő változók pusztán csak az időnek legyenek folytonos függvényei. A folytonossági egyenlet hossz-menti integráljából kapható meg a tározás alapegyenlete.

$$\frac{dS(t)}{dt} = Q1(t) - Q2(t)$$

Ahol Q1 és Q2 az adott tározóba belépő és távozó vízhozam, S pedig a tározott vízmennyiség térfogata. A dinamikai egyenlet összevont paraméterű alakjának deriválása már korántsem ilyen egyszerű így ebben az esetben egy közelítéssel járunk el (Gauzer és Bartha 2001):

$$S(t) = f[Q_1(t), Q_2(t)]$$

A diszkrét lineáris kaszkád modell

A modell alapfeltevése az, hogy egy lefolyást modellezhetünk oly módon, hogy elképzeljük a vízfolyást mint n darab sorban összekapcsolt tározót (kaszkádot). Az említett tározóknak az alábbi feltételeknek kell megfelelniük.

- A tározás egy bizonyos idő alatt történő megváltozása meg kell egyezzen a tározó határszelvényein ez idő alatt be –és kifolyó vízmennyiségek különbségével.
- A tározóból távozó vízmennyiség egyértelmű és lineáris függvénye kell legyen a tározott vízmennyiségnek. (Széles 2013)

A fenti feltételek egyenlet formájában a következő módon adhatóak meg:

$$\frac{dS}{dt} = u - y$$

továbbá:

$$S = Ky$$

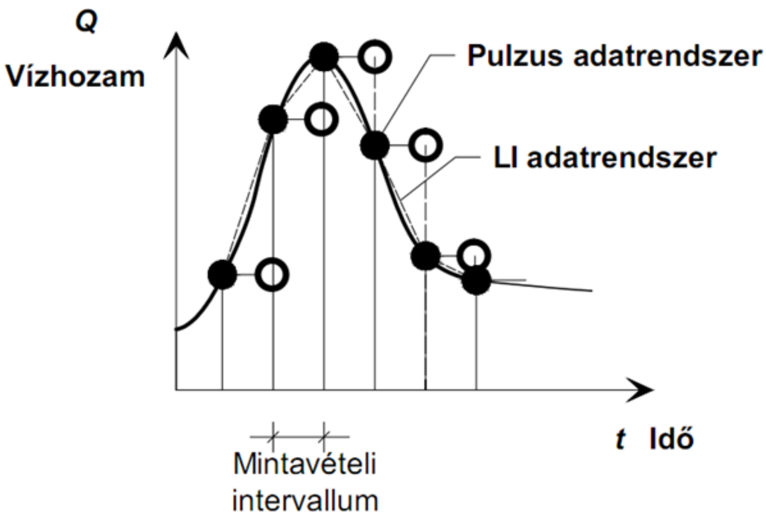
mely egyenletekben:

S - a tározás
u - a hozzáfolyás
y - a kifolyás
K - a tározási tényező

A matematika pontos ismertetését mellőzve, mely nem célja jelen dolgozatnak az egyenletek végén egy bizonyos *u*(t) bemenethez meghatározható egy *y*(t) kimenet az egyes tározókban. Amennyiben a tározókat sorba kapcsolva képzeljük el, egyértelműen adódik, hogy egy adott tározó kimenő értéke adja a mögé sorban kapcsolt tározó bementi paraméterét. Ily módon elkészíthetjük egy teljes folyószakasz modelljét. Ez a modell azonban a gyakorlatban ilyen formában nem használható, hiszen a mérési eredmények diszkrét időpillanatokban állnak rendelkezésre nem pedig időben folyamatos jelleggel. Ezen kívül maguk a számítások digitális számítógépeken történnek melyek szintén megkövetelik a modell diszkretizálását. Amennyiben egy időben folytonos modell folytonos bemenete diszkrét időpillanatokban megegyezik a diszkrét modell diszkrét bemeneteivel, akkor a két modell adott időpillanatban adott kimenete azonos. (Széles 2013).

Adott folytonos jel két mintavétel közötti viselkedését két módon tudjuk megállapítani (1. ábra):

- pulzus adatrendszer segítségével: ebben az esetben a két mintavételezés között a mintát változatlan konstansnak tekintjük,
- lineáris interpolációs (LI) adatrendszerrel: a jel a két vizsgált időpillanat között lineárisan változik amely az első eset általánosításának is felfogható.



1. ábra Folytonos jel időbeni diszkretizációnak reprezentációi. A pulzus és az LI adatrendszerek.

A gyakorlatban a pulzus adatrendszert alkalmazzák gyakrabban (Széles 2013).

A diszkrét lineáris kaszkád modell legnagyobb előnye az, hogy az egyes kaszkádoknál elhelyezkedő vízmércéknél leolvasott értékekkel azonnal megjavítható a modell (adatasszimiláció) ami közvetlen beavatkozást tesz lehetővé a modellen. Így folyamatos javulás érhető el az előrejelzés pontosságában egy árhullám tetőzési pillanatához közeledve.

Bár ez igen nagy előnyt jelent a később bemutatásra kerülő 1D modellhez képest, ám bizonyos hátrányai is vannak az eljárásnak. Egyik ilyen hátrány, hogy a tározási egyenlethez javításként megadott értékeket nem közvetlenül tudjuk mérni az egyes szelvényeknél. Ezek meghatározása az egyes vízmércék úgynevezett Q(H) göbéjéből történik. A Q(H) görbe megadja egy adott keresztszelvényben adott vízszinthez tartozó vízhozamot. Ismeretes, hogy a vízhozamgörbével csak közelíthető a vízszint és a vízhozam közötti kapcsolat, hiszen ezek egymástól független állapotváltozók (ami meg is mutatkozik az árvízi hurokgörbe és a vízhozamgörbe eltérésében). Továbbá ezekről a görbékről sok esetben ADCP vízhozam mérések után kiderült, hogy bizonytalanok, ami több okból is származhat: ilyen például mérce esetleges megsüllyedése, a keresztszelvény időközbeni alaki változása. Ami viszont még ennél is komolyabb hátránya az eljárásnak, az az, hogy csak azoknak a diszkrét vízmércéknek a szelvényébe képes előrejelezni a vízállásokat, amelyeknek az adatait feldolgoztuk a kaszkád modell kalibrálásához. Két vízmérce közötti szakaszról nem tud pontos képet adni, ezért sok esetben köztes interpolációkkal, vagy egyéb módszerekkel lehet csak közelítőleg megbecsülni egy-egy köztes szelvényben a vízmélységet.

Az egydimenziós hidraulikai modell

A folyó egydimenziós hidraulikai modellje a kaszkád modellhez képest egy másik oldalról közelíti meg a problémát. A modell egy adott vízfolyás geometriailag meglehetősen pontos modellje alapján működik. Ez az eljárás képes orvosolni a kaszkád modell egyes hátrányait, de jóval számításigényesebb, és vannak további eltérések a két modell között. Éppen ezeknek a jobb megismerése vezérelte a mostani munkámat.

Elméleti háttér

Az 1D hidrodinamikai folyómodell a szabadfelszínű, nempermanens, fokozatosan változó vízmozgások leírását, vizsgálatát teszi lehetővé. Az áramlást a Q vízhozammal illetve a z vízszinttel írhatjuk le, t idő és x hosszirányú koordináta függvényében:

$$Q = Q(x,t)$$
$$Z = Z(x,t)$$

A numerikus számításokkal ezeknek az értékeknek egyes diszkrét keresztszelvénybeli értékeit tudjuk közelíteni (Torma 2007)

Az egydimenziós hidrodinamikai modell működése

A matematikai leírás alapjául itt is a fentebb már ismertetett Saint-Venant egyenletek szolgálnak, a folytonossági és dinamikai egyenlet adja az szükséges matematikai leírását a lefolyásnak.

A folytonosság feltételét egy olyan d*x* elemi hosszúságú és pillanatnyi *A* nedvesített szelvényterületű vízfolyáson keresztül értelmezzük, melyben mind a vízhozam mind a vízszint is változhat. A vízfolyásszakasz egy áramcsővel helyettesíthető amennyiben az áramlás a vázolt feltételrendszernek eleget tesz. A folytonossági feltétel áramcsőbe, mindennemű hozzáfolyás illetve elszivárgás kizárásával az alábbi alakban írható fel:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

Δt idő alatt, amennyiben kis mértékű változás történik, a következő alakra hozható:

$$B\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0$$

Mely egyenletben B a víztükör szélességét jelenti.

A dinamikai egyenletet a már ismertetett Saint-Venant egyenlet átrendezésével kapjuk:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A} + gI_1\right) = gA\left(S_0 - S_f\right) + gI_2$$

Mely egyenletben:

x	- a szelvény hosszirányú koordinátája a vízfolyás tengelyén értelmezve
t	- idő
A	- nedvesített szelvényterület
Q	- vízhozam
g	- nehézségi gyorsulás
S_f	- energiavonal esése
S_0	- mederesés
I_1	- nedvesített keresztszelvény vízfelszínre vett statikai nyomatéka
I_2	- a statikai nyomaték hossz menti gradiense

A parciális differenciál-egyenletrendszer folytonos leírását adja a Q vízhozam és az A nedvesített szelvényterület megváltozásának.
A megoldhatósághoz szükséges megadnunk a perem- és kezdeti feltételeket. Kezdeti feltételnek a Q és A megadása szükséges. A felső határszelvénynél egy vízhozam-idősor a peremfeltétel, míg az alsó határszelvénynél jellemzően egy vízszint-idősor (Torma 2008).

A modell legnagyobb előnye az, hogy a teljes vízfolyás mentén kiolvasatóak belőle a vízszintek, így nem csak a vízmércéknél lehet vele előrejelezni a kialakuló vízszinteket. Hátránya többek között, hogy a modellt mindig az előre megkapott peremfeltételekkel tudjuk csak lefuttatni, így nincs közbenső javításra lehetőség úgy, mint a kaszkád modellnél. Az esetleges hibákat, eltéréseket a mért és a számított értékek között később, a modell struktúrájának állításával lehet a mért értékekhez igazítani, ez viszont időigényes és nehézkes munka, illetve csak a már levonult és mért árhullám eredményeiből tudjuk megvalósítani.

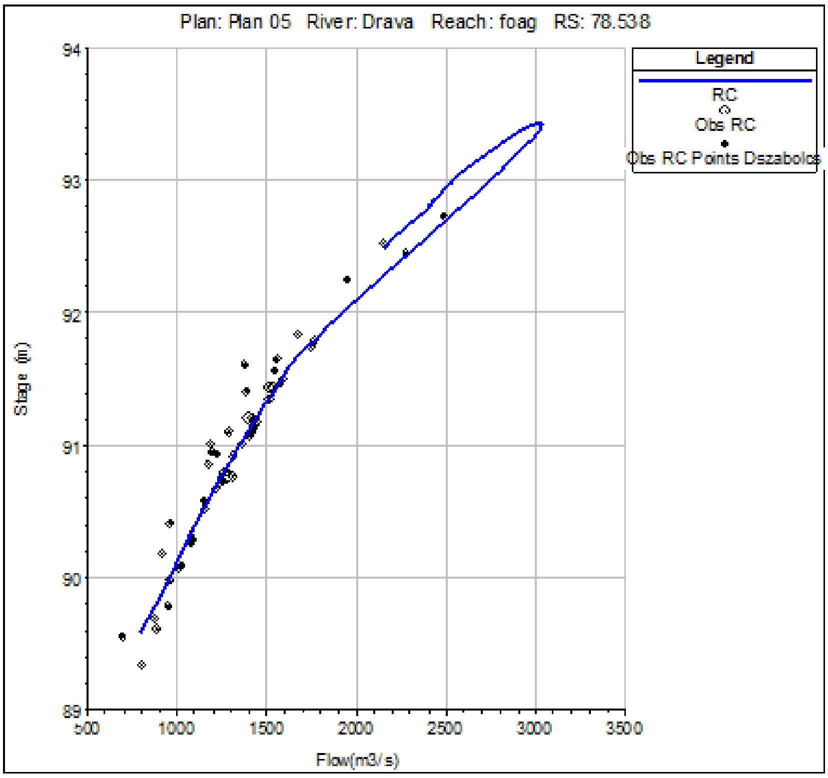
A rendszer a veszteségeket, mederellenállást a Manning-féle érdességi együttható segítségével számítja, így ennek változtatásával tudjuk hatékonyan szabályozni. A modell ennek az értéknek a változtatására nagyon érzékenyen reagál és mivel minden egyes pontban nem tudunk érdességi mutatót megadni így a közelítések is problémát okozhatnak.

A vizsgált Dráva-szakasz egydimenziós modellje

A vizsgálat alapjául szolgáló modellt a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéktől kaptam meg (3. ábra). A modellt a VITUKI készítette a DÉDUVÍZIG számára 2011-ben majd a tanszék 2014-ben újrakalibrálta, és igazolta. Kiindulási alapnak a modell csak egy részét használjuk, azt a részét melynek felső határszelvénye a Dráván az őrtilosi vízmérce-állomás, illetve a Dunán Mohácsnál lévő 1447 folyamkilométerhez tartozó keresztszelvény. Alsó határszelvénye a két folyó találkozásától kissé lejjebb Aljmás alatt az 1380,646-os folyamkilométernél lévő keresztszelvény. (Torma et al 2014)

Az eredeti modell illeszkedését vizsgálatát a VITUKI szakemberei a 2010 szeptemberében, illetve a 2009 nyarán levonuló árhullámokra végezték el. Ezen árhullámok közül egyik sem érte el az I. készültségi fok határát, így az akkor kialakult vízszintek meg sem közelítették az 1%-os árvizek szintjét. A 2012. évi árvíz azonban meghaladta ezen árvizek maximális értékeit így ezt az árhullámot is célszerű volt bevenni a kalibrálási folyamatba. Az eredeti kalibrációt az 1972. évi eddigi legnagyobb árvízre végezték el, ám mivel az azóta eltelt 4 évtizedben a lefolyási viszonyok jelentősen megváltoztak, új kalibrációra volt szükség. Az újrakalibráláshoz a Vízépítési Tanszék a 2012 novemberében levonuló árhullám adatait vette alapul. (Torma et al 2014)

A modell igazolásához történelmi NQ-NZ értékpárokat használtak fel oly módon, hogy ezeket összehasonlították a 2012. novemberi adatokhoz képest kétszeresre nagyított Dráva-vízhozammal szimulált hurokgörbével.



2. ábra Drávaszabolcs. Egy 2012. évinél kétszer nagyobb vízhozammal érkező árvíz modellezett hurokgörbéje (folytonos vonal) és a valaha mért összetartozó Q_{max}-z_{max} értékpárok (pontok) a Dráva négy vízhozam-nyilvántartási szelvényben. Vízszintes tengely = vízhozam [m^3/s], függőleges tengely = vízszint [mBf]. (Torma et al 2014)

A Dráva modell geometriájának előállítási körülményeit teljesen biztosan nem ismerjük, ám valószínűsíthető, hogy az ártér háromszögelt (TIN) modelljéből építették fel azt. Észrevehető, hogy a hullámtér és a meder domborzati modellje különböző hálózással lett egyesítve. A mederfelmérés szelvényei között néhol az automatizált interpolációs eljárás kedvezőtlen felületet eredményezett, azonban a HD modell keresztszelvényeinek kijelölésénél megpróbálták ezeket a területeket minél jobban elkerülni.

A modell geodéziai adatai már több mint egy évtizedesek, így a medergeometria jelenlegi állapota pontosan nem ismert. A Dráva torkolatától 943 keresztszelvényből áll a modell Őrtilosig (234,305-ös folyamkilométer) ami egy átlagosan, 4 szelvény/folyamkilométer-es felbontást ad a folyószakaszról. (Torma et al 2014)

A modell fontos elemei, még a hossz mentén elhelyezett fiktív, koncentrált tározók. Jelen esetben ezekből a tározókból 17 db található. Jelentőségük abban rejlik, hogy helyettesítik a talajvízszintet, a talajvíz tározódását, esetleg hozzáfolyás vagy elszivárgás szimulálásával. Ezen folyamatok elengedhetetlenek az árhullám megfelelő transzformációjához. A talajvíz-tározó és a folyó közötti vízforgalom lineárisan függ az árvízszint-tározóban lévő vízszinttől.

3. ábra A tanszék által használt eredeti modell. Ez tartalmazza a Mura modelljét is, a mi esetünkben ez a rész levágásra került

A modellben 5 kitüntetett keresztszelvényt kell megemlítenünk. Ez a Dráva adott szakaszán lévő 5 vízmérce-állomásnak megfelelő keresztszelvény:

- Őrtilos (folyamkilométer: 234,305 ; vízmérce nullpontja: 125,94 m B.f. ; modellben: 1. számítási szelvény)
- Vízvár (folyamkilométer: 188,808 ; vízmérce nullpontja: 101,195 m B.f. ; modellben: 188. számítási sz.)
- Barcs (folyamkilométer: 154,09 ; vízmérce nullpontja: 98,14 m B.f. ; modellben: 307. számítási sz.)
- Szentborbás (folyamkilométer: 133,332 ; vízmérce nullpontja: 94,74 m B.f. ; modellben: 390. számítási sz.)
- Drávaszabolcs (folyamkilométer: 78,538 ; vízmérce nullpontja: 86,76 m B.f. ; modellben: 629. számítási sz.)

Ahhoz, hogy az egész Dráva-szakasz vizsgálható legyen, még egy keresztszelvényt kell különös figyelemmel kitüntetnünk, amely nem más mint a Dráván lévő legalsó keresztszelvény. (folyamkilométer: 0,283 ; modellben: 943. számítási sz.)

A fentebb említett vízmércéknél mért vízállások adják a kezdeti feltételek számításához az alapadatokat. Rendelkezésünkre áll a vizsgált árhullám levonulása alatt 1 óraközönként mért értékek sorozata melyeket később a szimulációknál fogunk használni.

Előrejelzés módszertani kérdései 1D modell esetén

Az egydimenziós hidrodinamikai modellnél, mint korábban már bemutatásra került, a legfőbb problémát az úgynevezett adatasszimiláció lehetőségének hiánya okozza. A modellt struktúrájának változtatásával és a peremfeltételekkel tudjuk alakítani, köztes, a mérési eredményekkel összhangban lévő javításra nincs lehetőségünk. A modell paramétereit két fő csoportba sorolhatjuk, kezdeti- és peremfeltételek. A kezdeti feltételek előállításánál tudunk az adatasszimiláció lehetőségével élni, míg a peremfeltételeknél a hidrológiai előrejelzések pontosságára kell hagyatkoznunk.

Adatasszimiláció a Dráva modellben

Modellünkben az adatasszimiláció egy egyszerűsített módját használjuk. A matematikailag pontos változatra a későbbiekben térünk ki. Maga a módszer egyfajta becslést jelent a kezdeti értékek megadására, az előrejelzett és a valóságban mért értékek összevetésével.

Az egyszerűsített asszimiláció jelen esetben azt jelenti, hogy a kezdeti feltételek bonyolultabb matematikai előállítás helyett a mért adatokat, illetve az azokból számított kezdeti feltételeket tápláljuk be a modellbe, ez némi pontatlanságot okoz a modell előrejelzésében és fejlesztési lehetőséget kínál a modell további tökéletesítésére. A dolgozatban ezt a tökéletesítést nem végeztük el, hanem a módszer működését próbáltuk meg megvizsgálni azon cél érdekében, hogy későbbi fejlesztések érdekében érdemes-e ezen az úton továbbhaladni. A kezdeti feltételek előállítását később ismertetjük.

Peremfeltételek pontossága

Az előrejelzésünk pontossága függ még a peremfeltételek pontosságától. A peremfeltételek is előrejelzés szinten csak bizonyos hibával terhelve kaphatóak meg. Egydimenziós modellnél ez a modell felső határszelvényén érkező vízhozam-idősort jelenti, mely függ a szelvény fölött vízgyűjtő hidrológiai adottságaitól, egyéb vízfolyások esetleges hozzáfolyásától. Valamint az alsó határszelvénynél a vízszint-idősortól, melynél belátható hogy hasonló okok miatt az előrejelzés valamilyen hibával terhelt.

Alapvető elvként elfogadható, hogy egy vizsgálandó modellszakasztól térben minél jobban el kell távolítanunk a peremfeltételeket, hogy az ott keletkező esetleges hibák a modell kitüntetett részén már lehetőleg minimális hibát generáljanak.

Az adatasszimiláció problematikája 1D modell esetén

Amint azt az egydimenziós hidrodinamikai modellnél tárgyaltuk, legnagyobb hátránya a módszernek, hogy az előrejelzés az időközben beérkező mérések információival nem bővíthető. Nem megoldott az adatasszimiláció. Ezen probléma megoldását tűzte ki célul a dolgozat.

Az adatasszimiláció és az az utáni előrejelzéseket a 2014 szeptemberében a Dráván levonuló árhullám tükrében vizsgáljuk. Ismertek az egyes időpillanatokban (Augusztus utolsó napjaitól kezdődően egészen Szeptember végéig a Dráva-modellben bemutatott 5 vízmércén a vízszintleolvasások, óránkénti bontásban). Ezek segítségével később szimulálni tudjuk az éppen a vízmércékről beérkező adatokat, majd ezek függvényében megfelelő kezdeti feltételeket tudunk létrehozni.

Az adatasszimiláció nagyban gyorsítható, ha létrehozunk egy vízszint – vízhozam adatbázist a vizsgált szakasz mind a 943 keresztszelvényére, amiből operatív működés során gyors interpolációval, egyedi hidrodinamikai szimulációk nélkül közelíthető a két változó közötti kapcsolat.

Az adatbázis az alapján lett kialakítva, hogy bizonyos permanens vízhozamokra a modell milyen választ ad a keresztszelvényekben, azaz mekkora az ott mérhető abszolút vízszint. A táblázat előállítására a HEC-RAS programot használtuk. Tekintve, hogy az árhullám tetőzés közeli időpontjában a belépési szelvényen 1200-tól egészen 2500 m^3/s –os vízhozamok közötti értékeket mértek a vízügyi szolgálatnál, az adatbázist ezért egy 1000 m^3/s-tól egészen 2600 m^3/s-ig terjedő intervallumban állítottuk elő 100 m^3/s-os lépésközökben. A modellt permanens vízhozamokkal lefuttatva 1000 m^3/s-tól kezdődően, kinyertük a HEC-RAS modellből a teljes modell mentén a keresztszelvényeknek az adott vízhozamra adott válaszát, azaz, hogy mekkora vízszintet produkált a levonuló permanens lefolyás.

A kezdeti feltétel előállításához a MatLab programot használtuk, mint a numerikus számítások megoldására alkalmas software-t. Ahhoz, hogy a MatLab számára értelmezhetőek legyenek az adatbázis elemei, ezeket egy szöveg-fájlba kell eltárolni, majd ebből már a program képes beolvasni és felhasználni az adatokat. Ennél a pontnál a megoldást két részre bontjuk, mert alapvetően két módszert szeretnénk vizsgálni illetve összehasonlítani. (A MatLab program kezeléséhez segítségül vett irodalom: Stoyan 2005).

A két megoldás között az alapvető különbséget az alapadatok jelentik, egyiknél magából a pontosan, sűrűn és távjelzéssel leolvasható vízállásokból indulunk ki, míg a másikban pedig a vízállásból vízhozam-görbe segítségével előállított vízhozamokból.

A számítás menetének ismertetése

A számítás abban a változatban kerül bemutatásra melyben a vízállásokból indulunk ki, hiszen belátható, hogy a vízhozamokból kiinduló változatra is alkalmazható a számítás, a különbség pusztán annyi, hogy az első esetnél a programmal számoltatunk vízhozamokat, míg az utóbbinál pedig már ismert vízhozamokat táplálunk be a programba.
Első lépésben a vízmércéknél leolvasott vízállásokból illetve az adott vízmérce úgynevezett nullpontjának ismeretében előállítjuk a vízfelszín abszolút magasságát. Ezeket a szinteket kell megadni a programnak melyek az 5 ismert vízmérce-leolvasás miatt egy 5 elemű vektort alkotnak.

Következő lépésben a program a vektor minden eleméhez kikeresi az adatbázisból az adott vízmércéhez tartozó sort, majd a megadott abszolút magasság függvényében kiválasztja azt a két oszlopot melyeknél a permanens futtatásoknál mért vízszintek közül a hozzá legközelebb lévő kisebb és nagyobb értéket találja.

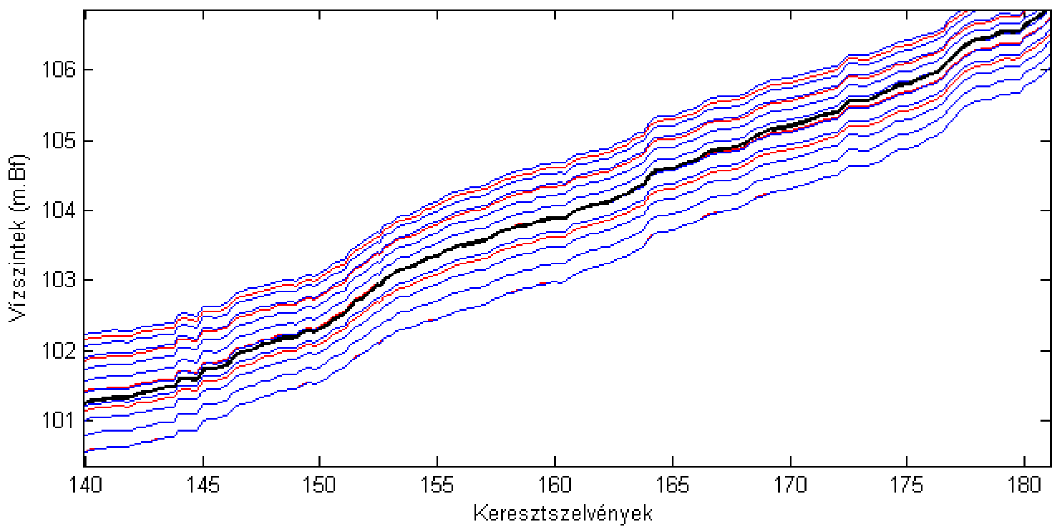
Ezzel már megkaptuk azt a 100 m^3/s-os vízhozam-tartományt, amelyben interpolálnunk kell. Ezt az interpolációt a távolság reciprokával fordítottan arányos súlyozás (ún. inverz távolság súlyozás, angolul Inverse distance weighting, későbbiekben: IDW) szerint végezzük. Ennek eredményeként egy ötelemű vektort kapunk a vízmércéknél lévő vízhozamokból.

Ezt a vektort kibővítjük 6 eleművé oly módon, hogy a 6. elem megegyezik az 5. vízmércéhez számított értékkel, azonban ezt a vízhozamot a modell legalsó keresztszelvényéhez (0.283 folyamkilométernél) rendeljük hozzá a célból, hogy az utolsó szakaszon konstans vízhozam alakuljon ki. (Innentől a két módszer számítása megegyezik, itt a számított helyett meg tudunk adni a programnak származtatott vízhozamokat).

A 6. keresztszelvény bevezetésére azért van szükség, mert az ötödik (Drávaszabolcs) vízmérce után a folyó kilép hazánk területéről, így innentől vízmérce adatok nem állnak rendelkezésre, másrészt a magyarországi árvízi védekezés szempontjából elhanyagolható az alsóbb szelvényekben a folyó viselkedése, ellenben a kezdeti feltételek előállításához elengedhetetlen az egész folyószakasz felszíngörbéjének, illetve vízhozam-görbéjének ismerete. Azonban a folyó országunkból való távozása után a számításainkhoz elegendő ez az egyszerűsített mód. A folyó viselkedésének alsóbb szelvényeken történő elhanyagolása abban az esetben nem tehető meg, amennyiben a Dunába torkollásnál akkora vízszintekkel találkozik a Dráván levonuló árhullám, hogy az így a Duna által keltett visszaduzzasztás eléri a fentebbi Drávaszabolcs feletti szelvényeket. (Jelen vizsgálatunknál a 2014. szeptemberi árhullámnál ez az eset nem állt fenn.)

A számítás innentől megfordul: a vízhozamokból számolunk vízszinteket. Ehhez a program a vízhozam vektor minden eleméhez meghatározza a nála egyel nagyobb 100 m^3/s-ra kerek vízhozamhoz tartozó oszlopot az adatbázisban, illetve ugyan ezt megteszi az egyel kisebbre is. Majd az oszlopok ismeretében megkeresi a betáplált keresztszelvényeknek megfeleltethető sort és kiválasztja a két magassági értéket. IDW elvégzése után kapunk új vízszinteket. (Ez az első esetben visszaadja a betáplált vízszinteket).

A program ugyan ezen elv mentén (IDW) minden egyes köztes keresztszelvényhez számít egy abszolút vízszintet, amelyek ábrázolva jó közelítéssel megadják a folyó adott pillanatbeli helyzetét. Amit még el kell végeztetni a programmal az a vízhozamok távolság menti lineáris interpolációja. Így minden keresztszelvénynél kapunk egy adott időpillanatra jellemző vízhozamot és vízszintet. Ezáltal megkaptuk a keresett kezdeti feltételeket a teljes modellezett folyószakaszon, ami segítségével már elindítható a HEC-RAS nempermanens szimulációja az aktuálishoz közeli időponttól is (4. ábra).



4. ábra A kezdeti vízszintek hossz-szelvénye, azaz a kezdeti feltétel (vízszint) MatLab számításának eredménye (illusztráció). A kék görbék az egyes keresztszelvények 100m^3/s –ra kerek vízhozamokhoz tartozó permanens felszíngörbék, a piros görbék a vízmércéknél lévő pillanatnyi vízhozamokhoz tartozó interpolált felszíngörbék, majd végül a fekete görbe a mércék felszíngörbéi között végül interpolált eredő felszíngörbe, azaz maga a vízszintek kezdeti feltétele.

A számítás menetének bemutatása egy példán keresztül

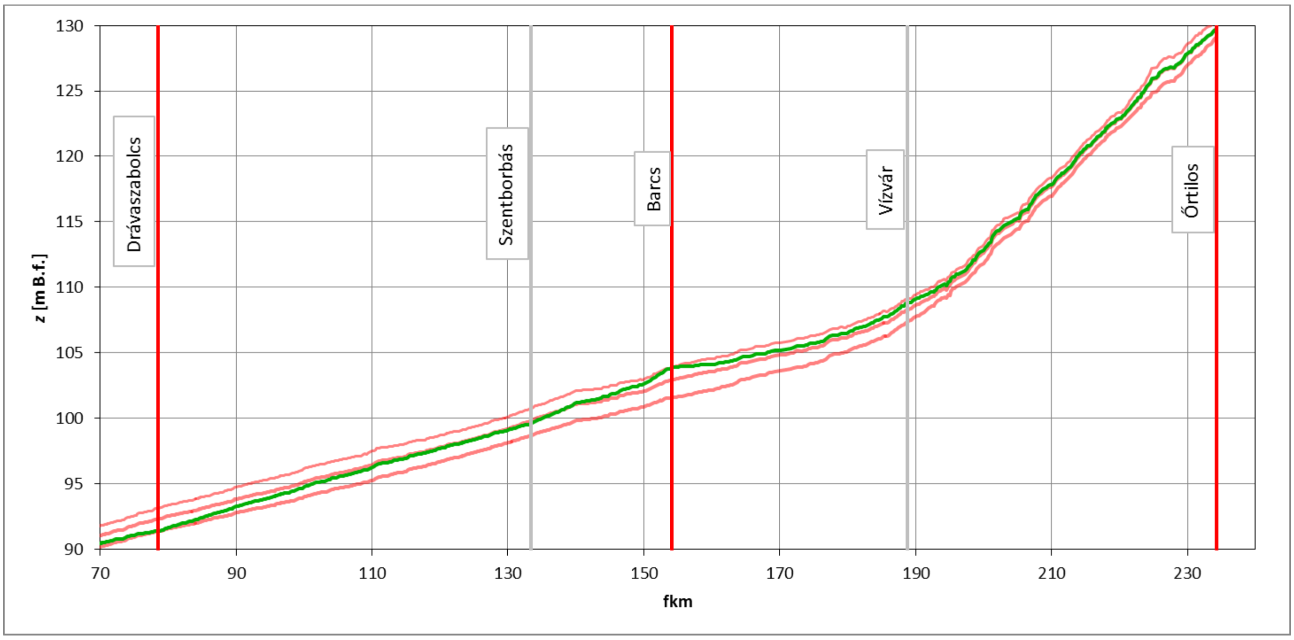
A példa nem valós mérésből származó adatokon alapszik, fiktív értékeket választottunk a jobb szemléltetés érdekében.

Vízhozam alapú kezdeti feltétel előállítást követhetünk nyomon. Először megadtuk a vízhozam-vektort vagyis a vízállás mérés és Q(H) görbe alapú mért vízhozam értékeket. Ennek értékei:

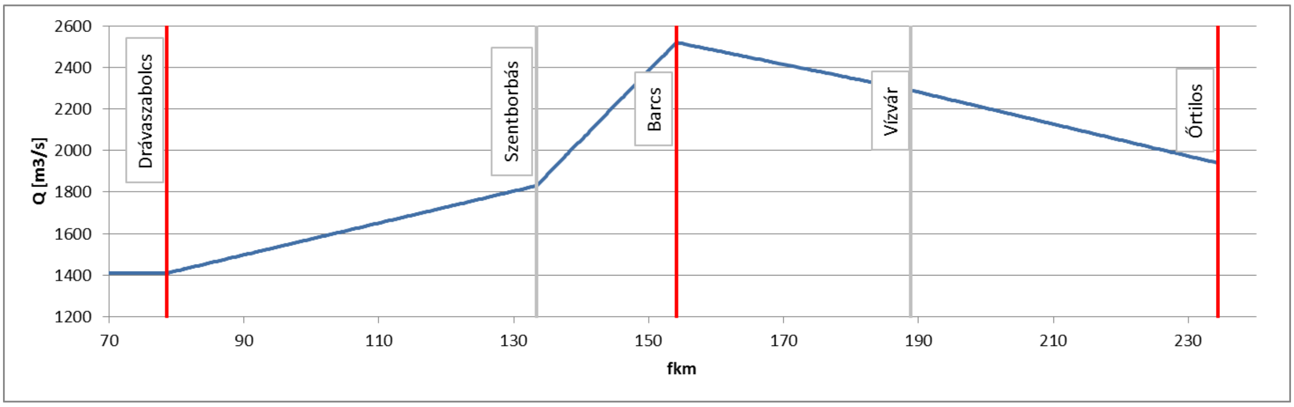
- Őrtilos: 1940 m^3/s
- Vízvár: 2290 m^3/s
- Barcs: 2520 m^3/s
- Szentborbás: 1830 m^3/s
- Drávaszabolcs: 1410 m^3/s

Ezek leolvashatóak a vízhozam ábráról (6. ábra), valamint ezen értékek lineáris interpolációjából számított vízhozam hossz-szelvény, a modell egyik kezdeti feltétele.

A következő lépések a felszíngörbéket ábrázoló ábrán követhetőek nyomon (5. ábra). A piros színű görbék az egyes állomásokon megadott vízhozamok permanens számítása következtében állnának elő. Az áttekinthetőség érdekében csak 3 vízmércéhez rajzoltattuk ki ezen görbéket, melyek pontos helyzetét az ábrákon piros függőleges vonal jelzi.



5. ábra A kezdeti feltétel (vízszint) történő megadása



6. ábra A kezdeti feltétel (vízhozam) történő megadása

A zöld görbe az interpolációk után létrejött vízszint-görbe, azaz a másik kezdeti feltétel. Az ábráról jól látszik, hogy a zöld görbe találkozik az adott állomásnál azzal a piros felszíngörbével, amelyik az ott mért vízhozam alapján permanens számítással lett meghatározva. Ez azt jelenti, hogy az egyes állomásoknál mért vízhozamok torzítatlanul kerülnek bele a kezdeti feltételbe. Itt hívnám fel a figyelmet a két kezdeti feltétel előállító módszer közti különbségre. Míg ebben a példaként bemutatott esetben a mércéknél megadott vízhozam értékek egyeznek pontosan a mérési eredményekkel, addig a vízszint alapú eljárásnál a vízszintek.

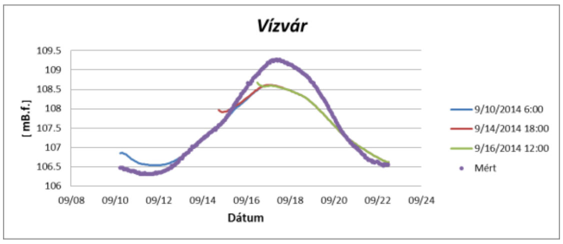
Nyomon követhető az árhullám vízfelszínre gyakorolt hatása is. Látható, hogy ahol éppen tetőzik az árhullám, a példánkban ez éppen Barcs állomás, ott ezzel összhangban a vízhozam-ábrán is tetőzés látható.

Vizsgálatok

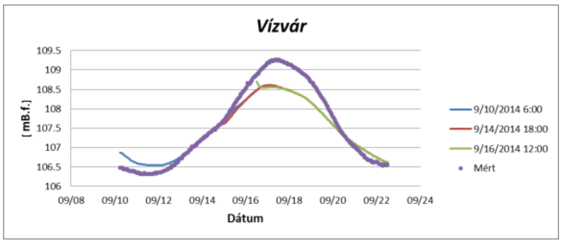
A vizsgálatokat bizonyos időközönként, a valóságos előrejelzéseket imitálva, azaz a jövőbeli adatok ismerete nélkül végeztük el. Az első előrejelzést a Szept. 10. 06:00 órai kezdeti állapotnak megfelelően végeztük el. Majd 12 órás lépésekben előre haladva egészen Szept. 15.-e 18:00-ig. Innentől kezdve, minthogy közeledtünk a tetőzés időpontjához (Vízmércétől függően 16.-a 19.-e közötti időszak) sűrítettük a modellfuttatások közötti időközt 6 órára. A futtatások végét az az időpillanat jelentette, amikor már a legalsó szelvényben, Drávaszabolcsnál is apadó ágon volt az árhullám (Szept. 19. 18:00). A HEC-RAS modell a vízhozam és vízszinteken kívül egy harmadik kezdeti feltételt is igényel, ezek a már korábban említett oldalbukós tározók, melyek a talajvíz szerepét hivatottak helyettesíteni. A tározókat a kezdeti időpontban fel kell tölteni valamilyen vízszintig. Ezeket az értékeket a következő módon kapjuk meg: a modellt elindítjuk a szimulált időszak kezdetéről (2014.09.10. 6:00). A programból ezután kinyerhetőek az egyes tározók vízszintjei az idő függvényében. Ezen értékeket kimentettük és minden egyes futtatásnál az itt kapott értékek közül a futtatás időpillanatának megfelelő talajvíztározó-vízszinteket vezettük be a HEC-RAS-ba, mint kezdeti feltételt. A tározók vízszintjeit következő előrejelzések során már nem kértük ki a modellből, hanem a legkorábbiból kapott értékeket használtuk, olyan megfontolásból, hogy ezen értékek futtatásról futtatásra történő apró előrejelzett értékeinek eltéréstől függetleníteni tudjuk az előrejelzéseket. Majd a későbbi futtatásoknál ezekre az értékekre állítottuk be a tározókat. Ezt a három kezdeti feltételt kell minden egyes futtatás előtt aktualizálni.

A szimulációk lefuttatásánál mindig ugyan így jártunk el, az eredményeket táblázatos formában összefoglaltuk, majd a látványosabb kiértékelés eredménye érdekében diagramokon ábrázoltuk.

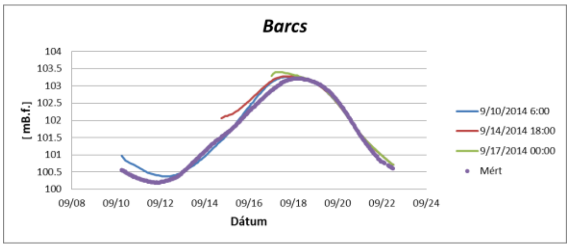
A következő ábrákon bemutatásra kerülő görbék esetén a kék színű görbe a legkorábbi szimulációt mutatja, a piros és zöld görbék egy-egy köztes szimuláció eredményét, míg a lila pontsorozat a valóságosan mért vízszinteket ábrázolja.



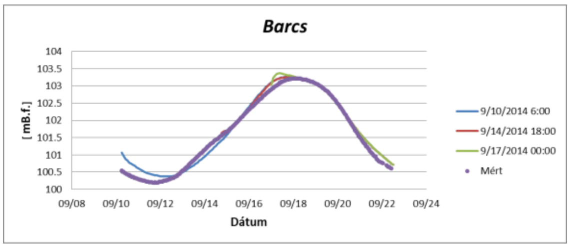
7. ábra Vízszint alakulás (K.f.: Q-ból)



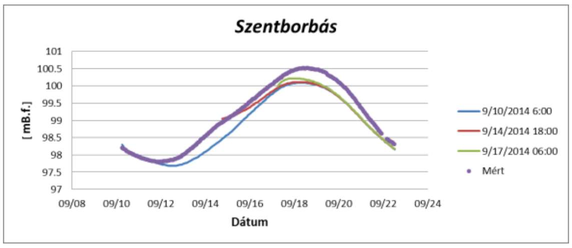
8. ábra Vízszint alakulás (K.f.: z-ből)



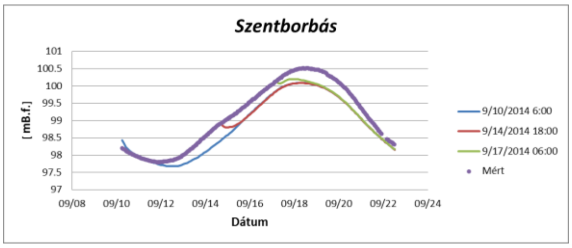
9. ábra Vízszint alakulás (K.f.: Q-ból)



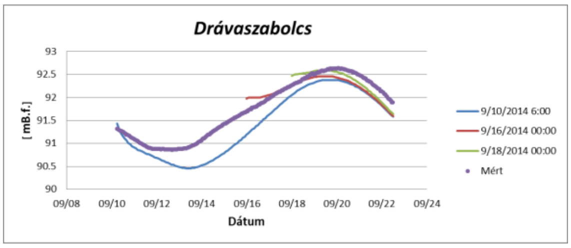
10. ábra Vízszint alakulás (K.f.: z-ből)



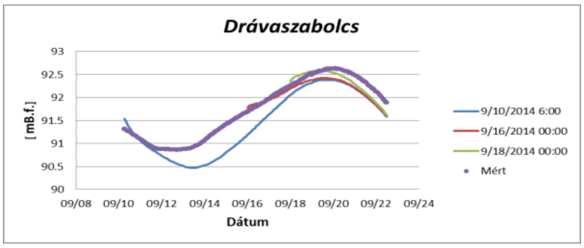
11. ábra Vízszint alakulás (K.f.: Q-ból)



12. ábra Vízszint alakulás (K.f.: z-ből)



13. ábra Vízszint alakulás (K.f.: Q-ból)



14. ábra Vízszint alakulás (K.f.: z-ből)

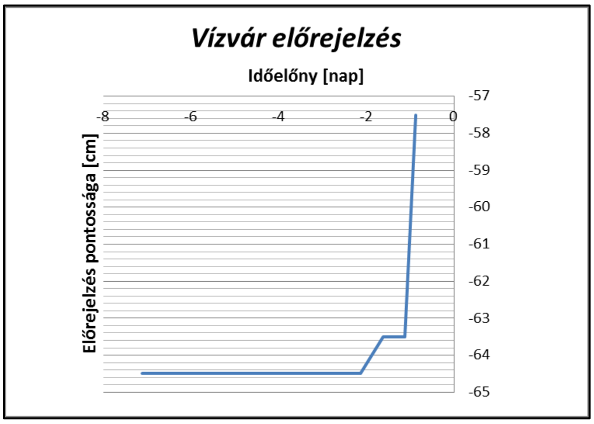
Ami a futtatásokból egyből szembeötlő az az, hogy két kiindulási-adat (Q-vízszint, z-vízállás) különböző végeredményt okoz.

Az ábráról leolvasva, illetve a pontos eredményeket kiértékelve megállapítható, hogy a tetőzés időpontjához közeledve a kezdeti feltételek (mért adatoktól való) eltérése a modell struktúrájából adódó (első szimuláció – kék görbe közti) előrejelzés értékeitől való eltérése miatt, a tetőzéshez közeli időszakban (közelítően 1 nap), jelentősen eltorzítja a szimulációk eredményét. Alapvetően ennek az eltérésnek (a modell adta kezdeti előrejelzés és a valós értékek közt) a kiegyenlítésére törekedtünk az adatasszimiláció módszerével.

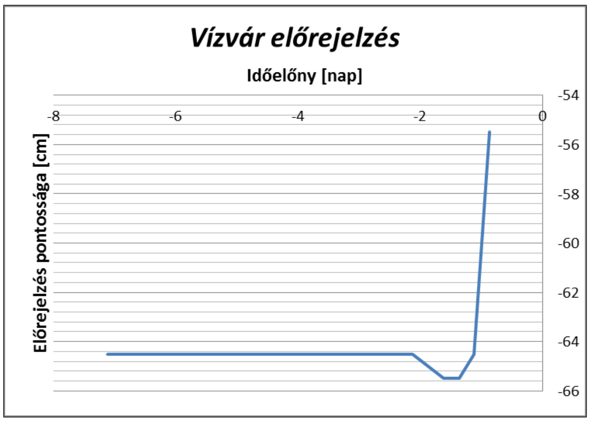
Eredményként, mint később szemléletesebben látható lesz, ez bizonyos fokig sikerült is. Azonban a szimulációk végeredményei kiválóan demonstrálják az egydimenziós modellezés egyik legfontosabb alapvetését miszerint a peremfeltételeket el kell távolítani a vizsgált eseménytől. Hagyni kell a modell hibáját ’kifutni’ még az érdemi időszak elérése előtt, ez látható abból, hogy a modellünk is csak bizonyos idővel a tetőzés előttről indítva mentesült a kezdeti feltételekből származó hibáktól. Ez az a korábban említett bizonyos 1 nap. Ezen intervallumon belül a kezdeti feltételek a vízhozam alapú és a vízszint alapú modellnél is túlságosan befolyásolják még a modell viselkedését.

Látható a piros és zöld görbéken, hogy azok kezdeténél attól függően torzul, hogy melyik alapadatból indultunk ki. Ez főként a vízállásokból származtatott görbéknél szembeötlő. Megnézve ezeket a görbéket azt láthatjuk, hogy a modellezett görbék a szándékunknak megfelelően pontosan a mért adattól indulnak ki, majd tartanak a modell első, még kezdeti feltételekkel alig befolyásolt alakjához (kék görbe). Ez mind a két változatra elmondható.

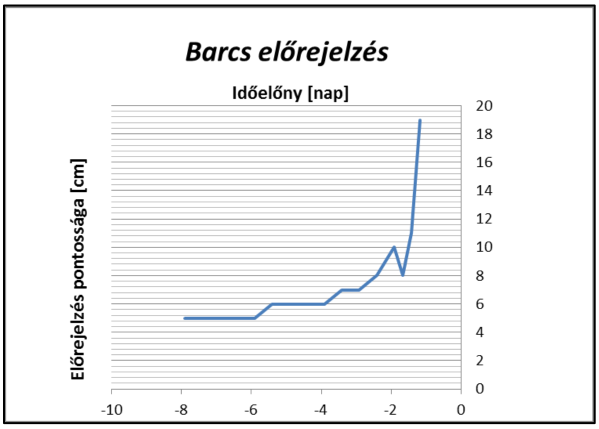
A módszer helyességét ennek ellenére igazolni látszik az a tény, hogy majdhogynem minden vízmércénél javulást értünk el az adatasszimilációval. Az 1 napnál közelebbi eredményeket mint az egydimenziós modell pontosságát befolyásoló értékeket nem figyelve, javulás látható az előrejelzésben. Főként a peremektől távolabb lévő Szentborbás és Drávaszabolcs állomásokat tekintve.



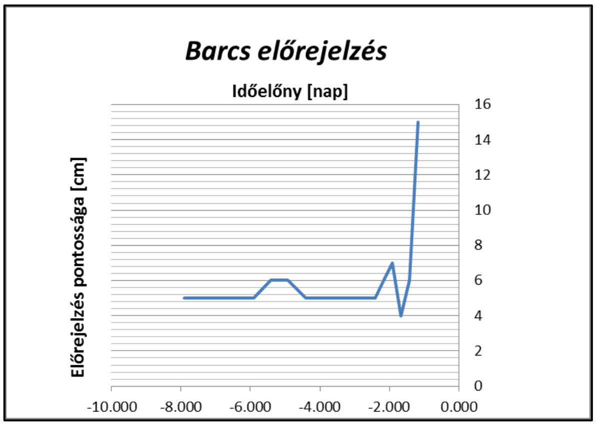
15. ábra Előrejelzett tetőző vízszintek hibájának alakulása az időelőny függvényében (k.f.: Q-ból)



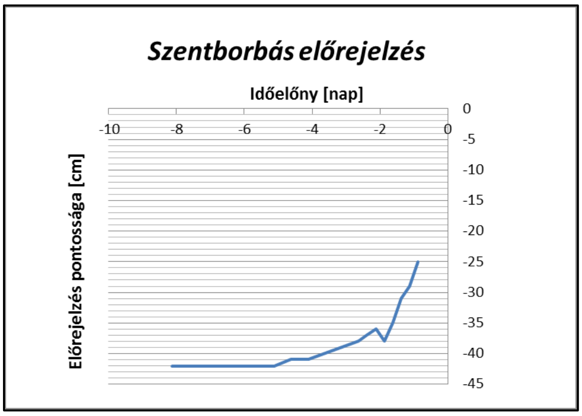
16. ábra Előrejelzett tetőző vízszintek hibájának alakulása az időelőny függvényében (k.f.: z-ből)



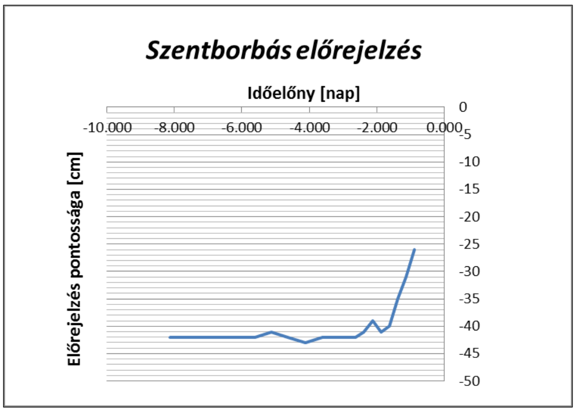
17. ábra Előrejelzett tetőző vízszintek hibájának alakulása az időelőny függvényében (k.f.: Q-ból)



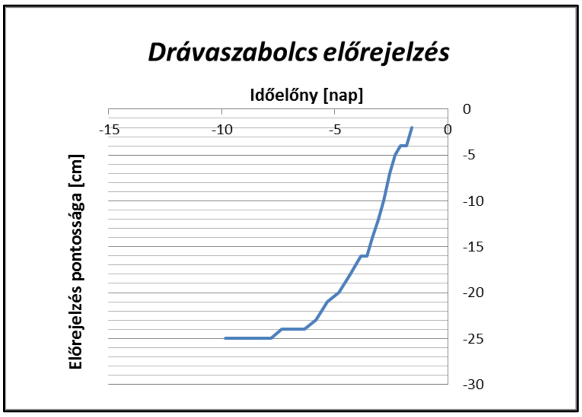
18. ábra Előrejelzett tetőző vízszintek hibájának alakulása az időelőny függvényében (k.f.: z-ből)



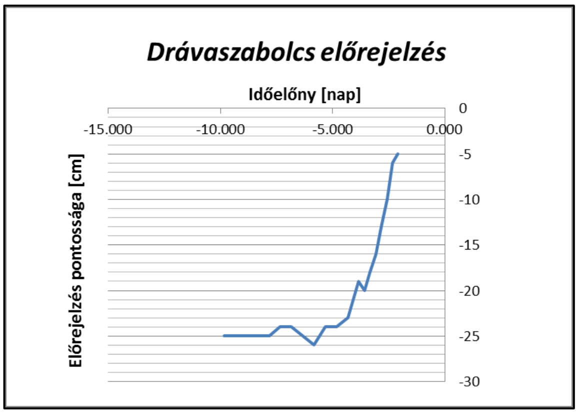
19. ábra Előrejelzett tetőző vízszintek hibájának alakulása az időelőny függvényében (k.f.: Q-ból)



20. ábra Előrejelzett tetőző vízszintek hibájának alakulása az időelőny függvényében (k.f.: z-ből)



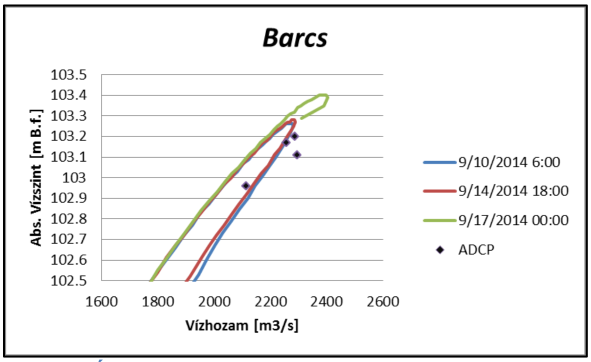
21. ábra Előrejelzett tetőző vízszintek hibájának alakulása az időelőny függvényében (k.f.: Q-ból)



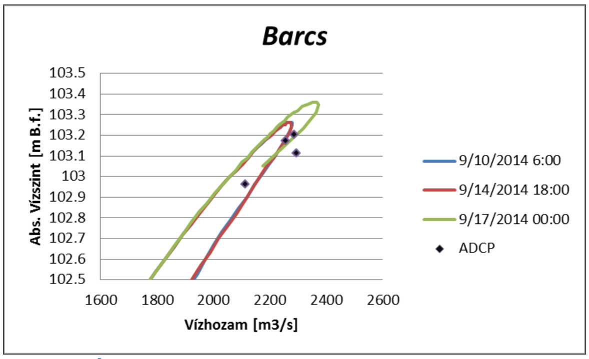
22. ábra Előrejelzett tetőző vízszintek hibájának alakulása az időelőny függvényében (k.f.: z-ből)

Bár az előrejelzésekben az adatasszimiláció hatására csökkent a hiba, ez még így is jelentős, valamint van olyan keresztszelvény ahol az előrejelzés az idő előrehaladtával romlott. Ilyen például Barcs. A hibák több forrásból származhatnak, illetve ezek együttese is felléphet. Az egyik hibaforrás lehet a vízmércéknél már említett Q(H) görbék esetleges elégtelensége. A másik hibaforrás az adatasszimiláció esetünkben nem tökéletesített formája.

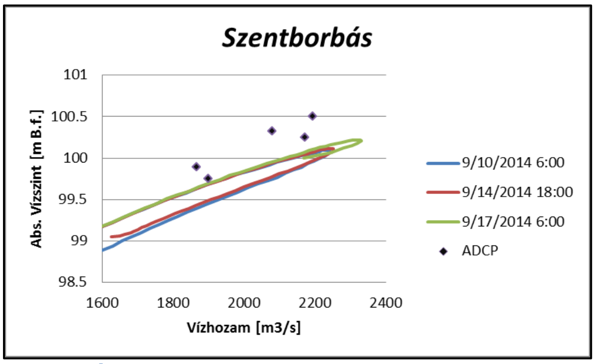
A kirajzolt árvízi hurokgörbéken szintén nyomon követhető a tetőzés pillanatához közeledve, peremfeltételek túl közel kerüléséből származó bizonytalanság.



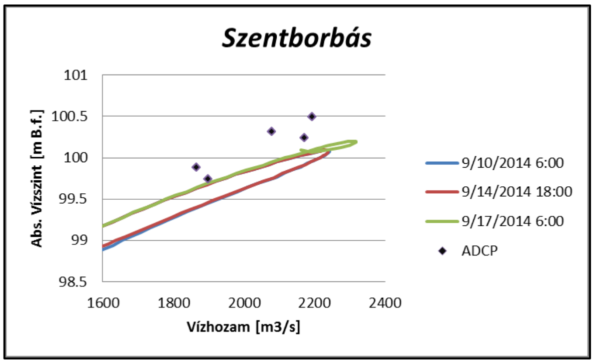
23. ábra Árvízi hurokgörbe (k.f.: Q-ból)



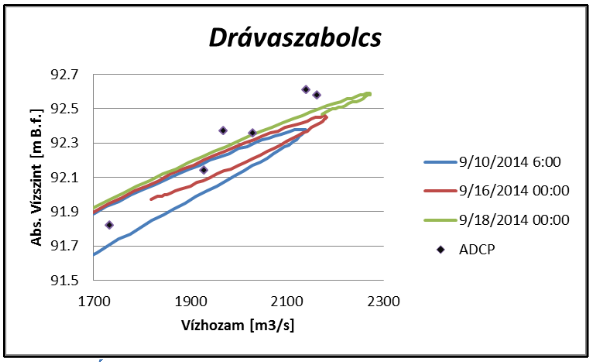
24. ábra Árvízi hurokgörbe (k.f.: z-ből)



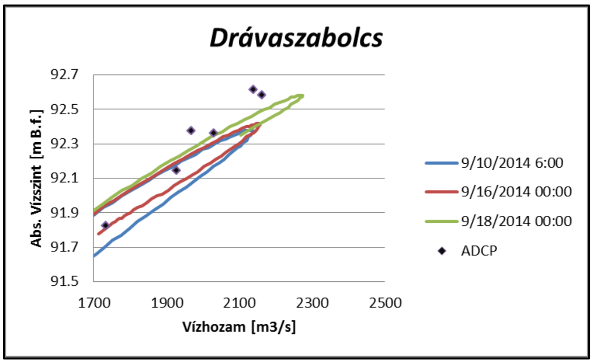
25. ábra Árvízi hurokgörbe (k.f.: Q-ból)



26. ábra Árvízi hurokgörbe (k.f.: z-ből)



27. ábra Árvízi hurokgörbe (k.f.: Q-ból)



28. ábra Árvízi hurokgörbe (k.f.: z-ből)

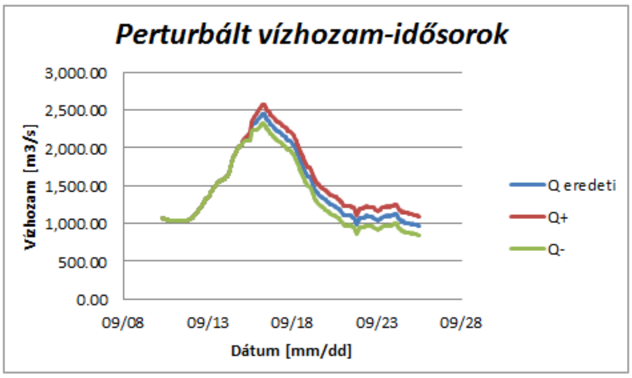
Az ábrákról megfigyelhető, hogy modell kezdeti feltételektől szinte független első futtatásokból kapott görbe (kék), illetve a valós ADCP mérés eredményei (fekete jelölők) milyen mértékben térnek el egymástól. A görbe és a pontokra közelítően illeszthető görbe alakilag hasonlítanak egymáshoz. Ebből azt a következtetés vonom le, hogy kisebb hiba származik a geometria pontatlanságából mint az adatasszimiláció leegyszerűsítéséből, továbbá a modell és az ADCP mérés eltérése a tetőzésnél arra utal, hogy a kalibráció sem tökéletes. Mindazonáltal, az a tény, hogy az asszimilációval bár nem tökéletesen, de javított (piros) görbék közelítenek a valós mérésekhez, arra enged következtetni, hogy a módszer alapelve helyes, megoldható az 1D modell javítása ezzel a módszerrel. A tetőzéshez közeli (zöld) görbék torzulása pedig a peremfeltételek közelségével magyarázható, ilyenkor már túl nagy befolyása van a kezdeti feltételeknek.

A két módszert összevetve azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a vízszinteket alapul vevő módszer valamelyest jobbnak bizonyult. Ez azonban adódhat abból, hogy a vízmércéknél alapadatként felvett vízhozam adatok csak kerekítve állnak rendelkezésre, mivel a pontos ADCP méréseket nem végezték el óránként, míg a vízszint alapú módszernél ezeket interpolálással az adatbázis pontosságának megfelelően tudjuk előállítani. Ezek alapján, illetve az eredmények kiértékelése nyomán azt a megállapítást tehetjük, hogy azok a mérések pontosabbak, melyek a vízszinteket veszik alapul. Mindazonáltal, hogy a mérések némely vízmércénél elég nagy hibával terheltek, Szentborbás és Drávaszabolcs vízmércéknél látványos javulást értünk el ezzel a módszerrel. Szentborbásnál a kezdeti hiba 40 cm-ről lecsökken 25 cm-re, de az igazán szembetűnő javulás Drávaszabolcsnál következett be. Itt az értékek 25 cm-ről 2-5 cm-es hibáig süllyedtek.

Előrejelzés bizonytalansága

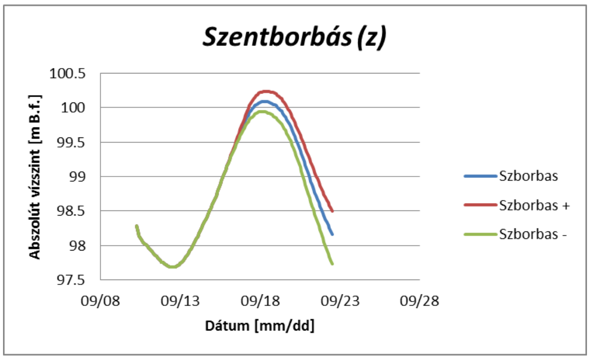
A dolgozatban mivel már egy megtörtént esemény elemzése nyomán történt a vizsgálat, peremfeltételeknek a valóságnak pontosan megfelelő értékeket tudtunk választani. Belátható, hogy éles helyzetben a modellnek nem tudunk pontos peremfeltételt megadni, hisz a felső határszelvénynél érkező vízhozamokat is csak előrejelzés szintjén ismerjük. Ezek az adatok is bizonyos fokú hibával terheltek.

Valós előrejelzések esetében hagyatkoznunk kell a meteorológiai előrejelzésekre melyekről általánosan kimondható, hogy néhány nap távlatában már meglehetősen bizonytalanok lehetnek. Azért, hogy a vizsgálataink során ezeket a bizonytalanságokat figyelembe tudjuk venni, és később saját előrejelzésünkre egy bizonyos hibasávot illeszthessünk, a valós értékeket perturbáltuk. Általánosan kimondható, hogy egy meteorológiai előrejelzés 6 nap alatt nagyjából 10%-ot téved, ám ezt nem lineáris függvényében a napoknak, hanem az első nap végére a bizonytalanság 5%, majd a következő 5 nap sokán kúszik fel ez az érték a 10%-ra. Azért, hogy ezt modellezni tudjuk, a valós vízhozam-idősort úgy állítottuk be, hogy az idősort a számítások kezdetétől (2014.09.10. 6:00) számított 1 napon belül fokozatosan elállítottuk, így (2014.09.11. 6:00)-ra már 5%-os volt az eltérés. A maradék 5 napban hasonló módon eljárva változtattuk az értékeket míg azok elérték a 10%-os eltérést.

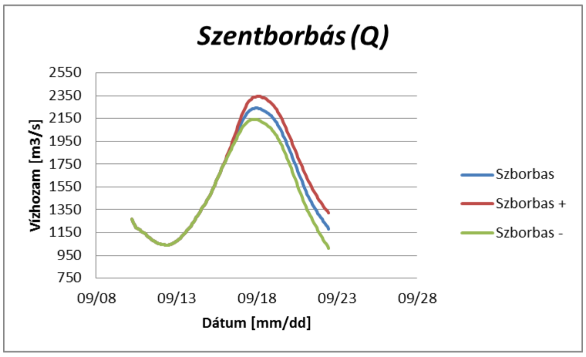


29. ábra Perturbált vízhozam-idősorok és eltéréseik

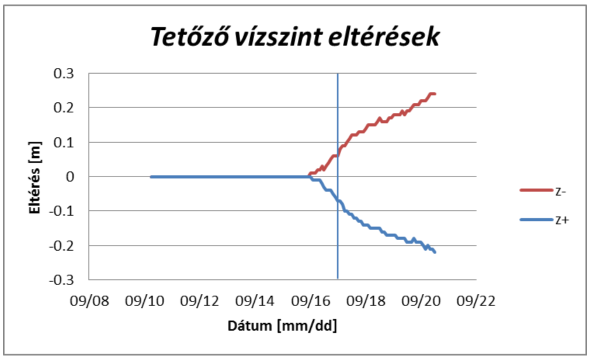
A modellt ugyanolyan kezdeti feltételekkel (2014.09.10. 6:00) lefuttattuk mind a három esetben, és azt vizsgáltuk mekkora eltérést jelent ez a tetőzés időpontjában, mind a vízszintek mind a vízhozamok esetén. Szentborbás állomás esetén ez a következő módon alakult:



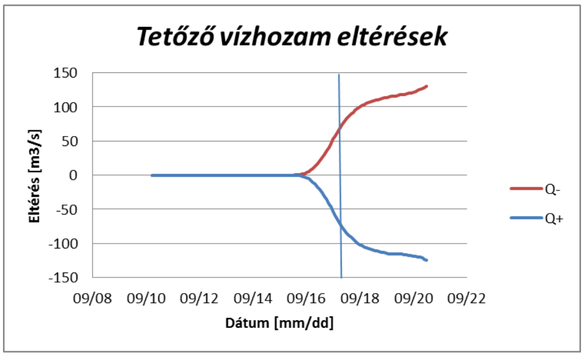
30. ábra Perturbált vízszint-előrejelzések



31. ábra Perturbált vízhozam-előrejelzések



32. ábra Az perturbált vízhozam-idősorokból származó, a tetőző vízszintek közti eltérés mértéke az eredeti (valós) idősorból származó tetőző értékektől Szentborbásnál.



33. ábra Az perturbált vízhozam-idősorokból származó, a tetőző vízhozmok közti eltérés mértéke az eredeti (valós) idősorból származó tetőző értékektől Szentborbásnál.

Az ábrákon (32. ábra), (33. ábra) nyomon követhetjük, ahogy a peremfeltétel bizonytalansága miként növeli az előrejelzés bizonytalanságát. Mind két ábrán a kék függőleges vonal a tényleges tetőzés időpontját hivatott jelezni. Érdekes megfigyelni, hogy bár a vízhozamok eltérése a tetőzések után közelítően beáll egy adott eltéréshez, ellapulnak a görbék, addig a vízszintek eltérése a tetőzést követően is szinte lineárisan tovább növekszik az idő előrehaladtával.

Általános tanulságként levonható, hogy nagyságrendileg a tetőző vízszintek pontatlansága a peremfeltételek itt feltételezett bizonytalanságából adódóan ±(13-15)cm míg a vízhozamok pontatlansága ±(110-130) m^3/s.

Fejlesztési javaslatok, következtetések

A módszer láthatólag bizonyos fokú javulást eredményezett az előrejelzésekben, ám még előrejelzésre csak közelítőleg alkalmazható.

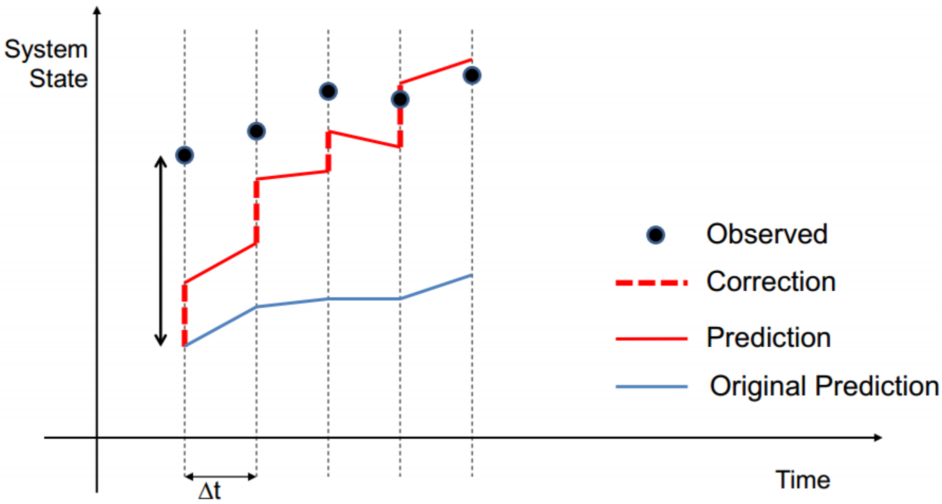
Egyes állomások esetén azt tapasztaltuk, hogy az időelőny csökkenésével a kezdeti feltételek megadásával, nemcsak hogy nem javult az előrejelzés, hanem romlott is. Ennek oka nemcsak az ismertetett módszerben keresendő. Ahogy az kitűnik a Tanszék Dráva-Mura előrejelzési jelentéséből (Torma et al 2014) a Dráva modell több helyen szerkezeti hibákkal terhelt. Ez azt jelenti, hogy a modell eredmények pontatlanságát elsősorban nem a kezdeti feltétel helytelen megadása vagy a simasági együtthatók pontatlan beállítása okozza, hanem a Dráva nem megfelelő geometriája. Csakhogy egy példát említsünk, a modellezett tartomány diszkretizálása (szelvényezése) túlságosan is nagy felbontású, azonban ez csak látszólag biztosítja a pontosságot, mivel valójában a modell szerkezete sok helyütt nem igazodik a nagyvízi áramképhez.

A szerkezeti hibák javítása utána a modell simasági együtthatóinak felülvizsgálata is javasolt. Ezt alátámasztják a vizsgálatok során felszerkesztett vízhozamgörbék is. Az ADCP mérések és a vízmércékhez rendelt Q(H) görbék között több vízmérce esetében is jelentős eltérést tapasztaltunk. Ez jórészt annak köszönhető, hogy a Dráván 1972. óta nem vonult le hasonlóan nagy árvíz. Javasoljuk, hogy a vízmércék Q(H) görbéit vizsgálják felül az idei mérések alapján. Itt egyúttal felhívnám a figyelmet arra, hogy kezdeti feltételt előállító eljárás alapvetően a vízmércéken mért vízállások és az abból származtatott vízhozamok értékeiből indul ki. Tehát a vízmércék vízhozamgörbéiben jelentkező pontatlanság az általunk előállított kezdeti feltételekben is megjelenik. Ez alapján javaslom, olyan vizsgálat elvégzését, amikor a vízhozamokat közvetlenül ADCP mérésekből vesszük. Erre sajnos az idő rövidsége miatt már ezen dolgozatban nem kerülhetett sor.

A modell szerkezeti hibáinak helyreállítása és a modell paramétereinek az új geometriához illesztése után ténylegesen az előrejelzési módszertan fejlesztése javasolt. A kezdeti feltételek megadása továbbra is problematikus, azonban az adatasszimilációs technikákat mára már magas szintre emelték. Tehát logikus lépés lehet az, hogy az egyszerűsített adatasszimilációs módszert matematikailag pontosabb változatra cseréljük le. Bár ez lényegesen megnöveli a számításigényét a módszernek, de egy későbbi dolgozat témájaként érdemes lenne azt a célt kitűzni és megnézni, hogy az asszimiláció során matematikailag pontosabban előállított kezdeti feltételek milyen szintű javulást eredményeznének. Ennek érdekében kissé kitérnénk az adatasszimiláció matematikailag is helyes módszertanára.

Adatasszimiláció

Adatasszimiláció alatt egy rendszer kezdeti feltételeinek előállítását, becslését értjük a rendszer aktuális állapotát tükröző rendelkezésre álló információk figyelembevételével. Jelen esetben ezek a rendelkezésre álló adatok a korábbi tapasztalataink egy adott rendszerről, ismereteink a rendszerben történő lefolyás tulajdonságairól és az egyes vízmércéken mérhető vízszint adatok, valamint a Q(H) görbék által ezekből a mért eredményekből származtatott vízhozam adatok. A kezdeti feltétel előállítása az egydimenziós modell esetében az adott időpillanatban mért adatokra illeszkedő felszíngörbe és vízhozam-görbe előállítást jelenti. Ahhoz, hogy ezt megtehessük a rendelkezésünkre álló információkat a lehető legjobban kell ötvöznünk, valamint az egyes mérések hibáját is figyelembe kell vennünk. (Christopher 2014)



34. ábra Az adatasszimiláció jelentősége, a közelítés lépései az előjelzés illetve a mérések között. (Christopher 2014)

Elméleti háttér

Az adatasszimiláció során egy adott x változó értékét próbáljuk meg minél jobb közelítéssel megbecsülni. Egy adott x_t valós állapotra akarunk megadni egy x_a becslést. A méréseinkből rendelkezésünkre állnak az y_1 és y_2 eredmények, melyek ε_1 és ε_2 hibával terheltek. Egyenletek formájában a következő alakban írhatók fel:

$$y_1 = x_t + \varepsilon_1$$

$$y_2 = x_t + \varepsilon_2$$

$$x_a = f(y_1, y_2) = ?$$

Három alapvető feltevéssel kell élnünk az asszimiláció során:

- A méréseink torzítatlanok, azaz nincs szisztematikus hibájuk. $E(\varepsilon_1) = E(\varepsilon_2) = 0$
- Az adott mérési hibák szórásnégyzete ismert. $\sigma_1^2 = E(\varepsilon_1^2)$; $\sigma_2^2 = E(\varepsilon_2^2)$
- Valamint a mérési hibák korrelálatlanok. $E(\varepsilon_1\, \varepsilon_2) = 0$

Adatasszimilációra több féle lehetőségünk is van:

- Az úgynevezett legkisebb négyzetek módszere:
  A módszer két fő kitűzése, hogy a becslés torzítatlan legyen, illetve, hogy a becslés négyzetes hibája a lehető legkisebb legyen
- Maximum-likelihood módszer:
  A módszer azon alapszik, hogy a hidrológiai, hidraulikai változók sok esetben jól közelíthetők normális eloszlással. A módszer a várható értékek, és a szórások függvényében állít elő egy új várható értékkel és szórással rendelkező valószínűségi változót.

Amint az a (34. ábra) mutatja, az adatasszimilációnak komoly jelentősége lehet egy prognózis felállításánál, az egydimenziós modell kezdeti feltételeinek minél pontosabb előállításánál. (ELTE 2013)

Egyéb fejlesztési javaslat magukra a vízmércék Q(H) görbéjének felülvizsgálatára lenne. Ez nem annyira a modellhez köthető javítás, bár természetesen elengedhetetlen a Q(H) görbék pontosítása, inkább a felhasznált adatokból leszűrt következtetés. Az egyes ADCP mérések, melyeket elfogadunk viszonylag pontos vízhozam-mérésnek, helyenként jelentős eltérést mutatott a Q(H) görbékből számított vízhozamoktól.

Összefoglalás

Meghatározni egy jövőbeli esemény kimenetelét elég összetett és bizonytalan feladat. A TDK dolgozatban egy olyan módszer létrehozását tűztük ki célul mely képes megfelelő az idő előrehaladtával, az időelőny csökkenésével egyre javuló prognózisokat készíteni egy árhullám levonulására.

A dolgozat létrejöttének alapvető oka az az eseménysorozat volt mely a 2014. szeptemberében a Dráván levonuló árvizet kísérte végig. Az árvíz előrejelzéséhez az Országos Vízügyi Főigazgatóság segítséget kért a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéktől. A kérés egy olyan előrejelző modellről szólt mely képes a folyó teljes szakaszán előre jelezni a kialakuló vízszinteket, mivel a Főigazgatóság kaszkádmodellje csak bizonyos diszkrét állomásoknál képes előre jelezni a majdani vízállásokat. A Tanszék ennek a problémának áthidalására az egydimenziós hidrodinamikai modell alkalmazását látta helyénvalónak, mint olyan modellt ami képes az egész folyószakasz vizsgálatára, és ezen történő előrejelzésre. A két módszer eredményeinek összevetése után kiderült, hogy bár az 1D modell képes az egész folyószakaszra előrejelzést adni, ezek az előrejelzések pontosságukban elmaradnak a kaszkád modell pontosságától. A kaszkádmodell előnye az adatasszimilációs lehetőségéből fakadt, miszerint egy adott méréssel azonnal meg tudták javítani az előrejelzésüket, így egyre pontosabb előrejelzést tudtak adni. A dolgozat célja az 1D modellszimulációk olyan irányú fejlesztése, hogy az képes legyen valamiféle egyszerű, ám gyors és hatékony adatasszimilációra és ezzel ötvözze a két módszert azok hatékonyságának fejlesztésére.

Az adatasszimilációhoz először egy olyan adatbázist hoztam létre, mely adott permanens vízhozamoknál megmutatja a modell keresztszelvényeiben kialakuló vízszinteket. Ezután következett egy olyan program megírása mely ezen adatok felhasználásával képes előállítani a kezdeti feltételeket, mind vízállás leolvasásból mind az ezekből számított vízhozamokból kiindulva is. Ezt a programot MatLab-ban írtam, s ezáltal képesek vagyunk előállítani a folyószakasz felszíngörbéjét és vízhozam- hossz-szelvényét melyek a későbbi szimulációk kezdeti feltételeként szerepelnek. Ezután végeztük el a szimulációkat. A kezdeti feltételekhez még egyet be kell iktatnunk, ez a talajvíz viselkedésének szimulálására szolgáló fiktív tározók vízszintje. A megfelelő kezdeti feltételek beállítását minden szimuláció előtt elvégeztük, és ily módon szimuláltuk az árhullám levonulásának előrejelzését. Szimulált időszak 2014.09.10 – 2014.09.19.

Az eredmények kiértékelésénél azt vettük észre, hogy modellünk a vártnál kevésbé javította meg az előrejelzésünket, ám bizonyos fokú javulást sikerült elérni vele. A javulások nagyobb mértékben a kezdeti felső határszelvénytől (Őrtilostól) eltávolodva jelentkeztek Szentborbás és Drávaszabolcs keresztszelvényeknél. Amit következtetésként levontunk az az, hogy maga a módszer működőképes, a megfelelő pontosság eléréséhez azonban az adatasszimiláció professzionálisabb végrehajtására van szükség. Ezeket a megállapításokat a szimulációk eredményeként kapott árvízi hurokgörbék vizsgálata után tettük. Látható, hogy a nem megfelelő adatasszimiláció illetve a peremfeltétel hibájának időbeli túlzott közelsége eltorzítja a görbéket, melyek aztán fals eredményeket produkálnak egy rövid ideig. A modell ebben az állapotában nagyságrendileg egy nappal a tetőzés elérése előttig használható megbízhatóan.

Még egy további szempont szerint vizsgáltuk meg az előrejelzés pontosságát. A célunk itt az volt, hogy mivel a szimulációknál egy pontos vízhozam-idősort tudtunk megadni a modellnek Őrtilosnál, azonban valós előrejelzéseknél csak bizonyos hibával terhelt lefolyás előrejelzéseink álnak rendelkezésre, egy hibasávot generáljunk az előrejelzéseink köré. Ehhez perturbáltuk az imént említett vízhozam-idősort majd ezekkel lefuttattuk a modellt egy kezdeti állapotában, ezzel az eredményekhez bizonytalansági sávot tudtunk rendelni.

A szimulációk nagyon tanulságosak voltak és véleményem szerint érdemes lenne ezen az úton tovább haladni. Esetlegesen a későbbiekben egy bonyolultabb, ám matematikailag pontos adatasszimilációt használva megismételni a vizsgálatot. Érdekes volna látni, az a módszer mennyiben javítaná meg a mi modellünket.

A dolgozat megírása nagyon tanulságos volt számomra, sok új ismeretet szereztem meg általa és programkezelői tudásom is fejlődött. Ezúton is szeretném hálás köszönetemet kifejezni Torma Péter tanársegédnek, és Dr. Krámer Tamás egyetemi docensnek feltétel nélküli segítségükért és a dolgozat megírásához elengedhetetlen szakmai tudás átadásáért.

Hivatkozások

Christopher H. (2014): ,,Data assimilation techniques for improving the accuary of model Predictions", University of Exeter, Aarhus. (Letöltve: 2014 október)

Cunge J. A., Holly F. M. Jr., and Verwey A. (1980). ,,Practical aspects of computational river hydraulics". Pitman, London.

ELTE (2014): ,,Meteorológiai adatasszimiláció", Numerikus előrejelzés tárgy oktatási segédanyag. (Letöltve: 2014 október)

Gauzer B. és Bartha P. (2001): ,,Árvízi szimulációs vizsgálatok a Tisza Tokaj-Szeged közötti szakaszán", Vízügyi közlemények, LXXXIII. évfolyam, 4. füzet.

Somlyódy L. (2002): ,,A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései", MTA Társadalomkutató központ, Budapest.

Stelczer K. (1986): ,,A vízrajzi szolgálat száz éve", Budapest.

Stoyan G. (2005): ,,MATLAB", Typotex kiadó, Frissített kiadás (2011), Budapest.

Széles B. (2013): ,,Diszkrét lineáris kaszkád modell alkalmazása a lefolyás vizsgálatában", BME TDK dolgozat, Budapest.

Szilágyi J., Szöllösi-Nagy, A. (2010): „Recursive Streamflow Forecasting – A State-Space Approach", Taylor & Francis Group, London, Egyesült Királyság.

Torma P. (2007): ,, Hullámteres vízfolyások árvízi modellezése az egydimenziós leírás adaptálásával", BME TDK dolgozat, Budapest.

Torma P. (2008): ,,1D folyómodell fejlesztése nempermanens vízmozgások vizsgálatára összetett esésű és benőtt medrekben" BME TDK dolgozat, Budapest.

Torma P., Krámer T., Józsa J. (2014): ,,Hidrodinamikai modellel végzett előrejelző számítások a Dráva és Mura folyókra a 2014. szeptemberi árvíz idején", kutatási jelentés, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, Budapest.