

HIDROLÓGIAI KÖZLÖNY

A MAGYAR HIDROLÓGIAI TÁRSASÁG LAPJA • 92. ÉVF. 3. SZÁM • 2012. JÚLIUS-AUGUSZTUS-SZEPTEMBER

TARTALOM

- 1 Dr. Orlóci István (1929-2012)
4 Dr. Haszpra Ottó (1928-2012)
5 Juhász József: Alternatív vízgazdálkodási stratégia
15 Nagy István: Az Alföld vízgondjainak kezelése: A Tisza folyó.
23 Bezdán Mária: A Debrecen K-2073 jelű kútban észlelt rétegvízszint változásainak kapcsolata a tiszai vízállásokkal és a vízállás-kilengésekkel
27 Szigyártó Zoltán: Folytonos eloszlások új illeszkedés-vizsgálata – A Fisher-Szigyártó próba továbbfejlesztése
33 Faludi Gábor: A Duna és Baja
39 Széles Borbála – Torma Péter – Hajnal Géza: A Bükkös-patak vízgyűjtőjének hidrológiai vizsgálata
47 Laurinyec Pál – Szilágyi József: A diszkrét lineáris kaszkád modell kiterjesztése visszaduzzasztott folyószakaszokra
55 Imre Emőke – Laufer Imre – Sheng, Daichao: A telítetlen talajok egyes talajmechanikai anyagmodelljei
74 Farkas Róbert – Lenkey László: Visszasajtoló kutak által okozott hőmérséklet-változás modellezése
79 Nagy László – Huszák Tamás: Újabb kiszáradt gát a Közép-Tiszán



3

2012

JOURNAL OF THE HUNGARIAN HYDROLOGICAL SOCIETY • VOL. 92. NO. 3. • JULY-AUGUST-SEPTEMBER 2012

A Bükkös-patak vízgyűjtőjének hidrológiai vizsgálata

Széles Borbála, Torma Péter, Hajnal Géza

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

Kivonat: Napjaink szélsőséges időjárási körülményei között elengedhetetlenül fontosá vált, hogy a különböző vízfolyásokon levonuló vízhozamok és árhullámok nagyságrendjéről helyes képet kapjunk az árvízi kiöntések elleni védekezés hatékony tervezéséhez, illetve vízépítési és vízgazdálkodási munkálatokhoz. Számos empirikus képlet, számítási eljárás létezik, melyek azonban csak bizonyos határok (évszak, vízgyűjtő nagysága) között alkalmazhatók, továbbá egy bizonyos vízgyűjtőn és árhullám esetén eltérő eredményeket adnak. Munkánkban tehát egy kisvízgyűjtő területnek, nevezetesen a Bükkös-patak vízgyűjtőjének hidrológiai elemzését végeztük el, azaz egy konkrét példán keresztül térképeztük fel egy kisvízgyűjtő lefolyási viszonyait. Először expedíciószerű, kontroll helyszíni mérésekkel ellenőriztük a rendelkezésünkre bocsátott vízhozam mérések nagyságrendi helyességét, továbbá közelítő képet kaptunk a patak vízgyűjtőjének fizikai jellemzőiről. Majd hagyományos hidrológiai számítások segítségével sikerült egy, a patakra jellemző vízhozam-görbét és egységárhullám-képet definiálnunk. Végül a vízgyűjtő csapadék-lefolyás kapcsolatát HEC-HMS vízgyűjtő modellező szoftverrel szimuláltuk. Ez utóbbi módszerrel bizonyos időszakokra megmondható egy mértékadó csapadék-eseményre a vízgyűjtő hozzávetőleges válasza, mivel a modellt két eltérő lefolyási viszonyokkal jellemezhető vegetációs időszakokra (téli és tavaszi) sikerült kalibrálnunk és validálnunk. Mértékadó csapadékadatok ismeretében tehát, nem csupán a tetőző vízhozamra tudunk becslést adni akár több keresztmetszvényben, hanem teljes árhullám-képre és a levonulási időkre is.

Kulcsszavak: hidrológia, kisvízgyűjtő, lefolyás modellezés.

Bevezetés

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 otthonukból. Azonban a térség nemcsak a médiából ismert: a területen a Pílii Parkerdő Zrt. erdőművelést folytat, amelyet jelentősen érint a terület vízháztartása.

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.

Munkánk célja egy kisvízgyűjtő területnek, nevezetesen a Visegrádi-hegységben található Bükkös-patak vízgyűjtőjének az átfogó hidrológiai elemzése volt.

A vízgyűjtő-terület jellemzésekor a következő tematikát követtük: először a helyszín bejárásával és a patak különböző pontjain végzett vízhozam-mérésekkel ismertük meg a terület és a patak hidrológiai viszonyait. Ebben nagy segítséget nyújtott számos forrás: földtani leírások, korábbi diplomamunkák és könyvtári kutatómunka során talált történeti és kataszteri leírások. A vízgyűjtő terület általános leírása, a mérési eredmények, illetve az ezekből levont következtetések az első és második fejezetben olvashatók. A hidrológiai mérésekkel a vízhozamról és levonuló árhullámok nagyságrendjéről kaptunk átfogó képet.

A harmadik fejezet hidrológiai számításainak alapját a vízhozam és vízállás mérések eredményei, illetve az egyidejű csapadék adatok képezték. Az itt számított, patakra jellemző vízhozam-görbe és egységárhullám-kép segítségével fagymentes időszakokra, ismert csapadékeseményből egyértelműen meghatározható a vízgyűjtő válasza. Ez nagy segítséget nyújthat az árvízi kiöntések előrebecsléséhez.

A negyedik fejezetben található a vízgyűjtő csapadék-lefolyás HEC-HMS programmal való modellezése. Mivel a modellt téli és tavaszi időszakokra is kalibráltuk és validáltuk, így valóban elmondható, hogy a hagyományos hidrológiai számításokat a számítógépes modellezés végeredményeivel kiegészítve átfogó képet kaptunk a kisvízgyűjtő csapadék-lefolyás kapcsolatáról. Az ilyen modellek számos modell-paraméterrel 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 Duna vízgyűjtő területéhez, a Közép-Duna alegységhez tartozik. A patak Szentendrénél torkollik a Dunába, a település legjelentősebb állandó vízfolyása (*1. ábra*).

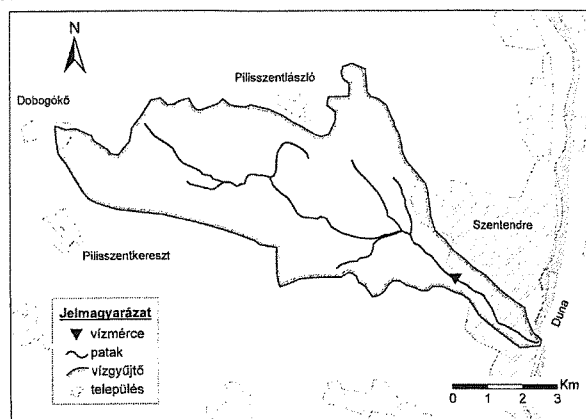
A patak teljes vízgyűjtő-területe 39,2 km². Hossza 16 km, medrét a városban kiépítették, illetve a belvárosi, torkolathoz közeli részeken a házakat magasított partfalak védik az áradástól. További árvédelmi létesítmények építése nem volt szükséges, mert a nagyeesű patakokon sem a kora tavaszi hóolvadásból eredő, sem a nyári záporok okozta árhullámok nem tartósak.

Mederrendezési munkálatokról, patakon létesítendő vagy rekonstruálandó, esetleg elbontandó műtárgyakról (pl.: hordalékfogó gátak, duzzasztóművek) számos tanulmányterv készült az elmúlt években, de ezek nem valósultak meg.

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 Bükkös-patak vizét a Dunazug-hegység 17 forrása és három patakja táplálja, amelyek az alábbiak: Király-patak, Jóvizű-patak, Száraz-patak.

A vízgyűjtőn a hegytetők jó vízellátásúak, a peremek vízszegény területek. A vízhozamok nagy szélsőségek között ingadoznak. A vízhiány és a meredek lejtők mellett állóvizek sem jöhetnek létre, mert a keletkező mélyedések gyorsan feltöltődnek (Dövényi 2010).



1. ábra: A Bükkös-patak vízgyűjtője

A vízfolyás mentén szétszórtan elhelyezkedő, nagyszámú forrás többsége foglalt. Bár a helyszín bejárásakor a turista-térképen és a VITUKI nyilvántartásában foglaltként szereplő források egy részét az idők során tönkretette a

fagy, elmosták a viharok és a korábban rendesen kiépített források helyén csak törött csövek találhatók. A források vízáadó köze a miocénben keletkezett andezit, illetve andezittufa, amely erősen vízzáró tulajdonságokkal rendelkezik.

A források vizének hőmérséklete évszaktól függetlenül állandónak, 10,5 °C-nak vehető. Hozamuk változó, viszonylag kicsi, a tavaszi hóolvadáskor viszont közbőzéssel jelentősebb hozamokat is mérünk.

2. Helyszíni mérések

A hidrológiai számítások elvégzéséhez, illetve a vízgyűjtő modellezéséhez gyakori és pontos vízállás és vízhozam adatokra van szükség. A Bükkös-patakon 2005-ben telepített 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 a Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi és Vízügyi Igazgatóságtól (KDV-KÖVIZIG) kaptuk meg.

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

Közbőzéssel a források vizének hozamát határoztuk meg. A Lajos-forrásnak háromszor határoztuk meg a hozamát, először a téli időszakban (2011. 01. 23-án 1,23 l/s), másodszor a tavaszi olvadások idején (2011. 03. 18-án 1,12 l/s), harmadszor pedig nyáron (2011. 08. 13-án 0,67 l/s). Tehát jelentős különbség a forrás vízhozamában a nyári, száraz és a téli-tavaszi, csapadékosabb időszaki hozamok között van. A viszonylag hasonló januári és márciusi mérési eredmény oka a 2011. januári magas középhőmérséklet lehetett, ami miatt nemcsak márciusban volt nagy a patak vízhozama (tavaszi olvadások miatt), hanem januárban is. A mérési eredményeket a 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A közbőzések mérési eredményei

Dátum	A forrás neve	Vízhozam (l/s)
2011. január 23.	Lajos-forrás	1.23
2011. január 23.	Kékvízű-forrás	0.05
2011. január 23.	Kármán-forrás	0.04
2011. február 5.	Csepel-forrás	0.02
2011. március 18.	Lajos-forrás	1.12
2011. augusztus 13.	Lajos-forrás	0.67

1. Sebességmérő szárnnyal olyan szakaszokon határoztuk meg a vízhozamot, ahol a mederszelvény felmérése nem okozott nehézséget (például: városi szakaszokon és a vízmércénél kiépített mederben). A torkolatnál 2011. 02. 02-án végzett két mérés esetén egyszerű trapéz alakú mederrel számoltunk. Ekkor a patak vízhozama körülbelül 40 l/s volt, amely kisvíz idején egy reális érték, azonban feleakkora, mint az igazgatóság által, erre a napra számított 85 l/s. A vízmércénél (2011. 04. 14-én) a szélesebb meder miatt három részre osztott szelvény esetén az egyes szelvényterületeken mért vízhozamokat összegeztük. Ekkor a vízhozam két mérés alapján körülbelül 60 l/s volt, mely nagyvíz idején elfogadható érték és szinte megegyezik a KDV-KÖVIZIG által számolt 73 l/s-os vízhozammal.

2. A kémiai vízhozam-méréskor ismert koncentrációjú jódosztatlan só (NaCl) oldatot öntöttünk a vízfolyásba és a beadagolás helyétől kellő távolságban elektrokémiai módszerekkel határoztuk meg annak hígulását. Általában 500 vagy 1000 gramm sötét oldottunk fel 10 liter vízben, olvadáskor előfordult, hogy 2000 grammot is. A számított mérési eredmények a 2. táblázatban szerepelnek.

2. táblázat: Sózásos vízhozam-mérés eredményei

(Sózás 1.: konduktométerrel, Sózás 2.: Kahlisco Surveyor 3 műszerrel)

Dátum	A mérés helye	Sózás I. (l/s)	Sózás II. (l/s)	Forgóú szárnyas (l/s)	VIZIG számított (l/s)
2011.02.02	Torkolat	164.2		41.9	85.0
2011.03.18	Királykúti-f. mellett	6.5	166.0		1600.0
2011.04.14	Torkolat	277.0	167.4		
2011.04.14	Vízmérce		95.2	58.6	73.0

A 2. táblázat vízhozam értékei pontatlanok, többnyire eltérnek a KDV-KÖVIZIG által mért vízállásokból számolt vízhozamoktól. A két műszer által mért értékek között is nagyságrendi különbségek vannak.

2011. 02. 02-án téli időjárás mellett a vízállás alacsony (18 cm), a hozam kevés (85 l/s) volt. A helyszíni kémiai vízhozam-mérések eredményei kétszer akkorának adódtak, mint a számítottak, mégis elfogadhatónak tekinthetők, mivel a szelvények méretei, a mérési hely (vízmérce 4,3 km-re van a torkolattól) és a mederanyag különbözősége is okozhatott ilyen nagyságú eltérést. (A forgószárnyas mérést figyelmen kívül hagyjuk.)

2011. 03. 18-án végzett terepi mérésekkor a jelentős tavaszi oladás miatt kiemelkedően magas volt a vízhozam, a csapadék is jelentős és tartós volt ebben az időszakban, a patak sok helyen elhagyta a medrét. A vízállás napi értéke március 18-án 71 cm, a számított vízhozam 1600 l/s volt. Ezek alapján az oladás valamivel 2011. 03. 18. előtt indulhatott meg. Sajnos a helyszíni mérésekkel ezeket az értékeket nem tudtuk alátámasztani, mivel a nagy vízhozam lehetett volna a mérések kivitelezését.

2011. 04. 14-én alacsony vízállás és vízhozam volt (mért vízállás: 16 cm, számított vízhozam: 73 l/s). Ezek az értékek az általunk mértekkel jó egyezést mutatnak.

A mérési tapasztalatok alapján a következő összegzés tehető:

- A vízmércénél történő mérés egyik célja a későbbiekben bemutatott és a modellezés kalibrálási adatainak előállításához használt vízhozamgörbe ellenőrzése volt. A vízmércénél egy alkalommal sikerült mérni, a nagyvízi állapotban a mérés az erős sodrás miatt megghiúsult. Az sikeres mérés eredményei jó egyezést mutatnak a számított értékkel.

- Különösen nagyvíz esetén a forgószárnyas sebességméréseken alapuló vízhozam-mérés (több függély felvételével) a mérési eredmények szórása alapján nagyobb pontossággal kivitelezhető.

2. Hidrológiai számítások

2.1. Hidrológiai adatok

A hidrológiai számításokhoz szükséges kiindulási adatokat, azaz a patak vízállás-vízhozam adatsorait, napi bontásban a KDV-KÖVIZIG-től kaptuk meg. Az igazgatóság 2005-ben telepített egy úszós, 15 percnként regisztráló műszerrel felszerelt lapvízmércét (004607 állomás) a Bükkös-patakon, a torkolattól 4,2 fkm-re, melynek nulla-pontja 134,30 m B. f. magasságban van. A vízmércéig a patak vízgyűjtő területe 33,4 km² (1. ábra).

Igy rendelkezésünkre álltak a 2005-2009-es időszakra terjedő napi átlagos vízállás adatsorok és a körülbelül havi rendszerességgel mért vízhozam adatokból készítette vízhozam-görbék alapján számított napi vízhozam adatok.

Néhol az adatsorok hiányosak. Például: 2005-ben csak július elejétől rögzítettek vízállás adatokat, illetve 2006 februárjából és 2009 decemberéből hiányzik néhány vízállás adat. Ugyanez állapítható meg a vízhozam adatsorokról.

Az igazgatóságtól a 2005-2009 között levonuló nagyobb árhullámok 15 perces vízállás adatait is megkaptuk, amelyeket a HEC-HMS vízgyűjtő-modellező program számításaihoz használtunk fel.

2.2. Csapadékadatok

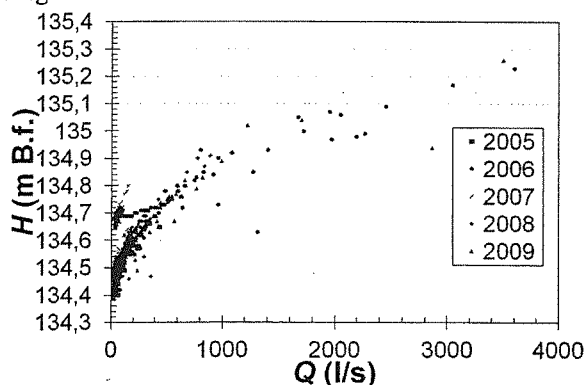
A hidrológiai számításokhoz szükséges csapadék adatokat két helyről szereztük be. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) honlapján az éghajlati visszatekintő alatt csak grafikonok, illetve átlagos csapadék adatok találhatók, így a napi csapadék adatokat az amerikai Nemzeti Óceáni és Légköri Hivatal (NOAA) honlapjáról töltöttük le. A hivatal az egész világra kiterjedő meteorológiai adatbázist üzemeltet, amelyből napi adatok ingyenesen lekérhetők, így a vízgyűjtőtől 30 km-re eső Tát település mellett üzemeltetett állomáson mértek is. Az itt rögzített napi csapadékmennyiségeket a 2005-2009-es időszakra a vízhozamokkal együtt ábrázoltuk. Egyértelműen látható, hogy a két idősor között nincs szoros kapcsolat. Ennek oka, hogy a mérőállomás túlságosan messze helyezkedik el a vízgyűjtőtől. A csapadék mind területi, mind időbeli eloszlása a hozzávetőleg 30 km-en jelentősen megváltozhat, így a mérőállomást és a vízgyűjtőt érő csapadékesemények teljesen függetlenek lehetnek egymástól.

A modell vizsgálatok elvégzéséhez napi rendszerességgű méréseknél részletesebb felbontású idősorokra van szükség. Az Országos Meteorológiai Szolgálatnak legközelebb Budapest-Újpest területén található automata meteorológiai állomása, amely csapadékkintenzitást rögzít. Az árhullámok idejére így a 15 perces vízállásokhoz órás felbontású egyidejű csapadékösszeg értékek álltak rendelkezésünkre.

2.3. Q-H görbék szerkesztése

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

Minden évre (2005-2009) vonatkozóan az egyes napi vízállás-vízhozam adatpárokat Q - H koordináta-rendszerben az 2. ábra mutatja. Ezekre a pontfelhőkre kellett görbét illesztenünk, továbbá az egyes görbék egyenleteit meghatározni. Célunk egyetlen, a patakra jellemző vízhozam görbe megszerkesztése volt.

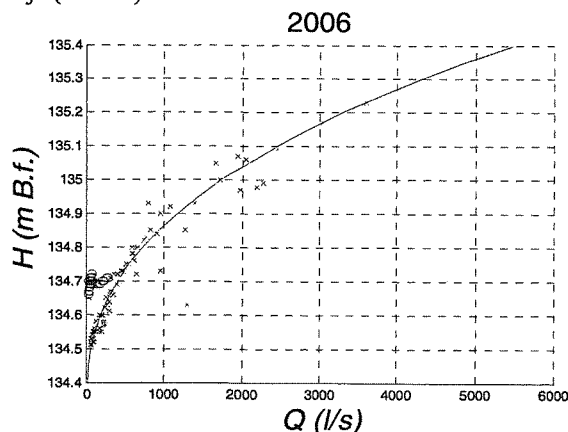


2. ábra: Az öt év Q - H pontpárjai (2005-2009)

Észrevehető, hogy a 2006-os és 2007-es években a pontfelhők az egyik esetben kettő, a másik esetben három helyen, egymás alatt sűrűsödnek. Ennek okát nem ismerjük, feltételezhető, hogy a patak vizét egy árhullámmal érkező majd lerakódó hordalék vagy uszadék visszaduzzasztotta.

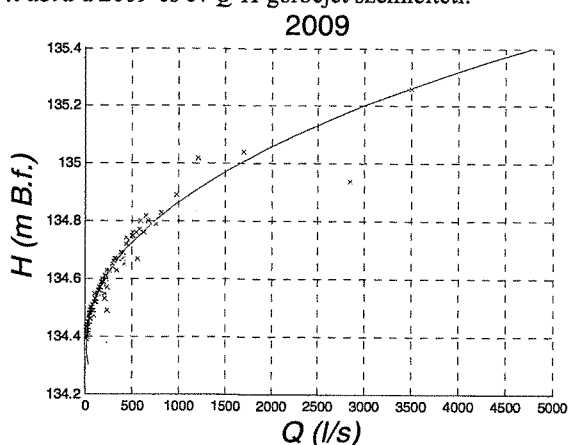
Matlab segítségével határoztuk meg a vízhozam-görbék egyenleteit. A program a legkisebb négyzetek módszerével harmadfokú polinomot illesztett az összetartozó Q - H pontokra. Az egyúthatókat, illetve az egyenleteket hosszuk miatt itt most nem közöljük. Ez a módszer a „szabályos” Q - H görbével rendelkező évekre pontos eredményt és elfogadható görbét adott. Például ilyen volt a 2008. év.

Sajnos ez a közelítés 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. Ilyen adatok esetén a szűrésnek köszönhetően a program ezeket az eseteket nem veszi bele a regresszióba, így azok nem fogják „megzavarni”, azaz a szabályos irányból eltéríteni a görbét. Erre példa a 2006-os év módosított görbéje (3. ábra).



3. ábra: Szűrés utáni vízhozam-görbe, 2006. Körökkel vannak jelölve azok a pontpárok, amelyeket az interpoláció figyelmen kívül hagyott.

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 4. ábra a 2009-es év Q - H görbéjét szemlélteti.

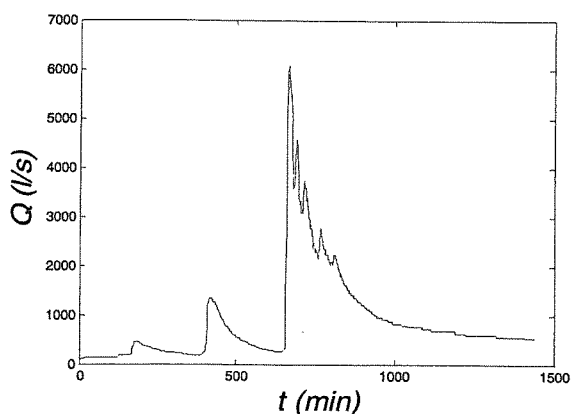


4. ábra: 2009. év vízhozam-görbéje

Ezzel sikerült egy bármikor használható vízállás-vízhozam összefüggést találni a patakra.

A 15 perces KDV-KÖVIZIG-es vízállásokhoz ennek segítségével Matlab-ban 15 perces vízhozam értékeket generáltunk. Például a 2006 májusában levonuló árhullám esetén az ismert vízállásokat beolvastuk a programba, az kiértékelte őket a 2009-es évre vonatkozó Q - H összefüggés egyenletével és az így kapott vízhozam-idősort egy fájlba írta. A 2006 májusában levonuló árhullám fenti program segítségével számított vízhozamait ábrázolja az 5. 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.

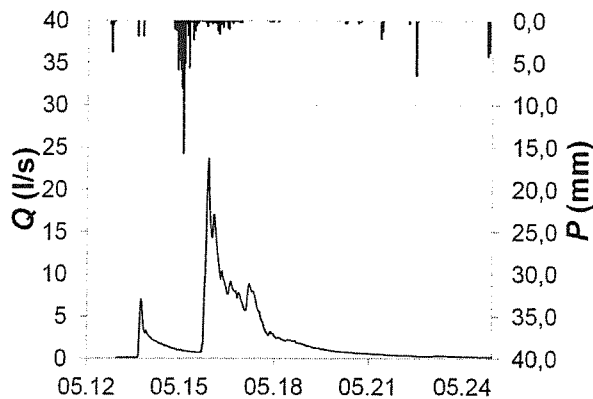


5. ábra: 2006 májusában levonuló árhullám számított vízhozam-idősora.

2.4. Egységárhullám-kép 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 (6. ábra).

Azért esett erre az árhullámra a választás a 14 árhullám közül, mert egyrészt 4 mm-t meghaladó, jelentősebb csapadékmennyiség csak ekkor esett (2008 májusában 11 mm volt a maximum, de ekkor időben az árhullám megjelenése túlzottan eltoltan követte a csapadékot), másrészt az árhullám tetőzése is időben megfelelő módon jelentkezett ebben az időszakban.



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

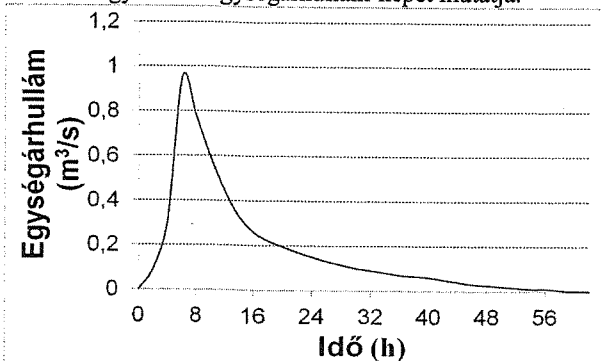
A számított vízhozam nagyságrendi helyességét Chézy-képlettel ellenőriztük, mivel ez a hozam a vízhozam-görbén már nem szerepel, azon extrapolációt kell végezni. Ebben a tartományban a görbe meredeksége kicsi, így az extrapoláció nagy bizonytalansággal jár. A vízmércénél egy vízhozam mérés alkalmával mederfelvételt is végeztünk (a meder méretei adottak voltak: trapéz alakú kiépített meder 60 cm széles fenékkal, 1,3-as rézsűhajlással, 2,18 m-es maximális vízmélységgel). Az esést egy Bükkös-patak geodéziai felméréséről szóló diplomamunkából (Hubina Máté, 2010) kerestük ki, amelyben a felmérés a torkolattól számítva csak a 2+260 szelvényig terjedt, 10,15 %-os eséssel, de nagyságrendileg ez az érték a körülbelül 2 km-re lévő vízmércénél is elfogadhatónak mondható a helyszíni bejárások alapján. A képletben a simasági együttható értékét $k=35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ -ra becsültük. 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 előállítása mellett döntöttünk.

A vizsgált időszakban az árhullámot kiváltó csapadék és az árhullám megjelenése is 2010. május 15-17. között történt. Árhullámot kiváltó csapadéknak, a 2010.05.15-én 14-17 óráig tartó minimális mennyiséget (előkészítő csapadék) nem számítva, a 17-24 óráig lehullott csapadék mennyiség számított. Az első négy órában összesen 24,3 mm, a rákövetkező négy órában 21,2 mm hullott le. Ez összeadva 45,5 mm. Tehát a lefolyásképző csapadék meghatározásakor az első négy órát $(24,3/45,5=)$ 0,53-as, a második négy órát $(21,2/45,5=)$ 0,47-es súllyal vettük figyelembe.

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 $(73,2 \text{ m}^3/\text{s})$, 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). A lefolyási rétegvastagság a kapott $105 \cdot 4080 \text{ m}^3$ és a terület (33 km^2) hányadosaként $31,94 \text{ mm}$ -nek adódott. Ezután a hatékony csapadékot súlyozással számíthattuk $h_1=0,53 \cdot 31,94=16,9 \text{ mm}$, $h_2=0,47 \cdot 31,94=15,0 \text{ mm}$.

Az egységárhullám ordinátái a két hatékony csapadékmagassággal már könnyen számíthatók, a klasszikus módszer göngyölgítéses eljárásával. Az ordináták között több is negatív értéknek adódott. Ezt ábrázolva egy időben „pulzáló” grafikonot kaptunk, amelyet kézzel kiegyenlítettünk. A 7. ábra a kiegyenlített egységárhullám-képet mutatja.

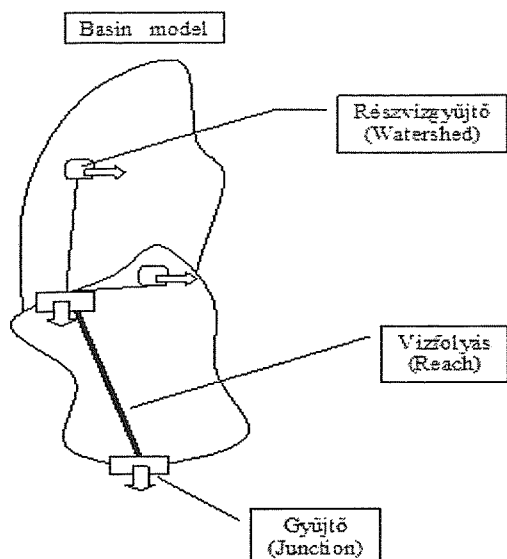


7. ábra: Kiegyenlített, 4 órás egységárhullámkép, 2010. május.

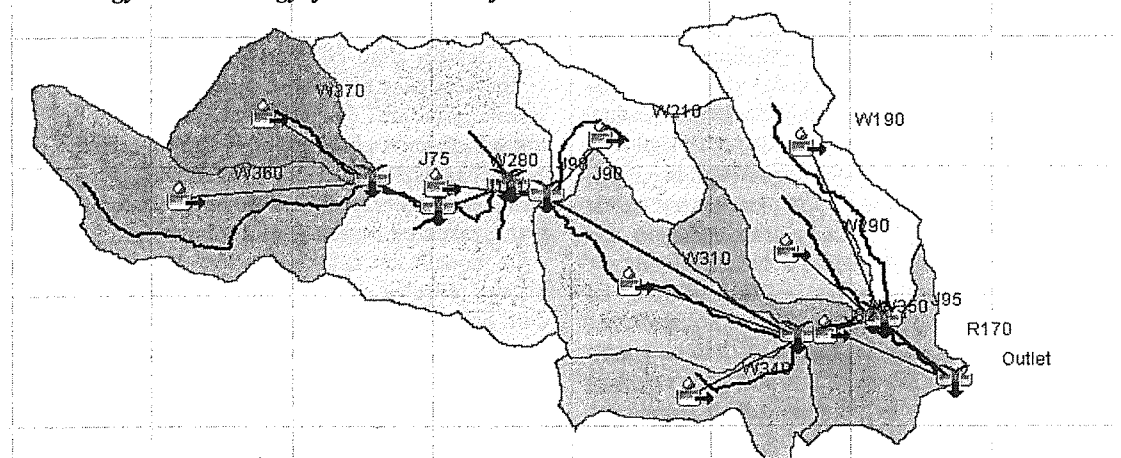
3. A lefolyás számítása HEC-HMS modellel

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, a modellparaméterek beállítása.

A vízgyűjtő (basin) modell fizikailag reprezentálja a vízgyűjtő területet. Többféle hidrológiai egység variálásából, összekapcsolásából tevődik össze (részvízgyűjtő, vízfolyás, gyűjtő, forrás, kifolyás, tározó, elvezető csatorna), melyek közül hármat alkalmaztunk a Bükkös-patak modelljében (részvízgyűjtő, vízfolyás, gyűjtő). A 8. ábra egyszerűsített vízgyűjtőt és a használt hidrológiai egységeket szemlélteti.



8. ábra: Egyszerűsített vízgyűjtő terület modellje



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

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 (Initial storage) s a növényzet által maximálisan felfogható, mm-ben megadott vízmennyiséget (Max Storage) kell megadni.

A veszteségek számítására az Initial and Constant Loss Method-ot választottuk, mivel ez a módszer igényli a legkevesebb bemenő adatot, amely nagy előnyt jelentett, mert a terület talajviszonyairól nem állt rendelkezésünkre megfelelő mennyiségű információ. A kezdeti veszteség (Initial Loss) a leesett csapadékmennyiségből beszivárgó vagy a részvízgyűjtőn eltárolt vízmennyiséget jelenti, a felszíni lefolyás kezdete előtt. A Constant rate paraméter azt szabja meg, hogy a kezdeti veszteség elérését követően mekkora arányú a további beszivárgás.

Az árhullám transzformációnál hét módszer közül lehetett választani, amelyek közül a meder változatossága (kiépítetlen, kavicsos, erdei patakmeder) miatt újból a csupán

A részvízgyűjtő területet pontszerűen ábrázolt úgynevezett watershed jeleníti meg, melynek nagyságát bemenő adatként meg kell adni. 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 9. 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. A részmodell feladata mért adatok vagy csapadék maximum függvények felhasználásával kiszámítani a vízgyűjtőn elérő teljes csapadékmennyiséget. Miután egyetlen, a vízgyűjtőn kívül elhelyezkedő állomás csapadékadatai álltak rendelkezésünkre, így a csapadék térbeli eloszlását homogénnek kellett feltételeznünk a teljes területre. A kalibráció elvégzéséhez a mért vízhozam-idősorokat szintén bevittük a modellbe.

egy paraméter beállítását igénylő SCS transzformációs módszert választottuk ki. A késleltetési időket a részvízgyűjtők területeinek arányában súlyozva határoztuk meg.

A felszín alatti hozzáfolyás (Baseflow) meghatározásánál, mivel a területre jellemző, hónapokra bontott konkrét értékek nem álltak rendelkezésünkre, a lineáris tározó (Linear Reservoir) modellt választottuk. Ez módszer a felszín alatti víz tározódását és mozgását egymás utáni tározók töltődésén és ürülésén keresztül közelíti. Esetünkben mindössze egy talajvízréteget definiáltunk. Kétféle paramétert kell kiválasztani az egyes talajvízrétegekre: egy kezdeti értéket m^3/s -ban (GW Initial) és egy tározási együtthatót (GW Coefficient).

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 levonulását jelenti. Az általunk választott értékek a patakszakaszok térképről lemért hosszai arányosak.

3.2. Vizsgált időszakok kiválasztása

A modell felállításához, ellenőrzéséhez és a vizsgálatokhoz összesen 14 árhullám csapadék-vízhozam adatsorai álltak rendelkezésünkre. Ezek közül csak a

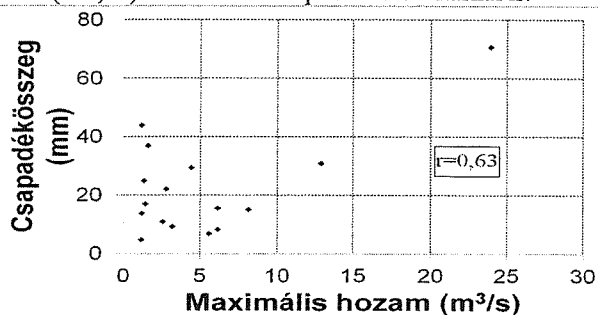
2008. júliusi,	2010. júniusi,
2009. februári,	2010. szeptemberi,
2010. áprilisi,	2011. januári és
2010. májusi,	2011. márciusi

adat-párokról 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 órás csapadék értékeket mérő automatikus műszer.

Ilyen időszakok mellett nem volt lehetőségünk hosszú időszakok vizsgálatára. Hirtelen záporok, zivatarok keltette árhullámok kialakulásának vizsgálatát tűzhattuk 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 csapadékintenzitás (mm) és a csapadékösszeg (mm) függvényében (10. ábra). 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 kapcsolatára kapott érték: $r=0,63$. Ez 16 elemszámú minta esetén stabilnak tekinthető. Ugyanilyen erősségű a reláció ($r=0,60$) a maximális csapadék-intenzitásnál is.



10. ábra: Csapadékösszeg és a maximális hozam kapcsolata

A kalibráció elkezdése előtt próbáltuk a fent felsorolt árhullámok közül (összetartozó csapadék-lefolyás párok) a legnagyobb csapadékokat (4 mm feletti) és a hozzájuk tartozó vízhozamokat kiválasztani.

A 2010. májusi adatsor ezt a feltételt ugyan kielégítette, azonban hasonló nagyságrendű csapadékeseményt a validáláshoz nem találtunk. A 2008. júliusi és 2010. szeptemberi események esetén a vízhozam jóval alulmarad a várthoz képest, ami azt feltételezi, hogy az Újpesten mért csapadék nem jellemzi jól a vízgyűjtőt ért csapadékot.

A 2010. júniusi eseményt nem tekinthetjük rövid idejű csapadéknak, mert több mint két napig tartott. Az ennek hatására kialakuló viszonyokat (pl. erősen átázott talaj) nem tudjuk leképezni a modellben, amennyiben rövid, gyors lefolyású eseményeket vizsgálunk.

A modell felállítása végeredményben az alábbi eseményekkel történt, vizsgálva ezzel a téli, illetve a kora tavaszi állapotokat: 2011. január, 2009. február, valamint: 2011. március vége és 2010. április.

3.3. A modell kalibrálása

A modell arányosításakor elsődleges célunk 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.

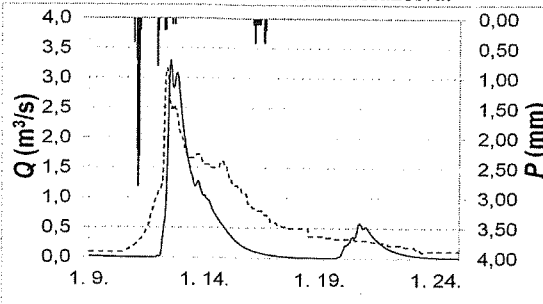
Az OMSZ adatai szerint ezekben az időszakokban csak eső esett, azaz hó nem volt, így a meteorológiai modellt nem kellett olvadás beállításával bonyolítani.

A modell kalibrálása több nehézségbe is ütközött. Először csak a veszteségeket, transzformációs eljárásokat és készletetést vettük figyelembe, minimalizálva a szabad változók számát. Így azonban a modell túl gyors lefutást 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 (Canopy) hatásának bevezetésével próbáltuk modellezni. Végül egyedül a felszínen keletkező veszteségek és a patakszakaszok (reach elements) veszteségével nem számoltunk. A szabad paraméterek száma végeredményben 9 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 Routing-nál beállítható időket a patakszakaszok hossza szerint súlyoztuk.

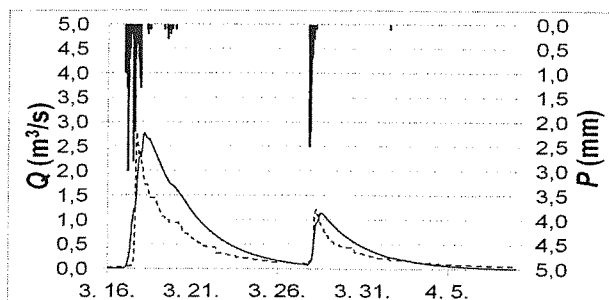
A modellt két különböző időszakra igyekeztünk kalibrálni, egy télire és egy tavaszra. A futtatások során igazolódt, hogy a modell nagyon érzékeny az évszakokra, azaz a tavaszi, olvadásos időszakra vonatkozó paraméterek nagyban különböznek a téli, fagyott időszaktól. Az előbbi időszakban a talaj vízfeltevő 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 beszívargást 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 11. ábra szemlélteti, folytonos vonallal a számított, szaggatott vonallal a mért vízhozamokat ábrázolva.



11. ábra: Kalibráció a 2011. januári eseményre. (A modell által számított vízhozam folytonos vonallal, a mért vízhozam szaggatott vonallal, míg a csapadék oszlopdiagramként jelölve.)

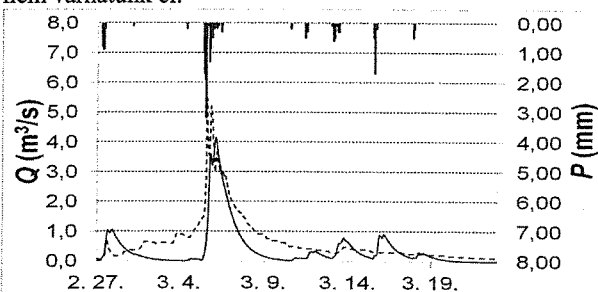
A kalibráció eredményét a tavaszi időszakra, vagyis a modell által számított vízhozamot a 2011. március végi árhullámra a 12. ábra szemlélteti.



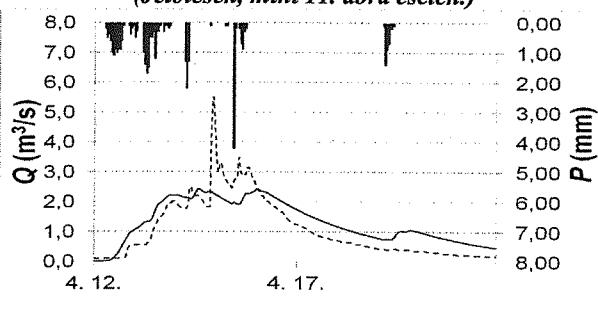
12. ábra: Kalibráció a 2011. március végi eseményre. (Jelölések, mint 11. ábra esetén.)

3.4. A modell validálása

A modell paramétereinek helyes megválasztásának ellenőrzését (validációt) egy független esemény szimulálásával végeztük. Ekkor már a paraméterek értékein nem változtatunk. A validáció eredményeit a 2009. februári árhullámra a 13. 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 csapadékadatok és paraméterek bizonytalanságát. Ennél nagyobb pontosságot a modell felállításának kezdeti stádiumában nem várhatunk el.

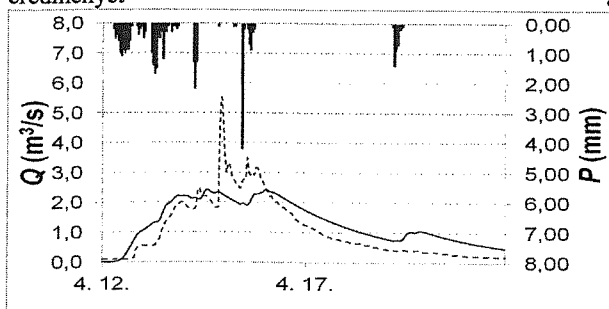


13. ábra: Validáció a 2009. február végi eseményre. (Jelölések, mint 11. ábra esetén.)



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

A validációt a tavaszi időszakra is elvégeztük, amelynek eredményét



14. ábra mutatja. A számított árhullám lefutása mind időben, mind nagyságrendben nagyon jól illeszkedik a mért

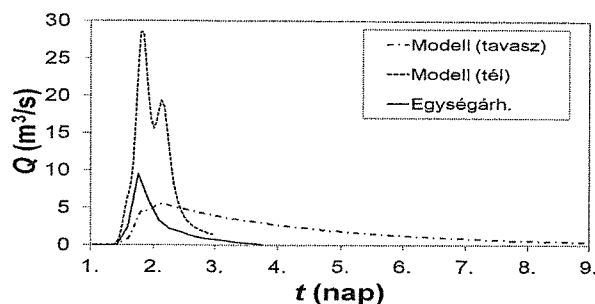
értékekhez. Azonban látható, hogy a modell a maximális vízhozamot jelentősen alulbecsüli. A tetőző hozam megnövekedésének meredeksége arra utal, hogy egy rövid idejű hirtelen csapadékincrezés az újpesti mérőállomás térségében nem alakult már ki.

3.5. A modell alkalmazása, vizsgálatok

Az első vizsgálat során a 2011. március végi eseményekre végeztünk modell számításot téli modell paraméterekkel. A számított hozam a mértet jelentősen felülbecsüli (közel azonos maximális csapadék és maximális hozam, mint 2011. januárban), pedig a korábbi két időszakhoz képest csak 2 hónap a differencia. Mégis: a futtatásból pontosan látszik, hogy az olvadások kezdetével, ahogy a fagyott föld felenyed, és a növényzet megjelenik, a valóságban a hozam ezek következményében csökken a tavaszi időszakban. Tehát ha a modellben egy tavaszi időszakra (nagyobb beszivárgás, sűrűbb növényzet) egy téli időszak (fagyott földréteg; hiányzó növényzet: csak avar) jellemző paraméter beállításait alkalmazzuk, úgy a számított hozam jelentősen felülbecsüli a mért hozamokat.

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 ezen csapadékok hatására kialakuló árhullámokat. Ezt végeztük el a már említett két időszakra és hasonlítottuk össze az egységárhullámok segítségével generált árhullámmal.



15. ábra: 4 óra időtartamú, 10 mm/h intenzitású csapadék hatására levonuló árhullám a modell és az egységárhullám-kép alkalmazásával

A mértékadó csapadék-intenzitást 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 összegyűlekezési idővel (τ). Ez a mi jelentősen elnyújtott vízgyűjtőnk esetén 4-8 óra körüli. Az ehhez tartozó csapadékincrezés $p=3\%$ -os visszatérési valószínűség esetén, ha a $\tau=4$ órát feltételezünk $i=16,4 \text{ mm/h}$, míg $\tau=8$ óra esetén $i=9,7 \text{ mm/h}$. Ezen értékek alapján egy 4 órás 10 mm/h intenzitású csapadékokat vettünk fel, mint mértékadó eseményt. A csapadék intenzitását egyenletesnek feltételeztük. A 15. ábra szaggatott vonallal jelölt grafikon-

ján egy második alacsonyabb szintű tetőzés is látható, amely a vízgűjtő alakjából, valamint abból származik, hogy 9 részvízgűjtőre bontottuk a területet. Ennek valóság alapja megkérdőjelezhető. A tetőző vízhozam, illetve a lefolyó víztömeg értéke nagyságrendileg elfogadható.

Elvégeztettük a modellel a számításokat a tavaszi időszak paramétereivel is. Ezt a 15. ábra pont-vonal 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 tetőző vízhozam természetesen utóbbi esetben csökken, hozzávetőleg a hatodára.

Az egységárhullám-kép alkalmazásával számított árhullámot folytonos vonallal jeleníti meg a 15. ábra. Az ár levonulási ideje a vártnál kisebb, a tetőző vízhozam nagyságrendileg elfogadható.

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 részvízgűjtők számának redukálásával csökkenteni lehetne. Várakozásaink szerint ez a modell eredmények pontosságát nem befolyásolná jelentősen, viszont a kalibrálás folyamatát jelentősen egyszerűsítene.

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

Két hidrológiai eseményre sikerült közelítőleg kalibrálnunk a modellt. Ez már önmagában lehetőséget adott a vizsgálatok elvégzésére és a vízgűjtőt 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 beszívargás 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 vízgűjtőn a mértékadó nagyvízi esemény nem hirtelen lezú-

duló 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 Bükkös-patak vízgűjtőjének HEC-HMS szoftverrel való modellezése nemcsak a program megismerését tette lehetővé, hanem a hidrológiai folyamatok pontosabb megértését. Egy ilyen modellel lehetőségünk lenne kis- és közepes vízgűjtők lefolyási viszonyainak általánosabb feltérképezésére konkrét példákon keresztül.

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

A modell vizsgálatok pontosságát leginkább befolyásoló tényező a csapadékadatok mennyisége és minősége. A tizenegy 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 vízgűjtőtől. Ilyen vizsgálatokhoz szükségesnek látjuk csapadékmérő állomás(ok) telepítését a vizsgált vízgűjtőre. A rögzítés időbeli felbontását a vízgűjtő mérete határozza meg. Esetünkben (~ 30-50 km²) az órás felbontás elegendőnek bizonyult.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóságnak és az Országos Meteorológiai Szolgálatnak a rendelkezésünkre bocsátott adatokért. Továbbá köszönetüket fejezzik ki Keve Gábornak a modell farendszerének felállításáért valamint a Pilis Parkerdő Zrt.-nek a helyszíni bejárásoknál nyújtott segítségükért.

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.

A kézirat beérkezett. 2012. február 15-én

SZÉLES BORBÁLA

Másodéves BSc hallgató, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar,
e-mail: boriszeles@gmail.com

TORMA PÉTER

doktorandusz, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék,
e-mail: torma@vit.bme.hu

HAJNAL GÉZA

PhD, egyetemi docens, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék,
e-mail: hajnal@vit.bme.hu

A hydrologic study of the watershed of Bükkös Creek

Szeles, B. – Torma, P. – Hajnal, G.

Abstract: In our days, under the extreme circumstances of weather conditions, it has become basically relevant to get an appropriate introspection in the magnitude of flood discharges, which may definitely give a hand at flood control, hydraulic engineering and water management. Numerous empirical formulas exist, which can be applied within certain limits (season, size of the watershed), furthermore using them in specific watersheds eventuate dissimilar results. In our study we execute hydrological analysis of a small watershed namely, the basin of Bükkös Creek, found in the Hungarian Visegrádi-hegység. We measured the runoff volume of the stream in 2011 several times to control the discharge values received from the authorities. These data were the foundations of the further calculated (with traditional hydrologic methods) unit hydrograph and rating curve. Finally we built a HEC-HMS model to simulate the hydrologic response of the watershed for different rain events. By calibrating and validating the model for two periods (winter and spring) with different runoff ratios, we were able to provide an approximation not only for the peak discharge but also for the whole time series at different cross-sections.

Keywords: hydrology, small watershed, runoff modelling.