

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**

Építőmérnöki Kar

TDK Konferencia 2014

## **A Kemence-patak térségének hidrológiai vizsgálata**



### **Készítette:**

Nagy Eszter Dóra

Kárpáti Balázs

### **Konzulensek:**

Dr. Bene Katalin

Dr. Hajnal Géza

## Tartalom

1. Bevezetés.....	1
2. A terület bemutatása.....	2
2.1 Történelmi áttekintés.....	2
2.2 Geológiai jellemzők.....	3
2.3 Élővilág.....	4
2.4 Hidrológiai jellemzők.....	5
3. Helyszíni mérések.....	6
3.1 Mérések bemutatása.....	6
3.2 Számítások.....	8
3.3 Mérések kiértékelése.....	9
4. Tározó.....	10
4.1 Tározókról általánosan.....	10
4.2 Kemencei tározó a múltban.....	11
4.3 Kemencei tározó tönkremenetele.....	12
4.4 A káresemény időszakában kialakult hidrológiai helyzet.....	12
4.5 A bukó tönkremenetele.....	15
4.6 A tározó napjainkban.....	15
4.7 A tározó fontosabb görbéi.....	16
5. Modellezés a HEC-HMS szoftverrel.....	19
5.1 A szoftver bemutatása.....	19
5.2 A modell felépítése, kiindulási adatok.....	19
5.3 Kalibrálás és validálás kis vízhozamokra.....	20
5.4 Érzékenységvizsgálat kis vízhozamok esetén.....	26
5.5 Kalibrálás és validálás nagy vízhozamokra.....	35
5.6 Tározó hatásának modellezése.....	38
6. Összefoglalás.....	44
7. Köszönetnyilvánítás.....	45
8. Irodalomjegyzék.....	46
9. Mellékletek.....	48
9.1 melléklet: A tározó eredeti adatai, 1999.....	48
9.2 A tározó műszaki adatai, 2009.....	50
9.3 melléklet: Éves tározótérfogat számítása.....	51
9.4 melléklet: Teljes kiegyenlítésű tározótérfogat számítása.....	51

9.5 melléklet: Többéves tározótérfogat számítása.....	52
9.6 számú melléklet: Korrelációs számítás .....	54

## 1. Bevezetés

Dolgozatunk témája a Kemence-patak, mely Magyarország északi részén, a Börzsönyben folyik, annak egyik „ütőere”. Sok más hazai kisvízfolyáshoz hasonlóan szélsőséges vízjárású patakról van szó, mely a magyar-szlovák határt átlépve végül az Ipolyba szállítja vizét. A vízfolyás mentén csak néhány kisebb település található, ám a levonuló árvizek így is jelentős károkat tudnak okozni az ott élőknek. Emberi életet még nem követeltek az áradások, de az épített környezetben és a lakosok értékeiben rengeteg kárt tett a víz. A káresemények mérséklésére épült egy tározó, ám az eddigi legnagyobb és legrendkívülibb csapadékesemény hatására levonuló árhullám pár év üzemelés után tönkretette a tározót és az eddigi legnagyobb károkat okozta.

Mindemellett sokak szerelmesei annak a látványnak, melyet a patak és mellékágai által behálózott természetvédelmi terület nyújt a Börzsönyben. Fontos megemlítenünk a természeti értékeket, hiszen rengeteg turistának, nyaralónak ad kikapcsolódási lehetőséget ez a környezet.

Elsőként bemutatjuk a patak vízgyűjtőjének főbb jellemzőit. Bemutatjuk az ott folytatott emberi tevékenységeket, a geológiai adottságokat, az élővilágot illetve a patak vízminőségi állapotát, valamint a főbb hidrológiai jellemzőkre is kitérünk.

A harmadik fejezetben a helyszíni bejárás során végzett méréseinket részletezzük. Ismertetjük a mérések célját, menetét, kivitelezését és eredményeit.

Ezután a patakon található tározóval foglalkozunk. Részletesen ismertetjük a régi tározót és a tönkremenetelének okait, körülményeit, valamint kitérünk a tározó mai helyzetének ismertetésére is.

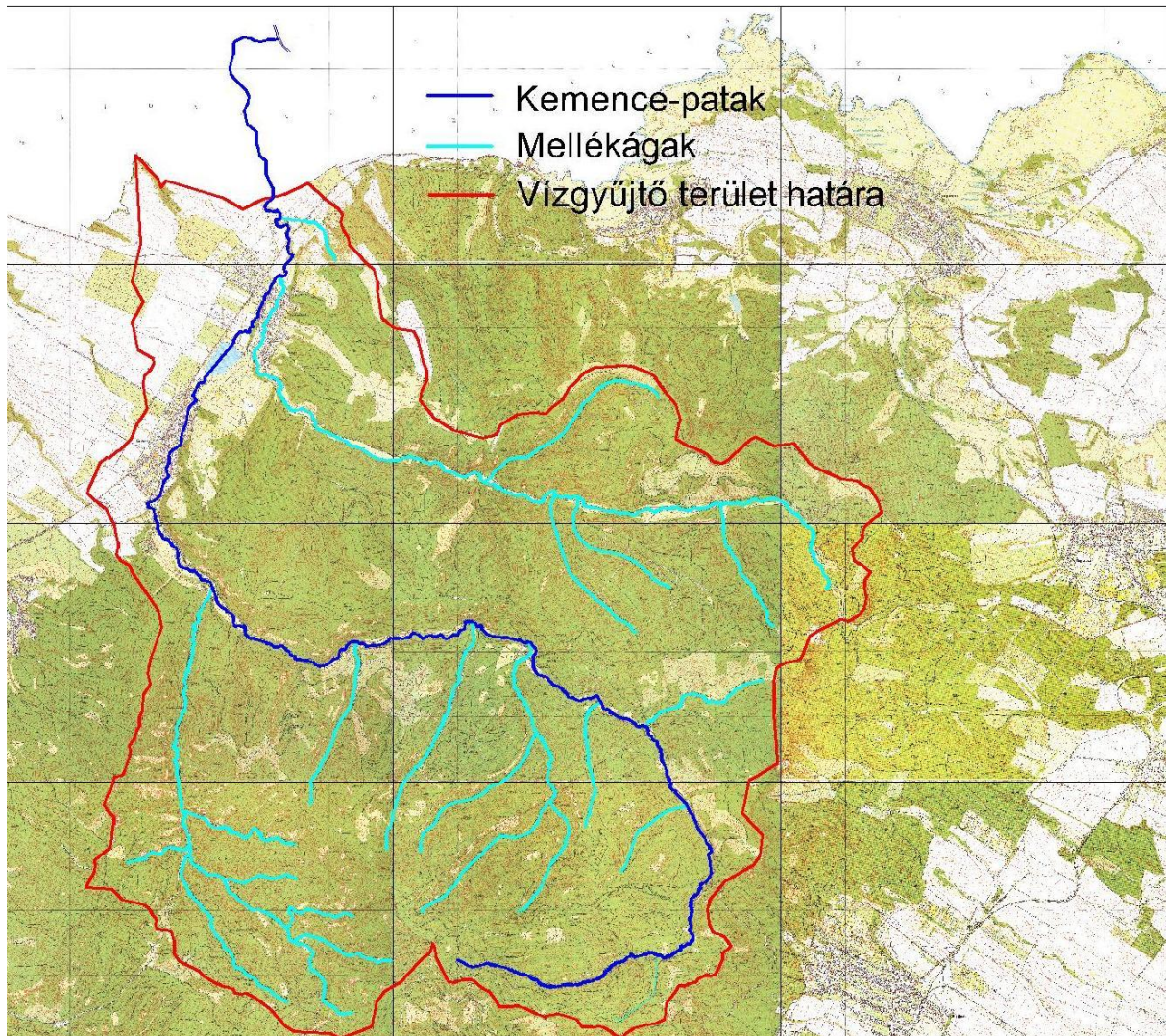
Az ötödik fejezetben bemutatásra kerül az általunk használt modellező szoftver, a HEC-HMS. Röviden ismertetjük a szoftvert és annak elemeit, illetve a rendelkezésünkre álló kiindulási adatokat. Elvégeztük a szoftver kalibrálását és validálását kis vízhozamokra, majd ezekkel a kalibrált mennyiségekkel végeztünk egy érzékenységvizsgálatot, melynek eredményeit felhasználva újabb kalibrációt végeztünk, immár nagy vízhozamú árhullámra. Az így felállított modellbe beépítettünk egy tározót is, mellyel vizsgáltuk a tározó modellezhetőségét, illetve a tározó paramétereinek és a rendkívüli árhullám levonulásának kapcsolatát.

Végül felvázoltuk a szerzett tapasztalatokat és lehetőségeket a dolgozat tárgyával kapcsolatban.



## 2. A terület bemutatása

A Kemence-patak Magyarország északi részén a Börzsönyben található, a Csóványos keleti oldalán ered. A Börzsöny leghosszabb és legnagyobb vízhozamú állandó vízfolyása, az Ipoly baloldali mellékvize (1. ábra). A patak természetközeli, vizének minősége a Víz Keretirányelvben mérték szerint jó, melyet gazdag élővilága is tükröz.



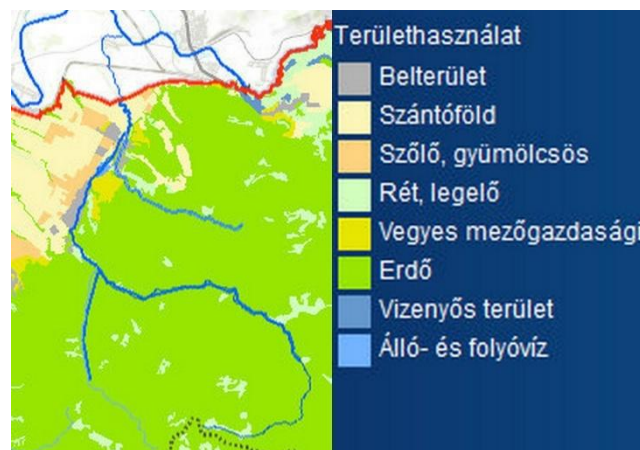
1. ábra: A Kemence-patak és vízgyűjtője topográfiai térképen

### 2.1 Történelmi áttekintés

A Kemence-patak nevét a szláv „kamenica” szóról kapta, mely köves medrűt jelent. A patak mentén mindössze három település található: Kemence, Bernecebaráti és Pereszlény. Pereszlényt a trianoni szerződés kapcsán csatolták az akkori Csehszlovákiához, azóta a patak torkolati szakasza nem tartozik Magyarországhoz. Már a honfoglalók letelepedtek az Ipoly völgyében, azonban a települések első írásos emlékei körülbelül a XII. századból származnak. Napjainkban a három falu népessége összesen nem teszi ki a 3000 főt, lakosságuk jelenleg is csökkenő tendenciát mutat. Kemence és Bernecebaráti lakosai leginkább földműveléssel és fakitermeléssel foglalkoztak, a mai napig közeli kapcsolatot ápolnak a természettel. A két település között rendkívül erős a közreműködés, így szokásaik és történelmük is hasonló. A közreműködés egyik eredménye, hogy 1995-ben megépült közös tulajdonként a Kemence-

patak árvízcsúcs-csökkentő tározója (részletesen lásd: 4.2 fejezet). 1910 óta üzemel a patak mentén gravitációs kisvasút, mely kezdetekben a fakitermelést szolgálta, napjainkra turisztikai célokat lát el. A Börzsönyi erdő eleinte a különböző földesurakhoz vagy az esztergomi érsekséghez tartozott. A második világháború után került állami kezekbe, 1993. óta az Ipoly Erdő Zrt. végzi az erdőgazdálkodási munkákat a Kemence-patak völgyében. A Börzsönyi erdő Natura 2000-es természetvédelmi területként a Duna-Ipoly Nemzeti park fennhatósága alá tartozik. Ezen a területen az Ipolymenti Vízgazdálkodási és Talajvédelmi Társulat is tevékenykedik, mely 1960-ban alakult azzal a céllal, hogy a mezőgazdaságot segítő vízrendezési munkálatokat ellássa.

Napjainkra az emberi tevékenységeket tekintve a patak mentén két területtípus alakult ki. A forrás felőli felső, hegyi szakasz természetvédelmi területként az ember által kevésbé háborgatott. Az alsó szakasz mentén, a hegylábától a torkolat felé találhatóak a települések, ezek mellett szántóföldek szegélyezik a patakot (2. ábra).



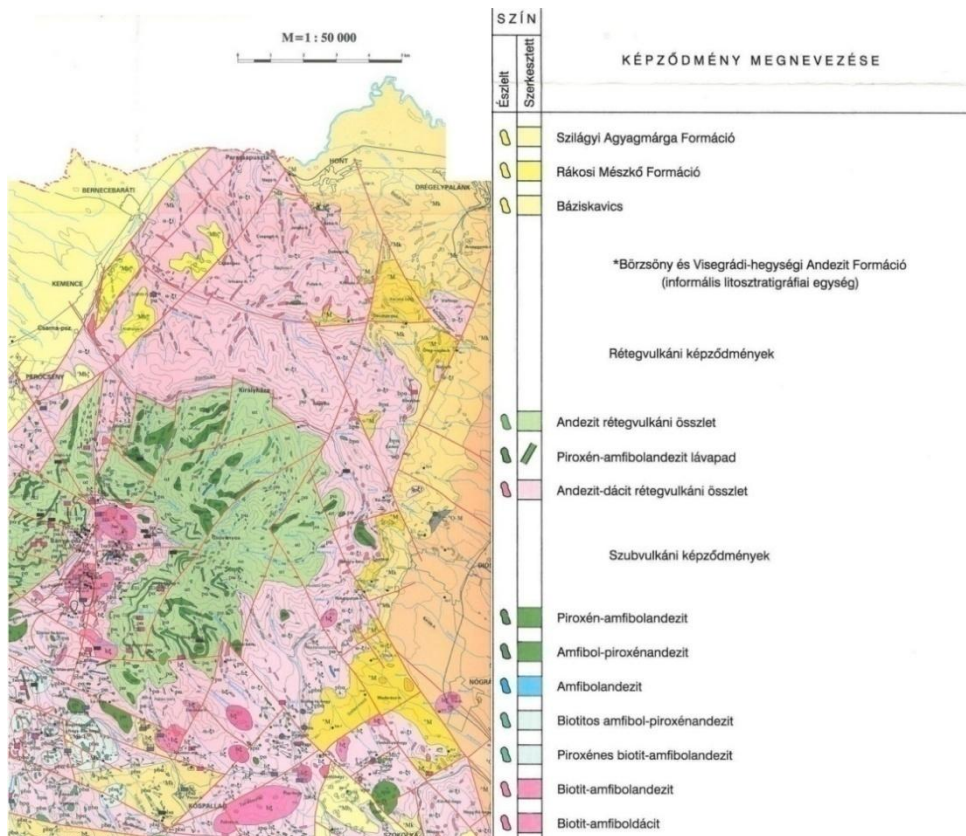
2. ábra: A területhasználat alakulása a Kemence-patak mentén (www.euvki.hu)

## 2.2 Geológiai jellemzők

A Börzsöny fiatal, vulkáni eredetű hegység, mindössze 15-18 millió éves. A Börzsönyt és a Visegrádi-hegységet a Duna választotta ketté, mintegy 10 millió évvel ezelőtt. A hegycsúcsokat azóta a víz-, a szél-, és a fagyerozió koptatta mai formájára. Az aljzatot kristályos pala és gránit alkotja, erre később üledékes kőzetek rakódtak, melyek az oligocén és a miocén tenger maradványai. A vulkáni tevékenység következtében nagyrészt andezit és dácit alkotja a hegységet, ahogy az a 3. ábrán is látható.

A helyszíni szemle során tapasztaltuk, hogy a hegylábától felfelé a talaj mállékony. Ebben az omlékony talajban a patak viszonylag mély, meredek falú medret vájt magának, melyben kisebb-nagyobb, a víz által görgetett, lekerekített közettömbök találhatóak. A hegylábától a torkolat felé a talaj löszös, dombvidéki jelleget ölt. A meder itt már szélesebb, sekélyebb, a sziklák, kövek elaprózódása révén apróbb kavicsokkal borított (Marosi-Somogyi 2010).





3. ábra: A Börzsöny földtani térképe (Magyar Állami Földtani Intézet)

### 2.3 Élővilág

A Kемence-patak a forrástól hosszú szakaszon természetvédelmi területen folyik, ennek megfelelően több szigorúan védett faunának is otthont ad. A védettnek nyilvánított állatfajok közül a legtöbb hal vagy hüllő, ilyenek például a fenékjáró küllő, kövicsík, magyar márna, erdei béka, foltos szalamandra, stb. (4. ábra).

A növénytakaró a hegyi szakaszon jellemzően lombhullató fákból és aljnövényzetből áll. Az erdőt többségében tölgy, bükk és gyertyán alkotja, az aljnövényzet mennyisége az egyes fafajok lombjának sűrűségétől függ. Az aljnövényzetet cserjék, félcserjék, lágyszárúak és gombafélék alkotják. Utóbbi két kategóriában több védett faj is nő a Börzsöny területén. Az erdő területén kívül a növényzetet leginkább a szántóföldek termése, illetve a patak mentén megmaradt növényzet jelenti.



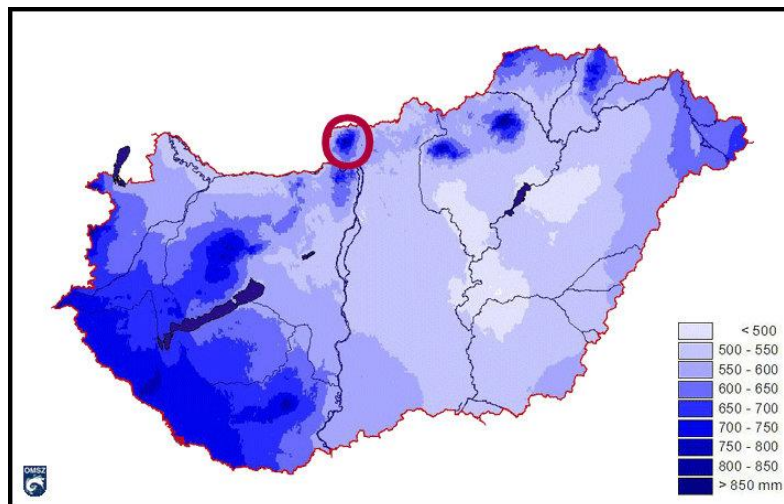
4. ábra: Példák a Kемence-patakban és környékén élő védett fajokra

## 2.4 Hidrológiai jellemzők

A Kemence-patak hossza 25,6 km, vízgyűjtőterülete közelítőleg 107 km<sup>2</sup>, átlagos vízhozama mintegy 420 l/s. A vízfolyást és mellékágait több tucat ideiglenes vagy állandó forrás táplálja. Ezen források többsége tisztavízű. A pataknak több mellékága is van, némelyek csak időszakosak. Fontosabb mellékvizei a forrástól a torkolat felé haladva a következők:

- Somos-patak (bal),
- Őz-berek-patak (jobb),
- Málna-patak (bal),
- Mese-patak (jobb),
- Jelesfa-patak v. Jelispán-patak (bal),
- Rakottyás-patak (bal),
- Bacsina-patak (bal),
- Dosnya-patak (bal),
- Csarna-patak v. Fekete-patak (bal),
- Nagy-völgyi-patak (jobb),
- Tordovács-patak (jobb).

A Börzsönyre általánosságban jellemzőbb a hűvösebb, csapadékosabb éghajlat. Mivel a hegy fővonulata az uralkodó szélirányra merőlegesen helyezkedik el, torlaszt képez a labilis, páratelt atlanti légtömegek számára. Emiatt gyakoriak az intenzív esők, az országos átlagtól pozitív irányban térnek el a csapadékviszonyok. A központi területek éves csapadékátlagja 800-900 mm, ahogy az az 5. ábrán is látható. Az éves csapadék jelentős része télen hullik le, szilárd állapotban. Az ariditási tényező értéke még a legcsapadékosabb csúcsokon is maximum 0,9.



5. ábra: Éves csapadékátlagok alakulása Magyarországon ([www.omsz.hu](http://www.omsz.hu))



A vulkáni eredetű kőzetek sokkal kevesebb vizet nyelnek el, mint például a karsztos mészkövek, emiatt a felszíni lefolyás sokkal jelentősebb, a talaj hamar telítetté válik. Ennek következtében a patak vízjárása a hegyi kisvízfolyásokra jellemzően igen változékony, a csapadékviszonyoktól nagymértékben függ. Mind a tavaszi olvadások, mind a hosszabb esőzések, nagyobb záporok okozhatnak árvizeket, melyeknek vízhozama akár az átlagos vízhozam százszorosát is elérheti.

A patakon több kisebb-nagyobb műtárgy található, ezek általában hidak, átereszek. A legnagyobb műtárgy a tározónál található, itt a meder betonozott úgy, mint a nagyobb hidaknál (6. ábra). A településeken is legfeljebb gabionfallal erősített a meder. A torkolatnál található egy elhanyagolt állapotú kisebb tó, mely erősen eutrofizálódott, mocsár jellegű. Összességében tehát a meder illetve vízgyűjtő területe nagyrészt természetes állapotú, kisebb mértékben kiépített.



6. ábra: Műtárgyak áradáskor a patakon (erdei vasút hídja és a vészárasasztó)

### 3. Helyszíni mérések

A helyszíni mérésekkel három fő célunk volt. Egyrészt fontosnak tartottuk, hogy megismerkedjünk a patak környezetével, személyesen is felmérjük a vízfolyás állapotát. Másrészt célunk volt a patak hidrológiai hossz-szelvényének elkészítése. Emellett szükségesnek találtuk a később felhasznált, a KDV-KÖVIZIG (Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság) által mért vízhozam adatok hitelességének ellenőrzését.

#### 3.1 Mérések bemutatása

A patak vízhozamának mérésére a lehetséges módszerek közül a kémiai vízhozam-mérést, illetve a forgószárnyas sebességmérővel történő vízhozam-mérést alkalmaztuk. A bukó beépítésével történő mérést kizártuk, mivel az a módszer túl sok időt igényelt volna és a helyszín ismerete nélkül nem tudtuk megbecsülni, mely helyeken lenne lehetséges az alkalmazása. Köbözéssel mindössze egyetlen forrás vízhozamát mértük meg. Szózással történő méréskor 0,5-1 kg konyhasót (NaCl) oldottunk fel hozzávetőleg 10 liter vízben (7. ábra). Ezt pillanatszerűen, 2-3 másodperc alatt a patak teljes szélességében öntöttük hozzá a vízfolyáshoz. Méterekkel lejjebb a lehető legszűkebb keresztmetszetben a vízfolyás közepén helyeztük a vízbe a konduktométert, melyről 5 másodperces időközönként olvastuk

le a vezetőképesség értékét mS/cm mértékegységben. A mérés megkezdése előtt feljegyeztük a háttérkoncentráció vezetőképességét. A mérést addig folytattuk, amíg a vezetőképesség közelítőleg újra el nem érte a háttérértéket. Így megkapható a sóoldat levonulásának hullámképe, melyből számítható a vízhozam.



7. ábra: Kémiai vízhozam-mérés előkészítése, később beadagolás a hídról

A másik módszer során a vízfolyás sebességét forgószárnyas sebességmérővel mértük, a keresztmetszelvényt mérőrúd és colstok segítségével vettük fel (8. ábra). A patakot szelvényben egyenlő szakaszokra osztottuk, majd megmértük a szakaszok találkozásánál a vízmélységeket, a víz sebességét pedig a szakaszok közepén. A sebesség még egy kis vízfolyás esetén is fluktuáló mennyiség, ezért a pontosabb eredmény érdekében minden függélyben kétszer mértünk. A patak mélysége sehol sem indokolta, hogy függély mentén több helyen is mérjünk, de ügyeltünk arra, hogy a vízfelszíntől mérten a vízmélység egyharmadában helyezkedjen el a sebességmérő. Minden méréskor 1 percig mértük a fordulatszámot, melyet a sebességmérő automatikusan számlált. A mérés során végig a 20400 jelű forgószárnyat használtuk, melynek hitelesített képletével számoltuk későbbiekben a sebességet. Ügyeltünk arra, hogy mozgásunkkal, elhelyezkedésünkkel ne befolyásoljuk a mérés eredményét. Ha két összetartozó sebesség mégis túl különbözőnek adódott, a mérést megismételtük, hogy a kapott értékek kellően reprezentatívak legyenek.



8. ábra: Mérés forgószárnyas sebességmérővel a torkolatnál

Köbözésnél a „nagy” vízhozam miatt csak pár másodpercig tudtunk mérni. Mérőhengert és vödröt használtunk, a mérést szintén kétszer végeztük el.

### 3.2 Számítások

Két alkalommal mértünk a Kemence-patakon, 2014.03.31.-én és 2014.04.11.-én. Második alkalommal több mérési eredmény született, mivel a terepet ismerve hatékonyabban haladtunk végig a patakon. Számításainkat az alábbiakban részletezzük.

Sózás esetén az előidézett sóhullám időben változó  $c(t)$  koncentrációval szállítja el a sómennyiséget. A beadagolt só mennyisége:

$$S = c_1 * Q * \Delta t + c_2 * Q * \Delta t + \dots + c_n * Q * \Delta t$$

ahol  $S$  - a beadagolt só mennyisége [g],

$c_i$  - az  $i$ -edik időpillanatban vett minta töménysége [ $\text{g}/\text{m}^3$ ],

$\Delta t$  - a mintavételek közötti - konstans - időköz [s],

$Q$  - a patak ismeretlen vízhozama [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

$n$  - a  $\Delta t$  időintervallumonkénti mintavételek száma.

Kiemelve a  $Q * \Delta t$  szorzatot, szorozva és osztva  $n$ -el:

$$S = Q * n * \Delta t * \frac{c_1 + c_2 + \dots + c_n}{n}$$

Mivel  $n * \Delta t = T$  a mintavételek össz-ideje (a sóhullám levonulási ideje),

$1/n * (c_1 + c_2 + \dots + c_n) = C_{\text{átlag}}$  az átlagtöménység, a vízhozam meghatározására szolgáló összefüggés:

$$S = Q * T * C_{\text{átlag}}$$

Ennek alapján a patak ismeretlen vízhozama:

$$Q = \frac{S}{T * C_{\text{átlag}}}$$

ahol  $Q$  – az ismeretlen patakvízhozam [ $\text{m}^3/\text{s}$ ],

$S$  – a beadagolt sómennyiség,

$T$  – a mintavételi szelvényben az átvonulási idő [s],

$C_{\text{átlag}}$  – az átlagos sómennyiség a mintavételi szelvényben [ $\text{g}/\text{m}^3$ ]. (Kontur-Koris-Winter:

Hidrológiai számítások)

Első lépésben a mért vezetőképesség értékekhez tartozó koncentráció értékeket leolvastuk a KoKoWin 22.-23. ábrájáról. Az átlagkoncentráció számítása után megkaphattuk a keresett vízhozamértéket. A számított értékeket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: Kémiai vízhozam-mérés eredményei

2014.03.31.		2014.04.11.	
Helyszín	Vízhozam [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	Helyszín	Vízhozam [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
1. Berneceb.-vízmérce	0,20	1. Kemence-p.+Csarna-p.	0,24
2. Kemence-p.+Csarna-p.	0,15	2. Bacsina-p.	0,02
3. Kemence-p. (Csarna-p.-nál)	0,09	3. Bacsina-p.+Kemence-p.	0,12
4. Csarna-p.	0,11	4. Kemence-p. (Mese-p. torkolat előtt)	0,08
		5. Forrás közelében	0,04

A forgószárnyas sebességmérő esetén az egyes szelvénytárcsákra külön kellett számítani területet és sebességet. A sebességet a hitelesített képlet ( $v=0,0601*n+0,0181$ ) alapján számítottuk a fordulatszámok átlagából. A vízhozam ezek alapján:

$$Q = \sum v_i * A_i$$

ahol Q – a keresett vízhozam [ $m^3/s$ ],

$v_i$  – a sebesség az adott szelvényrészben [ $m/s$ ],

$A_i$  – az adott szelvényrész területe [ $m^2$ ].

A kapott értékeket a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: Forgószárnyas vízhozam-mérés eredményei

2014.03.31.		2014.04.11.	
Helyszín	Vízhozam [ $m^3/s$ ]	Helyszín	Vízhozam [ $m^3/s$ ]
1. Torkolat	0,21	1. Torkolat	0,29
2. Berneceb.-vízmérce	0,17	2. Berneceb.-híd	0,25
		3. Csarna-p.	0,10

Köbözésnél a számítás képlete:

$$Q = \frac{V}{t}$$

ahol Q – a keresett vízhozam [ $m^3/s$ ],

V – az edényben lévő víz térfogata [ $m^3$ ],

t – a mérés időtartama [s].

Az így kapott vízhozamok átlagát véve, a Bacsina-kút vízhozama 2014.04.11.-én 0,0009  $m^3/s$ -ra, vagyis 0,9 l/s-ra adódott.

### 3.3 Mérések kiértékelése

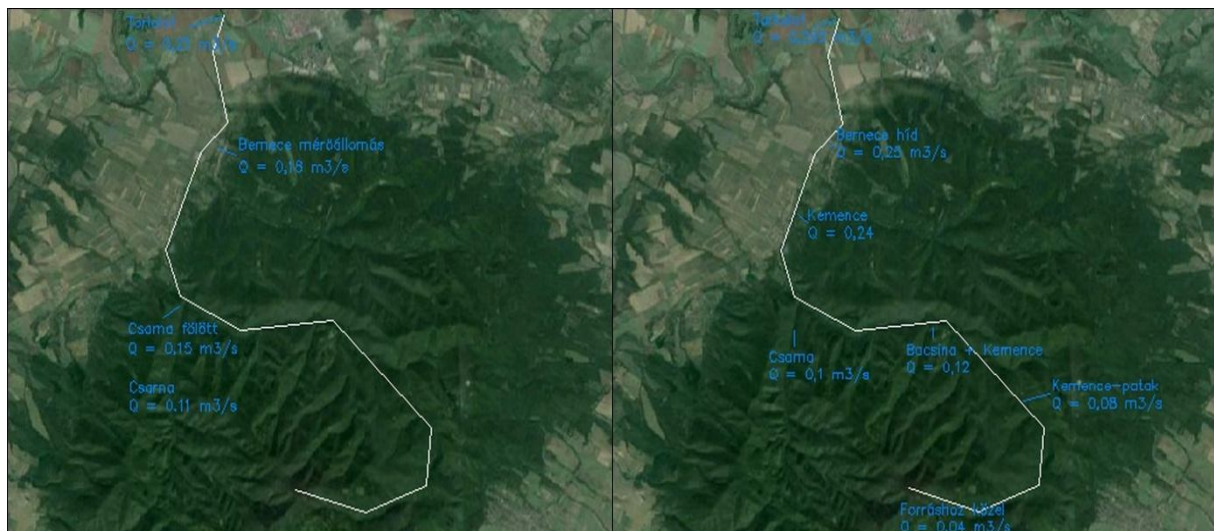
A mért vízhozam értékeket térképen és függvényen is ábrázoltuk (9. és 10. ábrák). A hossz-szelvényen konzisztens módon nőnek a vízhozamok a forrástól a torkolatig, így tehát kijelenthetjük, hogy durva hibát nem vétettünk a mérések során. Első alkalommal a vízmércénél szózással és a forgószárnyas sebességmérővel is megmértük a vízhozamot. Ezen értékek között 0,03  $m^3/s$  vagyis 3 l/s az eltérés, mely a mérés pontatlan kivitelezésének tudható be. Második alkalommal megmértük a Kemence- és Csarna-patakok vízhozamát külön, majd összefolyás után. Itt a két külön mért érték nem adja vissza az összefolyás alatt mért vízhozamot, a különbség 0,05  $m^3/s$  vagyis 5 l/s, amit szintén a szózás pontatlan végrehajtásának tudhatunk be, feltehetően nem voltak a leoptimálisabbak a mérés körülményei. A Bernecebarátinál található vízmércén rögzített vízállás adatokból a Közép-Duna-völgyi Vízügyi Igazgatóság Q-h görbe segítségével számítja a vízhozam értékeket, ezek értékei:

- 2014.03.31.-én: 0,167  $m^3/s$ ,

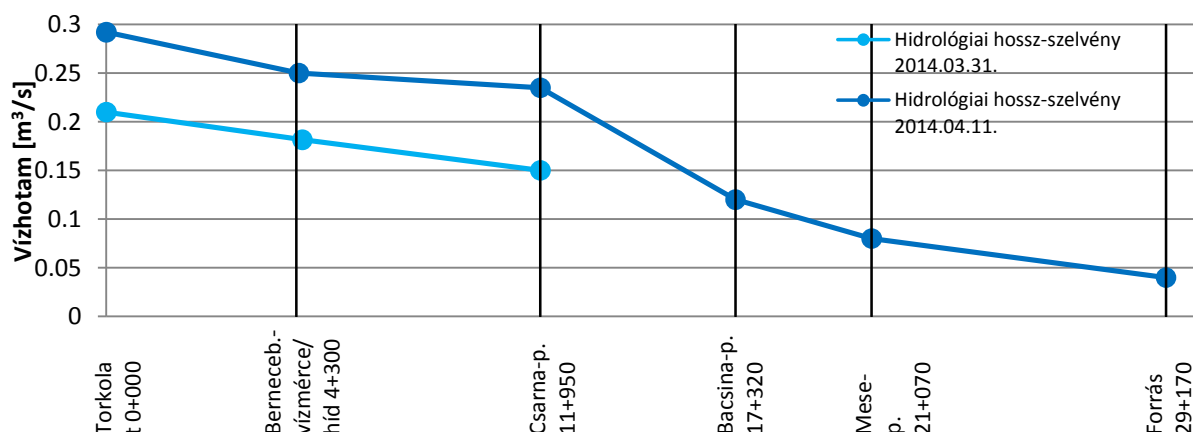
- 2014.04.11.-én: 0,184  $m^3/s$ .



Első esetben a forgószárnyas sebességmérővel közelítőleg ugyanazt, szózással közel 20%-kal nagyobb értéket mértünk. Második esetben ugyanazon helyen a forgószárnyas sebességmérővel 35%-kal nagyobb vízhozamot mértünk, melynek oka a mélységhez nem megfelelő forgószárny alkalmazása vagy a mérés pontatlan végrehajtása lehetett. Mindazonáltal kijelenthetjük, hogy a patakon működő mércén releváns adatokat rögzítenek.



9. ábra: A mért vízhozam és mérési helyek ábrázolása térképen



10. ábra: Hidrológiai hossz-szelvény

## 4. Tározó

### 4.1 Tározókról általánosan

A tározókat funkciójuk szerint három nagy csoportba sorolhatjuk, melyek a vízhasznosítási tározók, árvízcsökkentő tározók, komplex tározók. A komplex tározók mindkét funkció (vízhasznosítás, árvízcsökkentés) betöltésére létesültek. A vízhasznosítási tározóteret a minimális és maximális üzemvízszintek határolják le. Ezt nevezzük a tározó hasznos térfogatának. A hidrológiai méretezési eljárások ezt adják meg, melyben a veszteségekből számítható többlettérfogat rész is szerepel. A minimális üzemvízszintet legtöbbször az üzemvízkivételi műtárgy helyzete szabja meg, míg a maximális üzemvízszint a tározó hasznos térfogatának és az árvízcsökkentő tározótérnek az arányától függ. A mértékadó árvízi túlduzzasztási szintnél nagyobb vízállás a tározótérben elméletileg nem lehetséges. A

mértékadó árvízi túlduzzasztási szint felett a megfelelő biztonsági magasságot hozzáadva kapjuk a gát koronaszintjét. A biztonsági magasságot a hullámvész, vízszintlengés miatt kell felvenni.

#### 4.2 Kemencei tározó a múltban

A tározó területe Bernecebaráti és Kemence közigazgatás területén található. Ezen területen áll a gáttest és a zsilip, melyek tulajdonosa a Magyar Állam, kezelője az Ipoly Vidéki Víz Társulat Rétság.

A tóban tárolt vízre vízkivételi joga volt a Palóc Kft.-nek, melynek tulajdonában van az öntözőrendszert működtető szivattyúház és az öntöző rendszerrel ellátott földterületek jelentős részét bérliként hasznosítja.

Eredetileg a rendszerváltás előtt a Nagymarosi Erőműhöz kapcsolódóan indult meg a Kemence-patak völgyét lezáró gát építése. Fő funkciója a szélsőséges csapadékviszonyok és a tavaszi hóolvadás vízmennyiségeinek szabályozott levezetése, mellék funkciója az öntözés által történő mezőgazdasági hasznosítás volt. Ennek érdekében közel 300 hektáron kiépítették talajszint alatt az öntöző rendszer gerinc hálózatát. Ez a rendszer és hasznosítás 1999 júniusáig jól funkcionált, amikor egy szélsőséges csapadékos időjárás következtében (és részben a tó kezelésének szakszerűtlensége miatt is), a tározó gátja átszakadt (részletes leírást lásd: lentebb). Akkor a gát helyreállítására és a tározó újra használhatóvá tételére a Magyar Állam jelentős összeget költött, és a Palóc Kft. tulajdonát képező szivattyúház (öntözés biztosításához szükséges) felújítását és helyrehozatalát is tervbe vették. Bizonyos, ma már kideríthetetlen okok miatt a vízleengedést biztosító zsiliprendszer nem került felújításra. Gyakorlatilag a tározó egész területe azóta is üresen áll, mára már teljesen beerdősült (kemencei műszaki felügyelő kézirata) (11. ábra).



11. ábra: A beerdősült tározó

### 4.3 Kemencei tározó tönkremenetele

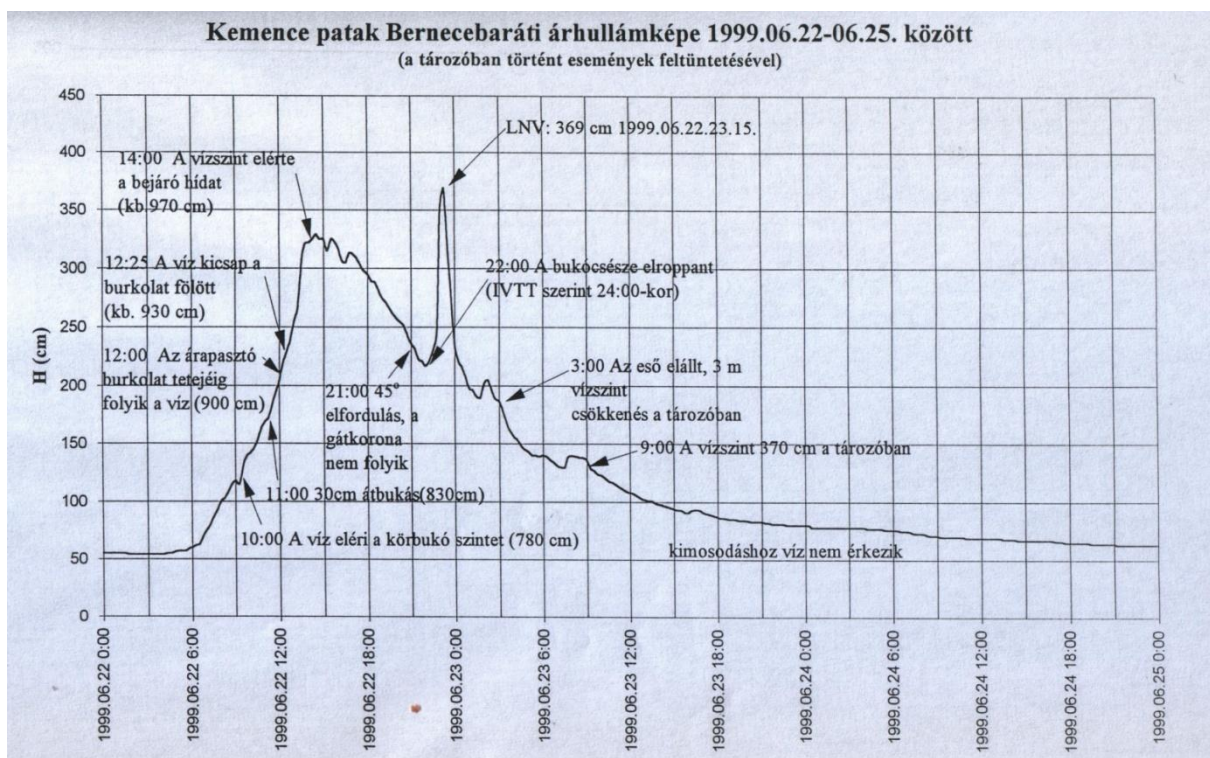
A Kemence-patak vízgyűjtőjén 1999 júniusában, illetve az azt megelőző időszakban is jelentős mennyiségű csapadék hullott. Ezen belül is a június 14. és június 23. közötti időszak mondható kimondottan nedvesnek. Az igen heves és hosszantartó esőzések következtében 1999. június 22-én a lefolyó hatalmas vízmennyiség a tározó vészleeresztő bukóját elmosta, ezt követően a tározó néhány óra alatt leürült. A csapadékból, illetve a tározó leürüléséből származó árhullámok jelentős károkat okoztak Bernecebarátiban, de ugyan csak jelentős károk keletkeztek Kemence községben is, ahol csak a csapadékból származó árhullám vonult le.

A tározó a Kemence patak 6+000 szelvényében épült. Zárógátja földből épült és a tározótér mélypontjánál a korábbi patakmeder vonalában egyesített fenékleeresztő-árapasztó műtárgy készült vasbetonból. A gát felett 2,85 m-rel hordalékfogó gát épült a tározó gyors feltöltődésének megakadályozása érdekében.

Az üzemeltetés során 1995-ben és 1996-ban jelentős árvizek vonultak le, és az itt szerzett tapasztalatok arra mutattak, hogy a tározó biztonságos üzemeltetéséhez elengedhetetlen egy további vészárpasztó rendszer építése, melynek kivitelezése 1997-ben meg is történt (lásd: 1. melléklet).

### 4.4 A káresemény időszakában kialakult hidrológiai helyzet

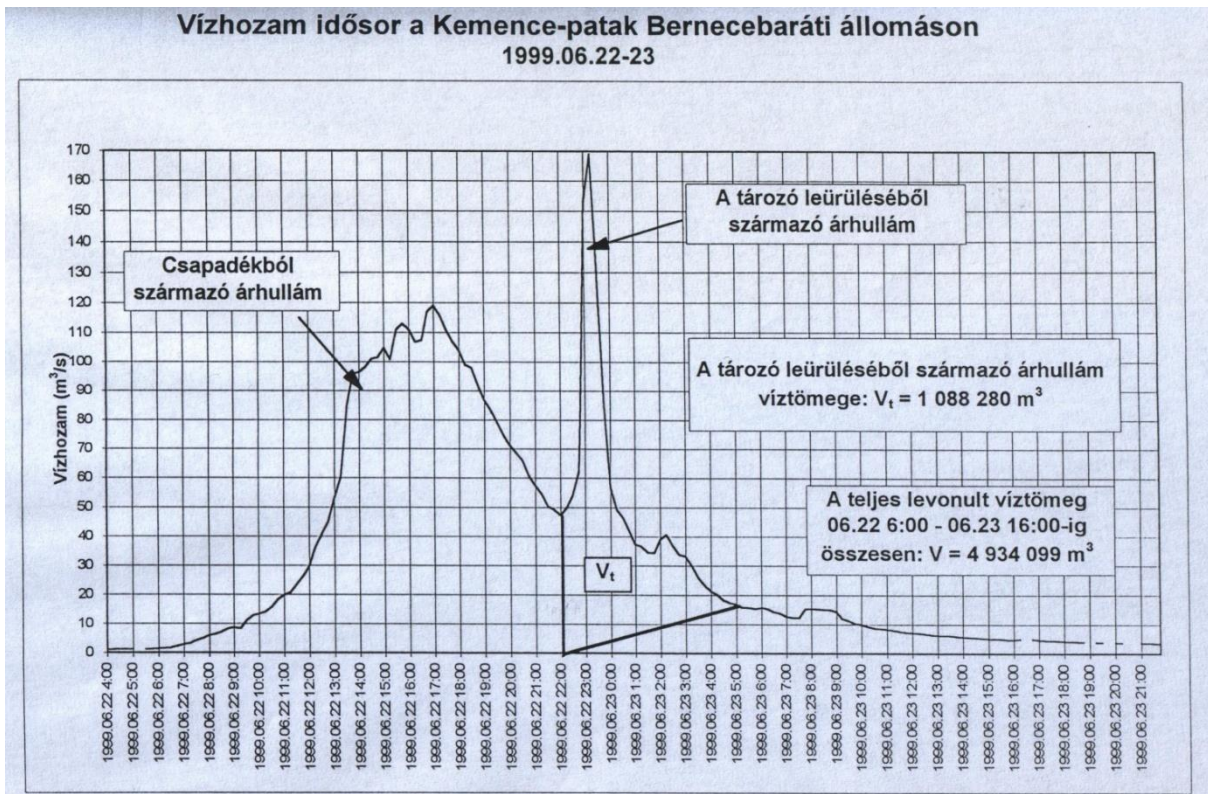
A hatalmas csapadék minden eddig észlelt vízszintet meghaladó magassággal vonult le a Kemence patakon. A Bernecebaráti község belterületén a KDV-VIZIG által üzemeltett vízrajzi törzsállomás folyamatosan regisztrálta a vízállásokat (12. ábra).



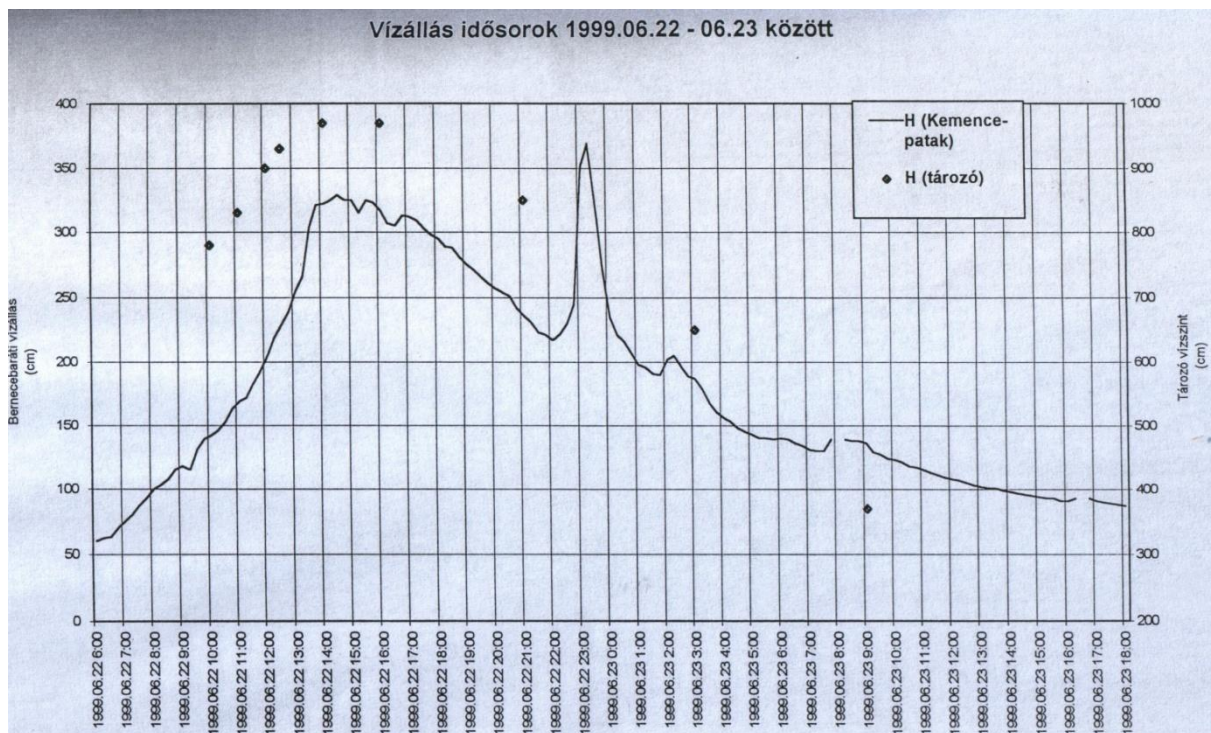
12. ábra: A Bernecebarátiban rögzített árhullám (1999.06.22.-06.25.)



Ezek a vízállások igen jó egyezést mutattak a tározóban kialakult rekonstruált értékekkel, illetve a vízhozam idősorral (13. ábra, 14. ábra).



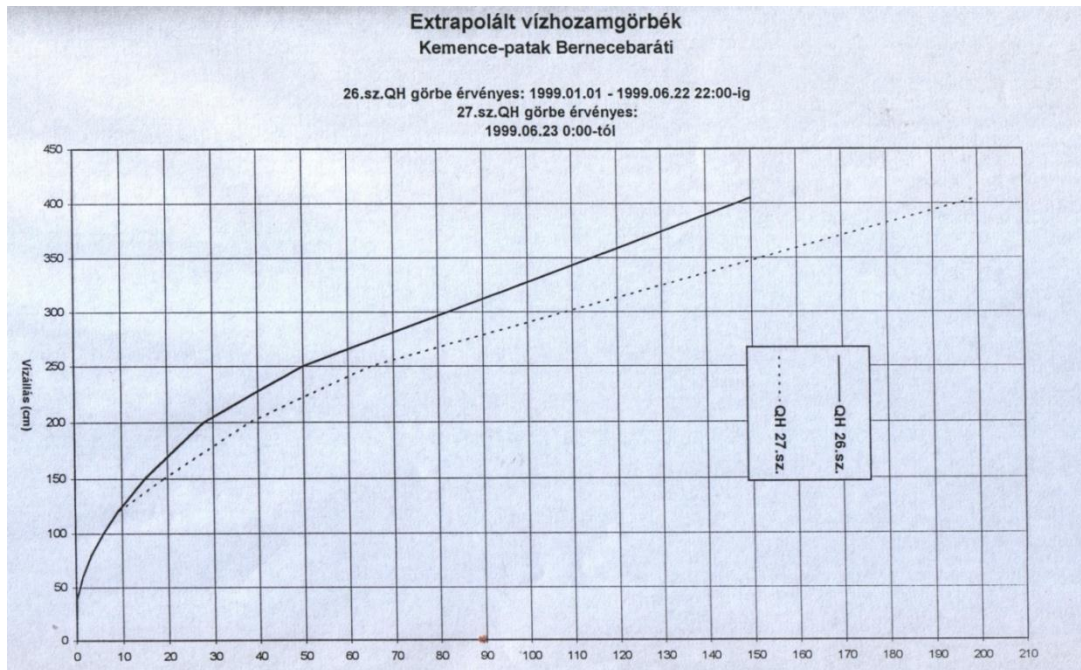
13. ábra: Vízhozam idősor a Kemence-patak Bernecebaráti állomáson



14. ábra: A tározó vízállásának adatai és a vízmérce idősora

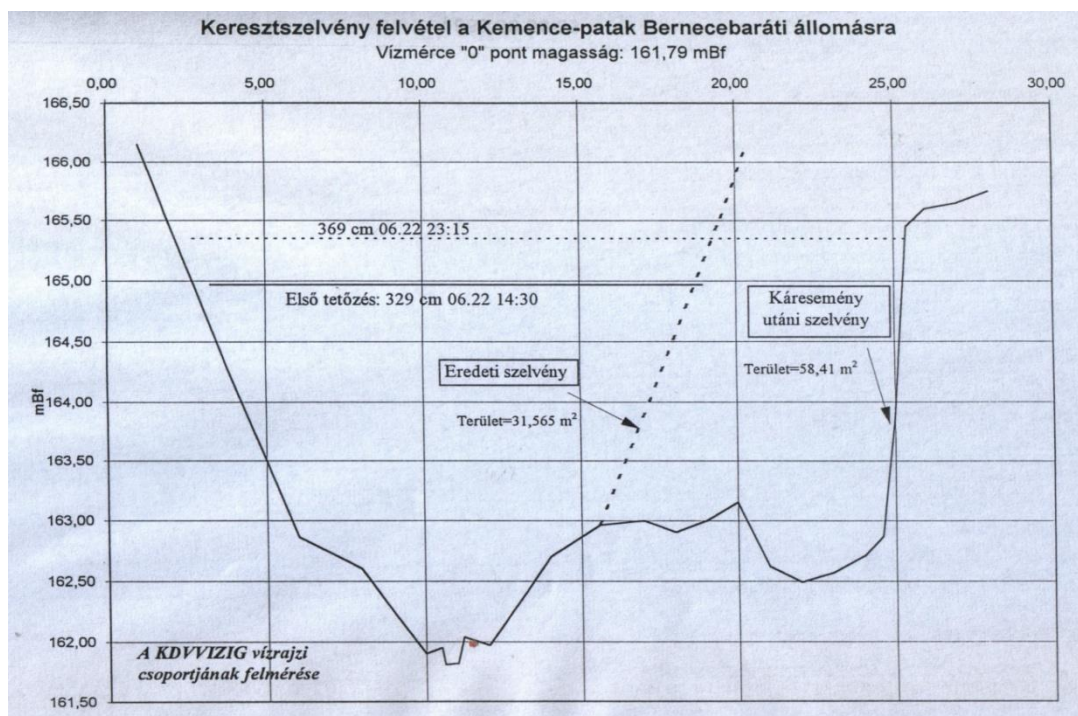


Az állomás vízhozam-görbéje ilyen magas vízállásokhoz nem tartalmazott értékeket, így a meglévő görbét ki kellett egészíteni annak érdekében, hogy értékelni lehessen a bekövetkezett, illetve a tervekben figyelembe vett mértékadó vízhozamok viszonyát (15. ábra).



15. ábra: Extrapolált vízhozamgörbék

Az ábrán két görbe látható, mivel az árhullám levonulása során elmosta a vízmérce szelvény bal parti részét, így az átfolyási keresztmetszet jelentősen, mintegy 30%-kal megnőtt (16. ábra).



16. ábra: Keresztszelvény felvétel a Kemence-patak Bernecebaráti állomásra

#### 4.5 A bukó tönkremenetele

A bukót eredetileg 22,18 m<sup>3</sup>/s-ra méretezték, helyett a szélsőséges időjárás következtében mintegy 60-70 m<sup>3</sup>/s vízhozamot szállított. Ez azt eredményezte, hogy a bukó feletti vízmagasság a tervezett 0,25 m helyett több mint egy méter volt. Azt, hogy a rendszer a méretezési vízhozamot, illetve a kismértékben még meghaladót is képes volt biztonságosan levezetni, jól megfigyelhető volt. Először az alvízi csatorna rongálódott meg komolyabban a kialakult igen nagy sebességek, és a burkolt rézsút több mint egy méterrel meghaladó vízállások miatt. Az alvízi csatorna tönkremenetele következtében kialakult üst folyamatosan hátrált a vészárapasztó bukó felé. Később, a bukó középső és jobboldali részének alámosása és leszakítása után megkezdődött a bukó alatti földtömeg elmosása, és az így támadt hatalmas "U" alakú nyíláson a tározó gyors leürülése. Ennek az újonnan keletkezett "bukónak" a küszöbszintje mintegy 4m-el alacsonyabban alakult ki, mint a korábbi vészárapasztó bukóé.

Összefoglalva megállapítható, hogy a káreseményt olyan rendkívüli nagyságú árhullám okozta, melyre senki nem számíthatott előre.

#### 4.6 A tározó napjainkban

Azért, hogy a tározó ismét működésbe léphessen, Bernecebaráti és Kemence Önkormányzatai komoly erőfeszítéseket tettek az utóbbi időben, melynek eredményeképpen 2009-ben megszületett egy határozat. A dokumentum tartalma, hogy a Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi felügyelőség megadta a vízügyi üzemeltetési engedélyt az Ipolymenti Vízgazdálkodási és talajvédelmi Társulat terveire. (lásd: 2. melléklet).

A tervezetnek a következő fontosabb előírásoknak kell megfelelnie:

- A tározó funkciója kizárólag az árvízcsúcs-csökkentés lehet, más jellegű hasznosítás nem lehetséges.
- A hordalékfogás érdekében tervezett mederkotráshoz - amely egy hordalékfogó árok kialakulásán keresztül a patak abiotikus paramétereinek (víz áramlási sebessége, aljzat) jelentős mértékű megváltozásához vezetne a patak mintegy 60 m hosszú szakaszán - nem járul hozzá.
- A tározó medrében - különösen a patak menti 10 m széles sávban található fákat meg kell őrizni.

Az hogy az új tározó nem láthat el öntözési funkciót egyezik a természetvédelem szempontokkal is, melyek szerint a tározó állandó vízszinttartása nem kívánatos. A Kemence-patak völgye természetközeli állapotú, a patak folyásán értékes élőhelyek helyezkednek el. A tevékenységek nagymértékű zavarást jelentenének az ott élő élővilág számára. A patak - egyebek között - az alábbiakban felsorolt védett és fokozatosan védett állatfajok élőhelyéül szolgál:

- Kövicsík,
- Fűrge cselle,
- Sújtásos küsz,
- Fenékjáró küllő,
- Petényi márna.

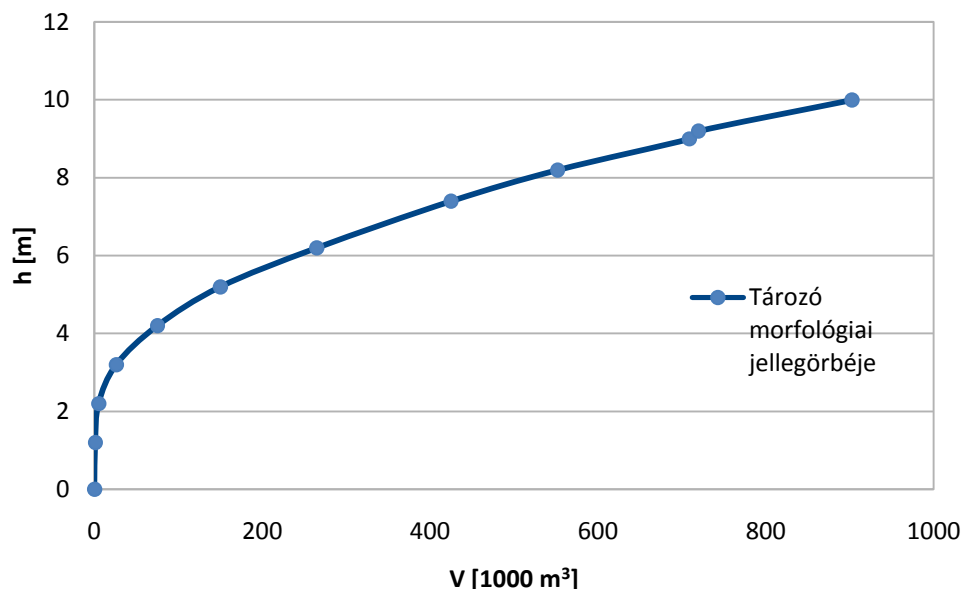
A természet védelméről szóló törvény kimondja, “ A természeti értékek és területek csak olyan mértékben igénybe vehetők, hasznosíthatók, hogy a működésük szempontjából alapvető természeti rendszerek és azok folyamatainak működőképessége fennmaradjon, továbbá a biológiai sokféleség fenntartható legyen.” Továbbá az is fontos, hogy “ A vadon élő szervezetek, továbbá ezek állományai, életközösségei megőrzését élőhelyük védelmével együtt kell biztosítani.”

Napjainkban a munkálatok pénzügyi források hiánya miatt nem folytatódnak, és a közeljövőben is igen valószínűtlen a tervek kivitelezése.

#### 4.7 A tározó fontosabb görbéi

##### 1) Morfológiai görbe

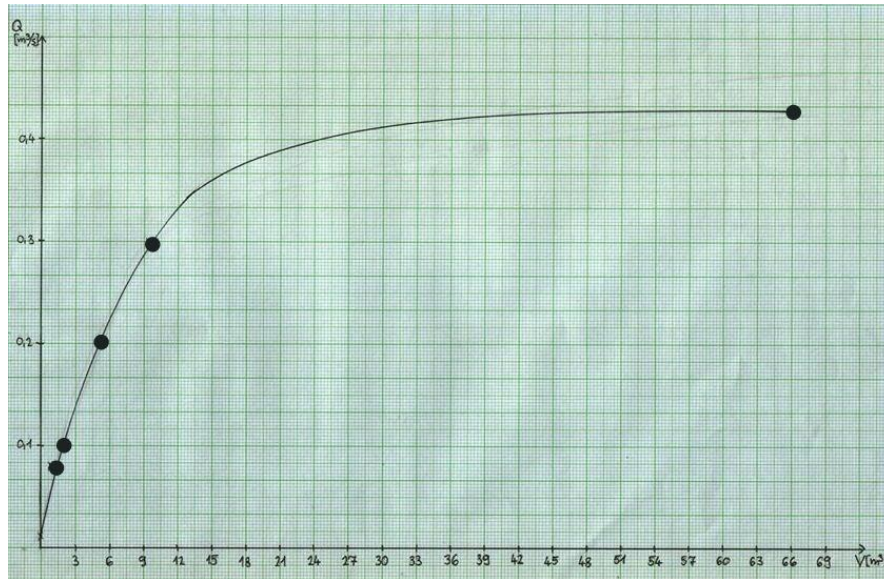
A tározótér jellemzéséhez elengedhetetlen a tározó morfológiai görbéinek meghatározása. A morfológiai görbék (melyeknek meghatározása geodéziai feladat), a tározó vízállása, és térfogata, (H - K) valamint vízállása és felülete (H - A) közötti összefüggések. Esetünkben egy már meglévő görbét használtunk fel a modellezéshez, és annak is csak vízállás - térfogat értékeire volt szükségünk. (17. ábra)



17. ábra: A tározó morfológiai jelleggörbéje

##### 2) Teljesítőképességi görbe

A tározó teljesítőképességi görbéjének a tározóból folyamatosan kiszolgáltatható állandó vízhozamoknak és az ahhoz szükséges tározótérnek (K) a kapcsolatát nevezzük (18. ábra).



18. ábra: Tározó teljesítőképességi görbéje

A görbe jellegzetes pontjai a következők:

- I. A teljesítőképességi görbe alsó végpontja a legkisebb vízhozam és a hozzá tartozó  $K = 0$  tározótérfogat által meghatározott pont. A legkisebb vízhozam tározás nélkül is biztosítható.
- II. Az éves középvízhozamok legkisebbike és a hozzá tartozó  $K$  tározótérfogat által meghatározott pont az éves tározó helyét jelöli a görbén.
- III-IV-V. Ezek a pontok a többéves kiegyenlítésű tározókat jelölik, melyek a folyamatosan képesek egy adott hozamot kiszolgálni.
- VI. A sokéves átlagos vízhozam és a hozzá tartozó tározótérfogat által meghatározott pont jelöli ki a teljes kiegyenlítésű tározót. Ez a teljesítőképességi görbe legfelső pontja.

Bizonyos esetekben a teljesítőképességi görbének valószínűségi értelmezést is adhatunk, de modellezést nem szeretnénk volna ezzel is bonyolítani, így a  $p = 100\%$ -ból, azaz a fent megrajzolt ábrából indultunk ki.

Az éves tározótérfogat meghatározása:

Rendelkezésünkre állnak a Kemence-patak napi vízhozam adatai az 1957-2012, évekre. Ha a tervezett tározó szelvényében vagy annak közelében a lefolyó vízhozamok hosszabb időre visszamenőleg ismertek, akkor mértékadóként gyakran valamely kiugróan kedvezőtlen száraz év vízhozamidőszakát választjuk meg. Az éves tározótérfogat meghatározására havi közepes vízhozamokra van szükségünk, így először a napi adatokat átlagoltuk, majd kiválasztottuk a legkisebb vizű évet, mely esetünkben a 2012-es volt.

A méretezést numerikusan végeztük el (lásd: 3. melléklet). A táblázat első sorában a hónapok, másodikban a tározóból kiszolgáltató vízmennyiségek vannak ( $F$ ),  $m^3/s$ , illetve  $10^3 m^3$  dimenzióban, figyelembe véve természetesen az egyes hónapok másodperceinek számát. A tározóba érkező vízmennyiség ( $V$ ) szintén  $m^3/s$ , illetve  $10^3 m^3$  dimenzióval szerepel. A hónaponkénti vízkészletváltozást a következő módon számoljuk ki:

$$\Delta S = V - F [10.3 m^3]$$



A tározótérfogatot ezekután egyértelműen meghatározza a folyamatosan összegek ( $\Sigma\Delta S$ ) legnagyobb, illetve legkisebb értékének abszolútértékes összege, mely esetünkben  $K = 10^6 \text{m}^3$ -re adódott.

A teljes kiegyenlítésű tározótérfogatnak meghatározása:

A teljes kiegyenlítésű tározóval a szelvény sokévi középvízhozamát lehet kiszolgáltatni. A tározó feladata ilyen módon a bővizű évek vízfeleslegének összegyűjtése, majd a száraz évek, esetleg évcsoportok vízhiányának pótlása. A méretezés lépései megegyeznek az éves tározóknál alkalmazottakkal, csak itt az egyes éveket kell a hónapok helyett feltüntetni, és az éves vízmérleget kell figyelembe venni (lásd: 4. melléklet).

Ezek alapján a kiegyenlítésű tározó térfogata:

$$K_{\text{teljes}} = K_{\text{max}+} + K_{\text{max}-} + K_{\text{éves}} = 6,8 \cdot 10^7 \text{ m}^3$$

Ezzel a tározótérfogattal folyamatosan ki lehet szolgáltatni az állandó  $K\ddot{O}Q_{\text{átl}} = 0,42 \text{ m}^3/\text{s}$  sokévi középvízhozamot.

A többéves tározótérfogat meghatározása :

A többéves kiegyenlítésre tervezett tározónak nemcsak az egyes évek átlagában, hanem egyes évcsoportokban is fedeznie kell a vízigényeket. Az ilyen nem teljes kiegyenlítésű tározók a víztöbbletekből csak annyit tartanak vissza, amennyi az előforduló legnagyobb vízhiány pótlásához szükséges. A térfogatot ebben az esetben nem a víztömegek, hanem a vízhozamkülönbségek felhasználásával határozzuk meg. A Kemence-patak többéves tározótérfogatait az  $M1 = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $M2 = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$  és az  $M3 = 0,3 \text{ m}^3/\text{s}$  folyamatos állandó vízfogyasztás eseteire határozzuk meg (lásd: 5. melléklet).

A méretezésnél csak a vízhiányos évek összegezett maximális értékét vesszük figyelembe, és a legnagyobb negatív vízhozamkülönbség összeget szorozzuk az évben lévő másodpercek számával. Így a következő térfogatok adódtak:

$$M = 0,1 \text{ m}^3/\text{s} \text{ esetén: } K1 = K_{\text{többéves},1} + K_{\text{éves}} = 0,84 \cdot 10^6 \text{ m}^3 + 1,02 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = 1,86 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$M2 = 0,2 \text{ m}^3/\text{s} \text{ esetén: } K2 = K_{\text{többéves},2} + K_{\text{éves}} = 4,00 \cdot 10^6 \text{ m}^3 + 1,02 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = 5,02 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$M3 = 0,3 \text{ m}^3/\text{s} \text{ esetén: } K3 = K_{\text{többéves},3} + K_{\text{éves}} = 8,73 \cdot 10^6 \text{ m}^3 + 1,02 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = 9,75 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

## 5. Modellezés a HEC-HMS szoftverrel

Elsődleges célunk a modell felállításával az általunk méretezett tározó hatásának szemléltetése volt. Az eddig ismert legszélsőségesebb csapadékesemény hatására létrejött árhullámra gyakorolt árvízcsúcs-csökkentő hatását figyelhettük meg.

### 5.1 A szoftver bemutatása

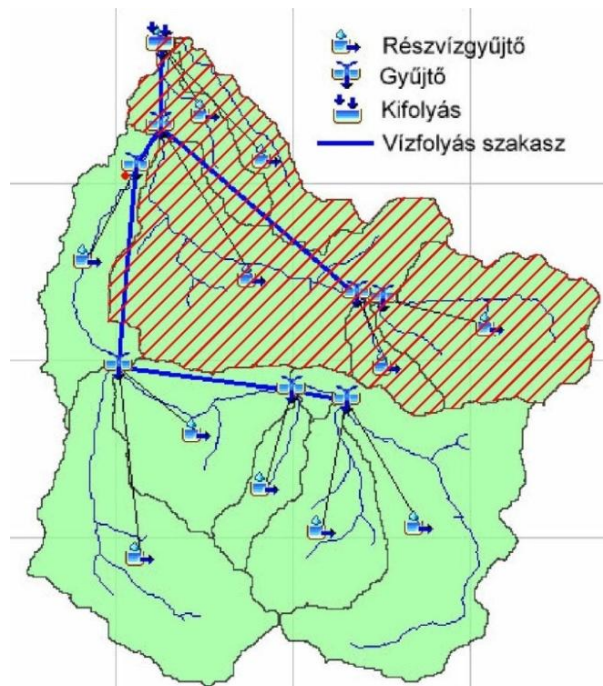
A HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System) csapadéklefolyás folyamatok szimulálására kifejlesztett vízgyűjtő modellező szoftver, amelyet a HEC már több mint 30 éve fejleszt. Ezek a fejlesztések ugyanakkor bárki, még a külföldiek számára is elérhetőek, ingyenesen és legálisan internetről letölthetőek.

A HEC-HMS grafikus felhasználói felületet, saját adatbázis kezelőt valamint szöveges és ábrákkal illusztrált eredménykijelzést kínál a felhasználók számára. Fa alakú vízgyűjtő hálózattal rendelkező vízgyűjtő terület esetén rengeteg hidrológiai és hidraulikai számítási módszer közül választva szimulálható a csapadék-lefolyás folyamata. Ezen kívül a program segítséget nyújt a földhasználat változásának, urbanizáció vízgyűjtőre gyakorolt hatásának modellezéséhez; hidraulikai műtárgyak vízfolyást befolyásoló hatásainak vizsgálatához (építendő műtárgyak méretezéséhez); árhullám szimulációhoz; árvíz előrejelzéshez. (Széles 2011)

### 5.2 A modell felépítése, kiindulási adatok

A HMS modell fő részei: vízgyűjtő modell, meteorológiai modell, a bemeneti adathalmaz megadása és a modellfuttatási paraméterek beállítása.

A vízgyűjtő modell 7 sematikus elemből állítható össze. Az általunk használt elemek a részvízgyűjtő, a vízfolyás szakasz, a gyűjtő, illetve a tározó. Ezek mellett lehetőségünk lenne elfolyó vízmennyiségeket, illetve forrásokat is figyelembe venni. Az egyszerűség kedvéért (és az adathiány miatt) ezek használatától eltekintünk. A vízgyűjtőmodellt a teljes vízgyűjtőre állítottuk fel. Ehhez szükség volt az egyes részvízgyűjtők területének nagyságára. A részvízgyűjtőket topográfiai térkép segítségével és az ArcGIS illetve HEC-GeoHMS térinformatikai szoftverek használatával határoltuk le (Széles). Több kisebb részvízgyűjtő összevonásával végül 11 részvízgyűjtőt kaptunk, melyekből a mérceszelvényig csak 6-ot kellett figyelembe vennünk. A 18. ábrán látható a vízgyűjtőmodell, sraffozással jelöltük azokat a részvízgyűjtőket, amelyekről a lefolyás már csak a mérceszelvény alatt érkezik a patakba, így ezek kalibrálásától a későbbiekben eltekinthetünk.



18. ábra: Vízgyűjtő modell

A meteorológiai modell a csapadékot, hóolvadást, párolgást és párologtatást veszi figyelembe. Esetünkben csak a csapadék adatokkal foglalkoztunk. Az OMSZ-tól kapott órás csapadék adatsorokat az úgy nevezett Specified Hyetograph típusban adtuk meg a modellnek. Az idősorok kiválasztásánál a KDV-KÖVIZIG-től kapott vízállás és vízhozam adatsorokból indultunk ki, ezek alapján választottuk ki az árhullámokat. Ügyeltünk arra, hogy a választott árhullámok hasonló időszakokból (legalább ugyanabból az évszaktól) származzanak, mivel a növényzet és a hőmérséklet, így a felszíni lefolyás is jelentősen változhat. Emellett fontosnak tartottuk, hogy az adatok minél inkább a közelmúltból legyenek kiválasztva, ezáltal a mai állapotra is kellően reprezentatív legyen a modell.

A bemeneti adathalmazok megadására a program 3 módozatot kínál. Megadhatók idősorok, adathalmazok és adathálózatok, ezek közül nekünk csak idősorok álltak rendelkezésünkre csapadék és vízhozam értékek terén egyaránt. A csapadékadatokat először órás, később napi bontásban tudtuk bevinni a modellbe. Az egyszerűbb kalibrálás érdekében meg lehetett volna adni viszonyításként a mért vízhozam adatokat, ám ezek a rendelkezésre álló lehető legsűrűbb felbontásban is igen változó időközönként álltak rendelkezésünkre (néhol negyedórás, néhol akár fél napos időközzel), így ezek interpolálásával, bevitelével nem foglalkoztunk, a mért és számított eredményeket Excelben hasonlítottuk össze.

A modellfuttatási paramétereknél szükséges a futtatás kezdeti és záró dátumának illetve időpontjának bevitele, valamint a számítási lépcső megadása, utóbbit célszerű a bemenő adatok időközével egyenlőnek választani.

### 5.3 Kalibrálás és validálás kis vízhozamokra

A kalibrálás során kiindulási alapnak választottuk Széles Borbála 2011-es TDK munkájában használt paramétereit, mivel a vízgyűjtőterület jellegre egészen hasonló a Bükkös-patak vízgyűjtőjéhez, hiszen eredendően a két hegy összetartozott, később a Duna választotta őket ketté.

A megadható paraméterek tulajdonképpen a csapadék vízgyűjtőn való összegyülekezésének bizonyos hidrológiai és hidraulikai jelenségeinek különböző számítási módozatához szükségesek. A modellezhető elemek közül nem mindnek szükséges a használata, célszerű minél kevesebbet figyelembe venni, így kevesebb lesz a kalibrálandó paraméter. Az általunk használt elemek:

- Canopy – a növényzet (intercepció) hatását veszi figyelembe;
- Surface – a felszíni tározás hatását veszi figyelembe;
- Loss – a lefolyásképző csapadékot adja meg;
- Transform – a felszíni lefolyás számításának módja;
- Baseflow – a felszín alatti hozzáfolyást adja meg;
- Routing – a mederbeli lefolyás számításának módja.

A növényzet és a felszíni tározás hatását a lehető legegyszerűbb módon, Simple Canopy-t és Simple Surface-t választva adtuk meg. Mindkét esetben a kezdeti telítettség értékét (Initial Storage) illetve a maximális lehetséges tározás értékét (Max Storage) kellett megadni százalékban illetve milliméterben.

A a lefolyásképző csapadék megadásakor eltértünk a Széles Borbála által használt Initial and Constant módszertől, mivel ennek hatására a lefolyások igen nagy vízhozamokat eredményeztek. Az általunk használt Deficit and Constant módszernél meg kellett adni egy kezdeti hiányt (Initial Deficit) százalékban, a maximális tározást (Max Storage) milliméterben, a beszivárgási sebességet (Constant Rate) mm/Hr mértékegységben, illetve egy százalékos beszivárgás nélküli, burkolt területarányt (Impervious).

A felszíni lefolyás számítási módjának a Clark Unit Hydrograph módszert választottuk, mivel a Széles Borbála által használt SCS Unit Hydrograph ugyan kevés bemenő adatot igényel, de esetünkben igen nagy lefolyásokat eredményezett. Az általunk választott módszernél az összegyülekezési időket (Time of Concentration) kell meghatározni órában, illetve egy úgynevezett tározási együtthatót (Storage Coefficient), mely megadja, hogy a csapadék hány óráig tározódik az adott részvízgyűjtőn.

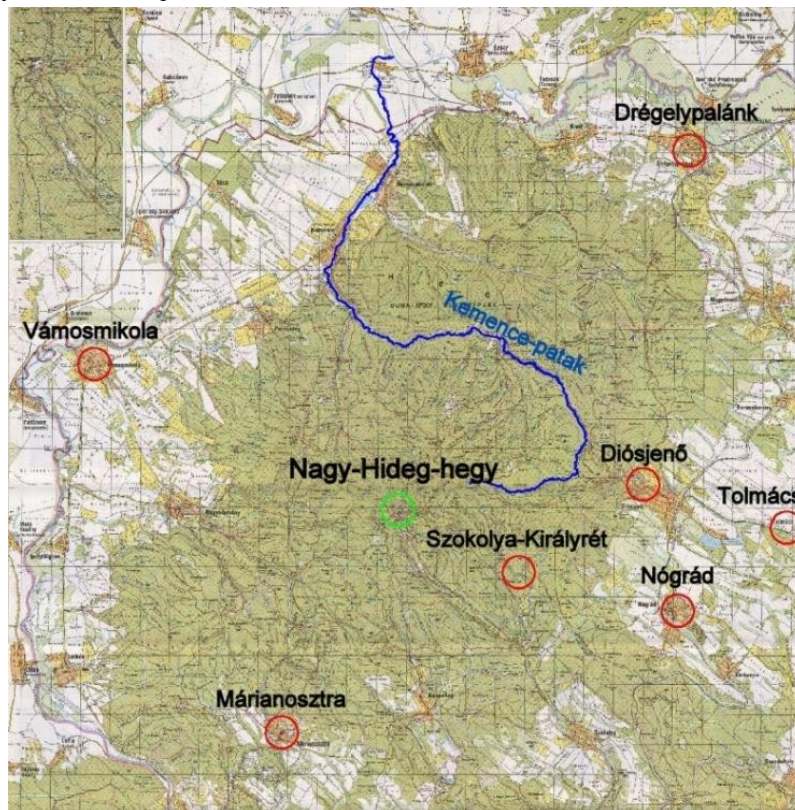
A lefolyásképző csapadék során meghatározott beszivárgást a program úgy tekinti, mint a lineáris tározóba (Linear Reservoir) befolyó hozamot. Egy vagy két talajvízréteget lehet figyelembe venni (GW1 és GW2), melyek között a felhasználó által megszabott arányokban oszlik meg a beszivárgott vízmennyiség. A második rétegből azonban a víz elszivárog és nem kerül vissza a vízfolyásba. Lehetőség van arra is, hogy bizonyos talajnedvességgel számoló módszereket alkalmazva, a beszivárgásként megadott értékek később felszín alatti hozzáfolyásként visszakérüljenek a patakba. Kétféle paramétert kell kiválasztani az egyes talajvízrétegekre: egy kezdeti értéket  $m^3/s$ -ban (GW Initial) és egy tározási együtthatót (GW Coefficient). A kezdeti érték megadja, hogy időegység alatt mekkora vízmennyiség kerül a talajból a vízfolyásba (területegységre is megadható lenne ez az érték), a tározási együttható egy konstans időmennyiség a lineáris tározás idejére az egyes rétegekben. Ezekon kívül az



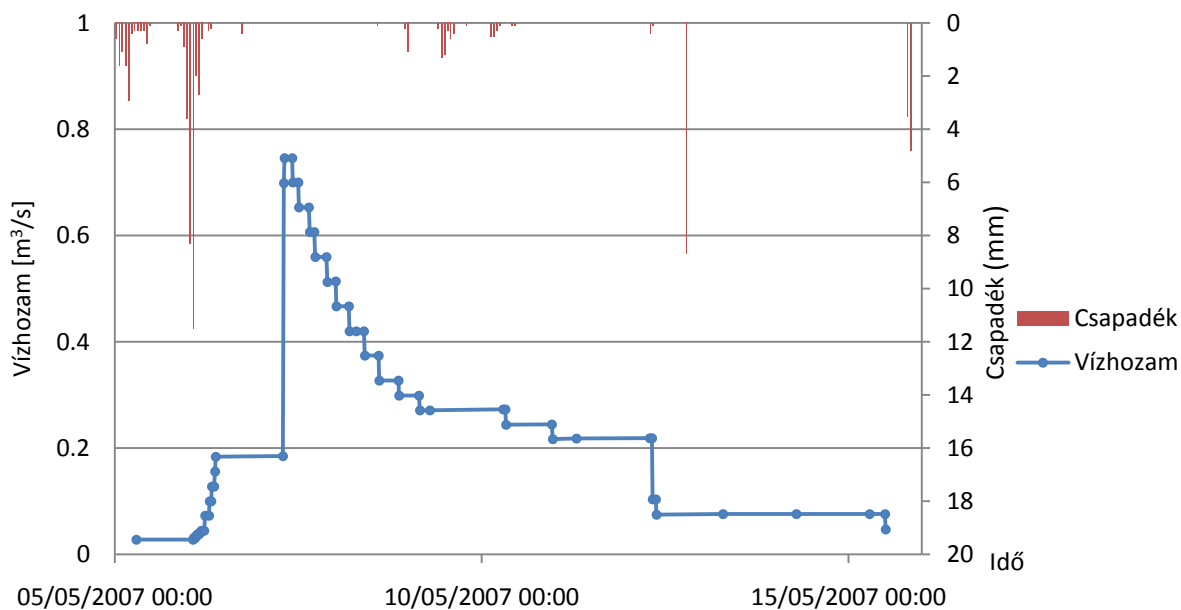
egyes talajvízrétegekre beállítható az egymás után sorba következő tározási rétegek száma, melyek növekedésével a késleltetés is nő. (Széles 2011)

A mederbeli lefolyás számításához a Muskingum-Cunge módszert választottunk (itt is eltérünk a Bükkös-patak paramétereitől (Lag módszer)), melyhez szükséges volt a mederalak kiválasztására, melynél a kör, háromszög, nyolcszög, stb alakok közül a trapézút választottuk. A meder geometriáját meg kellett adni az egyes vízfolyásszakaszokra a mederszélességgel (Width) [m] és a rézsúhajlással (Side Slope) (xH:1V). A meder hosszát (Length), esését (Slope), és Manning-féle érdességi együtthatóját (Manning's n) is meg kell határozni méterben illetve m/m-ben.

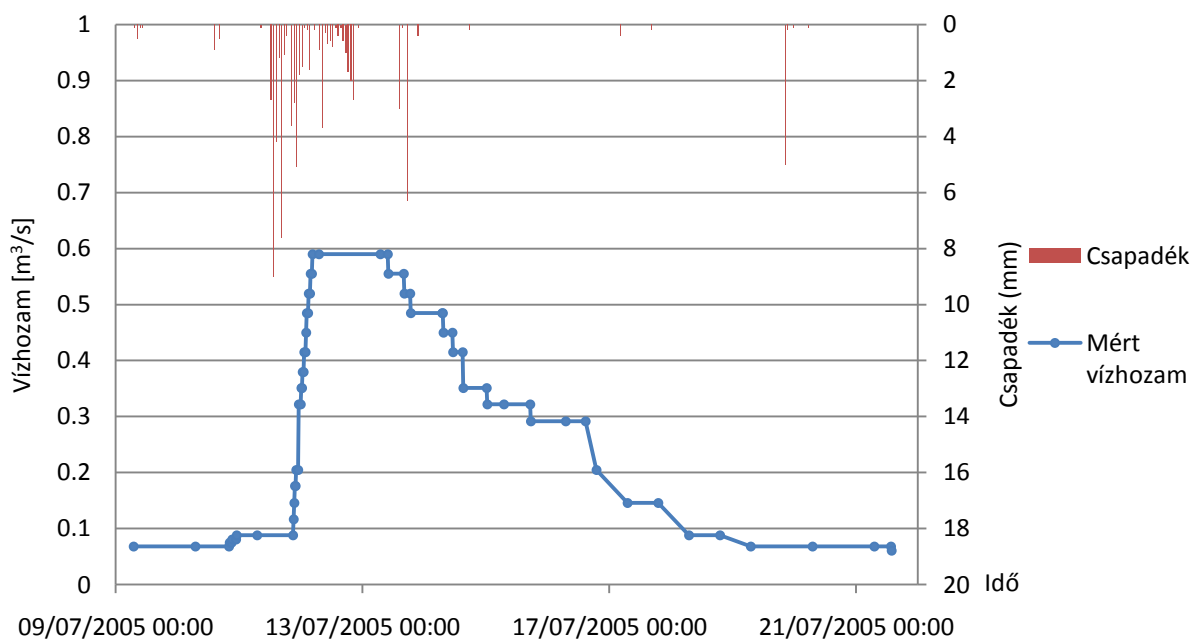
A kalibráláshoz kiválasztott két árhullámhoz kikértük az adott időszakra vonatkozó csapadékadatokat órás bontásban a vízgyűjtőhöz legközelebb eső mérőállomásról, mely a Nagy-Hideg-hegyen található. A 19. ábrán látható az OMSZ mérőállomások elhelyezkedése. Lehetőségünk lett volna több csapadékmérő adatainak felhasználására is, de a modell egyszerűsítése érdekében ettől eltekintettünk, és csak a vízgyűjtő szempontjából legmértvadóbb állomás adataival dolgoztunk. Az említett időszakokra a csapadék és a válaszként lefolyó árhullám jól látható a 20. és a 21. ábrán.



19. ábra: OMSZ mérőállomások a Börzsönyben és környékén



20. ábra: A csapadék és az ennek hatására levonuló árhullám a 2007-es időszakra

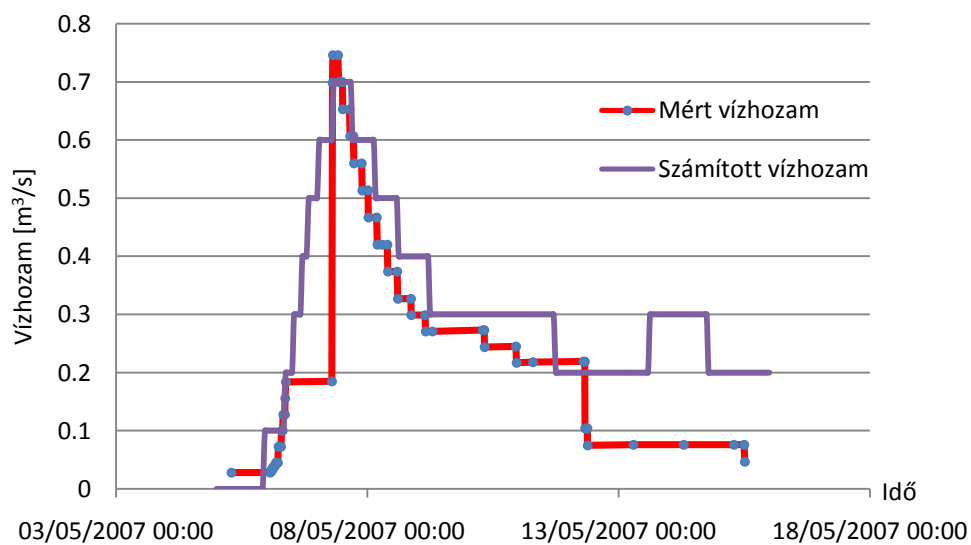


21. ábra: A csapadék és az ennek hatására levonuló árhullám a 2005-ös időszakra

A választott két időszak 2005.07.09.-07.21. és 2007.05.05.-05.15. Először a 2007-es árhullámra végeztük el a kalibrációt. Az 3. táblázat mutatja a kalibrált paramétereket (ahol nincs külön feltüntetve a vízfolyás vagy a részvízgyűjtő száma, ott az érték minden egységre vonatkozik). Az 22. ábrán látható a mért és a számított vízhozam.

3. táblázat: Paraméterek (2007)

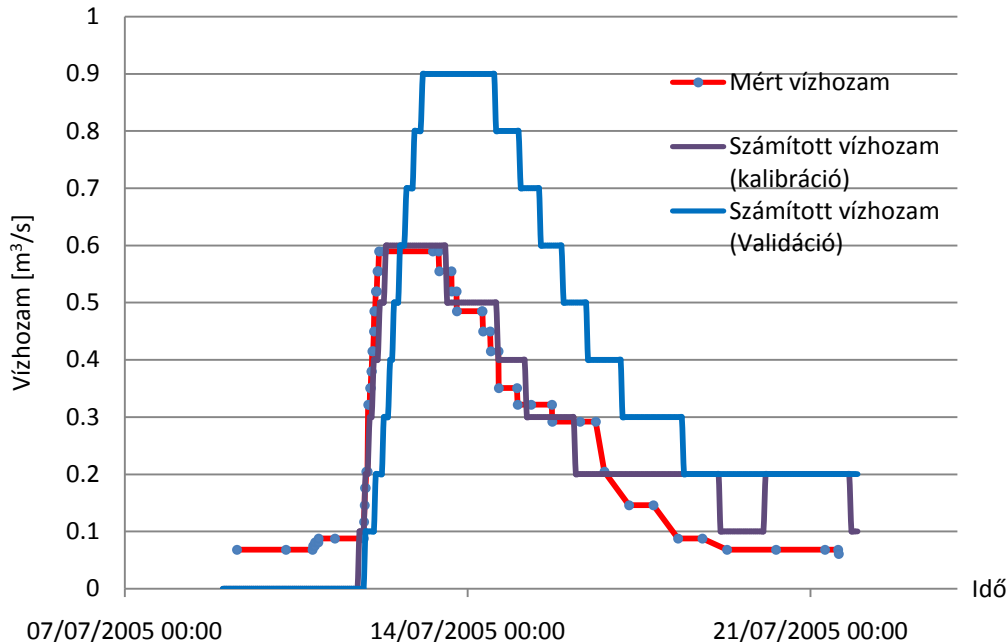
Simple Canopy	Initial Storage [%]	Max Storage [mm]				
	20	5				
Simple Surface	Initial Storage [%]	Max. Storage [mm]				
	1	10				
Deficit and Constant Loss	Initial Deficit [mm]	Maximum Storage [mm]	Constant Rate [mm/Hr]	Impervious [%]		
	120	200	60	10		
Clark Unit Hydrograph Transform	Részvízgyűjtő jele	Time of concentration [Hr]	Storage coefficient [Hr]			
	W810	50	165			
	W900	50	165			
	W760	40	35			
	W980	40	52			
	W800	35	40			
	W550	30	20			
Linear Reservoir Baseflow	GW1 Initial [m <sup>3</sup> /s]	GW1 Coefficient [Hr]	GW1 Reservoirs			
	0.001	50	2			
Muscingum-Cunge Routing	Reach	Length [m]	Slope [m/m]	Manning's n	Width [m]	Slide Slope (xH:1V)
	R240	3060	0.007	0.1	2	1
	R260	5370	0.016	0.1	3	1
	R230	6550	0.010	0.1	4	1



22. ábra: Kalibráció a 2007-es árhullámra



Validálásként lefuttattuk a modellt a 2005-ös árhullámra, a 23. ábrán látható, hogy a görbék nem egyeznek, a tetőzés időben később következnek be és mennyiségre is nagyobb, mint a mért érték. Ennek oka lehet a két árhullám közötti eltérés, mely mind az árhullámok alakjában, mind a lehullott csapadék eloszlásában megnyilvánul. Míg 2007-ben hirtelen, több csapadék hullott, 2005-ben hosszabb idő alatt kevesebb, ez jól látható a fenti 20. és 21. ábrákon.



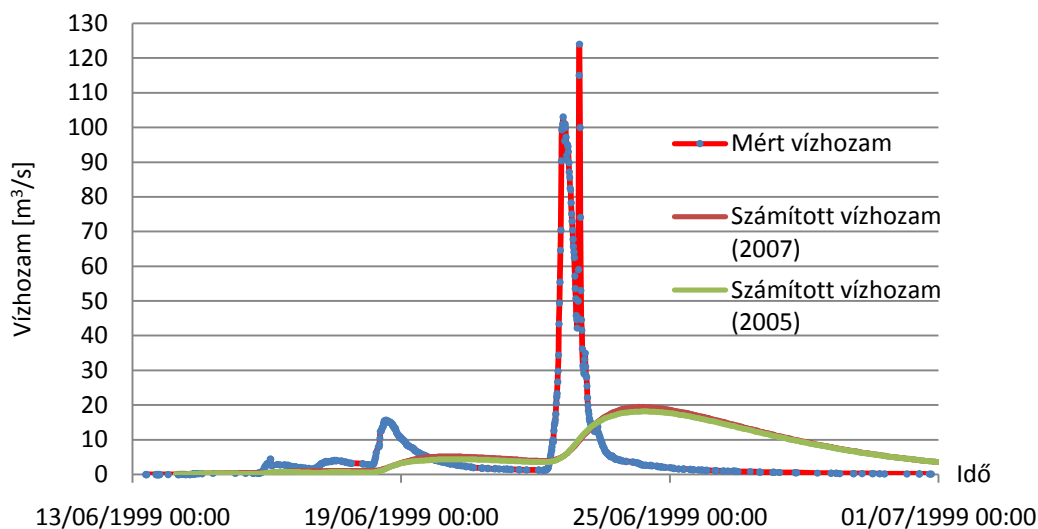
23. ábra: Validáció és kalibráció a 2005-ös árhullámra

A fenti 23. ábrán látható, hogy a kalibrálást elvégeztük a 2005-ös árhullámra is, így merőben más értékeket kaptunk, mint az első kalibráció során. A modell leginkább a Transform értékeire érzékeny, így ezek változtatásával oldottuk meg a kalibrálást. A 4. táblázatban láthatóak a megváltoztatott értékek. Látható az is, hogy a legtöbb érték jelentősen eltér a 2007-es kalibráció értékeitől. Kísérletet tettünk az értékek közelítésére, de nem sikerült olyan értékkombinációt találni, melynél mindkét árhullámra jól illeszkedne a számított árhullám.

4. táblázat: Kalibráció (2005)

Clark Unit Hydrograph Transform		
W.S.	Time of concentration [Hr]	Storage coefficient [Hr]
W810	100	900
W900	90	900
W760	20	300
W980	25	140
W800	10	30
W550	20	20

Mivel a végső célunk, hogy az általunk méretezett tározót beilleszthessük a modellbe és megvizsgálhassuk viselkedését az 1999-es rendkívüli csapadék esetén, lefuttattuk a modellt úgy, hogy az 1999-es csapadékot adtuk be a programnak, mindkét kalibráció esetén. Az eredményt a 24. ábra mutatja. Jól látható, hogy az árhullám jóval laposabb, mint a mért árhullám. Figyelembe kell venni ugyan, hogy a több mint  $100 \text{ m}^3/\text{s}$ -os csúcs a tározó gátjának átszakadásával keletkezett, de az árhullám tározó nélkül sem lehetne ennyire ellaposodott. Mindezekből azt a következtetést vontuk le, hogy alapvetően nem lehet megfelelő, ha ilyen kis vízhozamú árhullámokkal kalibrálunk és egy ekkora árhullámot akarunk modellezni. A kalibráláshoz használt árhullámok maximális vízhozamának több mint 100-szorosa az 1999-es nagycsapadék hatására keletkezett árhullám tetőző vízhozama.



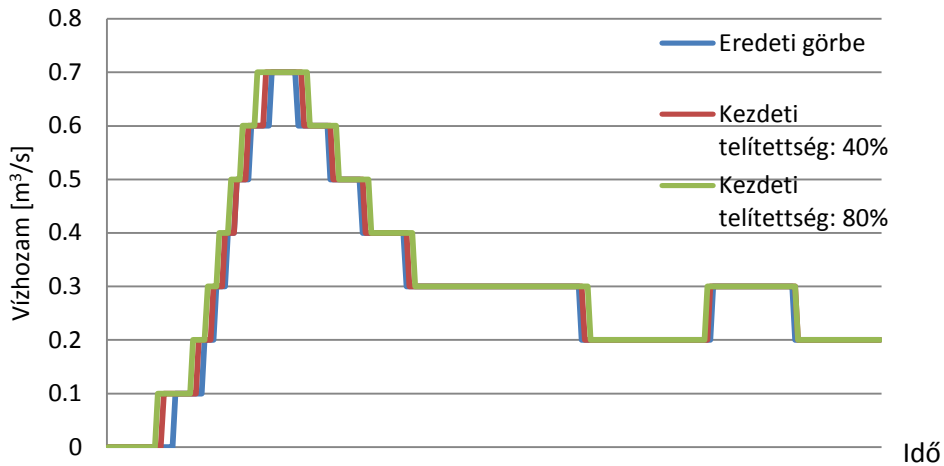
24. ábra: Az 1999-es árhullám számítása a 2005-ös és a 2007-es árhullámra kalibrált értékekkel

#### 5.4 Érzékenységvizsgálat kis vízhozamok esetén

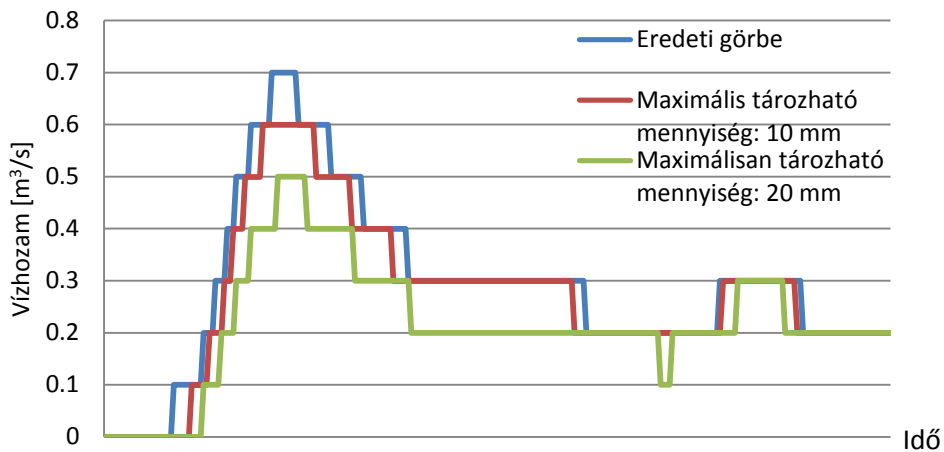
Hogy jobban megismerjük a modell működését, érzékenységvizsgálatot végeztünk azokra a paraméterekre, melyekről mért vagy számított adat nem állt rendelkezésünkre. Az érzékenységvizsgálat során a 2007-es árhullámra kalibrált értékeket változtattuk. A paraméterek változtatásának mértékét nem tudtuk mindenhol ugyanannyira venni, ahogy azt az érzékenységvizsgálat során szokás, hiszen a különböző paraméterekhez meglehetősen különböző mennyiségek társulnak. Igyekeztünk az adott értéket mindig releváns határok között mozgatni és rámutatni arra, hogy melyik érték milyen befolyással van az árhullámképre. A vizsgálat során azt is megnéztük mi történik, ha az adott elemet egyáltalán nem vetjük figyelembe a programmal. Sok paraméter a vízgyűjtők vagy patakszakaszok minőségét jellemzi, így minden részvízgyűjtőre és patakszakaszra ugyanaz a paraméter használható, mivel esetünkben a részvízgyűjtők nem térnek el jelentősen egymástól. Ahol a paraméter a terület nagyságától, vagy a szakasz hosszától függ, külön kitérünk a paraméterek változtatásának módjára.

A növényzet esetén ha a kezdeti telítettséget kétszeresére illetve négyszeresére növeljük, az árhullám némileg kiszélesedik, vagyis megnövekszik a lefolyó vízmennyiség, hiszen a növényzet kevesebb vizet tud elnyelni (25. ábra). Ha a maximálisan tározható vízmennyiséget

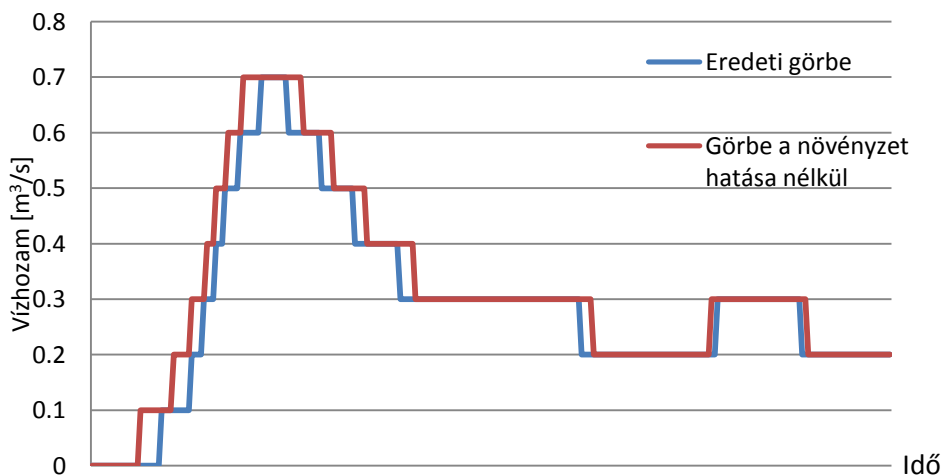
növeljük ugyanígy, az árhullámkép jelentősebben változik. Csökkennek a tetőző vízhozamok és kissé ellaposodik/csúcsosodik az árhullámkép, mivel a növényzetben sokkal több víz tározódik (26. ábra). Ha elhanyagoljuk a növényzet hatását, nem tapasztalunk kifejezetten nagy változást az eredeti állapothoz képest, de ez nyilván a beállított értékek nagyságától függ (27. ábra). Összességében tehát esetünkben a növényzet a *lefoljó vízmennyiségre* van hatással, a *tetőzés időpontját nem befolyásolja*.



25. ábra: A növényzet kezdeti telítettségének hatása



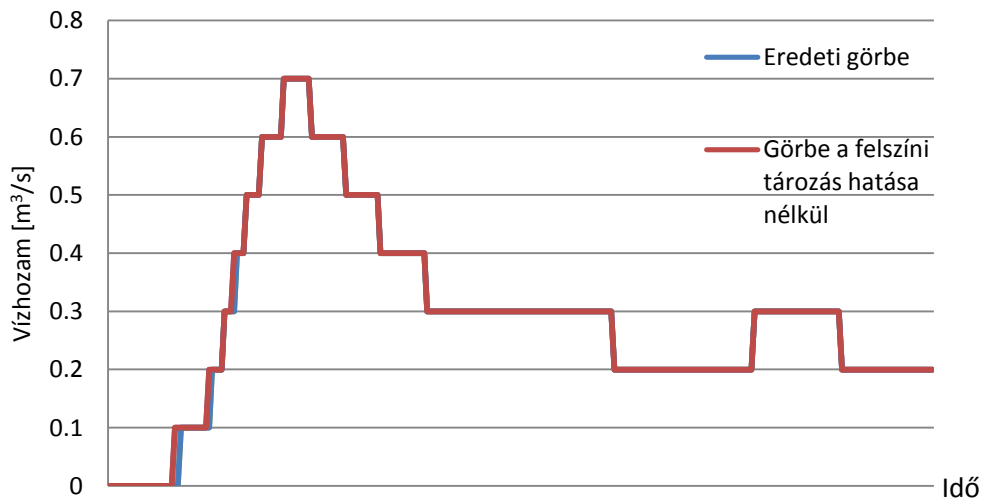
26. ábra: A növényzet maximális tározó mennyiségének hatása



27. ábra: A növényzet hatásának elhanyagolása

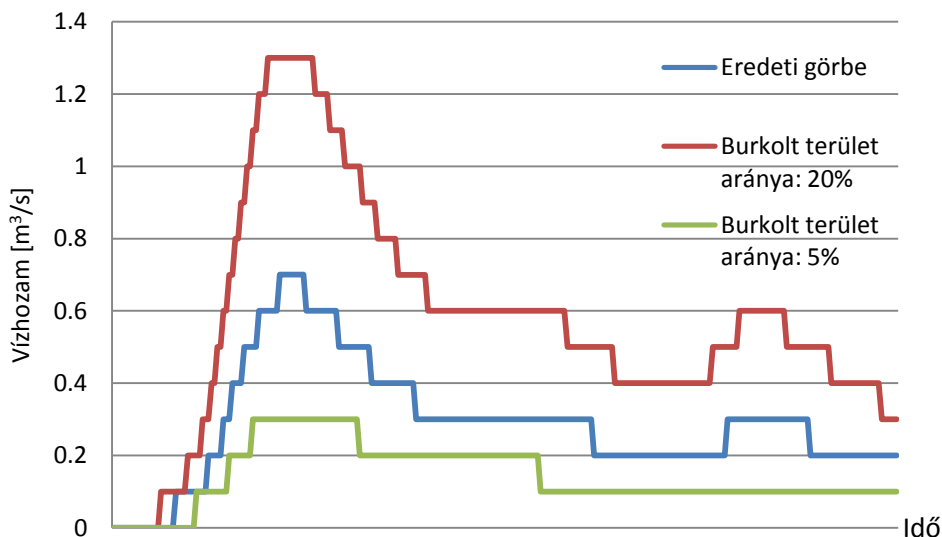


A felszíni tározás esetén mindkét értéket jelentős mértékben megváltoztattuk (megtöbbszöröztük), ám így sem tapasztaltunk változást az eredeti függvényhez képest. A felszín hatásának elhanyagolása is csak minimális eltérést okozott, mely a 28. ábrán látható. Kijelenthetjük, hogy esetünkben ezen paraméterek *használata elhanyagolható*.



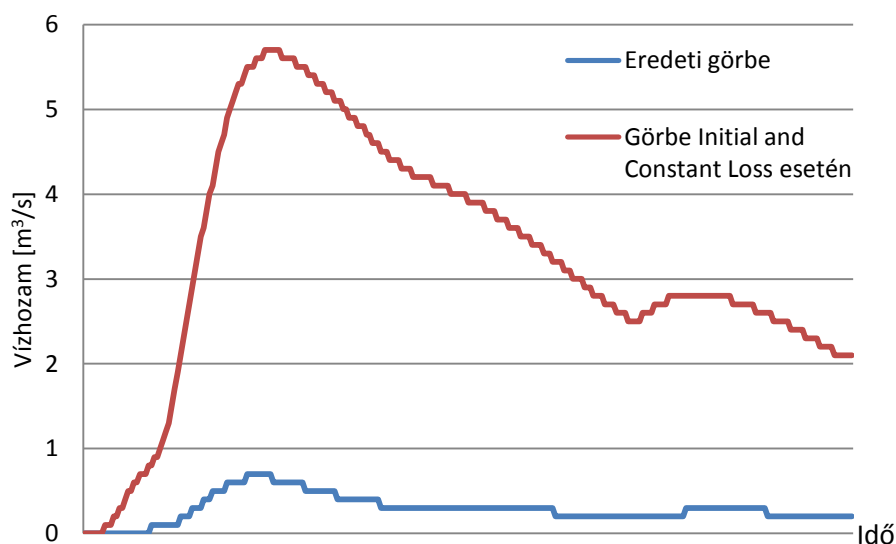
28. ábra: A felszíni tározás hatásának elhanyagolása

A lefolyásképző csapadékok esetén a kezdeti hiány, a maximum tározható mennyiség és a beszivárgási sebesség felezése illetve kétszerezése nem okozott semmilyen változást, viszont a burkolt területek arányának változtatása jelentősen befolyásolja a lefolyást. A 29. ábrán jól látható, hogy a vízhozamgörbe ellaposodik, illetve csúcsosodik ha felezzük vagy kétszerezünk a burkolt terület arányát. A lefolyásképző csapadék nem elhanyagolható, a program hibüzenetet ad és nem tudja befejezni a futtatást. A lefolyásképző csapadék változása szintén a *levonuló vízhozam mennyiségét* befolyásolja.



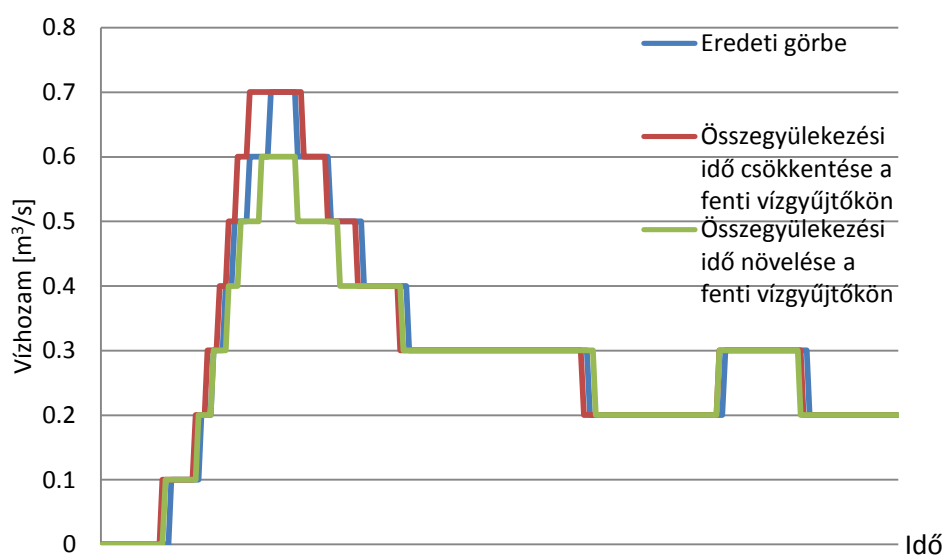
29. ábra: Burkolt terület arányának hatása

Bemutatjuk azt az esetet is, amikor az Initial and Constant módszert használjuk a lefolyásképző csapadék számításához. A 30. ábrán jól látható a már említett kialakuló nagy vízhozam. A tetőzés időpontja és az árhullám alakja sem változik meg kifejezetten, de a tetőző vízhozam mintegy tízszerese a valós vízhozamnak. Esetünkben szerencsésebb a fent leírt mód alkalmazása lefolyásképző csapadék számítására.

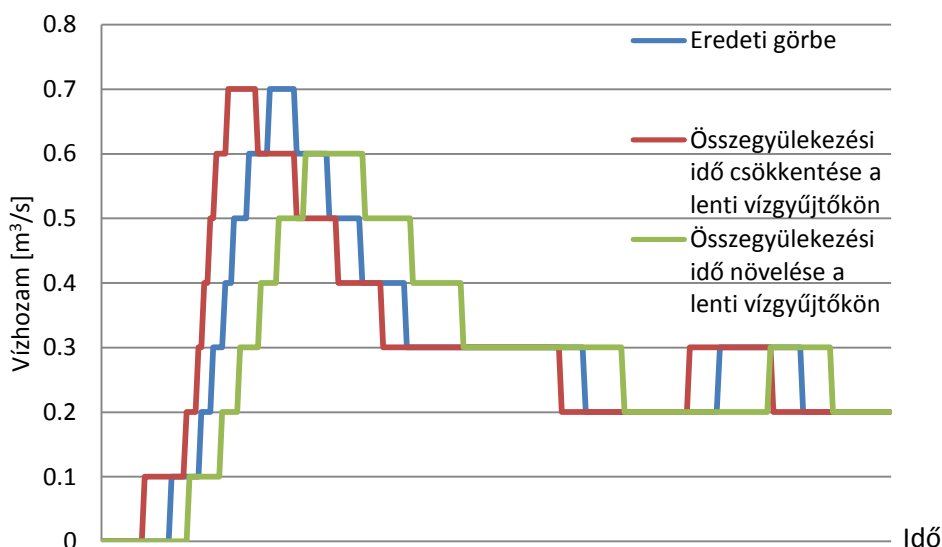


30. ábra: Lefolyásképző csapadék számítása Initial and Constant módszerrel

Mivel a felszíni lefolyásnál minden részvízgyűjtőre külön kellett meghatározni az értékeket, elkülönítettük felső és alsó szakaszt a vízgyűjtőn belül. A felső három és az alsó három részvízgyűjtőre külön változtattuk a paramétereket, mivel az összegyülekezési időnél és a tározási időnél is számít, hogy az adott részvízgyűjtő közelebb vagy távolabb található a mércéhez. Ezen paramétereknél is feleztem illetve dupláztam az értékeket. A 31. ábrán látható, hogy ha a felső részvízgyűjtőkön csökken az összegyülekezési idő, az árhullámkép meredekebbé válik, ezáltal a tetőzés időpontja is korábbra esik. Fordított esetben az árhullámkép laposodik, a tetőzés késleltetődik. A felső vízgyűjtőkön változtatva az összegyülekezési időt ugyanúgy az imént leírt változások következnek be, csak nagyobb mértékben (32. ábra).

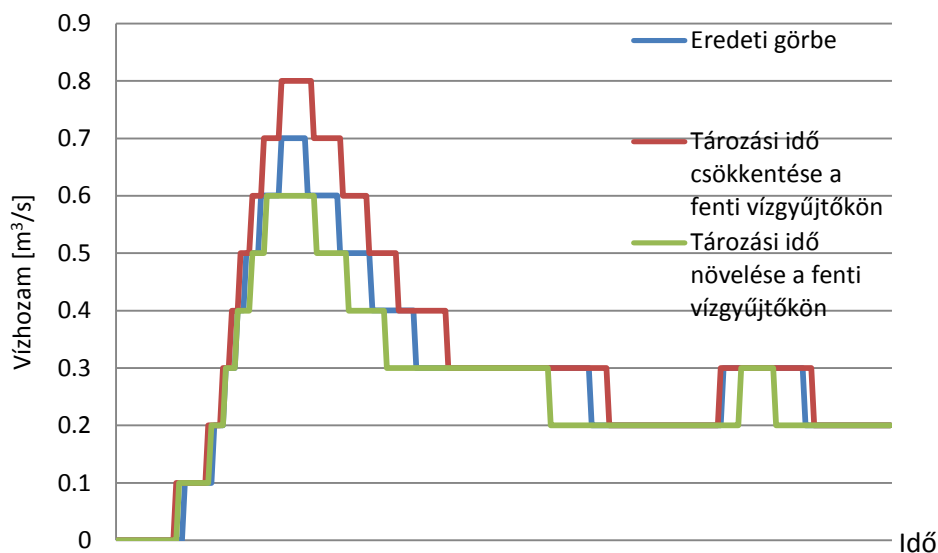


31. ábra: Az összegyülekezési idő változtatásának hatása a felső vízgyűjtőkön

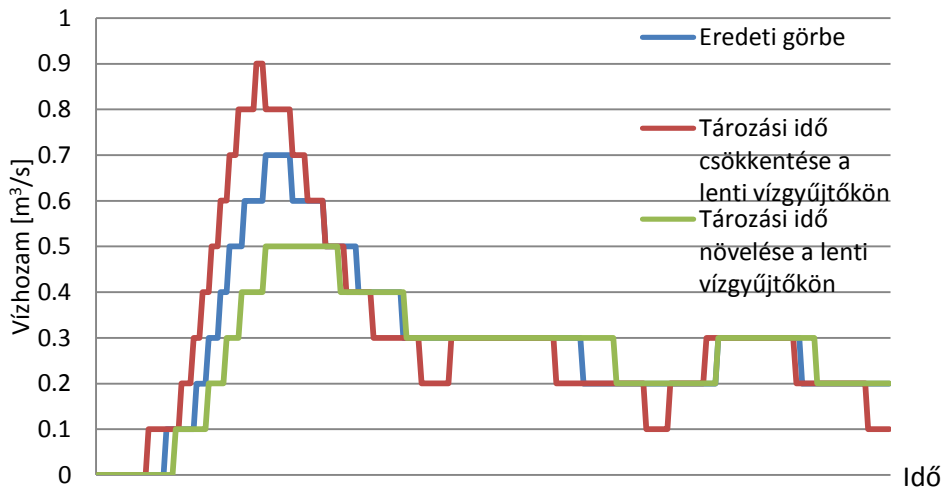


32. ábra: Az összegyülekezési idő változtatásának hatása az alsó vízgyűjtőkön

Ha a tározási időket változtatom a már említett módon, a 33. és 34. ábrákon jól látható, hogy a vízhozamok növelés esetén csökkennek, csökkentés esetén nőnek. A tetőzés eltolódása azonban ellentétesen történt. A fenti részvízgyűjtők esetén növelés hatására balra, csökkentés hatására jobbra tolódtak el a tetőzések. A lenti vízgyűjtőkönél csökkentés hatására balra, növelés hatására jobbra tolódott el a tetőzés időpontja. Megállapítható, hogy ezen paraméterek változtatása igen összetett feladat. Mind az *árhullám meredekségét, tetőző vízhozamát, és a tetőzés időpontját is lehet befolyásolni* változtatásukkal.

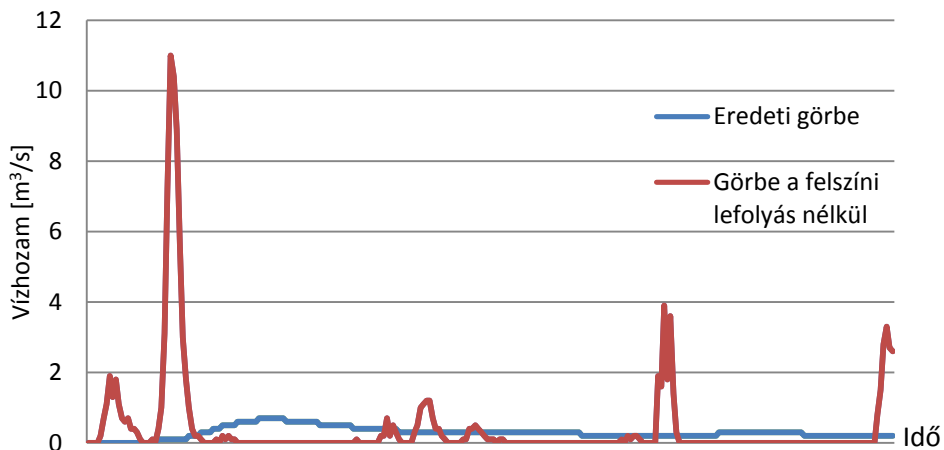


33. ábra: A tározási idő változtatásának hatása a felső vízgyűjtőkön



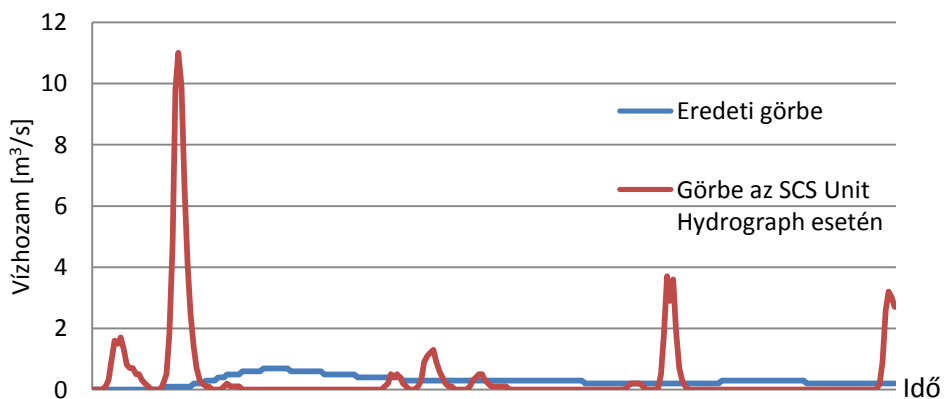
34. ábra: A tározási idő változtatásának hatása az alsó vízgyűjtőkön

A felszíni lefolyás elhanyagolásának hatására nagyon hirtelen lefolyású, túszerű árullámokat kaptunk, egyértelmű, hogy ezen elem nem elhanyagolható (35. ábra).



35. ábra: A felszíni lefolyás hatásának elhanyagolása

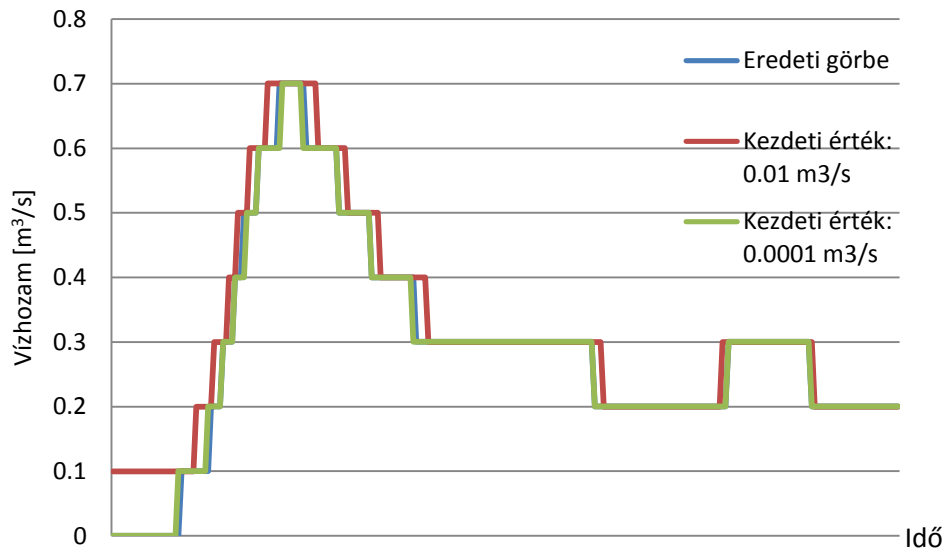
A 36. ábrán látható, hogyha a CSC Unit Hydrograph módszert használjuk, a fenti 35. ábrához hasonló képet kapunk, így ennek a számítási módszernek a használata nem ajánlott esetünkben.



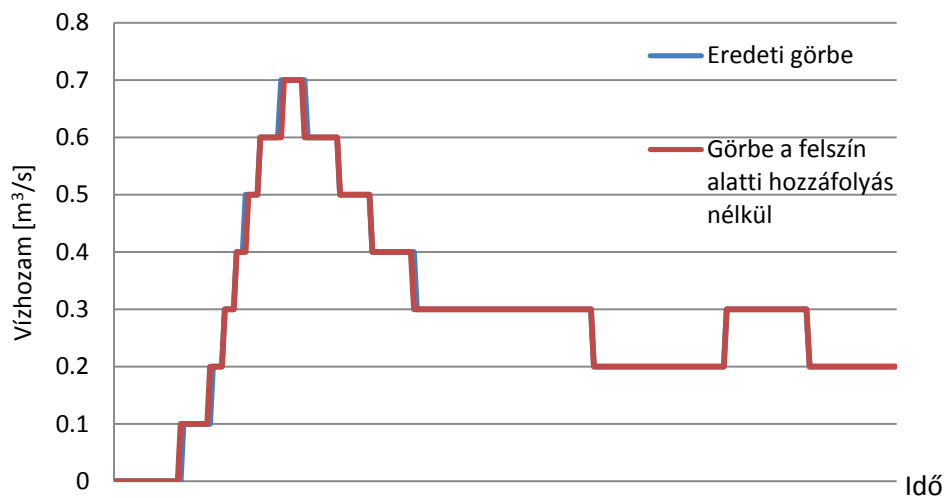
36. ábra: A CSC Unit Hydrograph módszer alkalmazása



A felszín alatti hozzáfolyás esetén csak a kezdeti érték változtatása vezetett látható eredményre. Az értéket a tizedére illetve a tízszeresére változtatva látható, hogy több illetve kevesebb lett a lefolyó vízmennyiség, hasonlóan a növényzetnél tapasztaltakhoz (37. ábra). A felszín alatti hozzáfolyás elhanyagolása nem vezetett lényegi változásokhoz (38. ábra), így ezt az elemet is kiiktathatónak tekintjük esetünkben. A felszín alatti hozzáfolyással tehát *változtatható a lefolyó vízhozam mennyisége*.

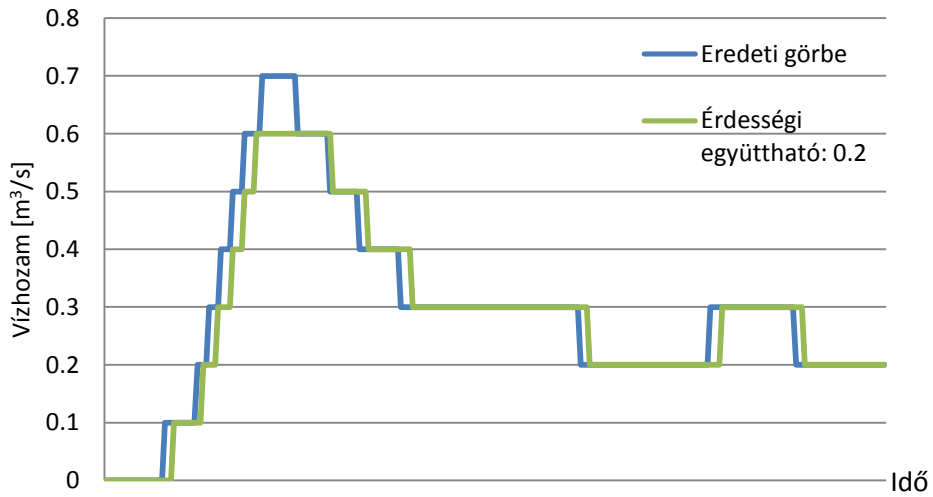


37. ábra: A felszín alatti hozzáfolyás kezdeti értékének változtatása

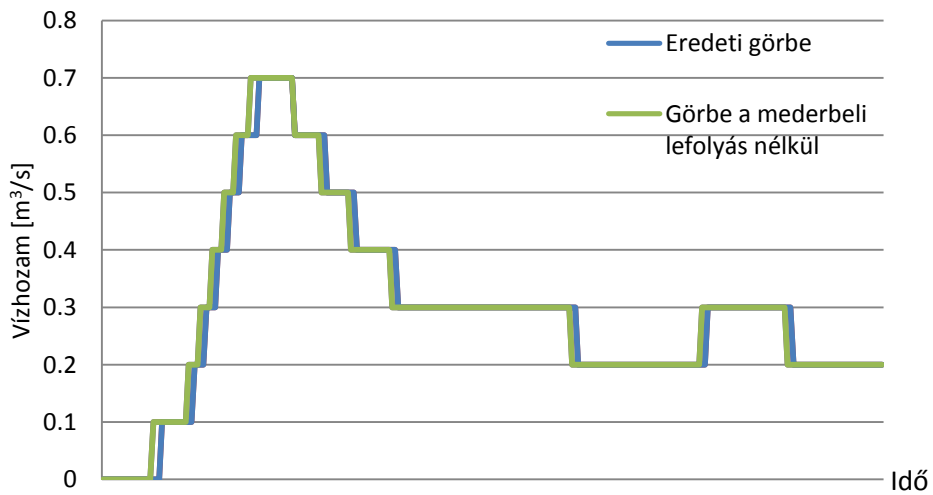


38. ábra: A felszín alatti hozzáfolyás elhanyagolásának hatása

A mederbeli lefolyás számításánál a meder alakjára vonatkozó paraméterek, a szakaszok hossza, esése ismert vagy számított értékek, így csak a Manning-féle érdesség változtatásával foglalkoztunk. Ha az érdességet a kétszeresére növeltük, az árhullám alacsonyabb vízhozamon és kicsit később tetőzött, mint eredetileg (39. ábra). Az érdességet a felére változtattuk, nem volt tapasztalható változás. A mederbeli lefolyás számításának elhanyagolása is csak kisebb változást okozott (40. ábra). Az érdesség változtatásával tehát *befolyásolható a tetőzés időpontja és a tetőző vízhozam* is, ám esetünkben a mederbeli lefolyásszámítás hatása igen kicsi.

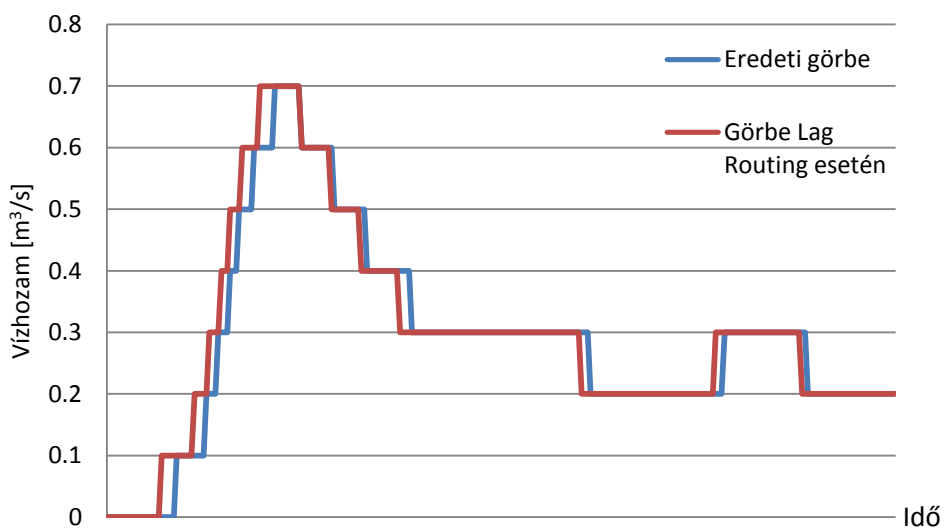


39. ábra: Az érdesség változtatásának hatása



40. ábra: A mederbeli lefolyás számításának elhanyagolása

Ha a Lag módszert használtuk a lefolyás számítására, a görbe áradó ága meredekebbé vált (41. ábra).



41. ábra: Mederbeli lefolyás számítása Lag módszerrel

Fontos hozzátenni az érzékenységvizsgálathoz, hogy minden alkalommal csak egy adott paramétert változtattunk. Ha több paramétert egyszerre változtatunk, vagy több elemet egyszerre iktatunk ki, teljesen más lehet a hatásuk együtt, mint külön-külön. Ilyen sok paraméter esetén tehát nagyon körülményes és összetett feladat a megfelelő paraméterek beállítása. Alább látható egy összefoglaló táblázat az egyes paraméterek változtatásának hatásáról (5. táblázat). A változtatás alatt minden esetben csökkentést értünk, a zölddel jelölt paraméterek az általunk használtak, a késsel jelöltek a Széles által használt paraméterek. Utóbbiak esetén a módszer használatának kihatását tüntettük fel. A szimbólumok mennyisége a változás intenzitását mutatja.

5. táblázat: Az érzékenységvizsgálat összefoglaló táblázata

Paraméter	Tetőzés időpontja	Tetőző vízhozam	Meredekség	Elhanyagolás
Simple Canopy	Initial Storage		-	Kis szélesedés.
	Max Storage		+	
Simple Surface				Nem történt jelentős változás.
Deficit and Constant Loss	Impervious		--	Nem elhanyagolható.
Initial and Constant Loss		+	+++	
Clark Unit Hydrograph Transform	Time of Concentration fent	+	+	Hirtelen lefolyású, nagyon nagy tetőző vízhozamú hullámok keletkeznek.
	Time of Concentration lent	-	+	
	Storage Coefficient fent	+	+	
	Storage Coefficient lent	-	+	
SCS Unit Hydrograph Transform			+++	
Linear Reservoir Baseflow	GW1 Initial			Minimális karcsúsodás.
Musingum-Cunge Routing	Manning's n	+	-	A tetőzés időpontja előbbre kerül.
Lag Routing		-		

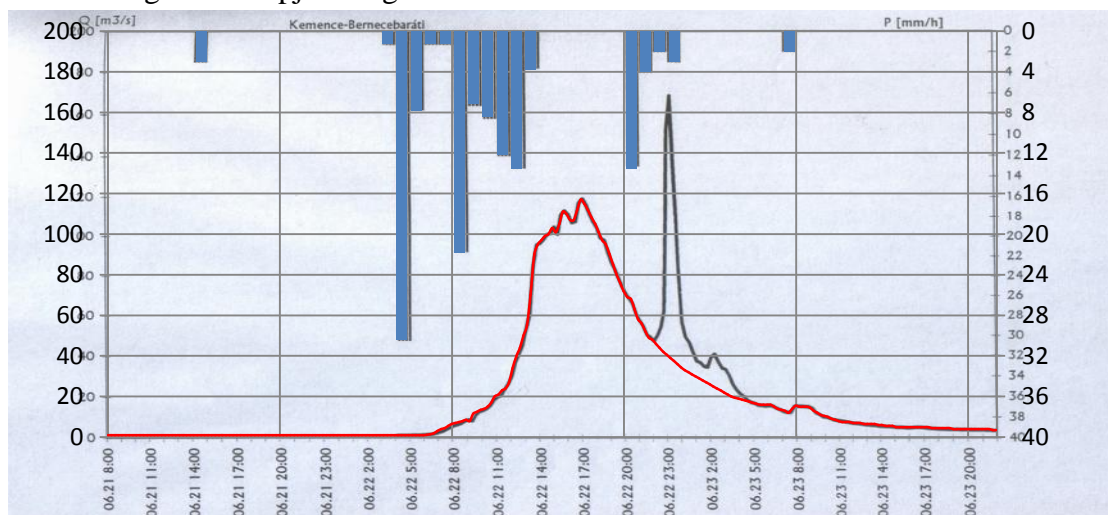
(+) jobbra tolódik  
(-) balra tolódik

(+) nő  
(-) csökken

(+) szélesedik  
(-) keskenyedik

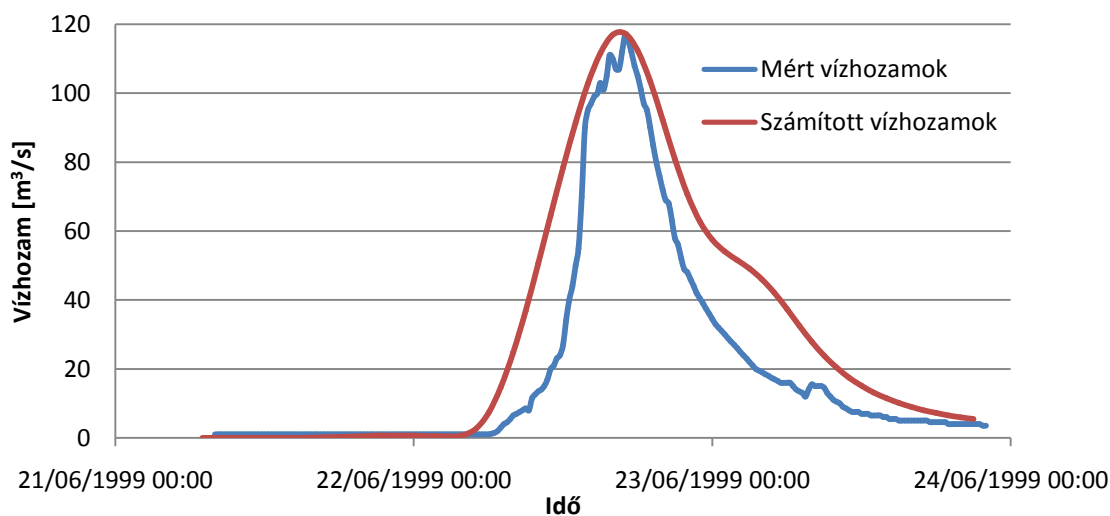
## 5.5 Kalibrálás és validálás nagy vízhozamokra

A tározó 1999-es tönkremeneteléről készült jelentés alapján rendelkezésünkre áll egy olyan vízhozam idősor, mely a tározó és tönkremenetelének hatását nem tartalmazza. Mivel az árhullám érkezésekor már a vészárapasztón kezdett átbukni a víz, szabad lefolyásúnak tekinthetjük az árvizet. A 42. ábrán látható második csúcs keletkezett a tározó leürüléséből, így annak levágásával kapjuk meg a tározó hatása nélküli árhullámot.



42. ábra: Az 1999-es nagycsapadék hatására levonuló árhullám a tározó hatása nélkül

Erre az árhullámra újra kalibráltuk a modellt. A tetőzés időpontját és nagyságát tekintve jól illeszkedett a számított árhullámkép a mért árhullámra, meredekségükben azonban eltérnek, ahogy az a 43. ábrán is látható. Ezt az eredményt ezen felül elfogadhatónak tartottuk, mivel így a biztonság javára valamivel nagyobb levonuló vízmennyiséget veszünk a modellel figyelembe. Az alábbi 6. táblázatban láthatóak piros színnel jelölve a 2007-es kalibráció értékeitől eltérő paraméterek. A növényzetet és a felszint telítetté tettük a program számára, mivel tudtuk, hogy ezt a csapadékot egy jelentős előkészítő csapadék előzte meg. A talaj beszivárgási tényezőjét is sokkal kisebbre vettük, mivel a telített talajba igen kevés csapadék tudott beszivárogni. Továbbá jelentősen csökkentettük a részvízgyűjtőkön a beállított összegyülekezési és tározási időket is.



43. ábra: Kalibráció az 1999-es árhullámra



6. táblázat: Paraméterek (1999)

Simple Canopy	Initial Storage [%]	Max Storage [mm]				
	100	5				
Simple Surface	Initial Storage [%]	Max. Storage [mm]				
	100	10				
Deficit and Constant Loss	Initial Deficit [mm]	Maximum Storage [mm]	Constant Rate [mm/Hr]	Impervious [%]		
	10	200	1	10		
Clark Unit Hydrograph Transform	W.S.	Time of concentration [Hr]	Storage coefficient [Hr]			
	W810	7	5			
	W900	7	7			
	W760	7	7			
	W980	9	5			
	W800	9	5			
Linear Reservoir Baseflow	GW1 Initial [m <sup>3</sup> /s]	GW1 Coefficient [Hr]	GW1 Reservoirs			
	0.001	50	2			
Muscingum -Cunge Routing	Reach	Length [m]	Slope [m/m]	Manning's n	Width [m]	Slide Slope (xH:1V)
	R240	3060	0.007	0.1	2	1
	R260	5370	0.016	0.1	3	1
	R230	6550	0.010	0.1	4	1

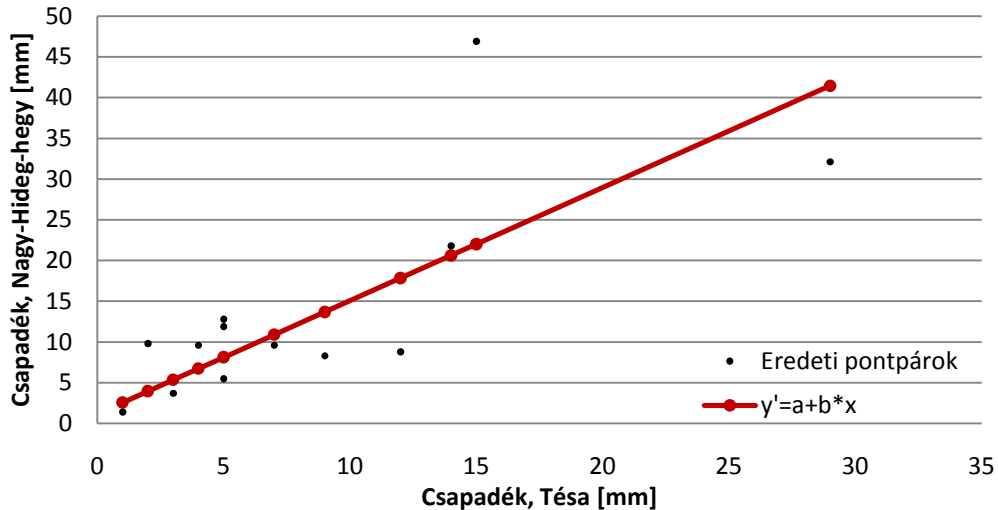
A validálást több árhullámra is elvégeztük. A fenti tapasztalatok alapján különböző tetőző vízhozamú árhullámokra is lefutattuk a modellt, közelítve a kis vízhozamú árhullám felé. A 2000-es években tavaszi-nyári csapadék hatására a legnagyobb árhullám 20 m<sup>3</sup>/s-mal (2010.05.12.-2010.05.22.) tetőzött, emellé választottunk egy 10 m<sup>3</sup>/s-mal (2006.05.24.-2006.06.14.) és egy 5 m<sup>3</sup>/s-mal (2005.08.03.-2005.08.15.) tetőző árhullámot.

Ezen árhullámok időszakaira nem állt rendelkezésünkre órás csapadékidősr a Nagy-Hideg-hegyről, csak Tésa településről tudtunk napi bontásban csapadékatokat beszerezni. Volt azonban két adatsorunk napi bontásban Tésáról és a Nagy-Hideg-hegyről is, így korrelációs számításokkal kapcsolat tudtunk teremteni a két mérőállomás adatai között. A 44. ábrán látható a korrelációs kapcsolat a két függvény között, a részletes számítást a 8.6 számú melléklet tartalmazza. A KoKoWin 2 – 31. ábrája szerint a kapcsolat 13 adatszám esetén  $r=0.87$

korrelációs tényezővel stabilnak tekinthető. A csapadékatokat tehát a Nagy-Hideg-hegyre az alábbi képlettel számítottuk:

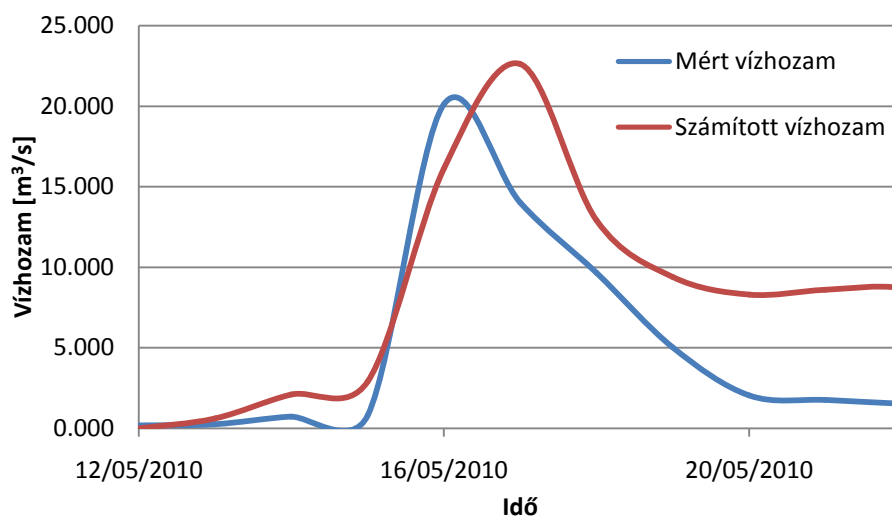
$$y = 1,17 + 1,39 * x$$

ahol y a számított csapadék a Nagy-Hideg-hegyen,  
x a mért csapadékmennyiség Tésán.

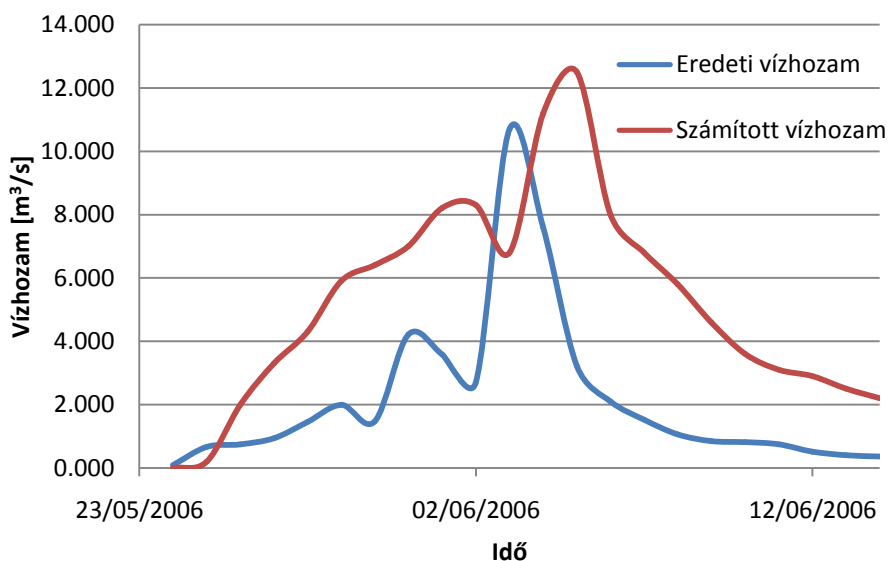


44. ábra: Korrelációs kapcsolat a Tésán és a Nagy-Hideg-hegyen mért csapadékatok között

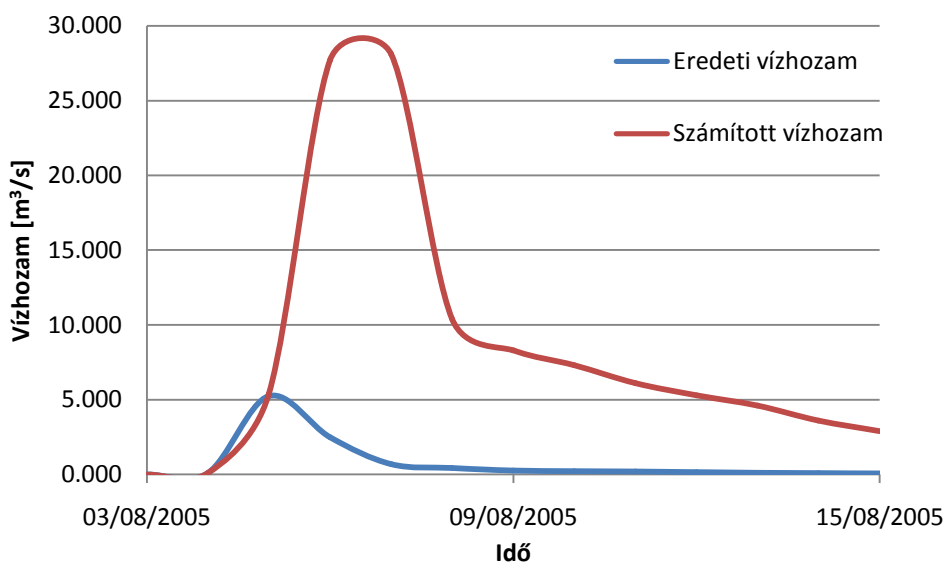
Mivel a programba csak napi csapadékatokat tudunk bevinni, ezért a számítási lépcsőt is napira állítottuk át. Az alábbi 45. ábrán látható, hogy a számított görbe még jól közelíti a mért görbét 20 m<sup>3</sup>/s-os tetőző vízhozamnál. Ahogy csökken a vízhozam 10 illetve 5 m<sup>3</sup>/s-ra ez a kapcsolat egyre gyengébb. Jól látható a 46. és 47. ábrákon, hogy a hiba nem lineárisan, hanem annál sokkal gyorsabban növekszik. Ezzel újfent igazoltuk, hogy a modellt nem lehet és nem is célszerű nagy és kis vízhozamokra egyszerre kalibrálni. Esetünkben a modellt nagy vízhozamokra kalibrálnak tekintjük, de hangsúlyozzuk, hogy a különböző vízhozam-tartományokhoz eltérő kalibrálás szükséges!



45. ábra: Validáció (2010)



46. ábra: Validáció (2006)



47. ábra: Validáció (2005)

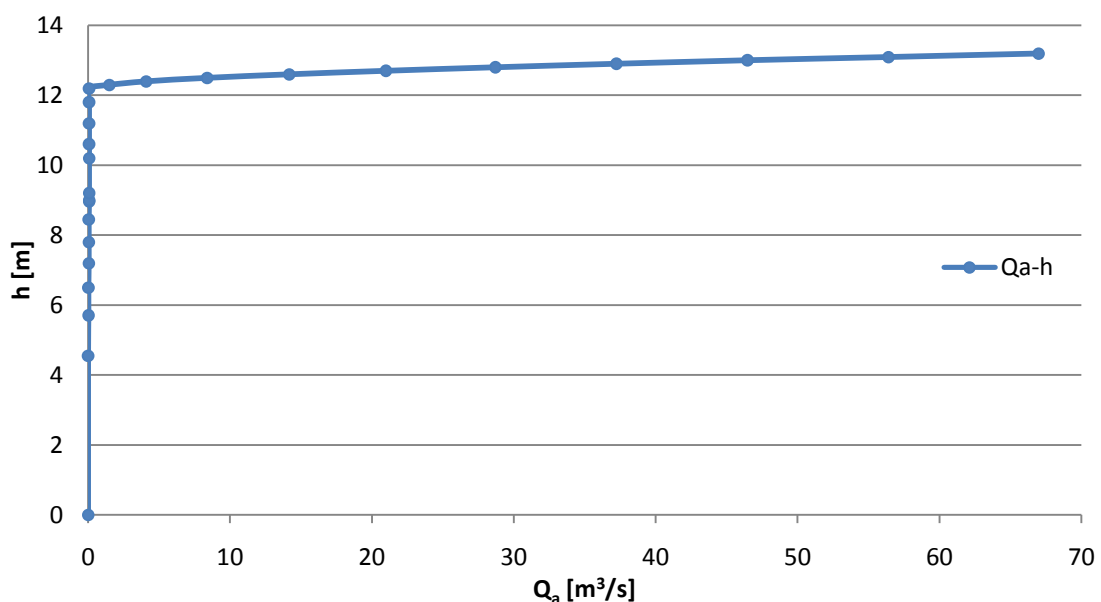
### 5.6 Tározó hatásának modellezése

A tározót alapvetően három különböző módon lehet beadni a programnak. A legegyszerűbb mód, hogy megadunk bemenő paraméterként egy alvízi vízkibocsátás idősort. Ez a módszer akkor hasznos, ha múltbéli eseményeket akarunk modellezni és rendelkezésünkre áll ez az idősor. A másik módszer során meg kell adni a programnak a tározó morfológiai jelleggörbáját és a részletes műtárgyparamétereket. Mivel számunkra ismeretlen a műtárgy alakja, ezt a módszert nem tudtuk alkalmazni. A harmadik módszerben viszont egy hármas összefüggést kell megadni, a vízállás - térfogat (vagy felszín) - kibocsájtott vízhozam összefüggéseket. Ez tulajdonképpen a morfológiai jelleggörbét és a teljesítőképességi görbét takarja. Egy kezdeti feltételt is szükséges megadni a programnak, mely a kezdeti tározott vízmennyiség, a kezdeti vízállás, a kezdeti kibocsájtott vízhozam, vagy a befolyó és kifolyó vízhozamok egyenlővé tétele. A tározó elhelyezkedése a modellben a 48. ábrán látható.



48. ábra: A tározó elhelyezkedése a geometriai modellben

A régi tározó morfológiai jelleggörbéje (mint már említettük) rendelkezésünkre állt. Az általunk számított teljesítőképességi görbe kibocsájtott vízhozamértékei elhanyagolhatóan kicsik a tározó árapasztó műtárgyának átbocsájtó képességéhez mérten. Ha a szoftvernek ezt a görbét adnánk meg, a tározó hamar telítődne, emiatt kiindulási alapként a régi tározó műtárgyának víznyelőképességét hozzáadtuk az általunk számított értékekhez és ezeket adtuk be a programnak (49. ábra). Az 1997-ben kiépült vészárastó vízemésztésének értékeit az 1999-es jelentésben feltüntették, így azok szintén rendelkezésünkre álltak. Kezdeti feltételnek megadtuk az általunk 6,5 m-re választott vízállást.



49. ábra: Az alvízi vízhozam és a vízállás összefüggése



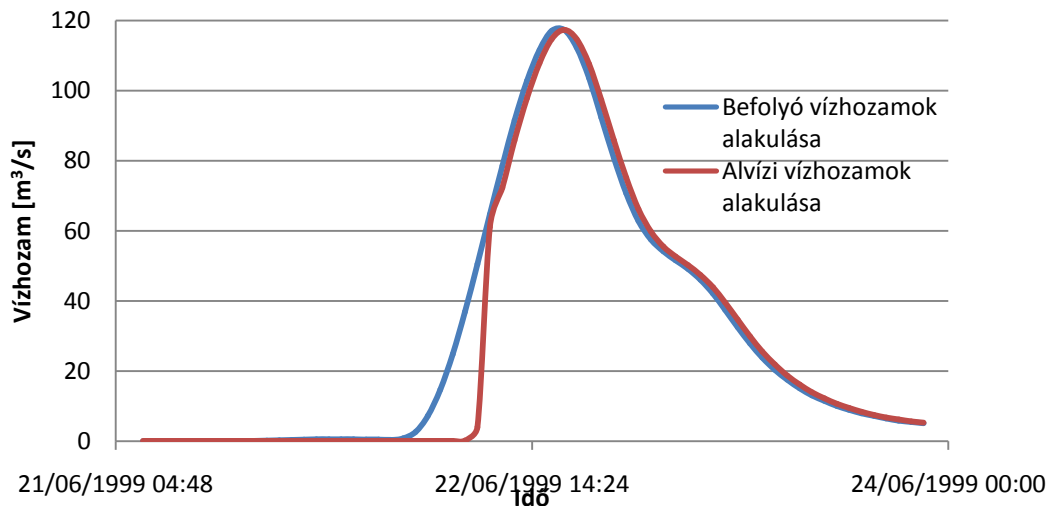
Elsőként a fent említett görbékkel (7. táblázat) és kezdeti feltétellel futtattuk le a modellt. Mint az várható volt a tározó telítetté vált, így a szoftver hibaüzenetet adott és a számítás leállt. Ezek után úgy próbáltuk változtatni a bemenő adatokat, hogy a tározó telítődés nélkül le tudja vezetni az árhullámot.

7. táblázat: A tározó megadásához szükséges értékpárok (görbék) az első futtatás esetén

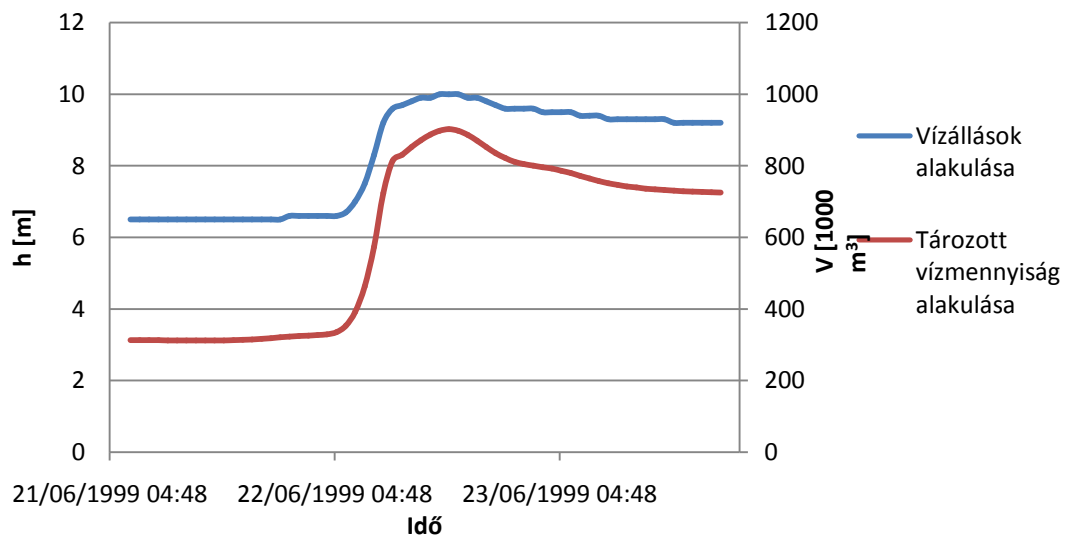
h [m]	V [1000 m <sup>3</sup> ]	h [m]	Q <sub>a</sub> [m <sup>3</sup> /s]	V [1000 m <sup>3</sup> ]	Q <sub>a</sub> [m <sup>3</sup> /s]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.20	1.00	4.55	0.01	100.00	0.01
2.20	5.00	5.70	0.02	205.00	0.02
3.20	26.00	6.50	0.03	265.00	0.03
4.20	75.00	7.20	0.04	400.00	0.04
5.20	150.00	7.80	0.04	480.00	0.04
6.20	265.00	8.45	0.05	600.00	0.05
7.40	425.00	8.96	0.06	690.00	0.06
8.20	552.00	9.00	0.06	735.00	0.06
9.00	709.00	9.20	0.07	745.00	0.07
9.20	720.00	10.20	0.07	910.00	0.07
10.20	903.00	10.60	0.07	990.00	0.07
10.60	1000.00	11.20	0.07	1150.00	0.07
11.20	1200.00	11.80	0.07	1400.00	0.07
11.80	1400.00	12.20	0.07	1610.00	0.07
12.20	1600.00	12.30	1.49	1690.00	1.49
12.60	1800.00	12.40	4.08	1750.00	4.08
12.90	2000.00	12.50	8.40	1800.00	8.40
13.10	2200.00	12.60	14.16	1825.00	14.16
13.20	2300.00	12.70	20.98	1880.00	20.98
		12.80	28.70	1950.00	28.70
		12.90	37.23	2000.00	37.23
		13.00	46.48	2100.00	46.48
		13.10	56.40	2200.00	56.40
		13.20	66.97	2300.00	66.97

Elsőként csak a kezdeti feltételt csökkentettük, ám azt az eredményt kaptuk, hogy ha a tározó teljesen üres lett volna, ekkora vízmennyiséget akkor sem lett volna képes levezetni.

Következő lépésben azt vizsgáltuk meg, hogy hány százalékkal kellene növelni a vészárasztó víznyelőképességét ahhoz, hogy az árhullámot biztonságosan elvezesse. Azt tapasztaltuk, hogy a kibocsájtott vízhozamokat 76%-kal növelve ez megtörtént, ám ezzel azt értük el, hogy az árvízi tetőző vízhozamhoz igazítottuk a vészárasztó vízemésztő képességét. Így az alvízi szakaszon ugyanúgy árvíz alakult volna ki, hiszen a meder nem képes ekkora vízmennyiséget szállítani, az árvízcsúcs-csökkentő hatása a tározónak így nem érvényesülne. Az alábbi ábrákon láthatók a bejövő illetve kibocsájtott vízhozamok, valamint a tározott víztérfogat és a vízmélység időbeli alakulása (50. és 51. ábrák).

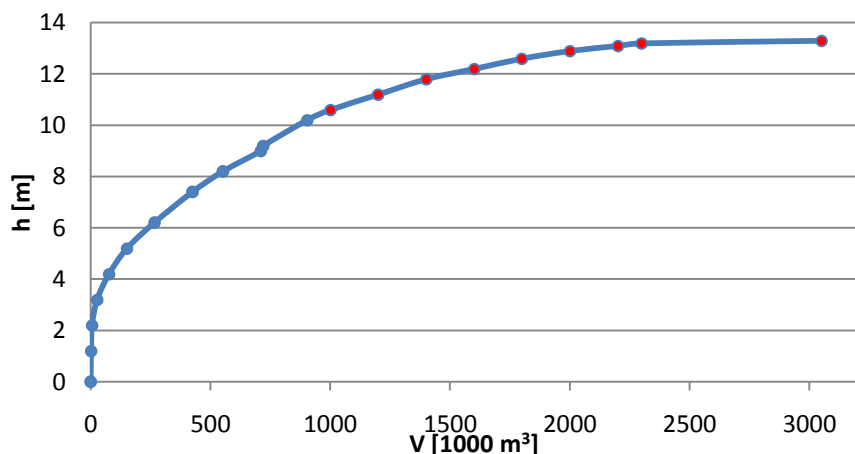


50. ábra: A befolyó és az alvízi vízhozamok alakulása az alvízi vízhozamok változtatása esetén

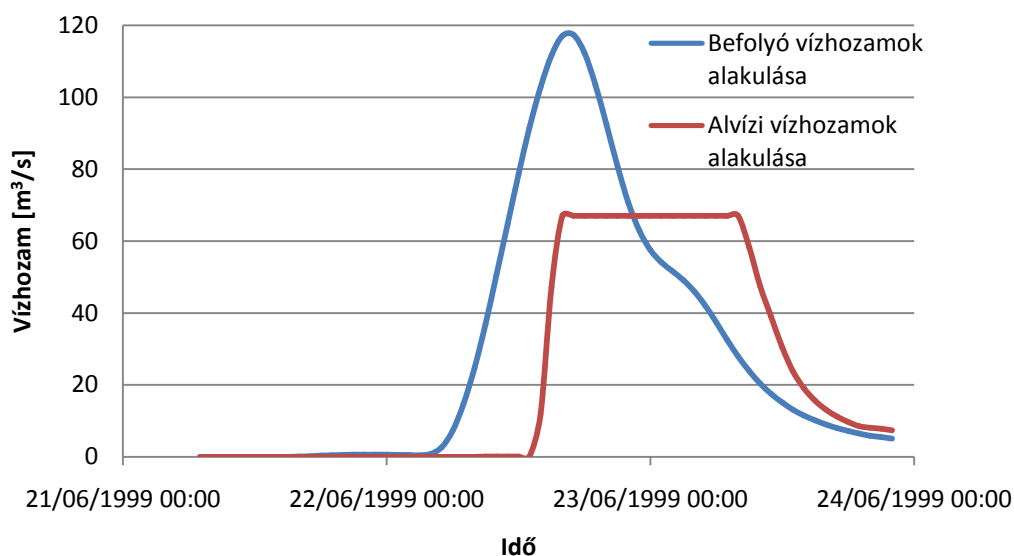


51. ábra: A vízállás és a tározott vízmennyiség alakulása az alvízi vízhozamok változtatása esetén

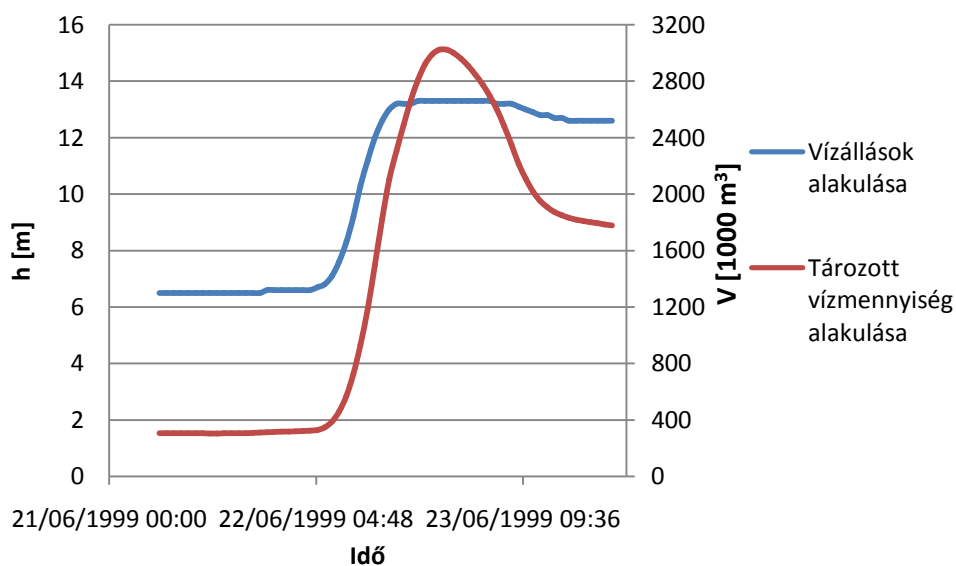
Harmadjára pedig azt próbáltuk megállapítani, hogy mekkora tározó térfogat szükséges az árhullám levezetéséhez a morfológiai görbe bővítésével. Eleinte szabadkézzel húztuk tovább a görbét, majd közel függőleges mederfalat feltételeztünk. Így közel háromszorosára kellett növelnünk a tározó térfogatot, a kapott morfológiai görbe a 52. ábrán látható. A futtatás során kapott görbék az 53. és 34. ábrán láthatók. Hangsúlyozzuk, hogy az így kapott tározóméret esetünkben a valóságban nem kivitelezhető.



52. ábra: A tározó bővített morfológiai görbéje (a piros színel jelölt pontok az általunk felvett értékeket jelölik)

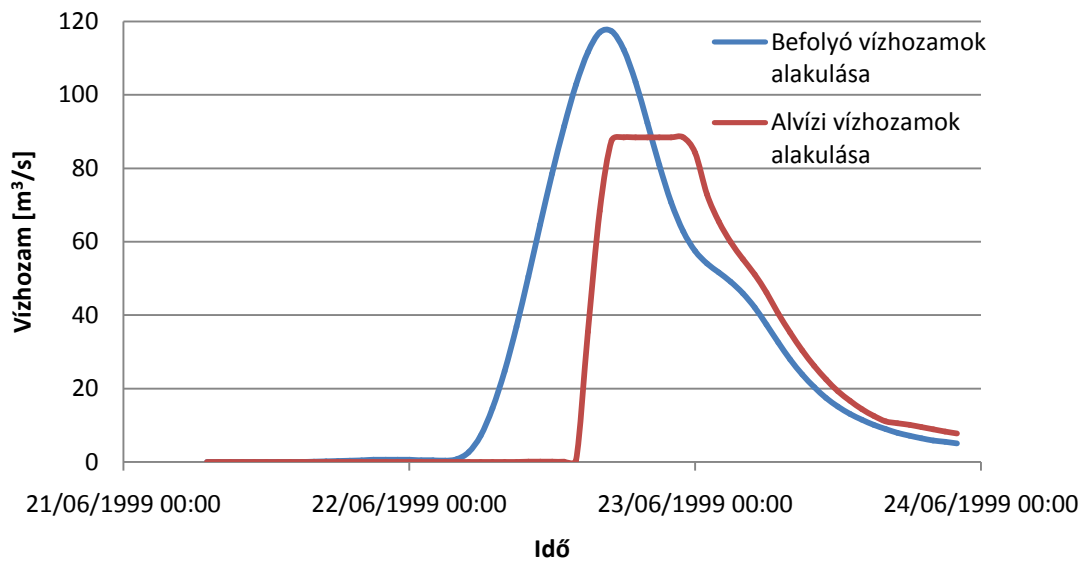


53. ábra: A befolyó és az alvízi vízhozamok alakulása a morfológiai görbe bővítése esetén

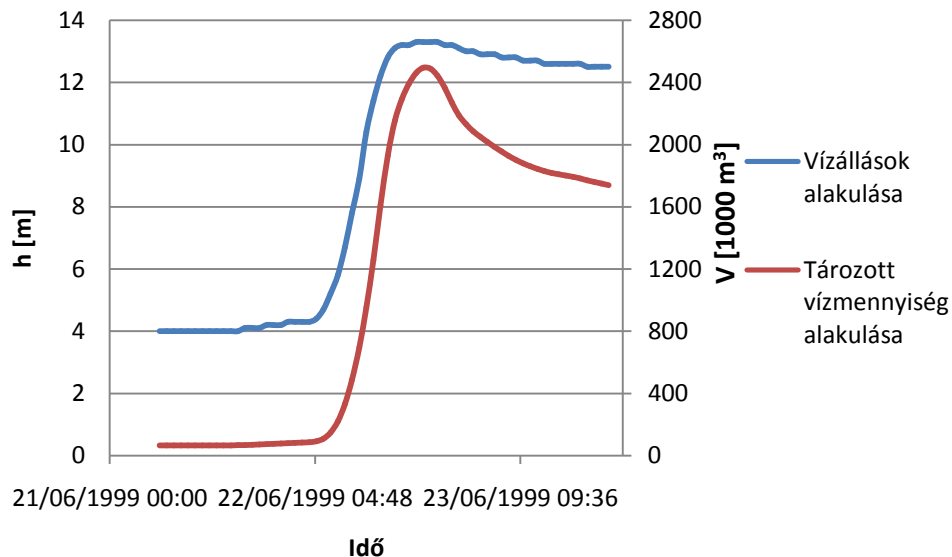


54. ábra: A vízállás és a tározott vízmennyiség alakulása a morfológiai görbe bővítése esetén

Végül összeállítottunk egy olyan érték kombinációt, mellynél igyekeztünk az értékeket reális határokon belül változtatni, de a tározó töltésmagasságát így is 3 m-rel kéne növelni, melynek kivitelezhetősége erősen megkérdőjelezhető. A vérszárapasztó víznyelése azonban reális, 32%-kal növelve az eredeti értékeket az árvízcsúcs-csökkenés mértéke mintegy  $30 \text{ m}^3/\text{s}$ -ra adódott. Az általunk számított teljesítőképességi görbe értékeit levonva azonban a kibocsájtott vízhozamok nem voltak elegendőek ahhoz, hogy a tározó ne telítődjön, tehát ezek hatása mégsem teljesen elhanyagolható. A 55. ábrán láthatók a kialakult vízállások és tározott vízmennyiségek, a 56. ábrán pedig a bejövő és az alvízi vízhozamok, utóbbin jól látszik a tározó árvízcsúcs-csökkentő hatása.



55. ábra: A befolyó és az alvízi vízhozamok alakulása kombinált érték változtatás esetén



56. ábra: A vízállás és a tározott vízmennyiség alakulása kombinált érték változtatás esetén



Hangsúlyozzuk, hogy a fent tárgyalt árhullám az eddig tapasztalt legszélsőségesebb eset, sok esetben a levonuló árhullámok tetőző vízhozama kisebb, mint a tározó árvízcsúcs-csökkentő kapacitása, így azokat a régi tározó könnyen levezette. Mindazonáltal a jelenlegi tendenciák azt mutatják, hogy ezek a szélsőséges értékek nőnek, illetve az ilyen események bekövetkezése sűrűsödik. Emiatt fokozott figyelmet kell fordítani arra, hogy az ezen események által okozott károkat mérsékelni tudjuk.

## 6. Összefoglalás

A dolgozat készítése kapcsán megtapasztaltuk, hogy még egy patak esetében is rengeteg munkát és időt igényel bizonyos adatok előállítása helyszíni mérésekkel. A tározó vizsgálata és a modell felállítása kapcsán láthattuk, hogy az ilyen változékonny vízjárású kisvízfolyásoknál milyen nagy problémát jelent a szélsőségesen nagy árhullámok biztonságos levezetése. Megállapíthatjuk, hogy a tározótér méretezése során ekkora vízmennyiség befogadására nem is lehet valós keretek között felkészülni, egyéb megoldások szükségesek a biztonságos levezetés megvalósításához és a károk mérsékléséhez.

A HEC-HMS szoftverrel kapcsolatban nagy potenciált látunk az előrejelzés segítése szempontjából, hiszen a felállított modellel szimulálni lehet az előre jelzett csapadék hatására levonuló árhullámot és a tározó töltődését. Nagy hátránya viszont a programnak, hogy a tározó telítődésének idejét és menetét nem mindig tudja kiadni végeredményként, de létezik olyan módja a tározó beadásának mellyel a tönkremenetelt is értelmezni tudja a szoftver.

Átfogó probléma az ehhez hasonló kisvízfolyásokon az úgy nevezett „flash-flood” jelenségek kezelése, előrejelzése. Foglalkozott már tanulmány ezzel a problémakörrel (Koris 2000), ám a mai napig nem született megoldás a problémára.

Alábbiakban felsoroljuk a témában meglátott továbblépési lehetőségeket:

- A tározó kialakítási lehetőségeinek további vizsgálata, többek között a terep felmérése, a műtárgyak méretezése és az alvízi meder vízszállító képességének vizsgálata.
- A HEC-HMS modell átfogóbb felparaméterezése, részletesebb és átfogóbb érzékenységvizsgálat, a paraméterek pontosítása helyszíni mérésekkel.
- A HEC-HMS modell felállítása téli időszakokra, hóolvadás figyelembevételével.
- Elöntésmodellezés az esetlegesen keletkező károk felmérésére.
- A modellezés felhasználhatóságának vizsgálata az előrejelzés segítése céljából.

## **7. Köszönetnyilvánítás**

Köszönettel tartozunk Széles Borbálának a geometriai modell megalkotásához nyújtott nagy segítségéért és a modell használatához adott útmutatásaiért.

Köszönjük Rehák Andrásnak és Sándor Balázsnak, illetve a Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszéknek, hogy segítettek a helyszíni mérések kivitelezésében.

Dr. Bene Katalinnak köszönjük, hogy hozzáértő tanácsaival nagyban segítette a modellezési munkálatainkat.

Köszönjük Dr. Koris Kálmán Tanár Úrnak, hogy tanácsaival mindig rendelkezésünkre állt és rengeteg érdekes információval látott el minket.

Köszönjük Holocsi Pálnak, Kemence műszaki felügyelőjének, hogy munkánkat segítette és informált minket a tározóval kapcsolatban.

Külön hálával tartozunk Dr. Hajnal Gézának a több hónapos segítségért, útmutatásért és vidámságért.

## 8. Irodalomjegyzék

Dr. Kontur István – Dr. Koris Kálmán - Dr. Winter János (2003): Hidrológiai számítások, Linograf Kft, Budapest

Koris Kálmán - Winter János (2001): Hidrológiai mérőgyakorlat, Műegyetemi Kiadó, Budapest

Hajnal Géza - Koris Kálmán (2014): Hidrológia I. Fizikai hidrológia, Underground Kiadó, Budapest

Koris Kálmán (2014): Hidrológia II. Műszaki hidrológia, Budapest

Dr. Koris Kálmán (témavezető) (2000): A magyarországi kisvízfolyások meteorológiai és hidrológiai viszonyainak elemzése és fejlesztése előrejelzési lehetőségek feltárásával, EDINEX CONSULTING Műszaki Tanácsadó Bt., Budapest

Nagy László (2001): A Kemence-patak tározó gátjának tönkremenetele, Hidrológiai Közlöny

Vízgazdálkodási Tudományos Kutató Rt., Hidrológiai Intézet (1999): A Kemence-patak 6+000 szelvényében épült árvízcsúcs-csökkentő tározó 1999. június 22-én történt káreseményének hidrometeorológiai, hidrológiai és hidraulikai körülményeiről, Budapest

Dr. Zsuffa István (1973): A tározás hidrológiája, Karasica-Borjádi tározó hidrológiai terve, Pécs

Közép-Duna-Völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőség (2009): Vízjogi üzemeltetési engedély, Budapest

Marosi Sándor - Somogyi Sándor (2010): Magyarország kistájainak katasztere, MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest

Cartographia Kft.: Börzsöny turisztatérkép M=1:40 000, Budapest

Korpás László, Csillagné Teplánszky Erika (1999): A Börzsöny-Visegrádi-hegység és környezetének fedetlen földtani térképe M=1:50 000, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest

Korpás László (szerk.) (1998): Magyarázó a Börzsöny és a Visegrádi-hegység földtani térképéhez, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest

Széles Borbála (2011): A Bükkös-patak vízgyűjtőjének átfogó hidrológiai vizsgálata, BME Építőmérnöki Kar, TDK dolgozat

Széles Borbála (2012): Hidrológiai modellvizsgálatok a Bükkös-patak vízgyűjtőjén, BME Építőmérnöki Kar, TDK dolgozat

Hofer Laura (2013): Tározóméretezési eljárások elemzése, BME Építőmérnöki Kar, TDK dolgozat

Matthew J. Fleming: Hydrologic Modeling System – Quick Start Guide

Koch R., Bene, K., Hajnal G. (2012): Hydrological Characterization of the Aggtelek Karst Springs, Catchment processes in regional hydrology: from experiment to modeling in Carpathian drainage basins, International Conference, Sopron

[www.vizeink.hu](http://www.vizeink.hu)

[www.borzsony.ipolyerdo.hu](http://www.borzsony.ipolyerdo.hu)

## 9. Mellékletek

### 9.1 melléklet: A tározó eredeti adatai, 1999

Az 1995-ben kiadott vízjogi üzemeltetési engedély szerint:

- üzemvízszint: 182,80 m.B.f.,
  - árvízszint: 183,80 m.B.f.,
  - vízmérce „0” pontjának abszolút magassága: 176,30 m.B.f. (Vizsgálataink szerint ez valójában jelenleg 175,00 m.B.f.),
- 
- a vízmércén: üzemvízszint: 6,5 m (szerintünk jelenleg: 7,80 m),  
árvízszint: 7,5 m (szerintünk jelenleg: 8,80 m),
  - üzemi vízszintnél a tározó térfogata: 709 411 m<sup>3</sup>,
  - árvízszintnél a tározó térfogata: 903 477 m<sup>3</sup>,
  - öntözésre kivehető vízmennyiség: 462 000 m<sup>3</sup>/év,
  - üzemvízszinthez tartozó tó felület: 18,5 ha,
  - árvízszinthez tartozó tó felület: 20,3 ha,
  - völgyzárógát:
    - gátkorona magasság 184,70 m.B.f.,
    - gátkorona völgyfenék feletti magassága: 8,7 m,
    - gátkorona szélessége: 3,0 m,
    - völgyzárógát hossza: 445 m,
    - rézsűhajlás a mentett oldalon: 1:3, 178,30 m.B.f. szintnél 4,0 m szélességű padkával
    - rézsűhajlás vízfelőli oldalon: 1:3, gyephézagos betonlap burkolattal 182,80 m.B.f.-i szintig, felette gyepesítés, üzemvízszinten vb. hullámtörő,
  - egyesített műtárgy: fenékleürítő és árapasztóbukó,
    - műtárgy helye: a völgyzárógát 0 + 200 m-nél,
    - hossza: 57,24 m,
    - bukóakna: szabálytalan nyolcszög szelvényű 6,04 x 6,04 belméretű vb. műtárgy,
    - bukó élhossza: 21,6 m,
    - magassága: 10,90 m,
    - árvízi túlfolyó elvezetőcső: 2 db. Ø 1,65 m-es iker ROCLA-H vb. cső, 49,0 m hosszban,
    - előfenék burkolat: 10 m hosszban,
    - utófenék (alvízi) burkolat: vízláda 18 m hosszban 5 fm hosszban betonba rakott terméskő burkolat, alatta 4,0 fm kőszórás,
    - elzárószerkezet: 1,2 x 1,2 m-es zsilip, felhúzó szerkezettel,
    - bejáróhid: 10,0 m hosszban, kéttámaszú tartó,
  - kapcsolódó létesítmények:
    - hordalékfogó gát a Kemence p. 8 + 850 km-nél
    - öntözővíz kivétel: a gát 0 + 145 szelvényénél 400 szívócső szívókosárral és kőburkolattal védve,



- a vészárapasztó alvizi csatornájának		
hossza:	227 fm	
részűhajlása:	1 : 1,5	
fenékszélessége:	0 + 002 – 0 + 110	2,0 m
	0 + 110 – 0 + 120	2,0-4,0 m
	0 + 120 – 0 + 190	4,0 m
	0 + 190 – 0 + 218	4,0-15,0 m
	0 + 218 – 0 + 227	15,0 m
fenékesése:	0 + 002 – 0 + 035	3,0 %
	0 + 035 – 0 + 145	6,8 %
	0 + 145 – 0 + 190	1,6 %
	0 + 190 – 0 + 208	4,7 %
	0 + 208 – 0 + 218	20,0 %
	0 + 218 – 0 + 219	0,0 %
	0 + 219 – 0 + 227	6,3 %
burkolati magassága:	0 + 007 – 0 + 035	1,8-1,2 m
	0 + 035 – 0 + 208	1,2 m
	0 + 208 – 0 + 219	1,0 m
	0 + 219 – 0 + 227	1,0-0,0 m

- Az egyesített műtárgy alvízcsatornájának mederburkolat hosszabbítása:  
a meglévő burkolattól lefelé 33,7 fm hosszban 0,7 m-es fenéklépcsővel indítva, a bukófaltól 5 m-re két sorban 40 x 40 cm-es, 50 cm magasságú energiatörő fogakkal, 1:2-es részűvel, 1,8 m magasságig burkolva.

- A meglévő alvizi mederburkolat magasítása a bal parton:  
18,7 fm hosszban a mederátjáró és a vízláda közötti szakaszon a terepszintig betonba rakott terméskőből.

- A tározótérben fenékleeresztő zsilip előtti hordalékfogó fal:  
beton fal 50 cm-es kiállással az egyesített műtárgy befolyási oldalán.

A vészárapasztó bukó tervét a 4. ábra, az egész rendszer hossz-szelvényét az 5. ábra tartalmazza a „Kiegészítő létesítmények terve” alapján.

*A tározó, valamint a kiegészítő létesítmények méretezéséhez felhasznált fontosabb hidrológiai hidrometeorológiai és hidraulikai adatok a tervek szerint:*

- a tározó szelvényéhez tartozó vízgyűjtő terület	58,1 km <sup>2</sup>
- mértékadó nagyvízi hozam Q <sub>0,5%</sub>	50,3 m <sup>3</sup> /s
- a tározó árhullám csökkentő hatását figyelembe véve	48,8 m <sup>3</sup> /s
- becsült árvízi terhelés hóolvadással egybeeső nagy csapadék esetén	4-8 millió m <sup>3</sup> néhány nap alatt.

a vészárapasztó bukó helye: a zárógát bal parti végénél a 0+219 m-es szelvényben.  
(az egyesített műtárgytól mérve)

fenékszélessége:	15 m
részűhajlása:	1 : 1,5

## 9.2 A tározó műszaki adatai, 2009

<b>Műszaki adatok:</b>		<b>Csökkentett árvízcsúcsok:</b>
Vízgyűjtőterület nagysága:	63,0 km <sup>2</sup>	
Sokéves lefolyás:	255 l/s (8,05 millió m <sup>3</sup> /év),	
Q <sub>aug,80%</sub> =	22,6 l/s,	
NQ <sub>10%</sub> =	26,7 m <sup>3</sup> /s,	10,0 m <sup>3</sup> /s,
NQ <sub>1%</sub> =	51,5 m <sup>3</sup> /s,	29,8 m <sup>3</sup> /s,
NQ <sub>0,5%</sub> =	64,8 m <sup>3</sup> /s,	51,2 m <sup>3</sup> /s,
NQ <sub>0,1%</sub> =	123,5 m <sup>3</sup> /s,	108,6 m <sup>3</sup> /s.
<b>A tározó:</b>		
mértékadó árvízszintje (NQ <sub>1%</sub> ):	182,08 mBf.	
holttérfogata:	0,080 millió m <sup>3</sup>	
teljes tározótérfogata árvízszinten:	0,584 millió m <sup>3</sup>	
térfogata koronaszinten:	1,2 millió m <sup>3</sup>	
felülete árvízszinten (NQ <sub>1%</sub> ):	17,7 ha,	
felülete árvízszinten (NQ <sub>0,1%</sub> ):	19,1 ha,	
<b>A völgyzárógát:</b>		
hossza:	445 m,	
koronaszintje:	184,70 mBf.,	
biztonság a mértékadó árvízszint fölött:	2,62 m,	
legnagyobb magassága:	9,40 m,	
koronaszélessége:	3,0 m,	
rézsűhajlása:	1:3	
rézsűvédelem vízoldalon:	hullámvédő burkolat 183,47 mBf. Szintig,	
rézsűvédelem a többi helyen:	gyepezítés.	
<b>Központi bukóaknás ikeráteresz műtárgy:</b>		
helye:	völgyzárógát 0+194,3 km t km szelvénye,	
fenékleürítő mérete:	2,0x1,2 m,	
fenékleürítő küszöbszintje:	173,80 mBf.,	
fenékleürítő kezelőszintje:	184,70 mBf.,	
bukóakna alakja, mérete:	kilencszög, 6x6 m,	
bukóakna trapézlemeze:	1,0 m vtg. vasbeton,	
bukóakna felmenőfalak:	0,60 m vtg. vasbeton,	
ikeráteresz anyaga, mérete:	ROCLA 2xDN1650 mm,	
ikeráteresz hossza:	52,0 m,	
ikeráteresz fenékszintje:	173,80-173,30 mBf.,	
utófenék:	32,0 hosszú, beton, terméskő burkolattal,	
biztonságtechnikai berendezések:	lépcső, korlát, hágcsó,	
méréstechnikai berendezés:	lapvíz mérce a felvízi rézsűlépcső szegélyében,	
megközelítése:	acél bejáróhídon.	
<b>Vasbeton árapasztó műtárgy:</b>		
helye:	völgyzárógát 0+173,4 km t km szelvénye,	
kialakítása:	vasbeton energiatörővel ellátott surrantós műtárgy,	
surrantó küszöbszintje:	181,50 mBf.,	
műtárgy hossza, szélessége, magassága, fenékszintje:		
burkolt rávezető szakasz		
beton szárnyfalakkal:	10,0x21,5/10,5 m, 181,00 mBf.,	
surrantó (vasbeton „U” szelvény):	44,0x7,0/10,5 m, 181,50-172,40 mBf.,	
energiatörő medence		
(vasbeton „U” szelvény):	18,8x12,0x2,4 m, 172,40 mBf.,	
beton utófenék mederátjáróval:	17,0x5,0 m, 172,20 mBf.,	
kőszórás utófenék:	13,0x5,0 m, 172,00 mBf.,	
biztonságtechnikai berendezés:	vasbeton átjáróhíd, korlát.	

### 9.3 melléklet: Éves tározótérfogat számítása

Q <sub>ki</sub> [m <sup>3</sup> /s]	V [1000 m <sup>3</sup> ]	Q <sub>átgl</sub> [m <sup>3</sup> /s]	V [1000 m <sup>3</sup> ]	ΣF	ΣV	ΣΔS
0,088	228,10	0,090	231,98	231,98	228,10	-3,89
0,352	942,80	0,090	239,72	471,70	1170,89	699,19
0,130	348,19	0,090	239,72	711,42	1519,08	807,67
0,094	227,40	0,090	216,52	927,94	1746,49	818,55
0,166	444,61	0,090	239,72	1167,65	2191,10	<b>1023,45</b>
0,067	173,66	0,090	231,98	1399,64	2364,77	965,13
0,016	42,85	0,090	239,72	1639,35	2407,62	768,27
0,017	44,06	0,090	231,98	1871,34	2451,69	580,35
0,054	144,63	0,090	239,72	2111,05	2596,32	485,27
0,014	37,50	0,090	239,72	2350,77	2633,82	283,05
0,009	23,33	0,090	231,98	2582,76	2657,15	74,39
0,060	160,70	0,090	239,72	2822,47	2817,85	<b>-4,62</b>

### 9.4 melléklet: Teljes kiegyenlítésű tározótérfogat számítása

	M[m <sup>3</sup> /s]	F[1000 m <sup>3</sup> ]	Q[m <sup>3</sup> /s]	V[1000 m <sup>3</sup> ]	ΣF	ΣV	ΣdS
1957	0,423	13331	0,428	13498	13331	13498	-167
1958	0,423	13331	0,559	17620	26661	31118	-4457
1959	0,423	13331	0,589	18566	39992	49684	-9692
1960	0,423	13367	0,635	20073	53359	69757	-16398
1961	0,423	13331	0,285	8982	66690	78739	-12049
1962	0,423	13331	0,339	10696	80021	89435	-9414
1963	0,423	13331	0,524	16536	93352	105971	-12619
1964	0,423	13367	0,360	11377	106719	117348	-10629
1965	0,423	13331	0,707	22293	120050	139641	-19591
1966	0,423	13331	0,787	24818	133380	164459	-31078
1967	0,423	13331	0,401	12647	146711	177106	-30395
1968	0,423	13367	0,309	9765	160078	186871	-26793
1969	0,423	13331	0,572	18035	173409	204906	-31497
1970	0,423	13331	0,439	13847	186740	218753	<b>-32014</b>
1971	0,423	13331	0,265	8343	200071	227096	-27025
1972	0,423	13367	0,361	11408	213438	238504	-25066
1973	0,423	13331	0,335	10558	226769	249062	-22293
1974	0,423	13331	0,429	13523	240099	262585	-22485
1975	0,423	13331	0,304	9600	253430	272185	-18755
1976	0,423	13367	0,493	15576	266797	287761	-20964
1977	0,423	13331	0,426	13427	280128	301188	-21060
1978	0,423	13331	0,074	2332	293459	303520	-10061
1979	0,423	13331	0,289	9116	306790	312636	-5847
1980	0,423	13367	0,430	13603	320157	326240	-6083

1981	0,423	13331	0,274	8642	333488	334881	-1394
1982	0,423	13331	0,386	12180	346818	347061	-243
1983	0,423	13331	0,184	5818	360149	352879	7270
1984	0,423	13367	0,337	10653	373516	363533	9984
1985	0,423	13331	0,483	15243	386847	378776	8071
1986	0,423	13331	0,570	17971	400178	396747	3431
1987	0,423	13331	0,857	27028	413508	423775	-10266
1988	0,423	13367	0,377	11922	426876	435697	-8821
1989	0,423	13331	0,195	6149	440206	441846	-1640
1990	0,423	13331	0,187	5900	453537	447746	5791
1991	0,423	13331	0,390	12300	466868	460046	6822
1992	0,423	13367	0,204	6446	480235	466491	13744
1993	0,423	13331	0,248	7826	493566	474317	19248
1994	0,423	13331	0,429	13528	506897	487845	19051
1995	0,423	13331	0,359	11328	520227	499173	21054
1996	0,423	13367	0,414	13097	533595	512270	21324
1997	0,423	13331	0,182	5747	546925	518017	28908
1998	0,423	13331	0,287	9039	560256	527056	<b>33200</b>
1999	0,423	13331	0,700	22080	573587	549136	24451
2000	0,423	13367	0,509	16090	586954	565226	21728
2001	0,423	13331	0,462	14578	600285	579804	20481
2002	0,423	13331	0,362	11412	613616	591215	22400
2003	0,423	13331	0,248	7814	626946	599029	27918
2004	0,423	13367	0,335	10583	640314	609611	30702
2005	0,423	13331	0,695	21903	653644	631515	22129
2006	0,423	13331	0,695	21911	666975	653425	13550
2007	0,423	13331	0,175	5515	680306	658940	21366
2008	0,423	13367	0,406	12825	693673	671765	21908
2009	0,423	13331	0,529	16688	707004	688453	18550
2010	0,423	13331	1,288	40603	720335	729057	-8722
2011	0,423	13331	0,478	15089	733665	744146	-10481

### 9.5 melléklet: Többéves tározóterfogat számítása

M=		0,1		0,2		0,3	
Évek	Qátl	Qátl-M1	Σ	Qátl-M2	Σ	Qátl-M3	Σ
1957	0,428	0,328		0,228		0,128	
1958	0,559	0,459		0,359		0,259	
1959	0,589	0,489		0,389		0,289	
1960	0,635	0,535		0,435		0,335	
1961	0,285	0,185		0,085		-0,015	
1962	0,339	0,239		0,139		0,039	
1963	0,524	0,424		0,324		0,224	
1964	0,360	0,260		0,160		0,060	
1965	0,707	0,607		0,507		0,407	
1966	0,787	0,687		0,587		0,487	
1967	0,401	0,301		0,201		0,101	

1968	0,309	0,209		0,109		0,009	
1969	0,572	0,472		0,372		0,272	
1970	0,439	0,339		0,239		0,139	
1971	0,265	0,165		0,065		-0,035	
1972	0,361	0,261		0,161		0,061	
1973	0,335	0,235		0,135		0,035	
1974	0,429	0,329		0,229		0,129	
1975	0,304	0,204		0,104		0,004	
1976	0,493	0,393		0,293		0,193	
1977	0,426	0,326		0,226		0,126	
1978	0,074	-0,026	<b>-0,026</b>	-0,126	<b>-0,120</b>	-0,226	-0,226
1979	0,289	0,189		0,089		-0,011	-0,236
1980	0,430	0,330		0,230		0,130	
1981	0,274	0,174		0,074		-0,026	
1982	0,386	0,286		0,186		0,086	
1983	0,184	0,084		-0,016	-0,016	-0,116	
1984	0,337	0,237		0,137		0,037	
1985	0,483	0,383		0,283		0,183	
1986	0,570	0,470		0,370		0,270	
1987	0,857	0,757		0,657		0,557	
1988	0,377	0,277		0,177		0,077	
1989	0,195	0,095		-0,005		-0,105	-0,105
1990	0,187	0,087		-0,013	-0,018	-0,113	-0,218
1991	0,390	0,290		0,190		0,090	-0,128
1992	0,204	0,104		0,004		-0,096	-0,224
1993	0,248	0,148		0,048		-0,052	<b>-0,276</b>
1994	0,429	0,329		0,229		0,129	
1995	0,359	0,259		0,159		0,059	
1996	0,414	0,314		0,214		0,114	
1997	0,182	0,082		-0,018	-0,018	-0,118	-0,118
1998	0,287	0,187		0,087		-0,013	-0,131
1999	0,700	0,600		0,500		0,400	
2000	0,509	0,409		0,309		0,209	
2001	0,462	0,362		0,262		0,162	
2002	0,362	0,262		0,162		0,062	
2003	0,248	0,148		0,048		-0,052	-0,052
2004	0,335	0,235		0,135		0,035	
2005	0,695	0,595		0,495		0,395	
2006	0,695	0,595		0,495		0,395	
2007	0,175	0,075		-0,025	-0,025	-0,125	-0,125
2008	0,406	0,306		0,206		0,106	
2009	0,529	0,429		0,329		0,229	
2010	1,288	1,188		1,088		0,988	
2011	0,478	0,378		0,278		0,178	
2012	0,089	-0,011	-0,011	-0,111	-0,111	-0,211	-0,211



### 9.6 számú melléklet: Korrelációs számítás

n	NHH y	VM x	x <sup>2</sup>	x*y	y <sup>2</sup>	x-x <sub>átl</sub>	(x-x <sub>átl</sub> ) <sup>2</sup>	y-y <sub>átl</sub>	(y-y <sub>átl</sub> ) <sup>2</sup>	(y-y <sub>átl</sub> )*(x-x <sub>átl</sub> )
1	32.1	29	841.0	930.9	1030.4	28.8	829.4	30.1	906.0	866.9
2	46.9	15	225.0	703.5	2199.6	14.8	219.0	44.9	2016.0	664.5
3	21.8	14	196.0	305.2	475.2	13.8	190.4	19.8	392.0	273.2
4	8.8	12	144.0	105.6	77.4	11.8	139.2	6.8	46.2	80.2
5	8.3	9	81.0	74.7	68.9	8.8	77.4	6.3	39.7	55.4
6	9.6	7	49.0	67.2	92.2	6.8	46.2	7.6	57.8	51.7
7	12.8	5	25.0	64.0	163.8	4.8	23.0	10.8	116.6	51.8
8	11.9	5	25.0	59.5	141.6	4.8	23.0	9.9	98.0	47.5
9	5.5	5	25.0	27.5	30.3	4.8	23.0	3.5	12.3	16.8
10	9.6	4	16.0	38.4	92.2	3.8	14.4	7.6	57.8	28.9
11	3.7	3	9.0	11.1	13.7	2.8	7.8	1.7	2.9	4.8
12	9.8	2	4.0	19.6	96.0	1.8	3.2	7.8	60.8	14.0
13	1.4	1	1.0	1.4	2.0	0.8	0.6	-0.6	0.4	-0.5
<b>∑</b>	<b>182.2</b>	<b>111.0</b>	<b>1641.0</b>	<b>2408.6</b>	<b>4483.3</b>	<b>108.4</b>	<b>1597.1</b>	<b>156.2</b>	<b>3806.5</b>	<b>2155.4</b>
átlag	14.0	8.5								

$$r = (\sum(x-x_{\text{átl}})*(y-y_{\text{átl}})) / (\sum(x-x_{\text{átl}})^2 * \sum(y-y_{\text{átl}})^2)^{1/2} = \mathbf{0.874}$$

$$a = (\sum x * \sum xy - \sum y * \sum x^2) / ((\sum x)^2 - n * \sum x^2) = 1.169$$

$$b = (\sum x * \sum y - n * \sum xy) / ((\sum x)^2 - n * \sum x^2) = 1.389$$

$$c = (\sum y * \sum xy - \sum x * \sum y^2) / ((\sum y)^2 - n * \sum y^2) = 0.790$$

$$d = (\sum y * \sum x - n * \sum xy) / ((\sum y)^2 - n * \sum y^2) = 0.505$$