

A Bükkös-patak vízgyűjtőjének csapadék-lefolyás modellezése

Széles Borbála

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék, 1111. Budapest, Műegyetem rakpart 3.

Bevezetés

A globális klímaváltozás egyik következménye lehet, hogy napjainkban a szélsőséges állapotok egyre gyakoribbá válnak. Ilyenek a rövid esőzések, amelyek intenzitása egyre fokozódik. Köztudott, hogy a hirtelen lezúduló heves zivatarok gyakran okoznak mértékadó állapotokat kis- és közepes vízgyűjtőkön.

A szentendrei Bükkös-patak az elmúlt évek során többször is a figyelem középpontjába került. A közelmúltban bekövetkező intenzív esőzéseknek köszönhetően jelentős árhullámok vonultak le a patakon; a heves kiöntések miatt sok helyen a lakosságot is ki kellett költöztetni otthonaikból.

Munkánk során a következő tematikát követtük: a helyszín bejárásával megismertük a terület hidrológiai viszonyait és a patak különböző pontjain végzett hidrológiai mérésekkel közelítő képet kaptunk a vízhozamról és a levonuló árhullámok nagyságrendjéről.

A hidrológiai számítások alapját a vízhozam és vízállás mérések eredményei, illetve az egyidejű csapadék adatok képezték. A számított, patakra jellemző vízhozamgörbe és egységárhullámkép segítségével fagymentes időszakokra, ismert csapadékeseményből kiindulva egyértelműen meghatározható a vízgyűjtő válasza. Ez nagy segítséget nyújthat az árvízi kiöntések előrebecsléséhez.

Végül a vízgyűjtő csapadék-lefolyás kapcsolatát HEC-HMS programmal modelleztük. A modellt sikerült téli és tavaszi időszakokra is kalibrálnunk és validálnunk. Az ilyen modellek számos modellparaméterrel rendelkeznek, illetve jelentős bemeneti adatmennyiséget igényelnek. Ezekkel kapcsolatos tapasztalatainkat bemutatjuk, rávilágítva a modellben rejlő lehetőségekre és korlátokra. Végül példát adunk a modell alkalmazási lehetőségeire.

1. A terület bemutatása

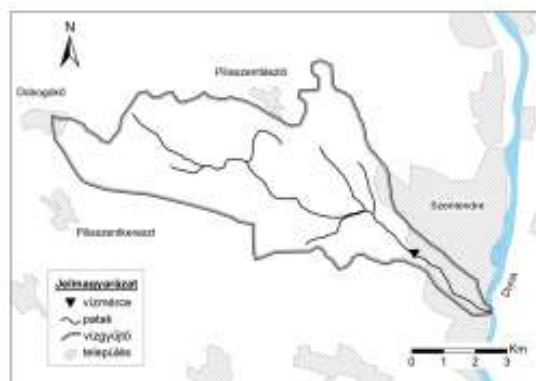
A Bükkös-patak és vízgyűjtőterülete a Közép-Duna alegységhez tartozik. A patak Szentendrénél torkollik a Dunába, a település legjelentősebb állandó vízfolyása (1. ábra).

A patak teljes vízgyűjtőterülete 39,2 km². Hossza 16 km, medrét a városban kiépítették, illetve a belvárosi, torkolathoz közeli részekben a házakat magasított partfalak védik az áradástól.

A Bükkös-patak vize Dobogókő déli lejtőin ered, közel 600 méter magasan. Számtalan kisebb vízeséssel tarkított útján, 500 méter szintkülönbség után érkezik Szentendre belvárosába.

A patakot tápláló források vízadó közege a miocénben keletkezett andezit, illetve andezittufa, amely erősen vízzáró tulajdonságokkal rendelkezik. Hozamuk változó, viszonylag kicsi, a tavaszi hóolvadáskor viszont köbözéssel jelentősebb hozamokat is mérünk.

A patak vízhozama nagy szélsőségek között ingadozik. A meredek lejtők miatt állóvizek sem jöhettek létre, mert a keletkező mélyedések gyorsan feltöltődnek (Dövényi 2010).



1. ábra: A Bükkös-patak vízgyűjtője.

2. Hidrológiai számítások

2.1. Hidrológiai adatok és helyszíni mérések

A hidrológiai számítások elvégzéséhez, illetve a vízgyűjtő modellezéséhez gyakori és pontos vízállás és vízhozam adatokra van szükség.

A Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóság (KDV-KÖVIZG) 2005-ben telepített egy úszós, 15 percenként regisztráló műszerrel felszerelt lapvízmércét (004607 állomás) a patakon, a torkolattól 4,2 fkm-re, melynek nullpontja 134,30 m B. f. magasságban van. A vízmércéig a patak vízgyűjtő területe 33,4 km² (1. ábra).

Az igazgatóság rendelkezésünkre bocsátotta a vízmérce által 2009-ig rögzített napi vízállás és az ezekből számított (illetve néhány alkalommal mért) vízhozam adatokat, valamint a 2011-es vízállás-vízhozam értékeket és a patakon nagyobb esőzések alkalmával, 2005 óta levonuló árhullámok 15 perces, vízmércénél rögzített vízállás adatait, melyeket a HEC-HMS vízgyűjtő-modellező program számításaihoz használtunk fel.

Az igazgatóság által számított vízhozamok ellenőrzése végett 2011 januárjától kezdve több alkalommal is megmértük a patak vízhozamát (kézi köbözéssel, kémiai vízhozam-mérési módszerrel és forgószárnyas sebességmérővel).

A mérési tapasztalatok alapján a következő összegzés tehető meg:

- A vízmércénél történő mérés egyik célja a későbbiekben bemutatott és a modellezés kalibrálási adatainak előállításához használt vízhozamgörbe ellenőrzése volt. A sikeres mérések eredményei jó egyezést mutatnak a számított értékkel.
- Különösen nagyvíz esetén a forgószárnyas sebességmérésen alapuló vízhozam-mérés (több függély felvételével) a mérési eredmények szórása alapján nagyobb pontossággal kivitelezhető.

2.2. Csapadékadatok

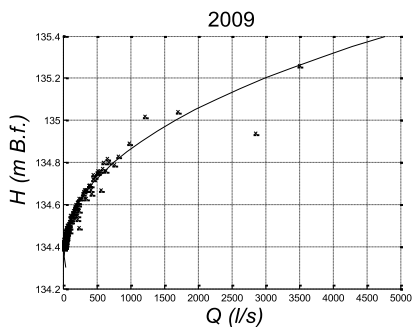
A modell vizsgálatok elvégzéséhez napi rendszerességű méréseknél részletesebb felbontású idősorok szükségesek. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnak (OMSZ) legközelebb Budapest-Újpest területén található automata meteorológiai állomása, amely időben kis felbontású csapadékkintenzitást rögzít. Az intézettől az árhullámok 15 perces vízállás értékeivel egyidejű, órás felbontású csapadékösszeg értékeket kaptunk.

2.3. Q - H görbék szerkesztése

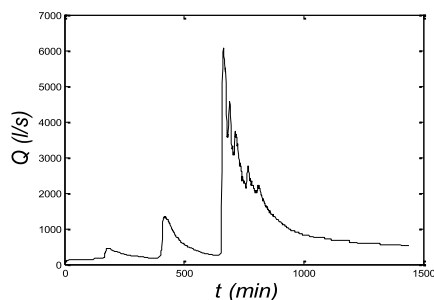
A kapott árhullámok vízszint-idősorainak többsége a 2010-2011-es időszakba esik. A modellvizsgálatokhoz vízhozam idősorokra van szükség, amelyeket a patakra jellemző vízhozamgörbe segítségével tudunk előállítani.

Matlab segítségével határoztuk meg a vízhozamgörbék egyenleteit. A program a legkisebb négyzetek módszerével harmadfokú polinomot illesztett az összetartozó Q - H pontokra. Ez a módszer a „szabályos” Q - H görbével rendelkező évekre (például 2008) pontos eredményt és elfogadható görbét adott, azonban az olyan években, amikor egymás felett több pontfelhő is megjelent, hibás görbéket eredményezett. Erre jó példa a 2006-os év. Az ilyen évekre bizonyos határfeltételek kikötésével (például: adott hozam egy konkrét vízállásnál nagyobb vízállások mellett már nem vonulhat le) mégis szabványos Q - H görbéket tudunk létrehozni. A szűrésnek köszönhetően a program ezeket az adatokat nem veszi bele a regresszióba, így azok nem fogják „megzavarni”, azaz a szabályos irányból eltéríteni a görbét.

Az öt év közül, jó közelítéssel, mindegyik illeszkedik a 2009-es év görbéjére, így ezt az évet választottuk ki és ennek az egyenletével számoltunk tovább, a későbbi évekre. A 2. ábra a 2009-es év Q - H görbéjét szemlélteti.



2. ábra: 2009. év vízhozamgörbéje.



3. ábra: 2006 májusában levonuló árhullám számított vízhozam-idősora.

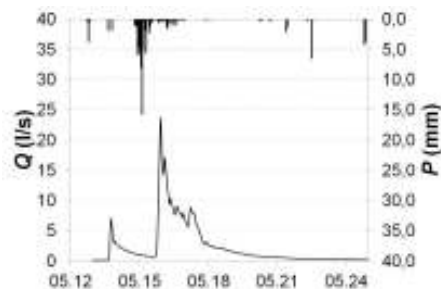
A 15 perces KDV-KÖVIZIG-es vízállásokhoz ennek segítségével Matlab-ban 15 perces vízhozam értékeket generáltunk. A 2006 májusában levonuló árhullám fenti program segítségével számított vízhozamait ábrázolja a 3. ábra.

A számítási algoritmus ellenőrzésére lefuttattuk a programot a 2008. év napi vízszint adataival is. A későbbi vizsgálatoknál a vízhozamgörbe időszakos eltolódását figyelmen kívül hagyhattuk, mivel a vizsgált árhullámok nem estek ezen időszakokba.

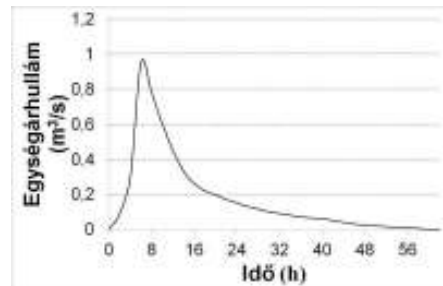
2.4. Egységárhullámkép előállítása

Az egységárhullám előállításának kiindulási adatait a 2010. májusi árhullám fent leírt módon számított 15 perces vízhozam és az OMSZ-től kapott órás csapadék adatsorok képezték (4. ábra).

Azért esett erre az árhullámra a választás a 14 árhullám közül, mert egyrészt 4 mm-t meghaladó, jelentősebb csapadékmennyiség csak ekkor esett, másrészt az árhullám tetőzése is időben megfelelő módon jelentkezett ebben az időszakban.



4. ábra: 2010. május csapadék és számított vízhozam adatai.



5. ábra: Kiegyenlített, 4 órás egységárhullámkép, 2010. május.

A számított vízhozam nagyságrendi helyességét Chézy-képlettel ellenőriztük, mivel ez a hozam a vízhozamgörbén már nem szerepel, azon extrapolációt kell végezni. Ebben a tartományban a görbe meredeksége kicsi, így az extrapoláció nagy bizonytalansággal jár. A vízhozam így $24,81 \text{ m}^3/\text{s}$ -nak adódott, amely egyezik az általunk számított $25 \text{ m}^3/\text{s}$ -mal.

A 2010. májusi árhullám egy 12 napos idő-intervallumot ölel fel, így a kezelhetőbb számolás érdekében 4 órás egységárhullám előállítás mellett döntöttünk.

A vizsgált időszakban az árhullámot kiváltó csapadék és az árhullám megjelenése is 2010. május 15-17. között történt. Árhullámot kiváltó csapadéknak, a 2010. 15-én 14-17 óráig tartó minimális mennyiséget (előkészítő csapadék) nem számítva, a 17-24 óráig lehullott csapadék mennyiség számít. Az első négy órában összesen 24,3 mm, a rákövetkező négy órában 21,2 mm hullott le. Ez összeadva 45,5 mm.

Az árhullám szeparáláskor az oszcilláló egységárhullám-görbét kézzel közelítőleg kiegyenlítettük. A vízgyűjtő felszín alatti tulajdonságairól nem sok információval rendelkezünk, emiatt az árhullám kezdetének időpontját a felszín közeli lefolyás végével kötöttük össze. A vonal alatti terület reprezentálta a felszín alatti lefolyást, illetve a vonal és az árhullám görbéje közötti terület a lefolyásra kerülő vízmennyiséget. A lefolyásra kerülő vízmennyiség számításakor a lefolyt vízhozam értékeket összegezhettük, az időtengely sűrű beosztása miatt. Az így kapott vízhozam összeget $4 \cdot 3600 \text{ s}$ -mal felszorozva, megkaptuk a lefolyt vízmennyiséget (a görbe alatti területet „téglalapok” összegzésével közelítettük). Az egységárhullám ordinátái a két hatékony csapadékmagassággal már könnyen számíthatók, a klasszikus módszer göngyölítéses eljárásával. Az ordináták között több is negatív értéknek adódott. Ezt ábrázolva egy időben „pulzáló” grafikont kaptunk, amelyet kézzel kiegyenlítettünk. Az 5. ábra a kiegyenlített egységárhullámképet mutatja.

3. Lefolyás számítása HEC-HMS modellel

A HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) csapadék-lefolyás folyamatok szimulálására kifejlesztett vízgyűjtő modellező szoftver, amelyet a HEC már több mint 30 éve fejleszt. Fa alakú vízgyűjtő hálózattal rendelkező vízgyűjtő terület esetén számos hidrológiai és hidraulikai számítási módszer közül választva szimulálható a csapadék-lefolyás folyamata. A HMS modell fő részei: vízgyűjtő modell, meteorológiai modell, a bemeneti adathalmaz megadása és a modellparaméterek beállítása.

A vízgyűjtő (basin) modell fizikailag reprezentálja a vízgyűjtő területet. Többféle hidrológiai egység variálásából, összekapcsolásából tevődik össze, melyek közül hármat alkalmaztunk a Bükkös-patak modelljében (részvízgyűjtő, vízfolyás, gyűjtő). A lenti 6. ábra egy egyszerűsített vízgyűjtőt és a használt hidrológiai egységeket szemlélteti.



6. ábra: Egyszerűsített vízgyűjtő terület modellje.



7. ábra: Bükkös-patak vízgyűjtő területének modellje (készítette: Keve Gábor, 2011).

A részvízgyűjtő területet pontszerűnek értelmezzük, melynek nagyságát bemenő adatként kell megadni. A részvízgyűjtőkön összegyűlt víz gyűjtőpontokban (junction) koncentrálódik. Az egyes gyűjtőket pedig vízfolyások (reach) kapcsolják össze, amelyek hosszát a program bizonyos számítási eljárások során igényli. A 7. ábra a modellben használt vízgyűjtő modellt mutatja, amelynek összetettsége (számos oldalág és részvízgyűjtő) a kalibrációt jelentősen megnehezítette.

A meteorológiai modell a csapadékkal, párolgással és párologtatással, illetve hóolvadással számol, melyek közül csak a csapadékkal foglalkoztunk. Miután egyetlen, a vízgyűjtőn kívül elhelyezkedő állomás csapadékadatai álltak rendelkezésünkre, így a csapadék térbeli eloszlását homogénnek kellett feltételeznünk a teljes területre.

3.1. A modell hidrológiai elemeinek ismertetése

A HEC-HMS több számítási módszert kínál a felhasználók részére, melyeket az Egyesült Államokban fejlesztettek ki, így magyarországi területeken az eltérő éghajlati és domborzati viszonyok miatt csak komoly odafigyeléssel alkalmazhatók, továbbá az egyes segédletekben javasolt paraméter beállításokat is értékelni kell.

Az alábbiakban az általunk választott számítási eljárásokat ismertetjük. Növényzet egyszerű figyelembe vételére több módszer választható. A legegyszerűbbet (Simple Canopy) választottuk. Itt egy a szimuláció elejére vonatkozó, százalékban megadott kezdeti tározott vízmennyiséget és a növényzet által maximálisan felfogható, mm-ben megadott vízmennyiséget kell megadni.

A veszteségek számítására az Initial and Constant Loss Method-ot választottuk, mert a terület talajviszonyairól nem állt rendelkezésünkre megfelelő mennyiségű információ. A kezdeti veszteség a leesett csapadékmennyiségből beszivárgó vagy a részvízgyűjtőn eltárolt vízmennyiséget jelenti, a felszíni lefolyás kezdete előtt. A paraméter azt szabja meg, hogy a kezdeti veszteség elérését követően mekkora arányú a további beszivárgás.

Az árhullám transzformációjánál a meder változatossága (kiépítetlen, kavicsos, erdei patakmeder) miatt a csupán egy paraméter beállítását igénylő SCS transzformációs módszert

választottuk ki. A késleltetési időket a részvízgyűjtők területeinek arányában súlyozva határoztuk meg.

A felszín alatti hozzáfolyás meghatározásánál, mivel a területre jellemző, hónapokra bontott konkrét értékek nem álltak rendelkezésünkre, a lineáris tározó (Linear Reservoir) modellt választottuk. Ez a módszer a felszín alatti víz tározódását és mozgását egymás utáni tározók töltődésén és ürülésén keresztül közelíti.

A lefolyási módszerek közül a patakszakaszokra a csupán egy szabad paramétert igénylő késleltetési (Lag) módszert használtuk, mely rövid vízfolyásokra ideális. Az itt beállított idő az árhullámok levonulási idejét jelenti. Az általunk választott értékek a patakszakaszok térképről lemért hosszaival arányosak.

3.2. Vizsgált időszakok kiválasztása

A modell felállításához, ellenőrzéséhez és a vizsgálatokhoz összesen 14 árhullám csapadék-vízhozam adatsorai álltak rendelkezésünkre. Ezek közül csak nyolc adatpárról mondható el, hogy összetartozó csapadék-vízhozam értékpárok. A többi esetben 10 óránál is több időkülönbség figyelhető meg a csapadékesemény súlypontja és az árhullám megjelenése között, tehát biztosan nem lehetnek összetartozó értékek. Ez annak a következménye, hogy a csapadékadatok egy újpesti állomás rögzítette, több km-re a vízgyűjtőtől. Mint már említettük, ez volt a legközelebbi óras csapadék értékeket mérő automatikus műszer.

Ilyen idősorok mellett nem volt lehetőségünk hosszú időszakok vizsgálatára. Hirtelen záporok, zivatarok keltette árhullámok kialakulásának vizsgálatát tűzhettük csak ki célul.

Legalább két olyan árhullámra volt szükségünk a kalibráció és a validáció elvégzéséhez, amelyeket közel azonos évszakban figyeltek meg. Eltérő vegetációs időszakban a lefolyási viszonyok nagymértékben megváltozhatnak, így például a nyári és téli árhullámokat nem lehet egységesen kezelni. A fenti problémák megnehezítették a vizsgált időszakok megválasztását.

A maximális vízhozamokat (m^3/s) ábrázoltuk a maximális csapadékkintenzitás (mm) és a csapadékösszeg (mm) függvényében. A szórt pontfelhőn látható, hogy közöttük nincs erős összefüggés. A maximális hozam és csapadékösszeg, mint két egymástól nem független, sztochasztikus kapcsolatban álló valószínűségi változó korrelációs kapcsolata stabilnak tekinthető.

A modell felállítása végeredményben az alábbi eseményekkel történt, vizsgálva ezzel a téli, illetve a kora tavaszi állapotokat:

- 2011. január,
- 2009. február,

valamint:

- 2011. március végi és
- 2010. április.

3.3. A modell kalibrálása

A modell arányosításakor elsődleges célunk az volt, hogy egy levonuló árhullám vízhozam idősorát mértékadó keresztmetszvényben közelítsük oly módon, hogy a maximális vízhozamnál alakuljon ki a legjobb egyezés. Természetesen igyekeztünk a paramétereket úgy felvenni, hogy az árhullám alakja, időbeli lefutása is közelítsen a mért értékekhez.

Az OMSZ adatai szerint ezekben az időszakokban csak eső esett, azaz hó nem volt, így a meteorológiai modellt nem kellett olvadás beállításával bonyolítani.

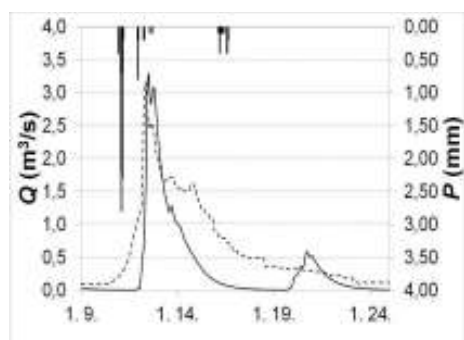
A modell kalibrálása több nehézségbe is ütközött. Először csak a veszteségeket, transzformációs eljárásokat és késleltetést vettük figyelembe, minimalizálva a szabad

változók számát. Így azonban a modell túl gyors lefolyást eredményezett, az árhullámok görbéi meredek lefutásúakká váltak, emiatt szükségessé vált a felszín alatti hozzáfolyás bevezetése. Így az árhullám képe szabályosabb, szélesebb lett, azonban jelentősen túlbecsülte a valódi hozamot. Ebből azt a következtetést vontuk le, hogy valamilyen módon számottevő veszteség keletkezik a vízgyűjtőn, ami a lefolyási hányad csökkenését eredményezi. Ennek több oka lehet, mint például az intercepció vagy a felszíni mélyedések. Ezt az együttes hatást a növényzet hatásának bevezetésével próbáltuk modellezni. Végül egyedül a felszínen keletkező veszteségek és a patakszakaszok veszteségével nem számoltunk. A szabad paraméterek száma végeredményben kilenc volt.

A felszín alatti hozzáfolyásnál és a veszteségek figyelembe vételekor azonos paramétereket vettünk fel az egyes részvízgyűjtőkre és patakszakaszokra. Fontos, hogy a transzformációs eljárásnál a vízgyűjtőterületek területének arányában osztottuk el az összes időt az egyes részvízgyűjtő területek között; továbbá a beállítható időket a patakszakaszok hossza szerint súlyoztuk.

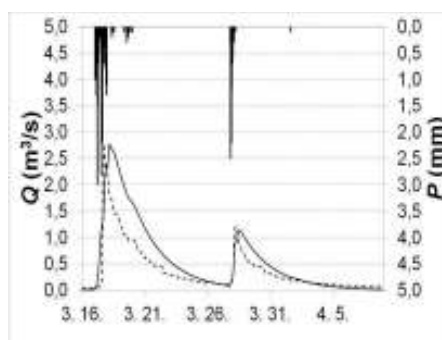
A modellt két különböző időszakra igyekeztük kalibrálni, egy télire és egy tavaszra. A futtatások során igazolódott, hogy a modell nagyon érzékeny az évszakokra, azaz a tavaszi, olvadásos időszakra vonatkozó paraméterek nagyban különböznek a téli, fagyott időszaktól. Az előbbi időszakban a talaj vízfelvevő képessége magasabb, ami a felszín alatti lefolyás megnövekedésével jár. Ezzel összhangban a modell paramétereit úgy választottuk meg a téli időszakhoz képest, hogy a megjelenő növényzet hatására kialakuló veszteségeket növeltük meg, illetve a talajba való beszivárgást és az ottani lefolyást. A további paraméterekhez nem nyúltunk (transzformációs és mederbeli lefolyási idők, tározók száma). Összesen három paraméter egyezik meg a két időszak modelljében.

A kalibráció eredményét a *téli időszakra*, vagyis a modell által számított vízhozamot a 2011. januári árhullámra a 8. ábra szemlélteti, folytonos vonallal a számított, szaggatott vonallal a mért vízhozamokat ábrázolva. A kalibráció eredményét a *tavaszi időszakra*, vagyis a modell által számított vízhozamot a 2011. március végi árhullámra a 9. ábra szemlélteti.



8. ábra: Kalibráció a 2011. januári eseményre.

(A modell által számított vízhozam folytonos vonallal, a mért vízhozam szaggatott vonallal, míg a csapadék oszlopdiagramként jelölve.)

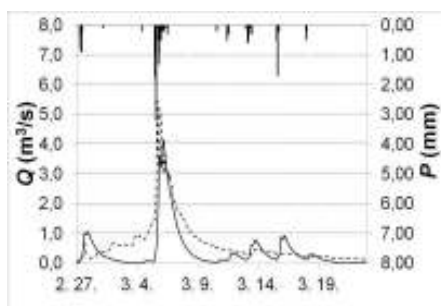


9. ábra: Kalibráció a 2011. március végi eseményre.

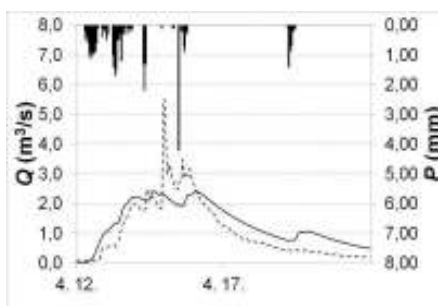
(Jelölések, mint 8. ábra esetén.)

3.4. A modell validálása

A modell paramétereinek helyes megválasztásának ellenőrzését egy független esemény szimulálásával végeztük. Ekkor már a paraméterek értékein nem változtattunk. A validáció eredményeit a 2009. februári árhullámra a 10. ábra diagramja szemlélteti, mely a valódi hozamot a legnagyobb árhullámra kicsit alulbecsli (körülbelül $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$), de ez a hiba nem jelentős, tekintve, hogy a számított hozam az összes, tehát a kisebb árhullámokra is hozzávetőlegesen illeszkedik. Valamint ne feledjük, a bementi csapadékatok és paraméterek bizonytalanságát. Ennél nagyobb pontosságot a modell felállításának kezdeti stádiumában nem várhatunk el.



10. ábra: Validáció a 2009. február végi eseményre
(Jelölések, mint 8. ábra esetén.)



11. ábra: Validáció a 2010. áprilisi eseményre
(Jelölések, mint 8. ábra esetén.)

A validációt a tavaszi időszakra is elvégeztük, amelynek eredményét a 11. ábra mutatja. A számított árhullám lefutása mind időben, mind nagyságrendben nagyon jól illeszkedik a mért értékekhez. Azonban látható, hogy a modell a maximális vízhozamot jelentősen alulbecsüli. A tetőző hozam megnövekedésének meredeksége arra utal, hogy egy rövid idejű hirtelen csapadékkintenzitás az újpesti mérőállomás térségében nem alakult már ki.

3.5. A modell alkalmazása, vizsgálatok

A rendelkezésünkre álló csapadékeseményekről elmondható, hogy nem okozott egyik esetben sem mértékadó árhullámot a kifolyási szelvényben, amely már lakott területen található.

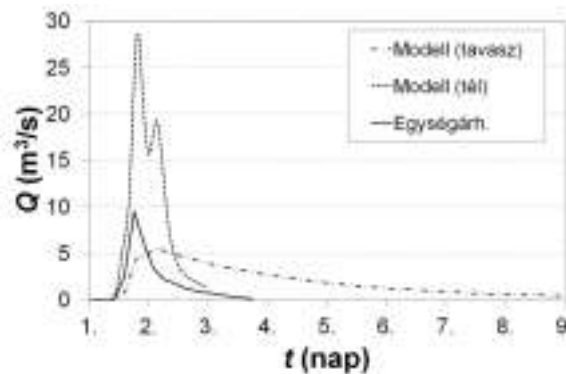
A kisvízfolyások mederrendezési munkálatait és a vízgyűjtő-gazdálkodási tervezést mértékadó nagyvízes állapotok figyelembe vételével kell végezni. Ehhez ismerni kell a tetőző hozamokat ($NQ_{p\%}$), illetve a lefolyó víztömeget. Ennek meghatározása gyakran nagy bizonytalanságot mutat. Az elmúlt évtizedek csapadékadatainak vizsgálatával azonban a kis visszatérési valószínűségű, mértékadó árhullámokat okozó csapadékokat meg tudjuk becsülni. Egy jól felállított (validált) modellel lehetőségünk van különböző időszakokra meghatározni ilyen csapadékok hatására kialakuló árhullámokat. Ezt végeztük el a már említett két időszakra és hasonlítottuk össze az egységárhullámkép segítségével generált árhullámmal.

A mértékadó csapadékkintenzitást csapadékmaximum függvény alapján vettük fel a Montanari-féle összefüggés alkalmazásával (Kontur et al, 2003). Kisvízgyűjtők esetén az a tapasztalat, hogy mértékadó esemény heves zivatarok esetén alakul ki, amikor is a csapadék időtartama (T) közelítőleg megegyezik az összegyülekezési idővel (τ). Ez a mi jelentősen elnyújtott vízgyűjtőnk esetén 4-8 óra körüli. Egy 4 órás 10mm/h intenzitású csapadékot vettünk fel, mint mértékadó eseményt. A csapadék intenzitását egyenletesnek feltételeztük. A

12. ábra szaggatott vonallal jelölt grafikoján egy második alacsonyabb szintű tetőzés is látható, amely a vízgyűjtő alakjából, valamint abból származik, hogy 9 részvízgyűjtőre bontottuk a területet. Ennek valóság alapja megkérdőjelezhető. A tetöző vízhozam, illetve a lefolyó víztömeg értéke nagyságrendileg elfogadható.

Elvégeztettük a modellel a számítást a tavaszi időszak paramétereivel is. Ezt a 12. ábra pontvonal görbéje szemlélteti. Az árhullám lefutása ekkor sokkal lassabb, a megváltozott talajviszonyoknak és növényborítottságnak köszönhetően. Míg télen a levonulási idő két nap körüli, addig tavasszal 5-6 nap. A tetöző vízhozam természetesen utóbbi esetben csökken, hozzávetőleg a hatodára.

Az egységárhullámkép alkalmazásával számított árhullámot folytonos vonallal jeleníti meg a 12. ábra. Az ár levonulási ideje a vártnál kisebb, a tetöző vízhozam nagyságrendileg elfogadható.



12. ábra: 4 óra időtartamú, 10 mm/h intenzitású csapadék hatására levonuló árhullám a modell és az egységárhullámkép alkalmazásával.

4. Következtetések

Több elfogadható adatsor hiányában a modellek (téli, tavaszi) validációját egy-egy árhullámra végeztük el, azonban több adat birtokában további ellenőrző futtatások szükségességét látjuk. Ennek oka, hogy a modellparaméterek száma magas, amelyet a részvízgyűjtők számának redukálásával csökkenteni lehetne. Várakozásaink szerint ez a modell eredmények pontosságát nem befolyásolná jelentősen, viszont a kalibrálás folyamatát jelentősen egyszerűsítene.

Egy ilyen kisméretű vízgyűjtőn belül is jelentősen eltérhet a csapadék mind időbeli, mind térbeli eloszlása, amely erősen befolyásolja a kialakuló árhullámot, annak jellemző értékeit (pl. lefolyási hányad, tetöző vízhozam).

Két hidrológiai eseményre sikerült közelítőleg kalibrálnunk a modellt. Ez már önmagában lehetőséget adott a vizsgálatok elvégzésére és a vízgyűjtőt jellemző folyamatok feltárására ezen időszakokban. A téli és tavaszi időszak közötti egy-két hónapban megjelenő növényzet és a megváltozó talajviszonyok jelentősen átalakítják a lefolyási viszonyokat. Ezek közül a legfontosabbak:

- Egyrészt megnövekszenek a veszteségek (nem lefolyó vízmennyiség), esetünkben hozzávetőleg három-ötszörösére a téli viszonyokhoz képest.

- A talaj felolvadásával megnövekszik annak vízáteresztő képessége. A felszín alatt és felett lefolyó víz hányadosa jelentősen megváltozik. A tavaszi időszakban a talajba történő beszivárgás szintén három-ötszörösére növekszik a téli időszakhoz képest.
- Az általunk felvett mértékadó csapadékesemény modell vizsgálata, illetve a helyszíni bejárásaink alapján elképzelhetőnek tartjuk, hogy egy ilyen hegy és dombvidéki vízgyűjtőn a mértékadó nagyvízi esemény nem hirtelen lezúduló csapadék hatására alakul ki, hanem hóolvadás esetén. Feltételezésünk azon alapszik, hogy vegetációs időszakban a hirtelen lezúduló csapadék jó részét képes a növényzet felfogni (intercepció), illetve a talaj beszívárogtatni majd késleltetve levezetni. Ezzel szemben hóolvadáskor nem beszélhetünk intercepcióról, a talajba szivárgás kevésbé intenzív, valamint a hirtelen melegedés hatására bekövetkező olvadás is hosszabb időtartamú.

A modell szabad paramétereinek száma jelentős. Ezekre célszerű lenne érzékenységvizsgálatot végezni, továbbá más módszereket is kipróbálni az egyes részfolyamatok leírására. További vízgyűjtők vizsgálatával esetleg megadható lenne, hogy különböző vízgyűjtő típusok esetén melyek a legjobb közelítést adó számítási algoritmusok, illetve leginkább alkalmazhatók az adatok részletességének, a vízgyűjtő feltártóságának függvényében.

A modell vizsgálatok pontosságát leginkább befolyásoló tényező a csapadékadatok mennyisége és minősége. A tizennégy árhullámból mindössze négyet tudtunk alkalmazni, aminek az volt az oka, hogy a csapadék adatok nem álltak szoros összefüggésben sem nagyságukat tekintve, sem időben az árhullámokkal. A csapadékmérő állomás messze helyezkedett el a vízgyűjtőtől. Ilyen vizsgálatokhoz szükségesnek látjuk csapadékmérő állomás(ok) telepítését a vizsgált vízgyűjtőre. A rögzítés időbeli felbontását a vízgyűjtő mérete határozza meg. Esetünkben (~ 30-50 km²) az órás felbontás elegendőnek bizonyult.

Irodalom

Dövényi Z. (szerk.) (2010): Magyarország kistájainak katasztere, MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest.

Scharffenberg A. W., Fleming J. M. (2010): Hydrologic Modeling System, HEC-HMS User's Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

Hubina M. (2010): A Bükkös-patak felmérése és domborzatmodell készítése, BME Építőmérnöki Kar, diplomamunka.

Kontur I., Koris K., Winter J. (2003): Hidrológiai számítások, Linográf Kiadó, Gödöllő.