SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM

MŰSZAKI TUDOMÁNYI KAR

KÖZLEKEDÉSÉPÍTÉSI TANSZÉK

Mátyás Kevin

Építőmérnöki BSc, Közlekedésépítési szakirány

Győr város ipari parki területrészletének hidrológiai modellezése Storm and Sanitary Analysis programmal

OTDK dolgozat

Konzulens:

Dr. Bene Katalin

Győr, 2014. december 14.

TARTALOMJEGYZÉK

1 Bevezetés ... 7

2 Fogalmi áttekintés ... 8

2.1 Hidrológiai ciklus ... 8

2.2 A Storm and Sanitary Analysis program ismertetése ... 9

2.3 Alkalmazott hidrológiai modellek ... 9

2.3.1 Racionális módszer ... 9

2.3.2 EPA SWMM módszer ... 11

2.4 Hidraulika ... 12

3 Az ipari parki területrészlet bemutatása ... 14

3.1 Éghajlat ... 14

3.2 Domborzat ... 15

3.3 Talajadottságok ... 15

4 A modell felépítése SSA-ban ... 17

4.1 Meteorológia ... 17

4.1.1 Csapadék ... 17

4.1.2 Párolgás ... 18

4.2 Vízgyűjtő adatok ... 18

4.2.1 Vízgyűjtő területek nagysága ... 18

4.2.2 Vízgyűjtő paraméterei ... 21

4.2.3 Területhasználat ... 22

4.2.4 Vízgyűjtő szélessége ... 22

4.2.5 Felszíni beszivárgás ... 23

4.3 Hálózati elemek ... 24

4.3.1 Csatornarendszer ... 24

4.3.2 Szűrő- és szikkasztó tavak ... 25

5 A SSA modell vizsgálata ... 30

5.1 A racionális és a SWMM módszer összehasonlítása ... 30

5.1.1 Bemeneti adatok ... 30

5.1.2 Területhasználat ... 32

5.1.3 Lefolyási hossz ... 33

5.2 Eredmények összehasonlítása ... 34
5.2.1 Árhullám alakja ... 35
5.2.2 A tórendszerbe beérkező árhullám ... 36
5.3 Érzékenységvizsgálat ... 38
5.3.1 Vízgyűjtő paramétereinek érzékenysége ... 38
5.3.2 Szimuláció időléptéke ... 40
6 Kalibráció és validáció ... 43
6.1 Kalibráció a 2011. augusztusi csapadék alapján ... 43
6.2 Validáció a 2011. júliusi csapadékra ... 44
6.3 2014. októberi saját mérés ... 45
7 Jövőbeni tervek ... 47
8 Összefoglalás ... 48
9 Köszönetnyilvánítás ... 49
10 Irodalomjegyzék ... 50
11 Mellékletek ... 51
11.1 Melléklet: A racionális módszerhez tartozó lefolyási tényezők ... 51
11.2 Melléklet: A racionális módszerhez tartozó területhasználatok ... 52
11.3 Melléklet: A SWMM módszerhez tartozó érdességi tényezők ... 54
11.4 Melléklet: A SWMM módszerhez tartozó súlyozott érdességi tényezők ... 55
11.5 A racionális és a SWMM módszer összehangolása ... 57
11.6 Manning-féle érdesség értékei lepelszerű lefolyás esetén ... 59
11.7 Felületi tározási mélységek értékei ... 60

ÁBRAJEGYZÉK

1. ábra: A hidrológiai körforgás 8
2. ábra: IDF görbék 10
3. ábra: A SWMM módszer hidrológiai felépítése (Forrás: http://docs.bentley.com/en/HMCivilStorm/Help-07-088.html) 11
4. ábra Lefolyás modellezése 12
5. ábra: A modellezett terület felülnézete (Forrás: www.maps.google.com) 14
1. táblázat: Csapadékösszegek táblázata 15
6. ábra: Győr és környéke vízgazdálkodási talajtulajdonsága (Forrás: http://maps.rissac.hu/agrotopo) 16
7. ábra: A 2011. augusztusi csapadék 17
8. ábra: Átlagos havi párolgások táblázata, benne az alkalmazott Marcal értékekkel. Forrás: (Kovács, 2011) 18
9. ábra: Az alapmodell vízgyűjtő területei 19
10. ábra: Árhullámkép a régi és az új vízgyűjtőrendszer esetén 20
11. ábra: Veszteségek alakulása a régi és az új vízgyűjtőrendszer esetén 20
12. ábra: A módosított vízgyűjtő területek 21
2. táblázat: Területhasználat 22
3. táblázat: Az alkalmazott beszivárgási paraméterek 23
14. ábra: Csatornahálózat, kiemelve a gerincvezetékek 25
15. ábra: Leica terepi adatgyűjtő 25
16. ábra: A tórendszer kialakítása a programban 26
17. ábra: A tórendszer keresztmetszeti vázlata 27
18. ábra: A szűrő - ülepítő tó tározási görbéje 28
19. ábra: Vízmérce a szűrő tóban 28
20. ábra: Hossz-szelvény 113 mBf vízszint esetén 29
21. ábra: 84 mm/órás állandó intenzitású csapadék IDF görbéje 31
22. ábra: A vízhozamcsúcs t_c idő múlva a racionális módszer esetén 31
4. táblázat: Területhasználat a lefolyási tényezőkkel (részlet) 32
5. táblázat: Manning-féle érdesség értékei (részlet) 33
6. táblázat: A szélességek módosításának eredménye (részlet) 34
23. ábra: Lefolyási árhullámkép a racionális módszer esetén 36
24. ábra: Lefolyási árhullámkép a SWMM módszer esetén 36

25. ábra: Tóba érkező árhullám a racionális módszer esetén 37
26. ábra: Tóba érkező árhullám a SWMM módszer esetén 37
27. ábra: A 17-es vízgyűjtő elhelyezkedése 38
28. ábra: A maximális vízhozam változása 39
29. ábra: A lefolyt víz mennyiségének változása 39
30. ábra: A veszteségek mennyiségének változása 40
7. táblázat: A mintavételi idő kiválasztásának hatása a szimuláció lefutási idejére és pontosságára 40
31. ábra: A mintavételi idő hibás választásának lehetséges eredménye. Forrás: Autodesk Storm and Sanitary Analysis 2012 User's Guide 41
32. ábra: Időlépték hatása a szűrő tó vízszintjére 42
33. ábra: A kalibráció eredménye 43
34. ábra: A validáció eredménye 44
8. táblázat: Mérési eredmények 45
35. ábra: Mérési eredmények grafikus formában 45
36. ábra: A 2014. októberi szimuláció eredménye 46

Absztrakt

Dolgozatom témája Győr város ipari parki területrészletének és csapadékvíz-elvezető hálózatának hidrológiai modellezése. A modellezést az Autodesk cég Storm and Sanitary Analysis nevű programjával végeztem, mely alkalmas több hidrológiai metódus kezelésére is.

Munkám során a hálózat tervezőjének köszönhetően rendelkezésemre álló adatok alapján elkészítettem a terület komplex modelljét, mely tartalmazza mind a vízgyűjtő területeket adataikkal, mind a jelenlegi csapadékvíz-elvezető hálózatot. A területen található egy szikkasztó-tározó tó, mely a dolgozatomban vizsgált vízgyűjtőkre hullott csapadékot gyűjti össze a vízelvezető hálózaton keresztül.

Dolgozatomban részletesen ismertetem a különböző bemeneti paramétereket, azok kiválasztásának mikéntjét. A sikeres modellezéshez és a pontos eredményekhez szükséges volt a rendszer kalibrációja, melyet saját mért adatok alapján igyekeztem elvégezni. Írásomban kitérek a kalibráció folyamatára, ismertetem annak pontosságát.

A dolgozat eredménye a modell kalibrálása saját mért adatok alapján, majd a rendszer hidrológiai és hidraulikai viselkedésének vizsgálata az EPA SWMM módszerrel. További célom, hogy a modellt felkészítsem a későbbi bővíthetőségre.

1 Bevezetés

A globális klímaváltozás hatására egyre inkább valószínűsíthető a szélsőséges csapadékok megjelenése. A hidrológia – mely többek között a csapadék útjával foglalkozik – egyik legnagyobb kérdése, hogy a lehullott csapadék a gyakorlatban milyen módon hasznosul, milyen problémákat okoz. Városi környezetben a legnagyobb problémát a rövid idő alatt lehullott, nagy mennyiségű – azaz nagy intenzitású – csapadék okozza, melyre a vízelvezető hálózat nem feltétlenül van felkészítve.

A gyakorlatban még napjainkban is gyakran előfordul, hogy városi környezetben a vízelvezetési rendszert kézi módszerrel számított vízhozamra méretezik. Hazánkban az általánosan elterjedt ilyen számítási módszer a Racionális módszer, mely kimondottan városi környezetben, eltérő lefolyási viszonyok között és 10 (12) km^2 alatti vízgyűjtő terület esetén megbízható eredményt ad.

A fenti okok miatt – valamint mert hazai referenciát nem találtam hasonló munkára - választottam dolgozatom témájául egy győri ipari parki terület modellezését egy kimondottan erre a célra alkalmas szoftver segítségével, mely az Autodesk cég Storm and Sanitary Analysis (továbbiakban SSA) nevű programja.

Az SSA segítségével elvégeztem az ipari park egy részének vízgyűjtő-modellezését, majd a terület csapadékvíz-elvezető hálózatának tervezője által rendelkezésemre bocsátott adatok alapján elkészítettem a vízgyűjtő és elvezető hálózat aktuális modelljét. Az egyetem geoinformatika laborjának segítségével ellenőrző felmérést végeztünk a végső befogadó tópáros területén, melyet egy későbbi fejezetben bővebben tárgyalok.

A kész modellre ezután kétféle hidrológiai módszert alkalmaztam, majd a kapott adatokat összehasonlítottam. Az összehasonlítás eredményeként kiderült, hogy a racionális módszer helyett megfelelő biztonsággal alkalmazható az EPA SWMM modellje. A későbbiekben érzékenységvizsgálatot végeztem a modellen, valamint elvégeztem annak kalibrációját és validációját mért csapadékidősorra.

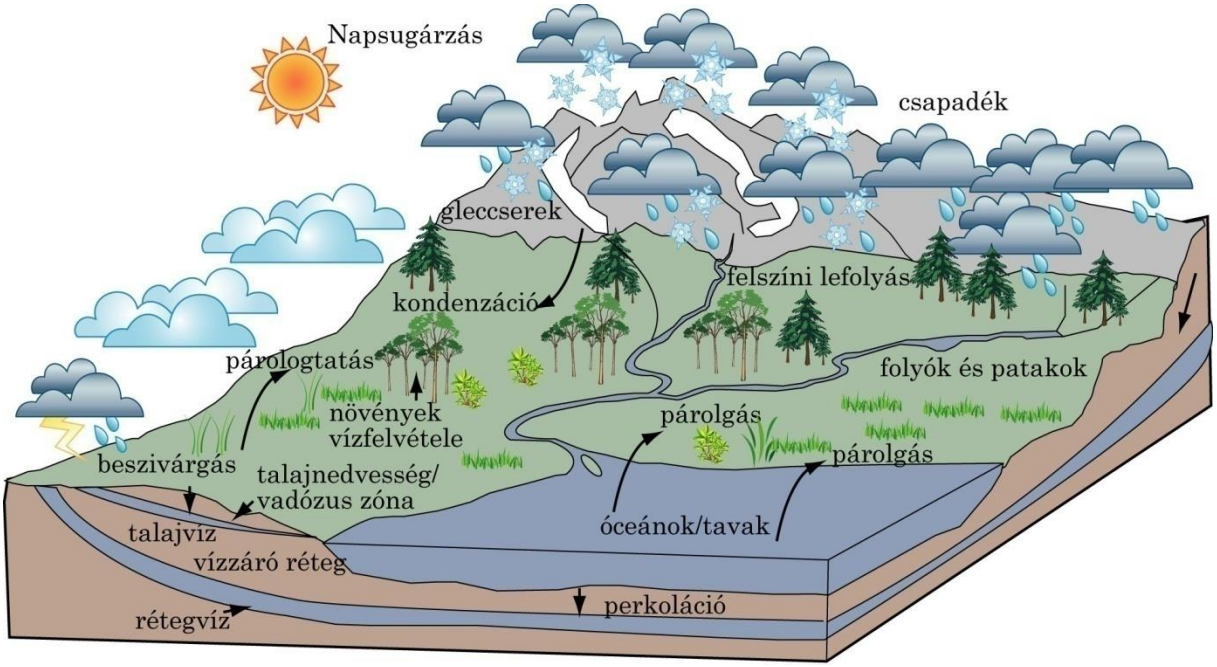
2 Fogalmi áttekintés

Ahhoz, hogy a modell megfelelő minőségben elkészíthető legyen, valamint működésének alapjait megértsük, fontos megismerkednünk a hidrológia kulcsfogalmaival és a program működésének alapjaival.

2.1 Hidrológiai ciklus

A hidrológiai ciklus folyamatát az **1. ábra** mutatja be. A napból érkező energia párolgást okoz a vízzel borított felületeken, valamint az eltérő módon felmelegedett területek között megindul a levegőmozgás. A vízpára a levegő segítségével mozgásba indul, majd ha a feltételek adottak, csapadék formájában lehull. Az elsődleges párologtató felületek az óceánok, de nem elhanyagolható a talajok, tavak és a növényzet szerepe a folyamatban.

A lehullott csapadékból keletkező lefolyás folyókat alakít. A talajok nedvességtartalma, a talajvíz, rétegvíz és a felszín alatti vízfolyások a beszivárgás következményei. A folyók, valamint a felszín alatti vízfolyások végül visszajuttatják a vizet az óceánokba.



1. ábra: A hidrológiai körforgás

2.2 A Storm and Sanitary Analysis program ismertetése

A modellezés során az Autodesk cég Storm and Sanitary Analysis nevű szoftverét használtam. A program számomra teljesen új volt, használatának elsajátítása azonban nem okozott nagy problémát tekintve, hogy felhasználói felületének alapja ugyanezen cég AutoCAD szoftvere.

Az SSA segítségével mind a hidrológiai, mind a hidraulikai tervezés és méretezés elvégezhető csapadékvíz, valamint szennyvíz elvezető rendszer kialakításához. A program több hidrológiai modell alkalmazására fel van készítve – melyek közül én a racionális, illetve az EPA SWMM módszereket alkalmaztam -, így a:

- SCS TR-20/TR-55,
- Racionális módszer,
- HEC-1,
- EPA SWMM módszerek használatát teszi lehetővé.

Munkám során a program 2012-es verzióját használtam. Az SSA első verziója 2010-ben jelent meg, a korábbi StormNET szoftver fejlesztését vette át az Autodesk (Dana Probert, 2010). Ennek nagy előnye, hogy egyszerűen lehet AutoCAD fájlt importálni a programba, így megkönnyítve egy valamilyen tervfázisban lévő helyszínrajz feldolgozását.

2.3 Alkalmazott hidrológiai modellek

2.3.1 Racionális módszer

A racionális módszert hazánkban széleskörűen alkalmazzák kézi számítással történő méretezés esetén. A módszer lényege, hogy egy adott előfordulási valószínűségű csapadék esetén számítjuk a vízgyűjtő területről lefolyt maximális vízhozamot (Q_p), melyre a műtárgyak méretezése történik.

A vizsgált ipari parki területrész vízelvezető rendszerének méretezése racionális módszerrel történt a fent vázoltak szerint, így adott volt, hogy dolgozatomban vizsgáljam a Storm and Sanitary Analysis segítségével a hálózatot.

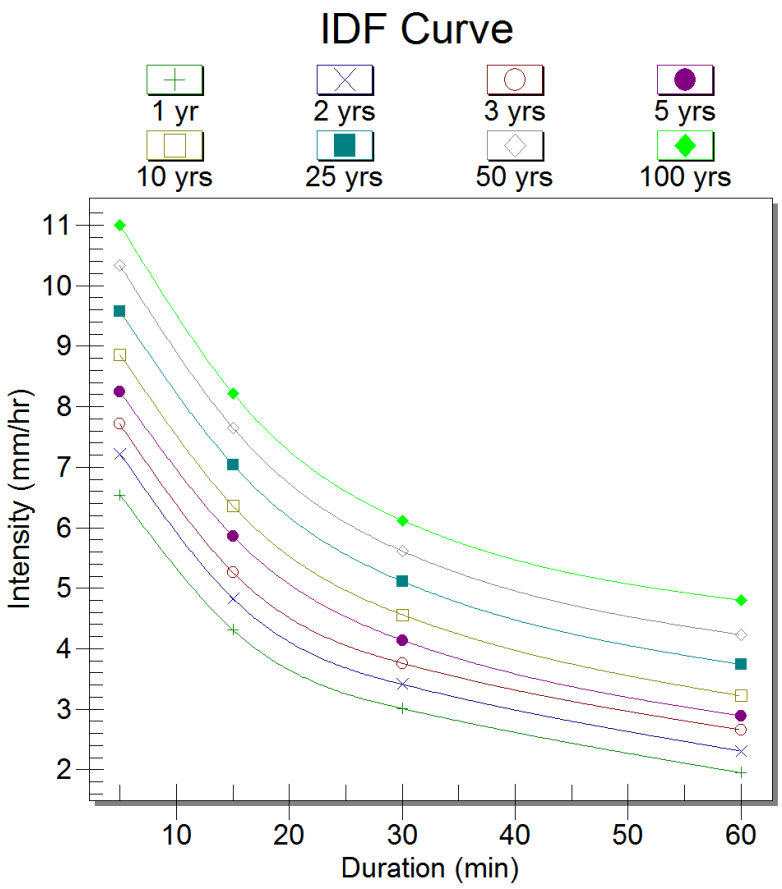
A racionális módszer elsősorban lakott területeken alkalmazható ott, ahol a vízgyűjtő terület nagysága kisebb 12 km^2-nél (Ralph A. Wurbs, 2001). A módszer legfőbb lényege az az elv, hogy adott vízfolyás egy vizsgált keresztszelvényének maximális (mértékadó) vízhozama abból az állandó intenzitású *i* csapadékból keletkezik, melynek időtartama (T) megegyezik a vizsgált szelvényhez tartozó összegyülekezési idővel (t_c) (dr. Szlávik, Sziebert, & Zellei László, 2002).

Ekkor a mértékadó vízhozam a következő összefüggéssel számítható:

$$Q_p = \alpha * i_p * A$$

Az egyenletben α a vizsgált vízgyűjtő területhez tartozó lefolyási tényező, mely függ a beépítettség módjától, a talajtípustól, valamint a csapadék visszatérési idejétől. A lefolyási tényező értéke 0 és 1 között változhat attól függően, hogy a lehullott csapadék mekkora része kerül lefolyásra. A mértékadó i_p csapadékintenzitást a csapadékmaximum függvény gyakorisággal bővített alakja adja, míg A a vizsgált vízgyűjtő területe.

A racionális módszerrel való modellezés során a csapadékadatok megadásakor úgynevezett IDF (intensity-duration-frequency – intenzitás-időtartam-előfordulási valószínűség) görbéket kell definiálni, melyekre példát a **2. ábra** mutat. A szimuláció futtatásakor a program kiszámítja a t_c összegyülekezési időt minden vízgyűjtő esetén, majd az IDF görbe vízszintes tengelyén lévő időtartammal egyenlővé teszi és hozzárendeli a megfelelő csapadékintenzitást.

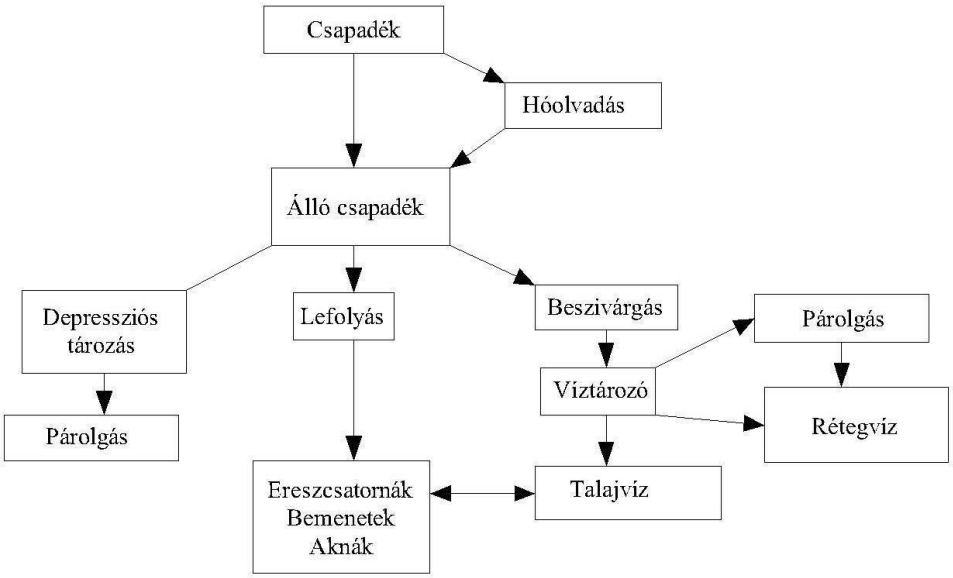


2. ábra: IDF görbék

2.3.2 EPA SWMM módszer

Napjaink egyik leggyakrabban alkalmazott hidrológiai modelljét, a StormWater Management Model-t (SWMM) az Amerikai Környezetvédelmi Ügynökség (United States Enviromental Protection Agency – EPA) fejlesztette ki az 1970-es években (Rossman, 2010). A SWMM modell legfőbb alkalmazása városi környezetben indokolt. A módszer a vízgyűjtő területekre terhelt egyszeri vagy hosszú távú csapadék idősorokból képez lefolyást a területek tulajdonságai alapján, majd ezt a vízelvezető rendszer elemein – nyílt felszínű és zárt szelvényű csatornák, tározók, szivattyúk - keresztül vezeti le és juttatja el egy befogadóba.

A SWMM modell által használt hidrológiai elemeket és azok kapcsolatát a **3. ábra** mutatja.



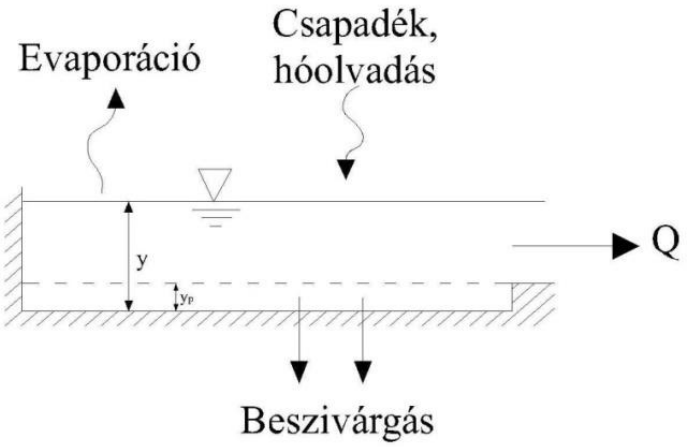
3. ábra: A SWMM módszer hidrológiai felépítése (Forrás: http://docs.bentley.com/en/HMCivilStorm/Help-07-088.html)

A SWMM módszer a vízgyűjtő területeket nem lineáris tározóként modellezi. A vízgyűjtőre érkező vízhozam keletkezhet a csapadékból és/vagy érkezhet más vízgyűjtő területekről. A rendszert elhagyó vízmennyiséget okozhatja párolgás, beszivárgás és felületi lefolyás. A vízgyűjtő kapacitását a maximális depressziós tározás adja, amely magában foglalja a felszíni tározódást, a talajtározást és az intercepciót.

Egységnyi lefolyás (Q) abban az esetben keletkezik, mikor a vízmélység (y) meghaladja a vízgyűjtő maximális depressziós tározását (y_p) (**4. ábra**). A módszer a Manning-egyenlettel számolja a kifolyás nagyságát. A vízmélységet (y) időegységenként (t másodpercenként) a

vízgyűjtőkön folyamatosan újraszámolja a vízháztartási egyenlet numerikus megoldásával, a következő egyenlettel:

$$Q = \frac{1}{n} W \cdot (y - y_d)^{5/3} S^{1/2}$$



4. ábra Lefolyás modellezése

2.4 Hidraulika

A program az árhullámok összetevőjében a számított vízmennyiségeket nyíltfelszínű és zárt szelvényű csatornákon vezeti le. Az árhullám levezetése három módszerrel lehetséges (Autodesk, Inc., 2011):

- egyenletes vízmozgás alapján
- kinematikus módszerrel
- dinamikus módszerrel

Egyenletes vízmozgás esetén az összekötő csatorna mentén az árhullám sem időben, sem alakjában nem változik.

A kinematikus árhullám esetén a kontinuitás egyenletével és az egyszerűsített impulzus egyenlettel számol a program. A modell feltétele, hogy a csatorna esése megegyezzen a vízszintek esésével. A maximális vízhozam a normál vízmélység alapján van meghatározva. Az ezen felüli mennyiség - mely az aknákhoz érkezik vagy elveszik, vagy a felszínen tározódik addig, míg a csatorna újra szállítani nem képes a meghatározott mennyiséget. A kinematikus modell a vízhozam és vízmélység változását mind időben, mind a csatorna mentén kiszámítja.

Ez az árhullám csökkenését és késleltetését eredményezi. A modell nem számítja az alvízi hatásokat, nyomás alatti eseteket.

Dinamikus modell esetében a program a teljes kontinuitás és momentum egyenletet használja, melyek kimondottan a csatornákra és az aknákra lettek kifejlesztve. Ebben ez esetben nyomás alatti lefolyás számítása is lehetséges, túlfolyás pedig csak abban az esetben, amikor az akna magassága alacsonyabb a számított vízmélységnél. Nyomás alatti esetben a program a Hazen-Williams, vagy a Darcy/Weisbach egyenletet használja.

3 Az ipari parki területrészlet bemutatása

A modellezett helyszín Győr város ipari parkjának egy részlete (vastag sárga vonallal körbehatárolva, **5. ábra**), mely megközelítőleg 1 km^2 területű. Az ipari parki jellegből fakadóan a terület belterületnek minősül.

5. ábra: A modellezett terület felülnézete (Forrás: www.maps.google.com)

Az **5. ábraán** látható, kék négyzettel kiemelt tópáros szolgál a vízgyűjtőkről lefolyó vizek befogadására. A kisebb tó funkciója a befolyó csapadékvíz szűrése ülepítés útján, míg a nagyobb tó a tározásért és a víz elszikkasztásáért felel.

3.1 Éghajlat

Győr éghajlata kontinentális, a sokéves átlaghőmérsékletek alapján a legmelegebb hónap a július, míg a leghidegebb a január (Országos Meteorológiai Szolgálat). Az átlagos csapadékösszeg közel 600 mm, mely két esősebb és két szárazabb időszakban hullik. A vizsgált területen a 2011-es évtől kezdve (2012 kivételével) folyamatos csapadékmérés zajlik, az egyes

évekre vonatkozóan a csapadékösszegeket az **1. táblázat** tartalmazza, kiegészítve az elmúlt 50- és 100 év minimális, valamint maximális csapadékösszegével.

1. táblázat: Csapadékösszegek táblázata

				Elmúlt 100 év		Elmúlt 50 év	
				Min.	**Max.**	**Min.**	**Max.**
Év	2010	2011	2013	1978	1915	1978	1966
Csapadékösszeg [mm]	889.4	384.9	446	353	971	353	752

A területen a napsütéses órák összege átlagosan 2000 óra közelében van.

3.2 Domborzat

Győr, mint a Kisalföld tájegység központja síkvidék. A modellezett terület magassági értelemben 115 mBf és 132 mBf között helyezkedik el. Az átlagos esés 15 m/km.

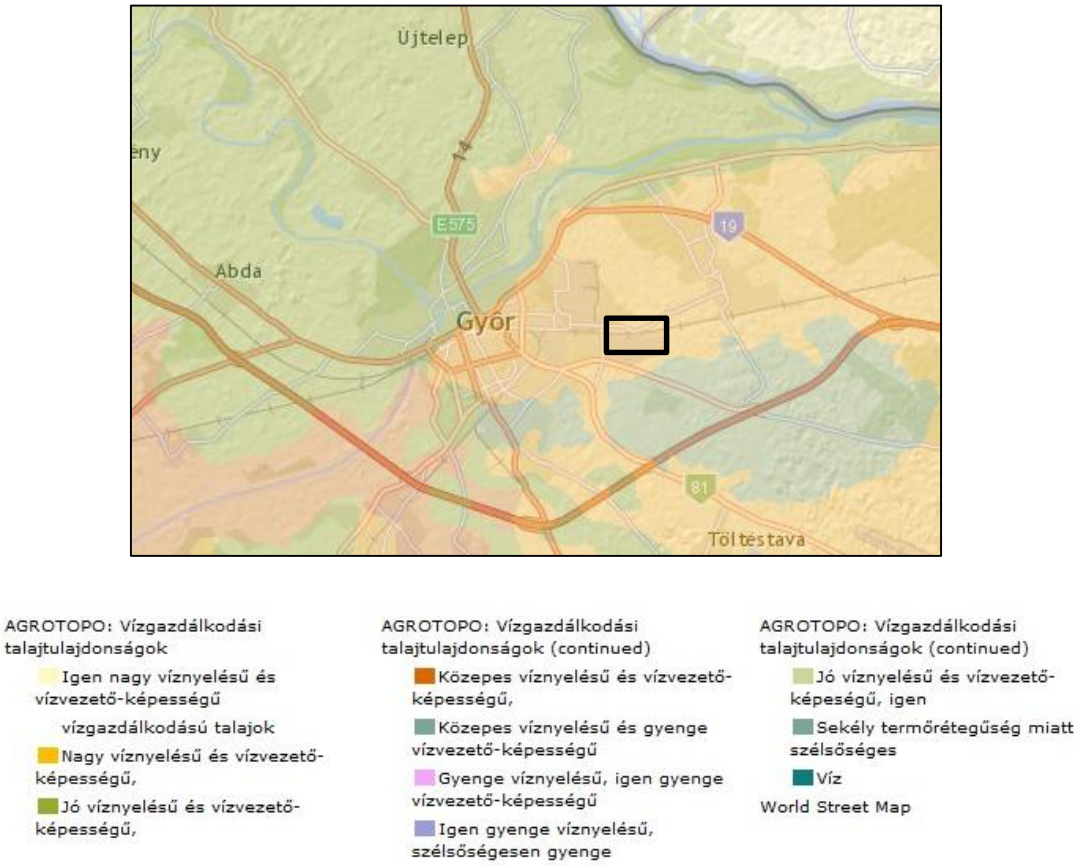
3.3 Talajadottságok

A talajadottságok ismerete a racionális módszer lefolyási tényezőjének és a beszivárgás meghatározásához fontos. A lefolyási tényező a területhasználat és a terület esése mellett függ a talaj típusától. Minél kisebb a talaj vízáteresztési tényezője, a lehullott csapadék annál nagyobb hányada fog lefolyni. A program négy típust különböztet meg:

- A: nagyon jó vízáteresztő;
- B: jó vízáteresztő;
- C: közepesen vízáteresztő és
- D: gyengén vízáteresztő talajok.

A vizsgált ipari parki területen a talajtípust a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet (MTA TAKI) Agrotopográfiai adatbázisának segítségével határoztam meg.

Munkám szempontjából a vízgazdálkodási talajtulajdonságok voltak mérvadóak. Az adatbázisban beállítva a kívánt tulajdonságot a **6. ábraáról** leolvasható volt a talajtípus, mely alapján a vizsgálati területen nagy víznyelésű- és vízelvezető képességű talaj található.



6. ábra: Győr és környéke vízgazdálkodási talajtulajdonsága (Forrás: http://maps.rissac.hu/agrotopo)

A Storm and Sanitary Analysisban való modellezés során talajtípusnak a *B* típust választottam. A *B*, jó vízáteresztő talajtípus választását indokolja, hogy – szemben az *A* típussal – nagyobb lesz a lefolyási hányad az egyes vízgyűjtő területeken, több víz jut a vízelvezető hálózatba. Ez a döntés a biztonságot szolgálja, de később – ha szükséges – bármikor egyszerűen módosítható.

4 A modell felépítése SSA-ban

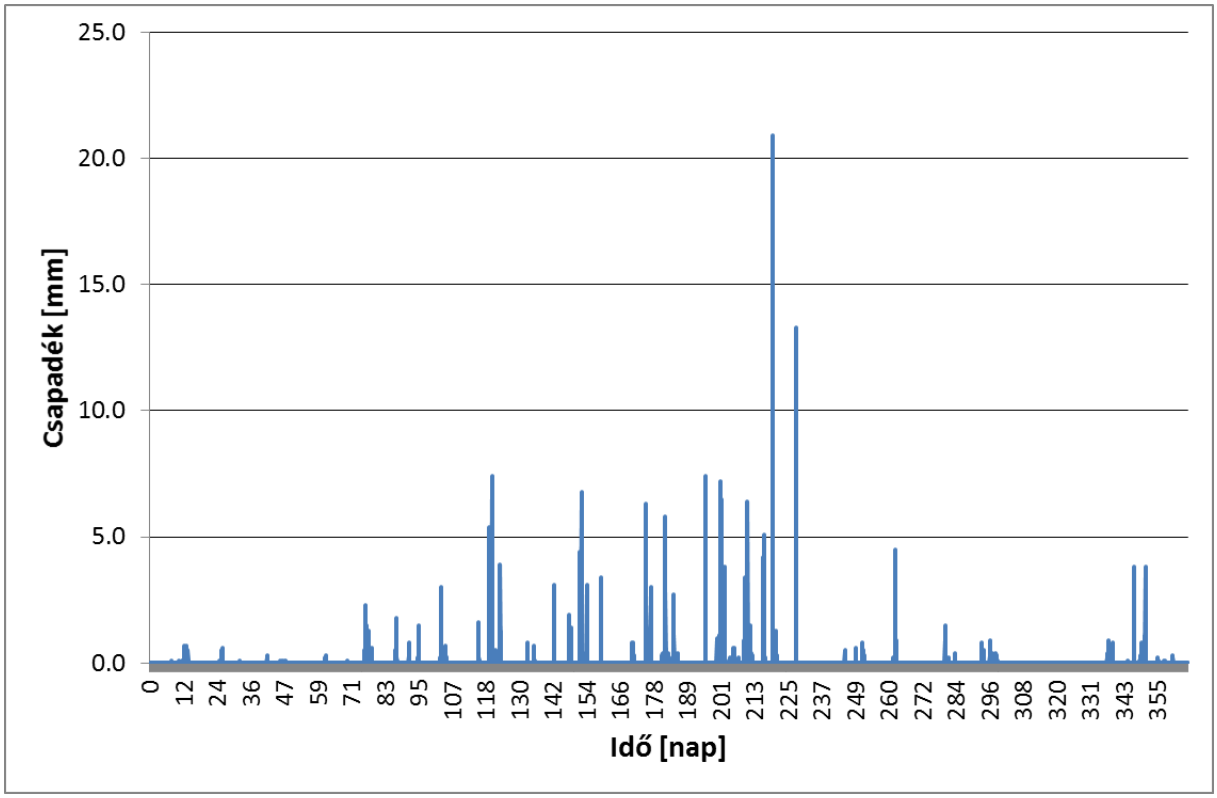
A Storm and Sanitary Analysis számára többféle adatot kell megadni a modell felépítése során, melyeket a legegyszerűbben a következőképpen csoportosíthatunk:

- meteorológiai adatok (csapadék, párolgás)
- vízgyűjtőre vonatkozó adatok (vízgyűjtők lehatárolása, nagysága, paramétereik)
- hálózati elemek (csatornahálózat, tározók, kifolyás)

4.1 Meteorológia

4.1.1 Csapadék

A 2010-es évtől kezdődően 2013-ig óránként mért adatok állnak rendelkezésemre, melyeket mért idősor adatként definiáltam a programban. Egy ilyen idősorra mutat példát a **7. ábra**. Az SSA-ban a szimulációs beállításoknál ki lehet választan, hogy melyik időszak csapadékadatait szeretnénk a rendszerre terhelni, majd a szimuláció az alapján fut le.



7. ábra: A 2011. augusztusi csapadék

4.1.2 Párolgás

A modell készítése során szükség volt a párolgási adatok megadására, melyhez egy korábbi PhD értekezés adatait használtam fel (Kovács, 2011), melyben a Marcal folyóra vonatkozóan találtam havi átlagos mért adatokat (**8. ábra**). Mivel az általam vizsgált terület nem esik messze innen, így az adatokat bevittem a programba, ami ezután attól függően, hogy milyen időszakra végezzük el a szimulációt, alkalmazza a megfelelő párolgási értéket.

		hónapok								
		márc.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szept.	okt.	nov.
Zagyva	átlag	21	36	83	103	101	83	37	21	11
	szórás	5,6	7,9	6,5	8,6	13,2	9,3	7,8	3,4	1,3
Kapos	átlag	17	35	81	110	107	83	39	19	11
	szórás	6,3	7,0	6,9	6,4	13,1	9,1	9,2	3,3	1,2
Zala	átlag	20	44	94	115	110	90	44	26	12
	szórás	6,2	4,6	10,0	7,0	10,9	9,9	6,6	4,3	1,3
Marcal	átlag	20	41	89	110	106	86	40	23	12
	szórás	6,8	6,4	6,4	6,0	10,1	13,0	7,9	1,9	1,3

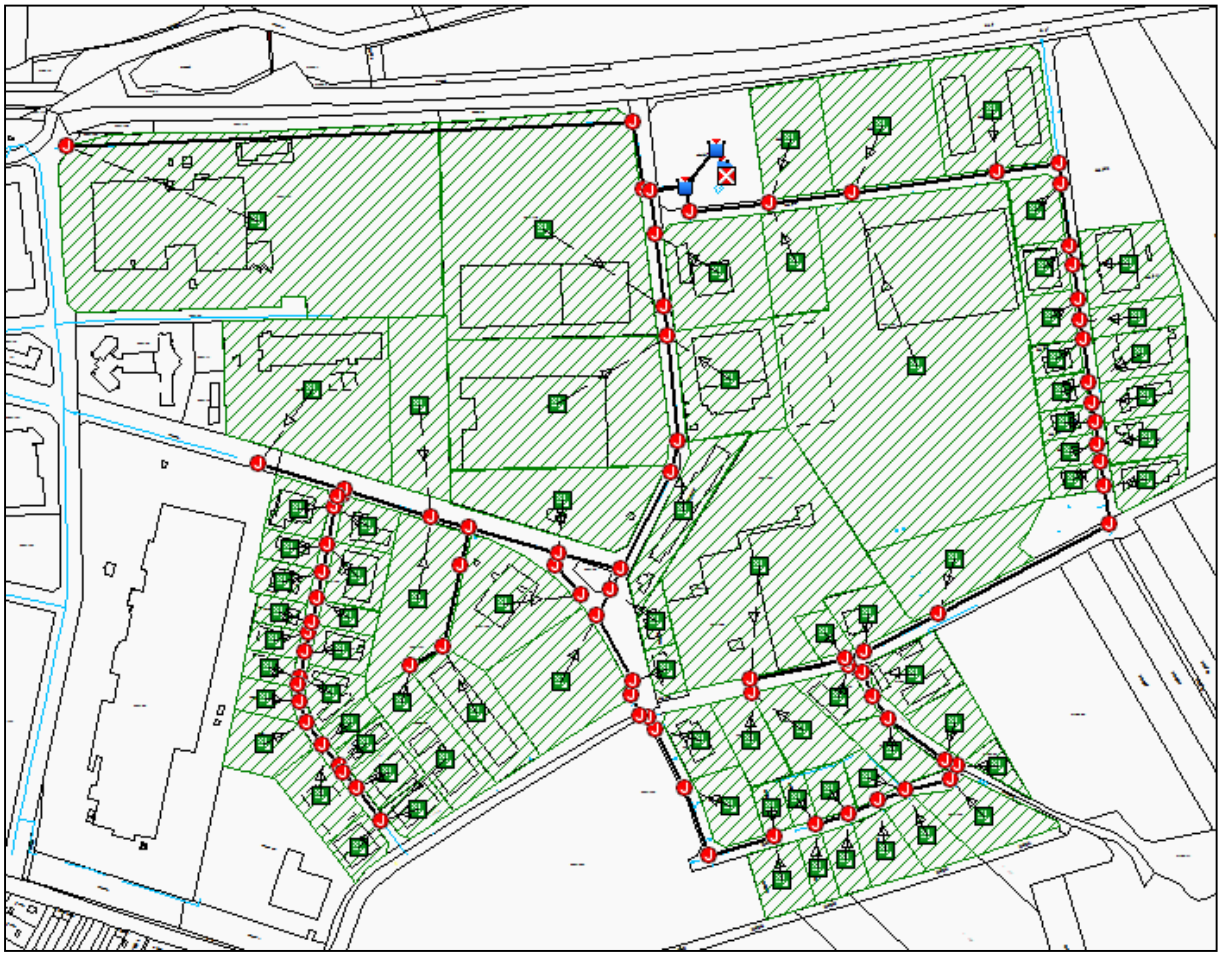
8. ábra: Átlagos havi párolgások táblázata, benne az alkalmazott Marcal értékekkel. Forrás: (Kovács, 2011)

4.2 Vízgyűjtő adatok

4.2.1 Vízgyűjtő területek nagysága

4.2.1.1 Alapmodell vízgyűjtő területei

A csapadékvíz-elvezető rendszer alapjai a vízgyűjtők (zöld sraffozott területek), melyeket a modell első felépítésénél egy-egy telek alapján vettem fel. A rendszer felépítését mutatja a **9. ábra**.



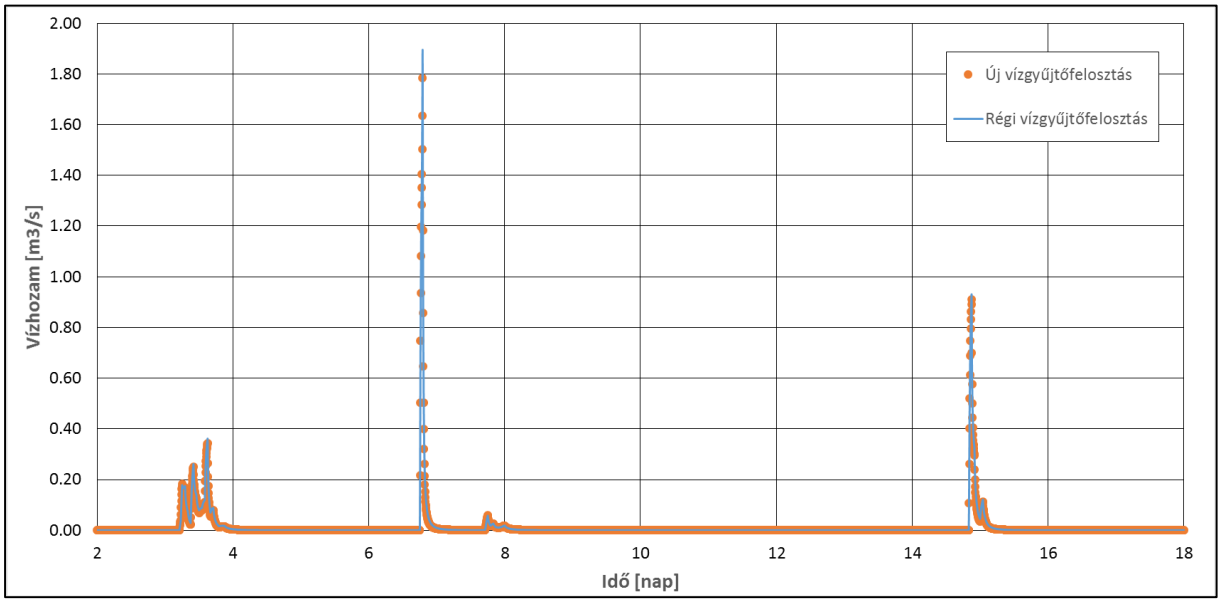
9. ábra: Az alapmodell vízgyűjtő területei

4.2.1.2 Módosított vízgyűjtőrendszer

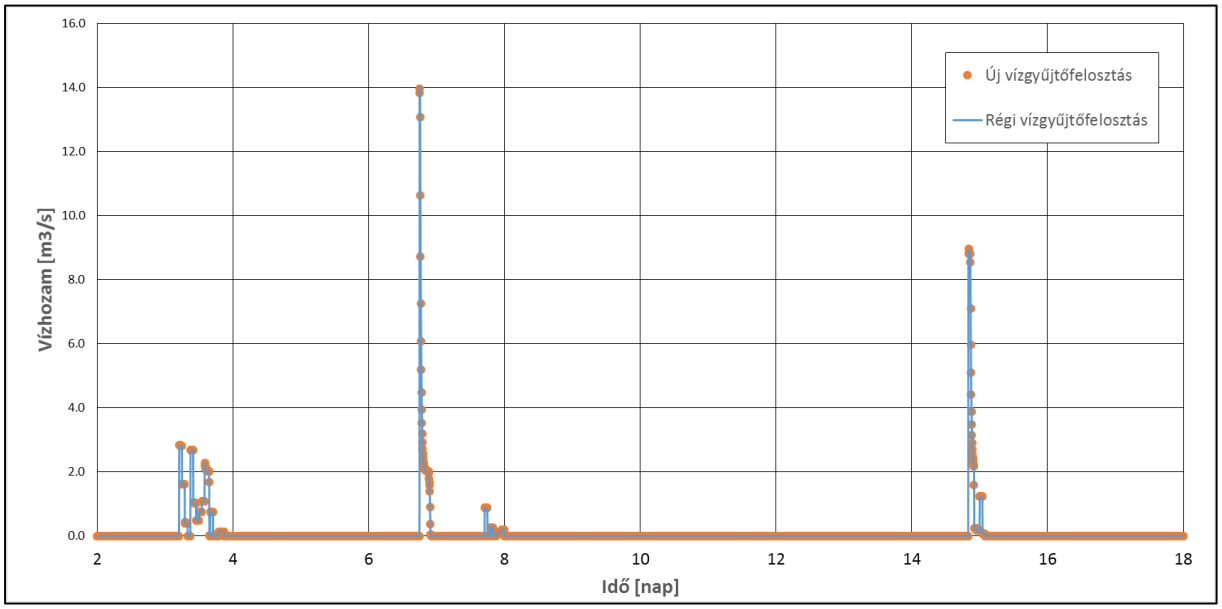
Az alapmodellben 84 darab vízgyűjtő szerepelt. Ilyen sok különálló terület kezelése bonyolult, mivel minden egyes paramétert egyenként lehet csak átállítani, ha szükséges.

Igyekeztem a modellt úgy leegyszerűsíteni, hogy az eredeti lefolyási viszonyok megmaradjanak, vagy csak kis mértékben módosuljanak (**12. ábra**). Az egymás mellett lévő vízgyűjtőket összevontam úgy, hogy az eredeti tulajdonságaikat súlyozva átlagoltam.

Ezután vizsgáltam a lefolyási árhullámképeket és a veszteségek alakulását a régi és az új rendszer esetén (**10. ábra** és **11. ábra**).

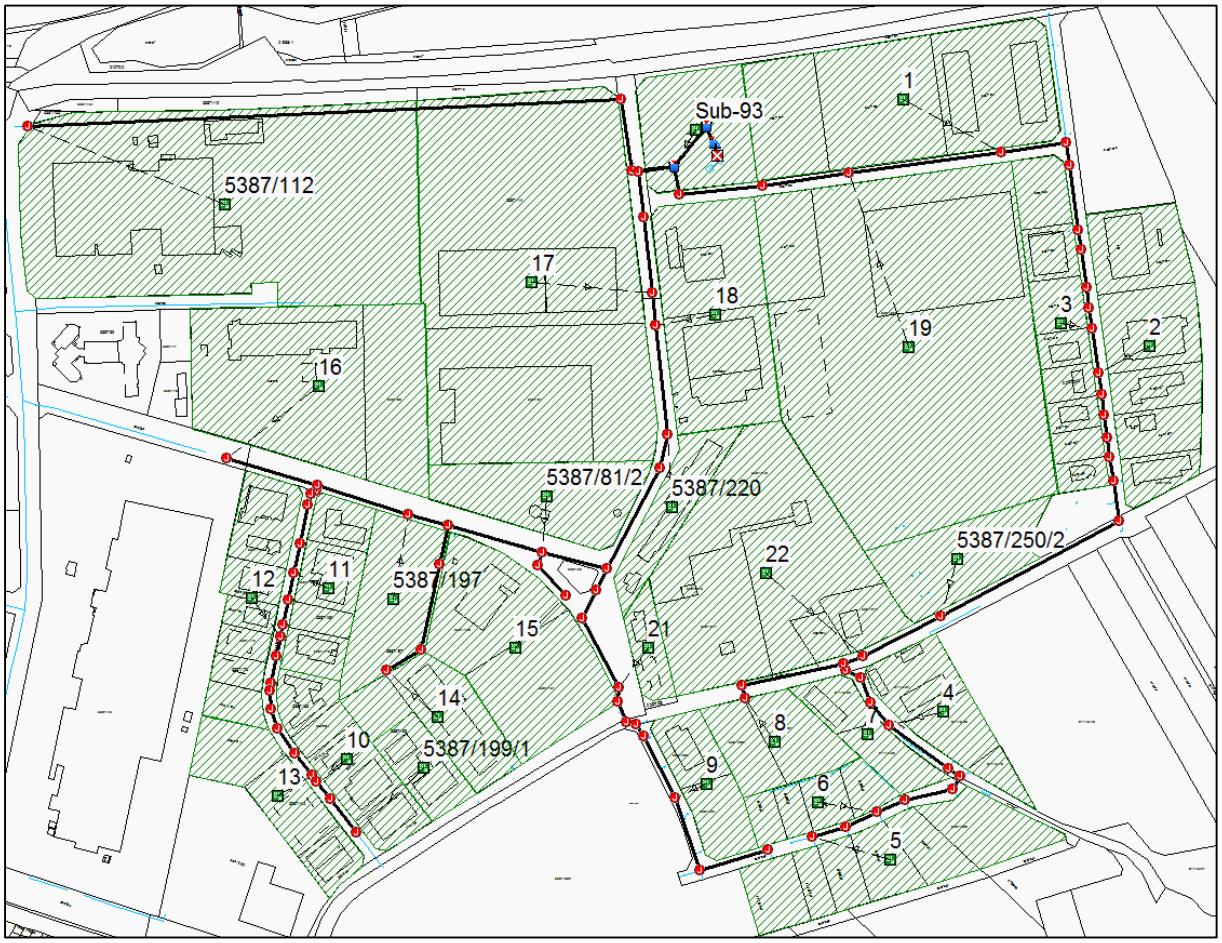


10. ábra: Árhullámkép a régi és az új vízgyűjtőrendszer esetén



11. ábra: Veszteségek alakulása a régi és az új vízgyűjtőrendszer esetén

Az ábrákról leolvasható, hogy a lefolyt vízmennyiség és annak időbeni eloszlása, valamint a kialakult veszteségek közel azonosak, így az új, egyszerűsített vízgyűjtőfelosztás alkalmazható a továbbiakban.



12. ábra: A módosított vízgyűjtő területek

4.2.2 Vízgyűjtő paraméterei

A vízgyűjtő területek tulajdonságainál többféle paramétert is be lehet állítani, ezek a következők:

- terület
- szélesség (lsd.**4.2.4**)
- vízgyűjtő terepesése
- áteresztő felület nagysága
- áteresztő felület tározási mélysége
- áteresztő felület érdessége
- nem áteresztő felület tározási mélysége
- nem áteresztő felület érdessége

Az **5.3.1** fejezetben foglalkozom a főbb paraméterek érzékenységvizsgálatával.

4.2.3 Területhasználat

A területhasználatot AutoCAD-el határoztam meg. A rendelkezésemre álló helyszínrajzon lemértem az egyes telkeken az épületek, a burkolt felületek, valamint a zöldfelületek nagyságát (**2. táblázat**), majd ezek összesítéseként meghatároztam a beépítettségi módokat az egész területre, melyek a következők:

- 15,57 % ipari épület
- 19,43 % burkolt felület
- 65,00 % zöldfelület

2. táblázat: Területhasználat

Helyrajzi szám	Ipari épület (%)	Burkolt felület (%)	Zöldfelület (%)
01145/49	0	0	100
01145/58	24.82	37.59	37.59
01145/59	0	0	100
01145/80	0	0	100
01145/81	25.34	37.33	37.33
5387/112	21.36	15	63.64
5387/114	9.18	7.75	83.07
5387/133	44.5	27.75	27.75
5387/137	0	0	100
5387/138	17.49	41.25	41.25
5387/142	33.39	33.08	33.08
5387/149/1	19.71	40.15	40.15

A területhasználatnak a Manning-féle érdesség kiválasztása szempontjából van jelentősége.

4.2.4 Vízgyűjtő szélessége

A SWMM módszer esetén ún. szélességet kell definiálni.

A szélességeket a következő összefüggés segítségével határoztam meg:

$$W = \frac{A}{L_m}, \text{ ahol:}$$

- A: a vízgyűjtő területe
- L_m: a csatorna szakasz és részvízgyűjtő határának a legnagyobb távolsága
- W: szélesség, a terület (A) és a távolság (L_m) hányadosa

A szélesség meghatározása a lefolyási úthosszak mérésével kezdődik. A SWMM módszer esetében lakott területen a vízgyűjtők téglalap alakú területtel írhatók le. Itt a lefolyási úthossz a telekhatár és a csatorna közötti távolságot jelenti. A szélesség meghatározható, ha a vízgyűjtő területét elosztjuk a lefolyási úthosszal. A módszer által ajánlott legnagyobb távolság a nem lakott területen 152m (Moynihan, 2014).

SWMM esetében, ha a felszíni lefolyás egy idealizált téglalap alatti vízgyűjtőről érkező vízhozam, akkor a vízgyűjtő szélessége megegyezik a felszíni lefolyáshoz tartozó szélességgel.

A szélesség a módszer egyik kulcsparamétere, melynek változtatására a rendszer érzékenyen reagál (lsd. **5.3.1**).

4.2.5 Felszíni beszivárgás

A beszivárgás a SWMM módszer egyik legfontosabb paramétere. A lefolyásképző csapadék meghatározása során a lehullott csapadékmennyiségből ki kell vonni a területen beszivárgott csapadék mennyiségét. A beszivárgás számítására a program három módszert ismer, köztük a hazánkban is általánosan alkalmazott Horton-féle beszivárgási görbét.

A Horton-féle beszivárgási görbét az ún. Horton-egyenlettel lehet meghatározni, mely a következő:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}, \text{ ahol:}$$

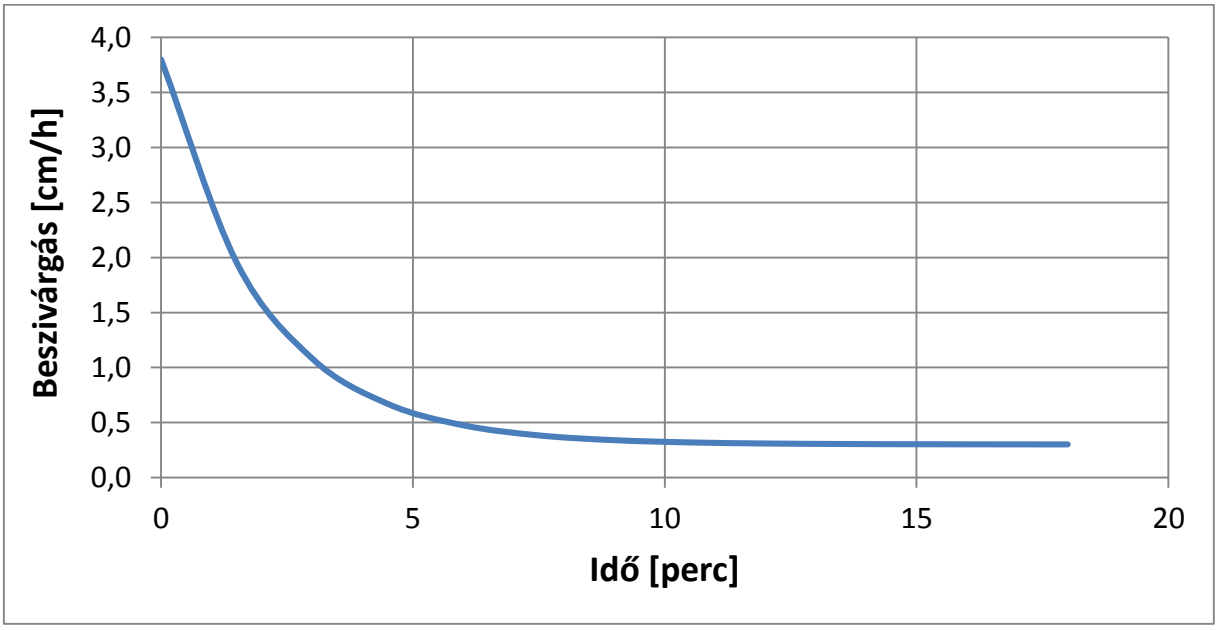
- f (t): beszivárgási sebesség (cm/hr)
- f_0: kezdeti beszivárgási sebesség (cm/hr)
- f_c: minimális beszivárgási sebesség (cm/hr)
- k: beszivárgási együttható (1/hr)

A területen – a korábban említettek szerint – *B* típusú, azaz jó vízáteresztő képességű talaj található, melynek paramétereit a **3. táblázat** szerinti értékekre vettem fel.

3. táblázat: Az alkalmazott beszivárgási paraméterek

f_c	0.3	cm/h
f_0	3.8	cm/h
k	3	1/h

A Horton-féle beszivárgási görbe alakja a **13. ábraán** látható, ahol gyors 5 perces beszivárgás után a görbe ellaposodik, elérve a szivárgási együtthatóhoz közelítő f_c értéket.



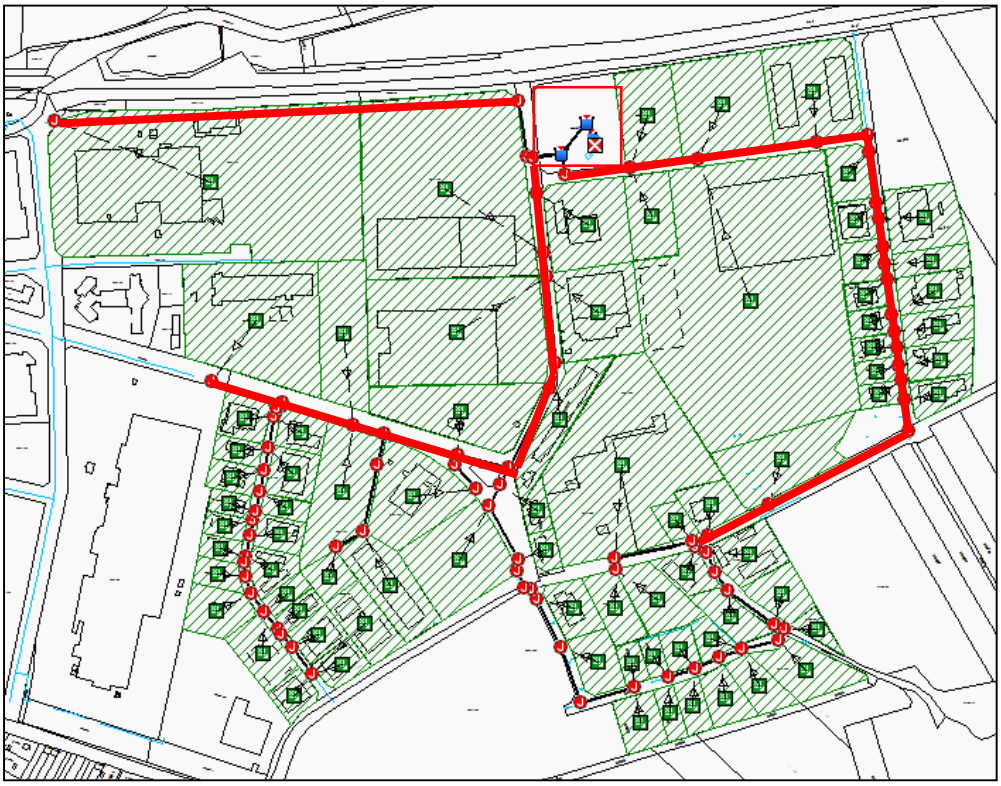
13. ábra: Horton beszivárgási görbe

4.3 Hálózati elemek

4.3.1 Csatornarendszer

A csatornarendszer jelenlegi kialakításának helyszínrajzát a tervező rendelkezésemre bocsátotta. A helyszínrajz alapján el tudtam készíteni a vízgyűjtő területekről a végső befogadó tavakba a lefolyt vízmennyiséget eljuttató csatornahálózatot (**14. ábra**).

A hálózat teljes egészében zárt rendszerű, kör keresztmetszetű, a befogadó felé növekvő átmérővel rendelkező elemekből áll.



14. ábra: Csatornahálózat, kiemelve a gerincvezetékek

4.3.2 Szűrő- és szikkasztó tavak

4.3.2.1 Geodéziai felmérés a helyszínen

Munkám során a tervező által rendelkezésemre bocsátott tervrajzok alapján kezdtem el dolgozni, azonban célszerűnek láttam, ha egy ellenőrző méréssel megvizsgálom, hogy a megvalósult állapot mennyiben fedi a terveket. Megkértem a Széchenyi István Egyetem Közlekedésépítési Tanszékének Geoinformatika Laborjában dolgozó korábbi oktatómat, Mester Mártont, hogy amennyiben lehetősége van, segítsen a felmérés elvégzésében.

15. ábra: Leica terepi adatgyűjtő

A felmérés során a helyszínen ellenőriztük a magassági adatokat, valamint felvettük a tavak kontúrját, hogy a program számára pontosan

tudjam megadni a tározási görbét (tárolt vízmennyiség a mélység függvényében, lsd.**4.3.2.2**). A használt eszközök a következők voltak:

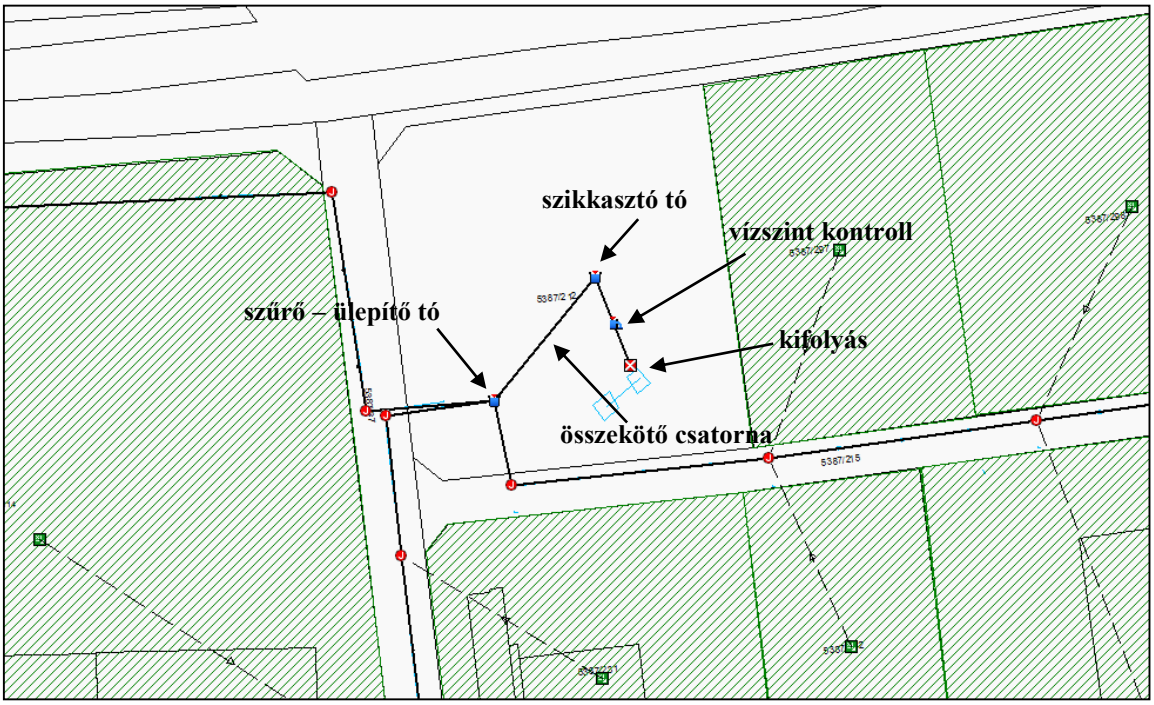
- Leica terepi adatgyűjtő (**15. ábra**)
- Leica szintezőműszer
- szintezőléc

4.3.2.2 A tórendszer felépítése

A vízelvezető rendszerben a végső befogadó szerepét egy kettős tórendszer alkotja, mely a következő elemekből épül fel:

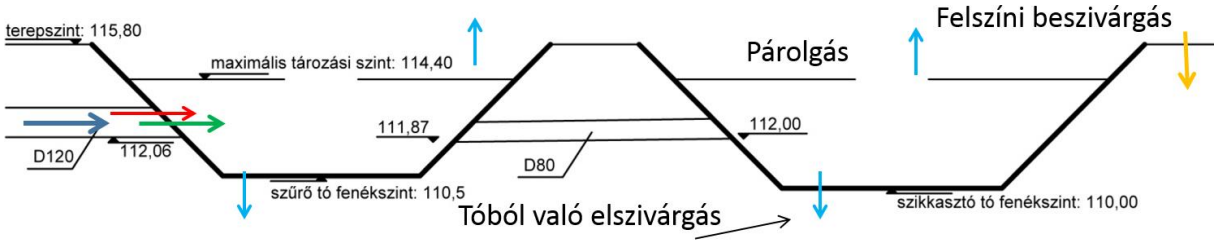
- szűrő – ülepítő tó
- a két tavat összekötő, d=80 cm átmérőjű csatorna
- szikkasztó tó
- vízszint kontroll
- kifolyás

A vízszint kontroll azért szükséges, hogy megakadályozzuk a víz egy bizonyos szint fölé jutását a tóban. A rendelkezésemre álló adatok alapján ez a szint 114,36 mBf. A felépített modellben a rendszer kialakítását a **16. ábra** mutatja.



16. ábra: A tórendszer kialakítása a programban

A szűrő – ülepítő tóba jut a rendszer összes lefolyó vízmennyisége, ahonnan ezután az összekötő csatornán keresztül átkerül a szikkasztó tóba. Utóbbi a medrén keresztül, illetve párolgás útján szikkasztja el a benne található vízmennyiséget. A tórendszer keresztmetszeti vázlatát mutatja a **17. ábra** a fontosabb magassági adatokkal és a hidrológiai elemekkel kiegészítve.



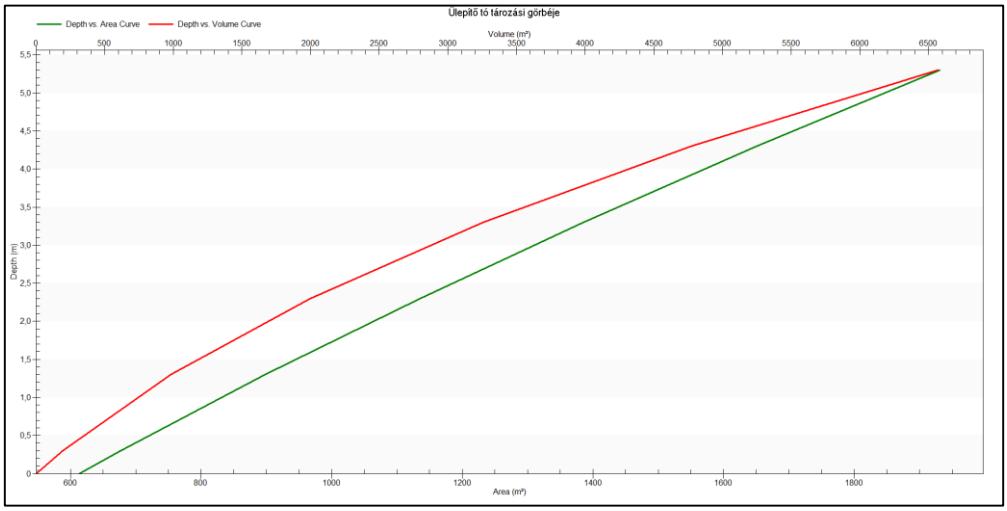
17. ábra: A tórendszer keresztmetszeti vázlata

A modellezés során a tavakhoz úgynevezett tározási görbét kellett definiálni. A görbe három paraméterből épül fel:

- mélység
- a mélységhez tartozó felület és
- a kettő szorzataként kapott térfogat

A geodéziai felmérés során nyert adatok alapján a tavakat AutoCAD-ben meg tudtam rajzolni, majd le tudtam mérni a különböző vízmélységekhez tartozó felületnagyságokat. Ezen adatokból a program kiszámította a különböző vízszintekhez tartozó térfogatokat és megrajzolta a tározási görbét, lényegében definiálva a tavak keresztmetszeti felépítését.

Példaként a szűrő – ülepítő tó tározási görbéje a **18. ábraán** látható. A zöld vonal mutatja a mélység és a felület összefüggését, míg a piros vonal a térfogatot mutatja a mélység függvényében.



18. ábra: A szűrő - ülepítő tó tározási görbéje

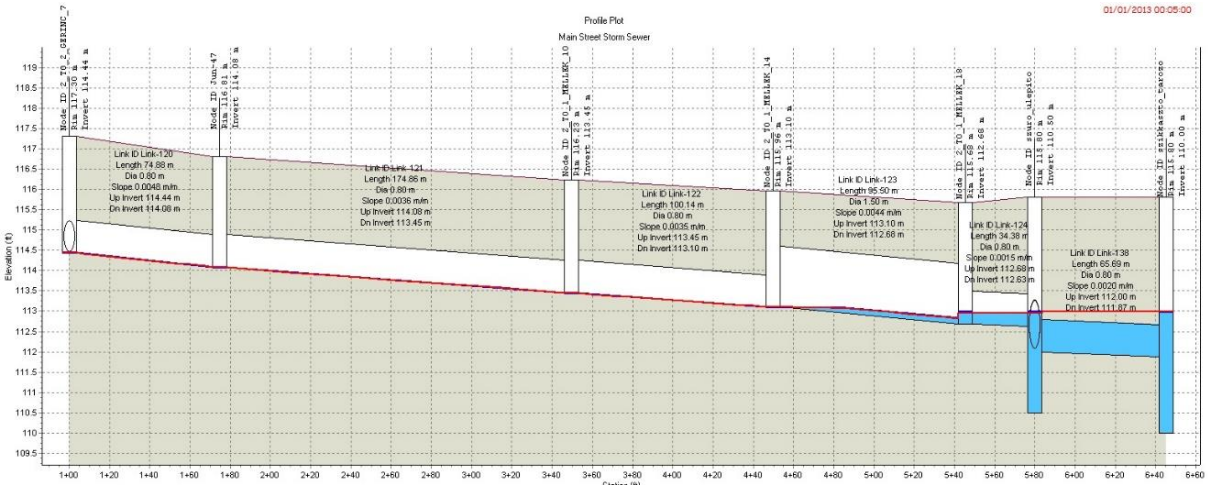
4.3.2.3 Vízszint

A tavak mért vízszintjei szintén fontos adatai a rendszernek. A később bemutatásra kerülő kalibrálást a 2011. augusztusi csapadékra végeztük el, melyet indokol, hogy ebben az időszakban történt a legtöbb hónap közbeni vízszintmérés. A szintmérések minden esetben a szűrő tóba elhelyezett vízmércéről történtek (**19. ábra**), így a későbbiekben minden tárgyalt vízszint a szűrő tó szintjét fogja jelenteni.

19. ábra: Vízmérce a szűrő tóban

A program bemeneti adatai között megadtam a tóból való elszivárgás mértékét, melyet a 2011. augusztusi hónap csapadékmentes napjainak vízszintváltozásai alapján állandó 2 mm/h-nak vettem fel.

A modell felépítése során megvizsgáltam, hogy csapadékmentes időszakban mi történik a rendszerrel. A **20. ábra** egy ilyen esetet mutat, ahol látható, hogy a beállított 113 mBf vízszint hatására a rendszer visszaduzzad.



20. ábra: Hossz-szelvény 113 mBf vízszint esetén

5 A SSA modell vizsgálata

A modell vizsgálata során először összehasonlítottam a racionális és az EPA SWMM módszert az alapmodell vízgyűjtőrendszerén keresztül. Ezután érzékenységvizsgálatot végeztem a főbb bemeneti paraméterekre, hogy megtudjam, melyik tulajdonság változtatására reagál leginkább a felépített rendszer.

5.1 A racionális és a SWMM módszer összehasonlítása

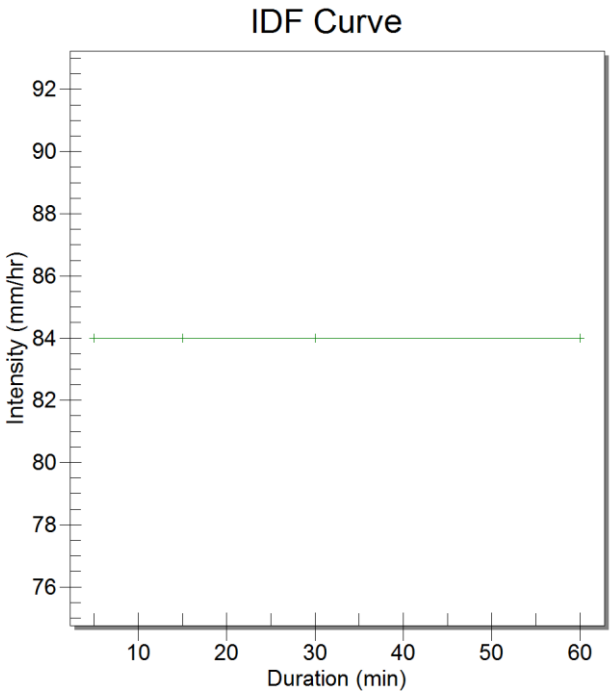
Feladatom során mindenképp a világviszonylatban elterjedtebb EPA SWMM módszer alapján terveztem a modellezést elvégezni, azonban a hálózat tervezése a racionális módszer alapján történt a gyakorlatban. Az eltérő módszerek miatt szükséges volt megvizsgálnom, hogy azonos bemeneti adatokra hasonlóan reagál-e a két program.

5.1.1 Bemeneti adatok

Csapadék

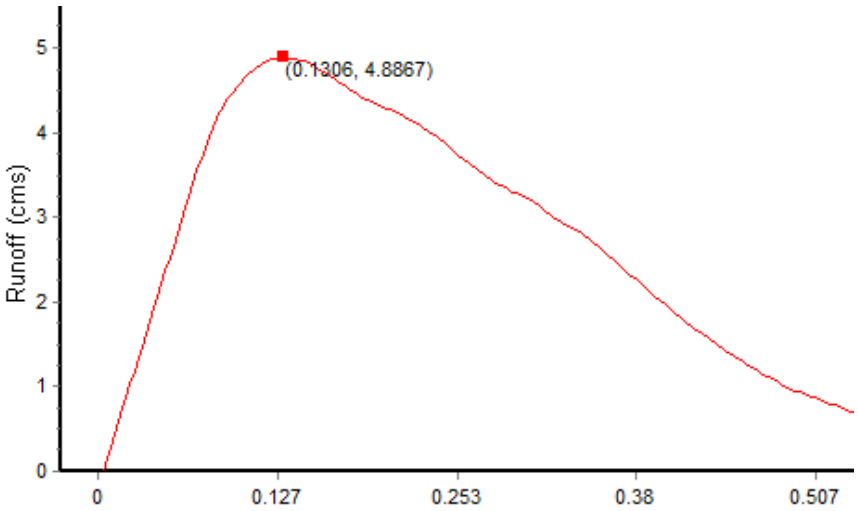
A racionális módszer esetén – a korábban ismertetett módon – az SSA az összegyülekezési időhöz társítja a csapadék intenzitását, míg a SWMM módszer esetén egy megadott csapadékidősor alapján dolgozik a program. A modellezés során először igyekeztem az alkalmazott két módszert összehangolni, hogy a későbbi vizsgálatok során biztonsággal állítható legyen azok megfelelősége.

Az összehangolás során azonos nagyságú csapadékokat terheltem a rendszerre, mely a racionális módszer esetén egy konstans IDF görbének volt megfeleltethető, 84 mm/órás intenzitással (**21. ábra**).



21. ábra: 84 mm/órás állandó intenzitású csapadék IDF görbéje

Az összegyülekezési idő (t_c) az ebből a csapadékból keletkező összes lefolyt vízmennyiség árhullámképéből volt meghatározható, ugyanis a racionális módszer esetén a vízhozamcsúcs t_c idő múlva alakul ki. Ahogy az a **22. ábraán** látható, a csúcs 0,13 óra elteltével keletkezik, amely átszámítva 7,80 percnek felel meg.



22. ábra: A vízhozamcsúcs t_c idő múlva a racionális módszer esetén

Ezután a SWMM modell esetén megadtam a csapadékidősort. A csapadékot itt szintén konstans értékűnek vettem fel, azonban mivel a program csak egész perces időközöket enged megadni az időtartamát 8,00 percnek vettem, amely szinte teljesen megegyezik a racionális módszer

során meghatározott időtartammal. Ebben az esetben 108 mm/órás intenzitású csapadék szolgáltatta ugyanazt a végeredményt.

A szimuláció lefuttatása után a program többek között kiszámolja a modellezett területre hullott csapadékmagasságot, amely a következőkre adódott:

- Racionális módszer: 16,263 mm
- EPA SWMM módszer: 16,200 mm

5.1.2 Területhasználat

A területhasználat ismerete a lefolyási viszonyok meghatározásához szükséges. A racionális módszer esetén a programnak lefolyási tényezőt kell megadni, míg az EPA SWMM módszer esetén meg kell határozni a nem vízáteresztő felületek arányát és megadni a Manning-féle felületi érdességet, mely a vizsgált felület kialakításától függ (**7.3 melléklet**).

A racionális módszerhez tartozó területhasználatokat, valamint a hozzájuk tartozó lefolyási tényezők egy részletét a **4. táblázat** tartalmazza (a teljes táblázat megtalálható a **7.2 mellékletben**). Az egyes beépítettségi módokhoz tartozó lefolyási tényezőket a **7.1 melléklet** mutatja.

4. táblázat: Területhasználat a lefolyási tényezőkkel (részlet)

Helyrajzi szám	Ipari épület (%)	Burkolt felület (%)	Zöldfelület (%)	Lefolyási tényező
01145/49	-	-	100	0.20
01145/58	24.82	37.59	37.59	0.59
01145/59	-	-	100	0.20
01145/80	-	-	100	0.20
01145/81	25.34	37.33	37.33	0.59
5387/112	21.36	15	63.64	0.43
5387/114	9.18	7.75	83.07	0.31
5387/133	44.5	27.75	27.75	0.66
5387/137	-	-	100	0.20
5387/138	17.49	41.25	41.25	0.56
5387/142	33.39	33.08	33.08	0.62
5387/149/1	19.71	40.15	40.15	0.57

Az EPA SWMM módszer esetében alkalmazott paraméterek egy részletét az **5. táblázat** mutatja (a teljes táblázatot a **7.4 melléklet** tartalmazza), ahol a nem vízáteresztő felület Manning-féle érdességét súlyozással határoztam meg. Nem vízáteresztő felületnek vettem az

ipari épületek és burkolt felületek arányainak összegét, míg az érdesség meghatározását a következő módon végeztem:

$$n = \frac{n_{ipari} * ipari\% + n_{burkolt} * burkolt\%}{100}$$

5. táblázat: Manning-féle érdesség értékei (részlet)

Helyrajzi szám	Ipari épület (%)	Burkolt felület (%)	Zöldfelület (%)	Nem vízáteresztő felület (%)	Nem vízáteresztő felület érdessége
01145/49	0	0	100	0	0.000
01145/58	24.82	37.59	37.59	62.41	0.033
01145/59	0	0	100	0	0.000
01145/80	0	0	100	0	0.000
01145/81	25.34	37.33	37.33	62.67	0.033
5387/112	21.36	15	63.64	36.36	0.026
5387/114	9.18	7.75	83.07	16.93	0.011
5387/133	44.5	27.75	27.75	72.25	0.053
5387/137	0	0	100	0	0.000
5387/138	17.49	41.25	41.25	58.74	0.025
5387/142	33.39	33.08	33.08	66.47	0.042
5387/149/1	19.71	40.15	40.15	59.86	0.028

5.1.3 Lefolyási hossz

A lefolyási hosszak definiálása vízgyűjtőnként, az összegyülekezési idők meghatározásához szükségesek. A racionális módszer esetén az SSA számára közvetlenül a lefolyási hosszt kell megadni, mely a vízgyűjtő terület legtávolabbi pontja és a vízelvezető csatorna befogadó pontja közötti távolság. A SWMM módszer esetén a **4.2.4. fejezetben** tárgyalt szélességet kell megadni.

A két alkalmazott módszer összehangolása során a szélesség több lépcsőben történő változtatása során sikerült elérnem a közel azonos lefolyási tulajdonságok elérését.

Az összehangolás során alapértelmezésben minden vízgyűjtő esetén 100 m-es szélességet vettem fel, majd vizsgáltam a lefolyási árhullámképet a rendszer egészére, melyet a racionális módszer lefolyási árhullámképével hasonlítottam össze. Ezután azokon a vízgyűjtőkön, melyeknél kiugró eltérés volt a lefolyt vízmennyiségben – és a vízgyűjtő mérete is indokolta - csökkentettem a szélességet, mely a maximális lefolyási vízhozam, illetve a lefolyt vízmennyiség csökkenésével járt (**6. táblázat és 7.5. melléklet**).

6. táblázat: A szélességek módosításának eredménye (részlet)

Vízgyűjtő	Racionális (m3/s)	SWMM kezdeti (m3/s)	Különbség (m3/s)	Módosítás	SWMM végső (m3/s)	Különbség (m3/s)
01145/49	0.01	0.03	0.02	Szélesség 100->50 m	0.02	0.01
01145/58	0.05	0.09	0.04	Szélesség 100->50 m	0.06	0.01
01145/59	0.02	0.03	0.01		0.03	0.01
01145/80	0.02	0.03	0.01		0.03	0.01
01145/81	0.09	0.12	0.03	Szélesség 100->75 m	0.1	0.01
5387/112	0.97	0.25	-0.72		0.25	-0.72
5387/114	0.46	0.29	-0.17		0.29	-0.17
5387/133	0.05	0.07	0.02	Szélesség 100->50 m	0.05	0
5387/137	0.08	0.04	-0.04		0.04	-0.04
Max. lefolyás (m3/s)	**4.89**	**5.19**			**4.81**	

5.2 Eredmények összehasonlítása

Csapadék

A 3.3.1. fejezetben ismertetett bemenő csapadékokat a rendszerre terhelve a két módszer esetén a program közel ugyanazt a csapadékmagasságot adta végeredményként. A racionális módszer esetén a lehullott csapadékmagasság 16,263 mm, a SWMM módszer esetén pedig 16,200 mm. A továbbiakban ismertetett eredmények ezekből a csapadékmagasságokból keletkeztek.

Lefolyt vízmennyiség

A lefolyt vízmennyiség meghatározása a lehullott csapadékmagasság és az egyes vízgyűjtő területek tulajdonsága alapján történik. A két módszer futtatásának eredményeként kapott lefolyási vízmennyiségek az egész rendszerre vonatkoznak. A racionális módszer esetén az összes lefolyt vízmennyiség 5632 m^3, a SWMM módszer esetén pedig 5869 m^3.

A két érték közötti különbség nem számottevő, így kijelenthető, hogy a vízgyűjtő területek tulajdonságait sikerült úgy beállítani, hogy az mindkét módszer esetén közel azonos lefolyt vízmennyiséget eredményezzen.

Maximális vízhozam

A maximális vízhozam (Q_p) összehasonlításakor elegendő a végső befogadóba – ez esetben a szűrő-ülepítő tóba – bevezetésre került vízhozam maximumát vizsgálni, mivel ez az egész rendszert jellemzi.

A Q_p vízhozam a racionális módszer esetén 4,22 m^3/s-ra adódott, a SWMM módszer esetén pedig 2,73 m^3/s-ra. Az eltérés elsősorban a racionális módszer alapvetően nagyobb biztonságából és nagyobb arányú feltételezéseiből fakad, másodsorban pedig a nem kellően ismert bemeneti paraméterekből, melyeket a későbbiekben célszerűen javítani szükséges saját mérések által.

A maximális vízhozam eléréséhez szükséges időtartam t_p. Ettől az időponttól a vízhozam csökkenni fog, a rendszer folyamatosan kiürül. Jelentősen eltérő értékekre előzetesen nem számítottam, mivel a vízelvezető rendszer ugyanaz, és ahogy korábban bemutattam, a két módszer összehangolása megfelelően megtörtént.

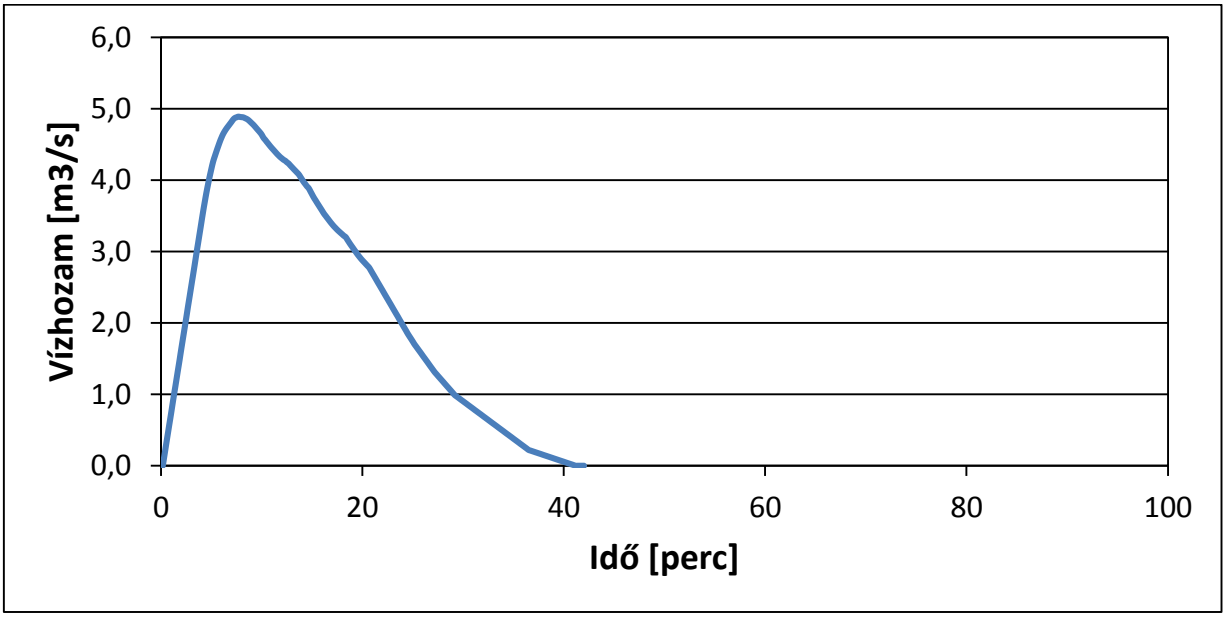
A racionális módszer esetén a t_p időtartam 13,16 perc, a SWMM módszer esetén pedig 15,00 perc, tehát a mértékadó, maximális vízhozam közel ugyanakkor éri el a végső befogadót mindkét modell esetén.

5.2.1 Árhullám alakja

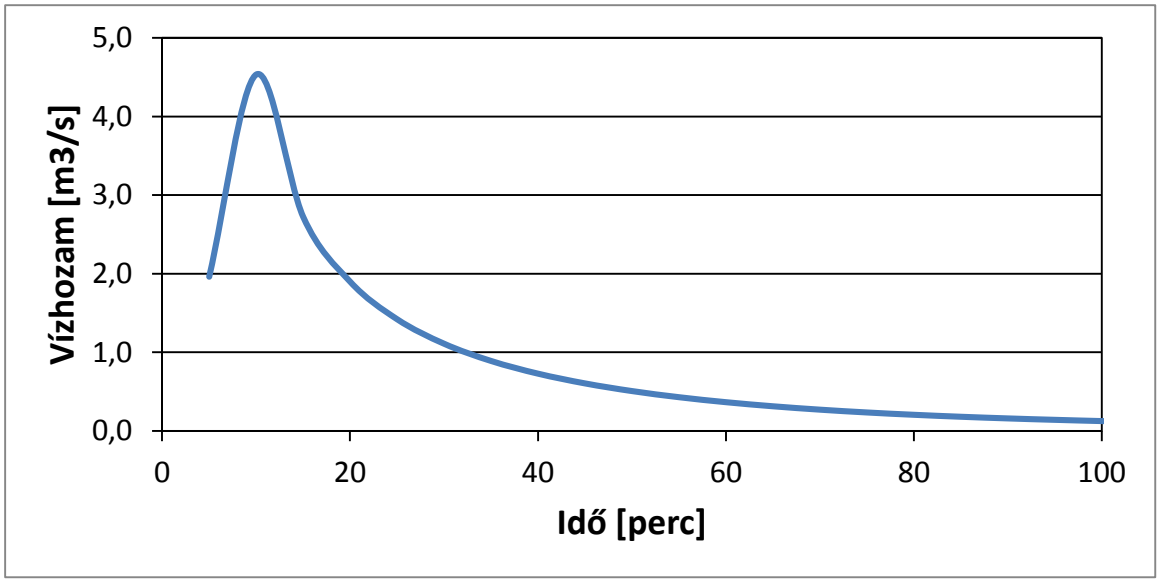
Lefolyási árhullám

A lefolyási árhullámkép a vízgyűjtő területekről lefolyt csapadékból keletkezik még az elvezető hálózatba jutás előtt.

A racionális módszer esetén a **23. ábraán** látható árhullámkép, míg a SWMM módszer esetén a **24. ábraán** látható árhullámkép keletkezett. Látható, hogy a vízhozamcsúcsok közel megegyezőek, azonban az időbeni lefutás eltérő. Az eltérést magyarázza, hogy a racionális módszer során a program több közelítéssel él a biztonság javára, amely a csúcs növekedését és a lefutás rövidülését okozza. A SWMM módszer során a korábban tárgyalt hidraulikai tulajdonságok miatt az időbeni lefolyás tovább tart, a csúcs kisebb. A SWMM módszer esetén látható nem null értékből induló görbét a szimuláció hibája okozhatja.



23. ábra: Lefolyási árhullámkép a racionális módszer esetén



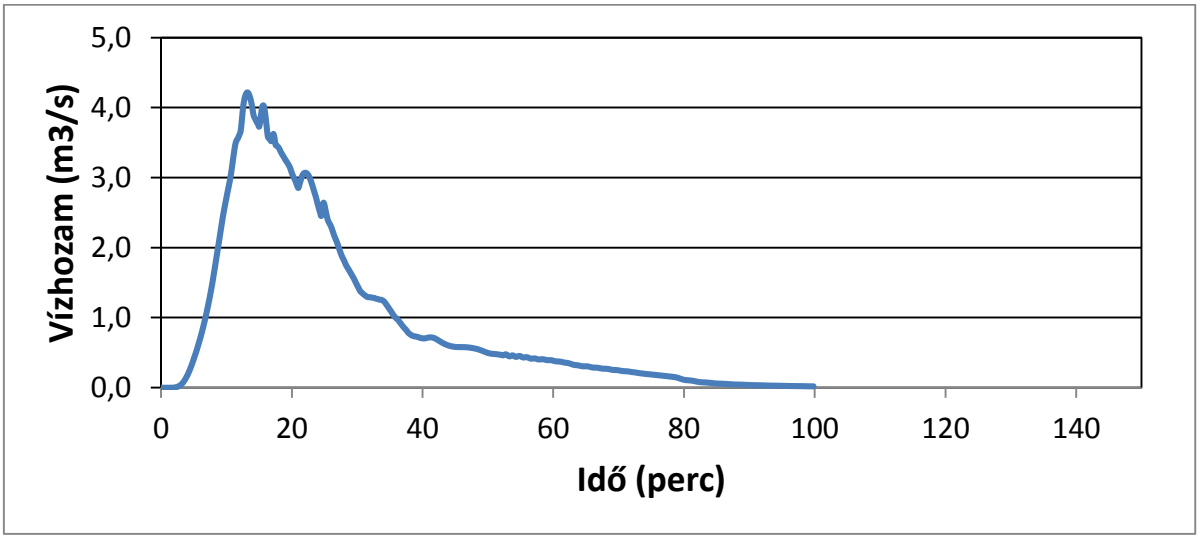
24. ábra: Lefolyási árhullámkép a SWMM módszer esetén

5.2.2 A tórendszerbe beérkező árhullám

A tórendszerbe érkező árhullám a szűrő – ülepítő tó csatornahálózathoz való csatlakozási pontján keletkezik. Ekkor a lefolyt csapadék eljutott a vízgyűjtő területekről a tórendszerhez a vízelvezető hálózat elemein keresztül

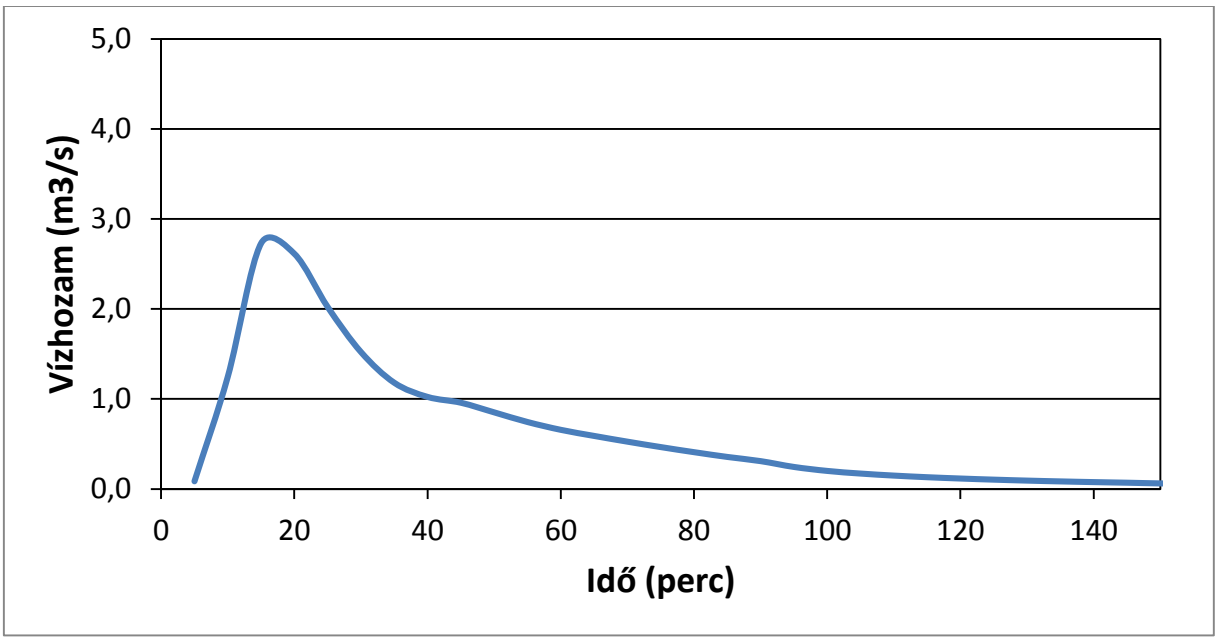
A racionális módszer árhullámképe a **25. ábraán** látható, míg a SWMM módszer árhullámképét a **26. ábra** mutatja. A racionális módszer esetén látható maximum utáni lokális csúcsok a rendszer megteléséből fakadnak. A szűrő – ülepítő tóba csatlakozó csatorna megtelik vízzel,

majd visszaduzzasztja a hálózatot. Ezután a víz csak bizonyos idő elteltével tud újra befolyni a tóba.



25. ábra: Tóba érkező árhullám a racionális módszer esetén

A SWMM módszer esetén az árhullámkép folytonos, nem látható a maximális vízhozamon kívül egyéb kiugró érték. A módszer sajátossága a kisebb vízhozammennyiség, valamint az időben elhúzódó árhullám.



26. ábra: Tóba érkező árhullám a SWMM módszer esetén

5.3 Érzékenységvizsgálat

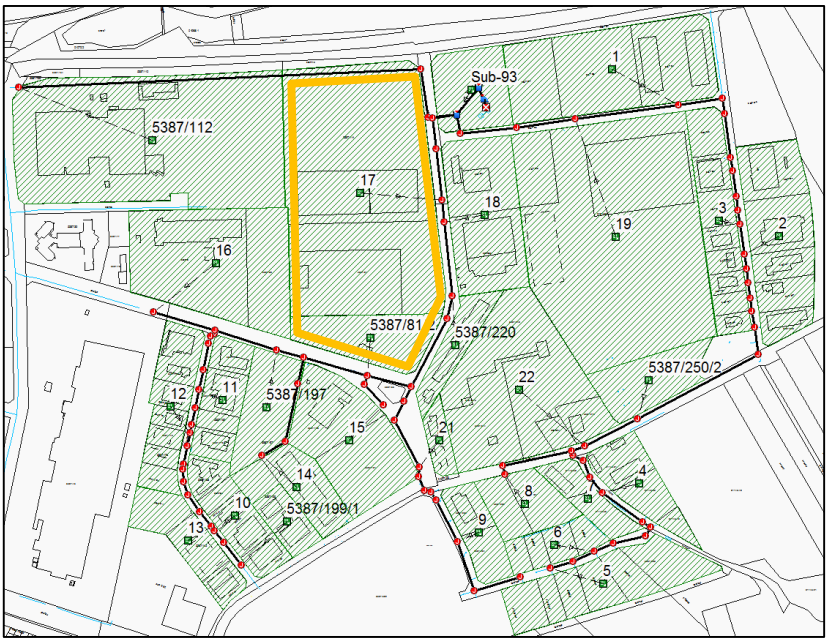
5.3.1 Vízgyűjtő paramétereinek érzékenysége

Miután a vízgyűjtők egyszerűsítése megtörtént fontosnak tartottam, hogy a különböző megadható paramétereket érzékenységvizsgálatnak vessem alá, melyek a következők:

- ekvivalens szélesség
- áteresztő felület nagysága
- áteresztő felület tározási mélysége
- áteresztő felület érdessége
- nem áteresztő felület tározási mélysége
- nem áteresztő felület érdessége (**11.6. melléklet**)

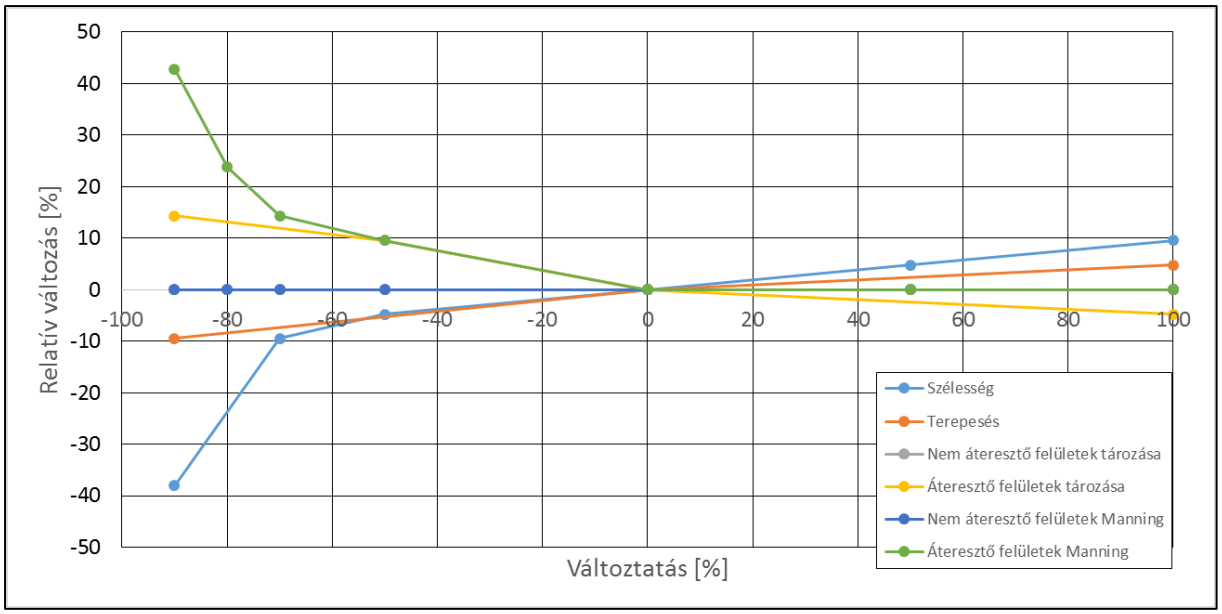
A fenti paraméterek közül szinte kivétel nélkül mindegyiknél csak elméleti feltételezésekkel tudok élni, így egy-egy rosszul beállított érték nagy mértékben befolyásolhatja a végeredményt.

Az érzékenységvizsgálatot a 17-es számú vízgyűjtőre végeztem el, a 2011 augusztusi csapadék alapján (**27. ábra**). Döntésemet indokolja, hogy az előzetes szimulációk során a 17-es vízgyűjtőn keletkezett a legnagyobb vízhozamcsúcs, valamint itt volt a legnagyobb a lefolyt vízmennyiség, ezért úgy gondoltam, hogy a különböző paraméterek változtatása ezen a területen fogják leginkább befolyásolni az eredményeket.

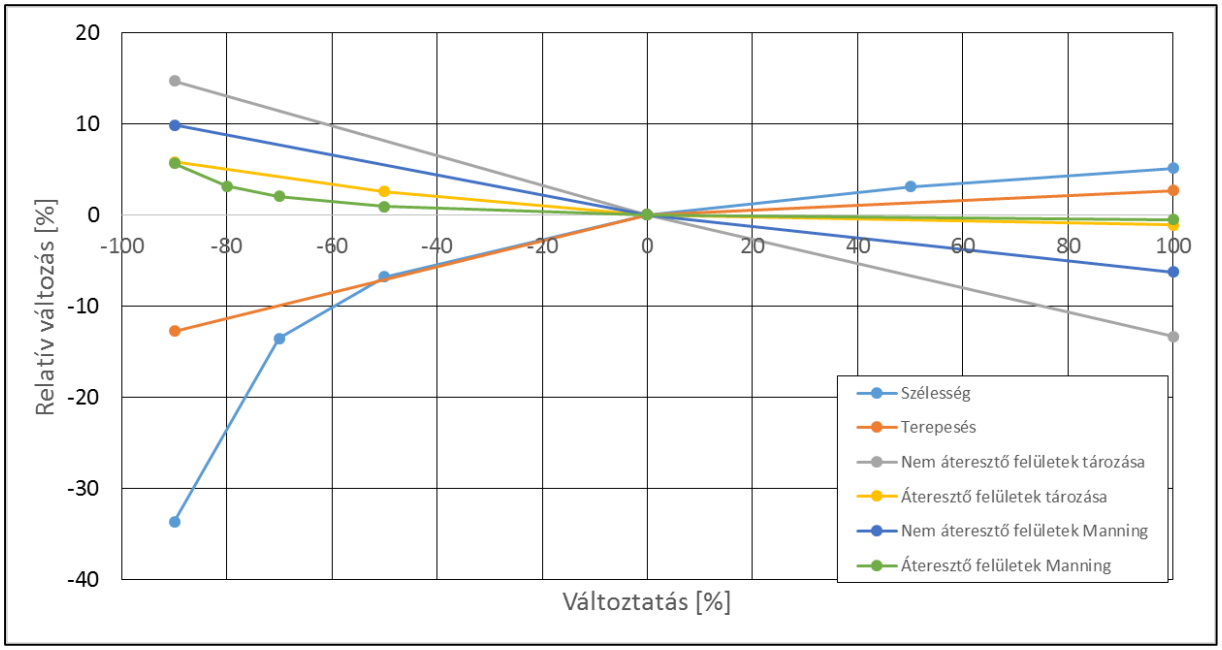


27. ábra: A 17-es vízgyűjtő elhelyezkedése

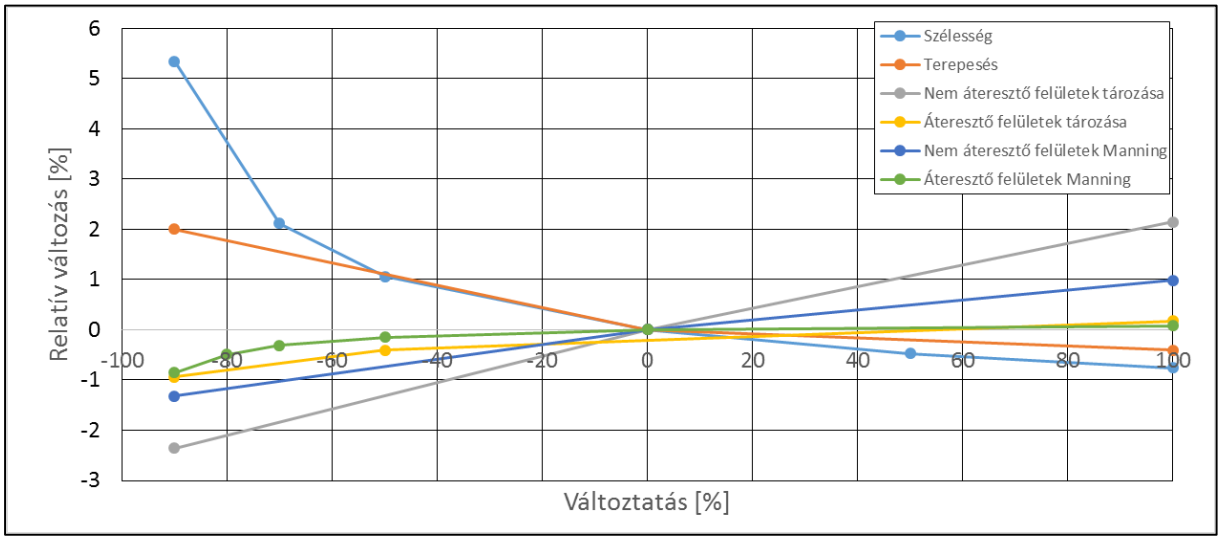
A vizsgálat során először meghatároztam minden paraméter esetén egy kezdőértéket, melyeket a program által ajánlott táblázatokból vettem fel. Ezután megnéztem, hogy az értékeket 10 %-onként változtatva milyen relatív eltérés következik be a maximális vízhozam (**28. ábra**), a lefolyt vízmennyiség (**29. ábra**) és a veszteségek mennyisége között (**30. ábra**).



28. ábra: A maximális vízhozam változása



29. ábra: A lefolyt víz mennyiségének változása



30. ábra: A veszteségek mennyiségének változása

Az ábrákról leolvasható, hogy a legérzékenyebb paraméter minden vizsgált esetben a vízgyűjtő szélessége. A maximális vízhozamra jelentős hatással van a Manning-féle érdesség megválasztása az áteresztő felületekre. További jelentős eltérést okozhat az eredményekben a tározási mélység és a terepesés megválasztása.

A szimuláció futtatása során a paramétereket a kezdőértéknek felvetteken hagytam.

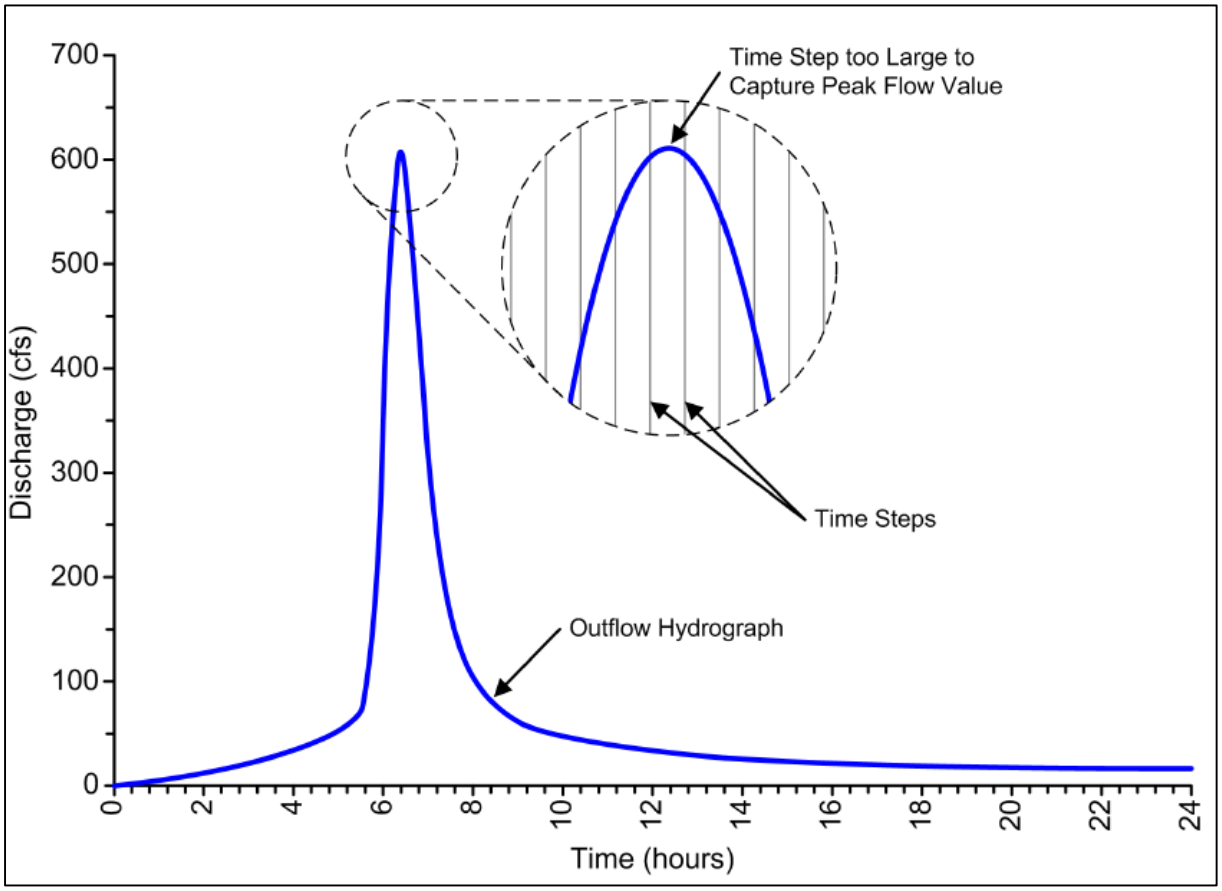
5.3.2 Szimuláció időléptéke

A szimuláció futtatása előtt be lehet állítani, hogy milyen időközönként számolja újra a program a modellt. Az SSA felhasználói kézikönyve azt ajánlja, hogy az alapértelmezett 30 másodperces értéket csökkentsük, amennyiben a számítógép erőforrásai megengedik (Autodesk, Inc., 2011). A mintavételi idő nagysága nagyban befolyásolhatja a kimeneti eredményeket, ahogy azt a **31. ábra** mutatja. Abban az esetben, ha a vízhozamcsúcs két mintavétel közé esik, a program nem fogja tudni azt számolni és kisebb értéket ad eredményül. Modellem esetén vizsgáltam a különböző időléptékek hatását a szimuláció lefutásának idejére és pontosságára, mely adatokat a **7. táblázat** mutatja.

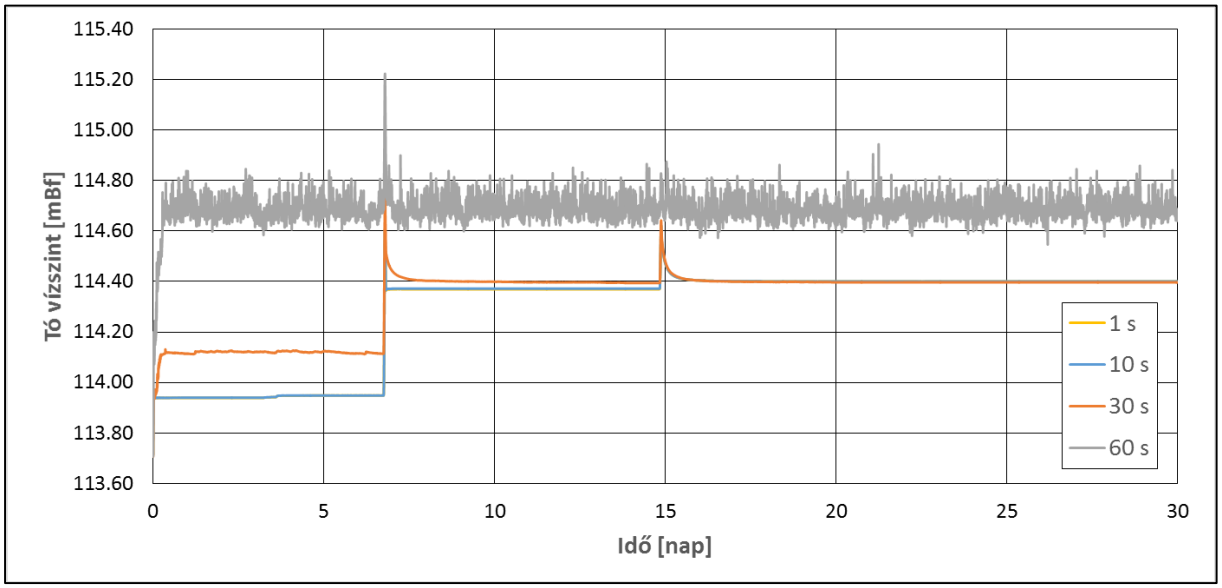
7. táblázat: A mintavételi idő kiválasztásának hatása a szimuláció lefutási idejére és pontosságára

Időlépték [s]	1	10	30	60
Lefutás ideje [s]	313	37	20	38
Hidrológiai hiba [%]	0.08	0.08	0.08	0.08
Hidraulikai hiba [%]	0.26	0.14	4.55	3525.67

Látható, hogy az egy másodperces időlépték nem ad pontosabb végeredményt, ugyanakkor a szimuláció ideje majdnem tízszeresére növekszik. A 60 másodperces időlépték esetén értékelhető eredményt nem kaptam, ahogy az a **32. ábraán** látható. Modellem során a 10 másodperces időléptéket alkalmaztam, mert ebben az esetben elfogadható a szimuláció lefutásának ideje, hiba pedig szinte nem alakul ki.



31. ábra: A mintavételi idő hibás választásának lehetséges eredménye. Forrás: Autodesk Storm and Sanitary Analysis 2012 User's Guide



32. ábra: Időlépték hatása a szűrő tó vízszintjére

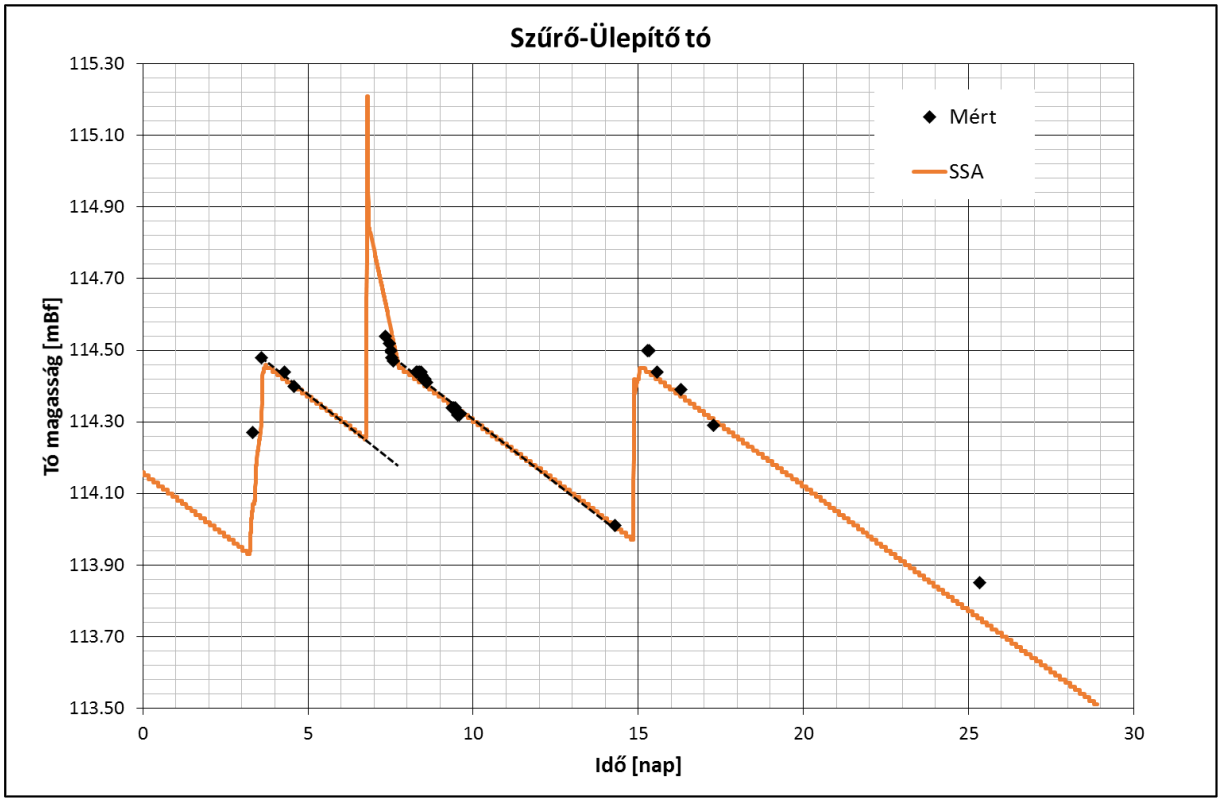
6 Kalibráció és validáció

A modell kalibrációját saját mért adatok, valamint az elmúlt években a terület kezelője által folytatott folyamatos mérések alapján végeztem el. A mérések a csapadék és a vízszint mérésére terjedtek ki és az eredmények a 2011-2013-ig tartó időszakot lefedik.

6.1 Kalibráció a 2011. augusztusi csapadék alapján

A kalibráció során az érzékenységvizsgálatban figyelt paraméterek értékeit nem változtattam meg, minden esetben a táblázatok alapján vettem fel azokat. Két értéket változtattam a kalibráció sikeres lefolytatásához, melyekre a program szintén érzékenyen reagált, ezek a tóból való elszivárgás nagysága, valamint a maximális tározószint (kontroll szint).

A mért adatok alapján arra jutottam, hogy a kontroll szintje a valóságban valószínűleg 10 cm-el magasabban lehet, ezért a magasságát módosítottam 114.46 mBf-re. A kontroll fölé 0,1 m^3/s nagyságú folyamatos elfolyást állítottam be azért, hogy a vízszint ne érhesse el a partfal magasságát. A kalibráció eredményét a **33. ábra** szemlélteti.

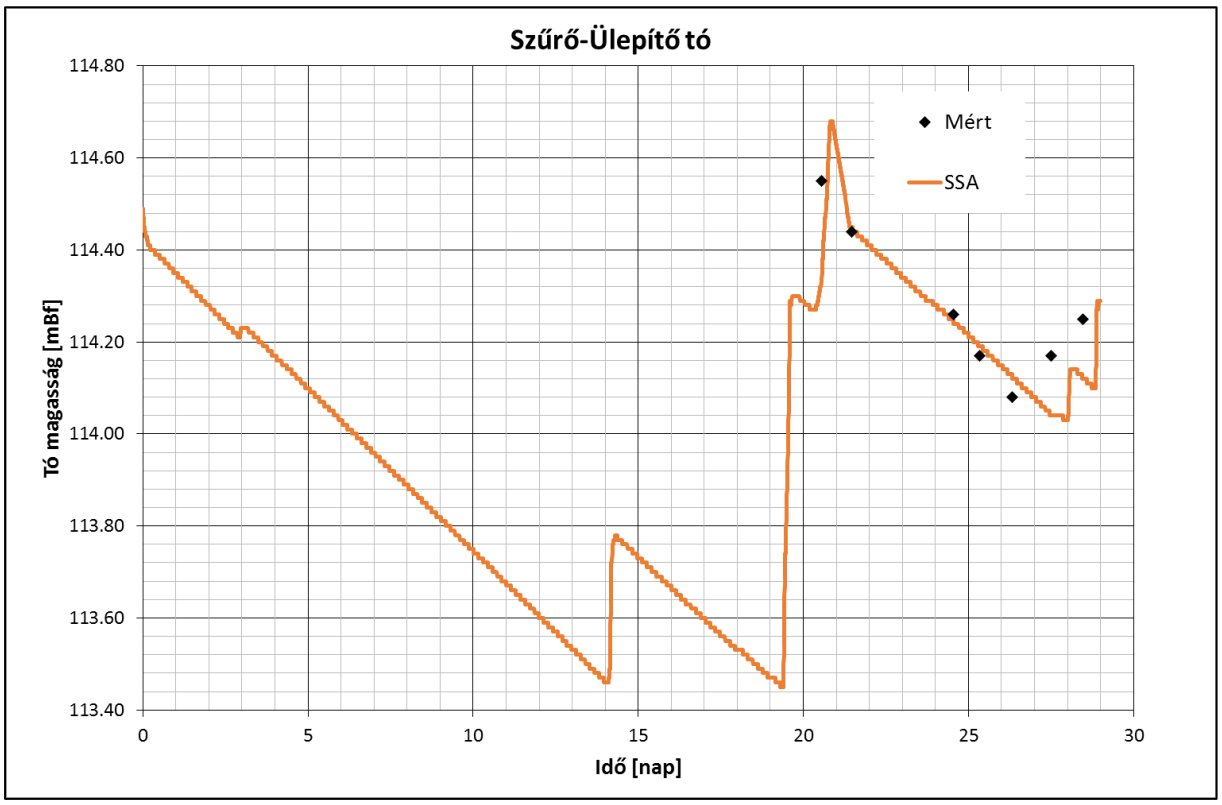


33. ábra: A kalibráció eredménye

Az ábrán látható, hogy a fekete pontokként jelölt mért adatokat a szimuláció jól követi. Az augusztusi három csapadékeseményt (vízszintemelkedést) jól tudja modellezni a program. A harmadik eseménynél megfigyelhető kis mértékű eltérés, a modell a mért adathoz képest kisebb vízhozamot számolt. Ezt az eltérést okozhatja valamely bemeneti paraméter nem megfelelő beállítása vagy a szimuláció kismértékű bizonytalansága.

6.2 Validáció a 2011. júliusi csapadékra

A kalibráció után validáltam a modellt a 2011. júliusi csapadékra, melynek eredményét a **34. ábra** mutatja. Látható, hogy ebben az esetben is jó közelítő eredményt kaptam, a szimuláció eredménye fél napos eltéréssel jól követi a mért adatokat. Ezt okozhatja a mérés bizonytalansága, vagy a nem pontosan ismert bemeneti paraméterek felvételében történt hiba.



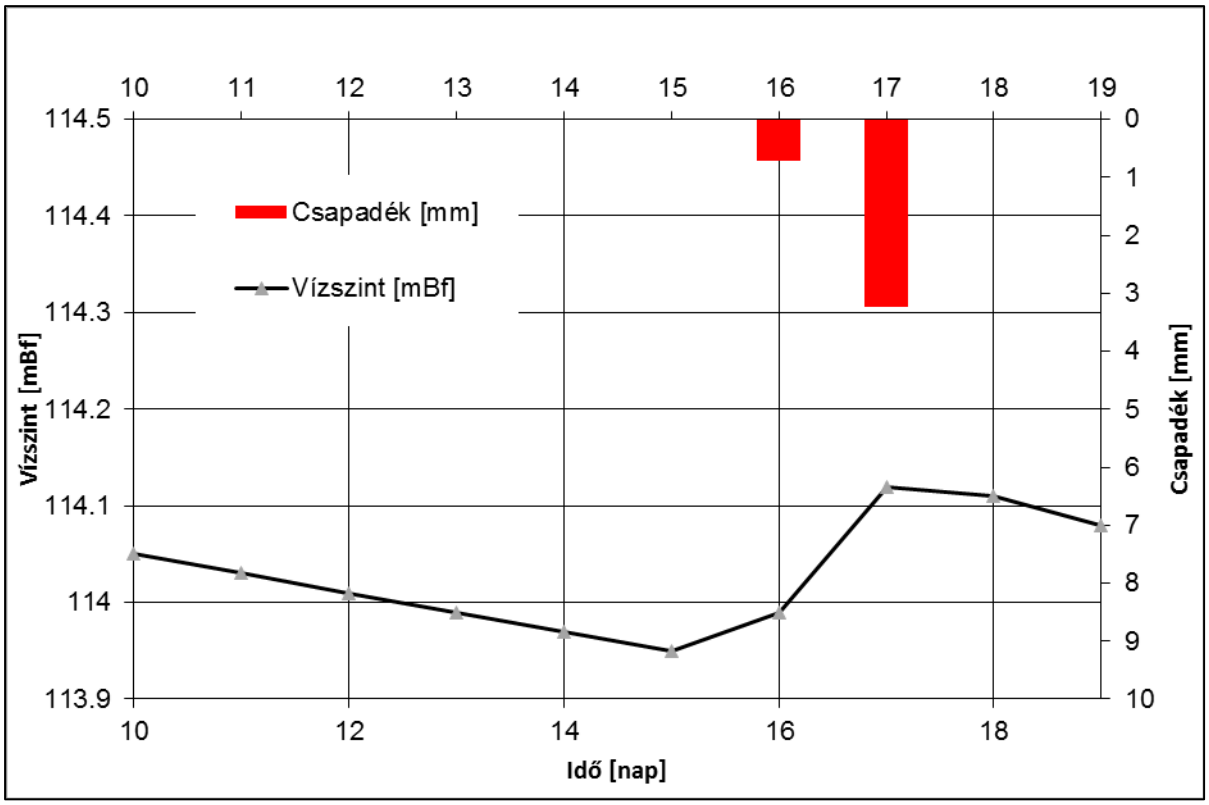
34. ábra: A validáció eredménye

6.3 2014. októberi saját mérés

2014. októberében saját mérést végeztem a területen, amely a csapadék, valamint a tó vízszintjének mérésére terjedt ki. Az eredmények egy részletét mutatja a **8. táblázat** és a **35. ábra.**

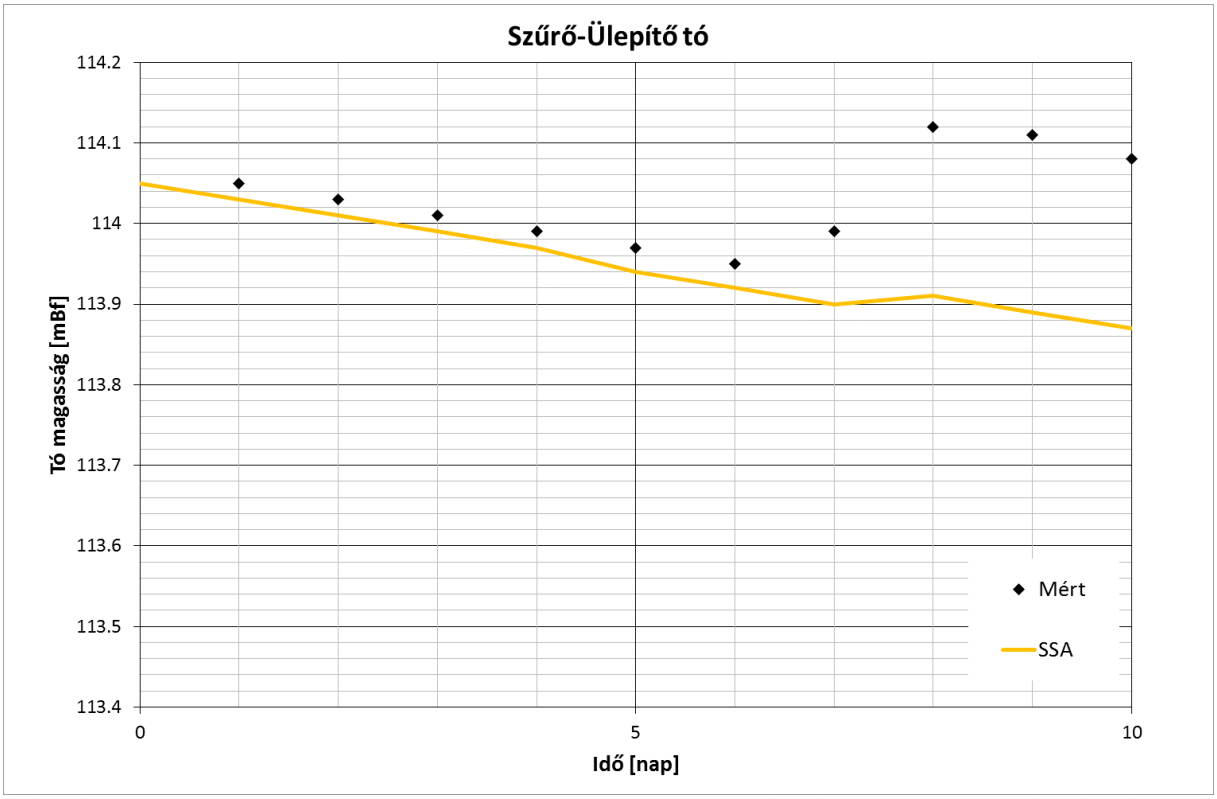
8. táblázat: Mérési eredmények

Dátum	Csapadék (mm)	Vízszint (mBf)
10.10	0	114.05
10.11	0	114.03
10.12	0	114.01
10.13	0	113.99
10.14	0	113.97
10.15	0	113.95
10.16	0.707	113.99
10.17	3.24	114.12
10.18	0	114.11
10.19	0	114.08



35. ábra: Mérési eredmények grafikus formában

Ezek alapján elvégeztem a szimulációt a 2014. októberi időszakra is, melynek eredménye a **36. ábraán** látható.



36. ábra: A 2014. októberi szimuláció eredménye

Megfigyelhető, hogy ebben az esetben már nagyobb eltérését mutatnak a mért és szimulált adatok. Az első hat napban az SSA eredménye jól követi a mérési eredményeket, azonban a csapadékesemény (vízszintnövekedés) megjelenése után az eltérés megnövekszik. Az eltérést okozhatja a mért adatok hibája vagy a bemeneti paraméterek rossz megválasztása.

7 Jövőbeni tervek

Munkám folytatásaként szeretnék további méréseket végezni a vizsgálati területen. Folytatni szeretném a csapadékmérést és a vízszintmérést, valamint újdonságként szeretném meghatározni a környező talajvíz térbeni és időbeni viselkedését, majd ezen adatokat bevinni a modellbe.

További célom a modell pontosítása annak érdekében, hogy a szimuláció jobban kövesse a mért adatokat bármely vizsgálati időszakra. Hogyha ezt sikerül megfelelő pontossággal megvalósítanom, szeretném a rendszert kibővíteni a környező területek hálózati elemeivel és vizsgálni az így kialakult hálózat működését.

Tervezem, hogy az SSA modellemet kiterjesztem az úthálózat vizsgálatára, mely magában foglalja a víznyelőrácsok, valamint a szegélykövek vízelnyelő- és vezetőképességének vizsgálatát.

8 Összefoglalás

Dolgozatomban egy győri ipari parki terület hidrológiai modellezésével foglalkoztam. A modellezést az Autodesk cég Storm and Sanitary Analysis nevű szoftverével végeztem. Kapott adatok alapján felépítettem a terület csapadékvíz-elvezető rendszerét, megadtam a szükséges hidrológiai adatokat, majd vizsgáltam a hálózatot a racionális és az EPA SWMM módszerrel. A két módszert ezután összehasonlítottam és a továbbiakban a SWMM módszert alkalmaztam.

Végeztem érzékenységvizsgálatot, mely során vizsgáltam a különböző bemeneti paraméterek változtatása során fellépő maximális vízhozam, lefolyási vízmennyiség és veszteség mennyiség változást. Többszöri szimuláció futtatás után észrevettem, hogy a program érzékenyen reagál az időlépték változtatására, így megvizsgáltam ennek hatását a szűrő tó vízszintjére.

Miután a modell elkészült lefuttattam rajta a 2011. augusztusi mért csapadékot és vizsgáltam a tó vízszintjének változását. Dolgozatomból kiderül, hogy a kalibráció sikeres volt, így a modell készen állt a validálásra, melyet a 2011. júliusi hónapra végeztem el. A validálás eredménye szintén megfelelő volt. Végül – mivel végeztem saját méréseket – megvizsgáltam, hogy a modell hogyan viselkedik ezekkel az adatokkal.

9 Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani dr. Bene Katalinnak, a Közlekedésépítési Tanszék docensének, amiért konzulensemként rengeteg hasznos információval lát el és mindenben segíti munkámat. Köszönöm Mester Mártonnak, a Geoinformatikai Laboratórium tanszéki mérnökének a geodéziai felmérés során nyújtott segítségét. Továbbá köszönöm Németh Gábornak az igen érdekes és egyben rendkívül összetett témajavaslatot, a szolgáltatott tervrajzokat és mérési eredményeket, melyekkel nagymértékben hozzájárult a dolgozat megszületéséhez.

10 Irodalomjegyzék

Autodesk, Inc. (2011). Autodesk Storm and Sanitary Analysis 2012 User's Guide. 186. San Rafael, USA: Autodesk, Inc.

Dana Probert, P. (2010. április). *Autodesk Storm and Sanitary Analysis (former StormNET) is now available!* Letöltés dátuma: 2014. március, forrás: BIM on the Rocks: http://bimontherocks.typepad.com/my_weblog/2010/04/autodesk-storm-and-sanitarty-analysis-former-stormnet-is-now-available.html

dr. Szlávik, L., Sziebert, J., & Zellei László. (2002). *Hidrológia-Hidraulika, Egyetemi jegyzet.*

Kovács, Á. D. (2011). *Tó-és területi párolgás becslésének pontosítása és magyarországi alkalmazásai, PhD értekezés.* BME.

Moynihan, K. P. (2014). SWMM Modeling of a Rural Watershed in the Lower Coastal Plains of the United States. *Journal of Water Management Modeling*.

Országos Meteorológiai Szolgálat. (dátum nélk.). *Országos Meteorológiai Szolgálat*. Letöltés dátuma: 2014. március 30, forrás: Győr éghajlati jellemzői: http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/varosok_jellemzoi/Gyor/

Ralph A. Wurbs, W. P. (2001). *Water Resources Engineering.* United States of America: Prentice Hall.

Rossman, L. A. (2010). *Storm Water Management Model User's Manual.* Cincinnati, OH: U.S. Enviromental Protection Agency.

11 Mellékletek

11.1 Melléklet: A racionális módszerhez tartozó lefolyási tényezők

Edit runoff coefficient table

	Land Use	Return Period	A (0-2%)	A (2-6%)	A (6%+)	B (0-2%)	B (2-6%)	B (6%+)	C (0-2%)	C (2-6%)	C (6%+)	D (0-2%)	D (2-6%)	D (6%+)
1	Cultivated Land	less than 25 years	0.08	0.13	0.16	0.11	0.15	0.21	0.14	0.19	0.26	0.18	0.23	0.31
2	Cultivated Land	25 years or greater	0.14	0.18	0.22	0.16	0.21	0.28	0.2	0.25	0.34	0.24	0.29	0.41
3	Pasture	less than 25 years	0.12	0.2	0.3	0.18	0.28	0.37	0.24	0.34	0.44	0.3	0.4	0.5
4	Pasture	25 years or greater	0.15	0.25	0.37	0.23	0.34	0.45	0.3	0.42	0.52	0.37	0.5	0.62
5	Meadow	less than 25 years	0.1	0.16	0.25	0.14	0.22	0.3	0.2	0.28	0.36	0.24	0.3	0.4
6	Meadow	25 years or greater	0.14	0.22	0.3	0.2	0.28	0.37	0.26	0.35	0.44	0.3	0.4	0.5
7	Forest	less than 25 years	0.05	0.08	0.11	0.08	0.11	0.14	0.1	0.13	0.16	0.12	0.16	0.2
8	Forest	25 years or greater	0.08	0.11	0.14	0.1	0.14	0.18	0.12	0.16	0.2	0.15	0.2	0.25
9	Residential Lot Size 1/8 Acre	less than 25 years	0.25	0.28	0.31	0.27	0.3	0.35	0.3	0.33	0.38	0.33	0.36	0.42
10	Residential Lot Size 1/8 Acre	25 years or greater	0.33	0.37	0.4	0.35	0.39	0.44	0.38	0.42	0.49	0.41	0.45	0.54
11	Residential Lot Size 1/4 Acre	less than 25 years	0.22	0.26	0.29	0.24	0.29	0.33	0.27	0.31	0.36	0.3	0.34	0.4
12	Residential Lot Size 1/4 Acre	25 years or greater	0.3	0.34	0.37	0.33	0.37	0.42	0.36	0.4	0.47	0.38	0.42	0.52
13	Residential Lot Size 1/3 Acre	less than 25 years	0.19	0.23	0.26	0.22	0.26	0.3	0.25	0.29	0.34	0.28	0.32	0.39
14	Residential Lot Size 1/3 Acre	25 years or greater	0.28	0.32	0.35	0.3	0.35	0.39	0.33	0.38	0.45	0.36	0.4	0.5
15	Residential Lot Size 1/2 Acre	less than 25 years	0.16	0.2	0.24	0.19	0.23	0.28	0.22	0.27	0.32	0.26	0.3	0.37
16	Residential Lot Size 1/2 Acre	25 years or greater	0.25	0.29	0.32	0.28	0.32	0.36	0.31	0.35	0.42	0.34	0.38	0.48
17	Residential Lot Size 1 Acre	less than 25 years	0.14	0.19	0.22	0.17	0.21	0.26	0.2	0.25	0.31	0.24	0.29	0.35
18	Residential Lot Size 1 Acre	25 years or greater	0.22	0.26	0.29	0.24	0.28	0.34	0.28	0.32	0.4	0.31	0.35	0.46
19	Industrial	less than 25 years	0.67	0.68	0.68	0.68	0.68	0.69	0.68	0.69	0.69	0.69	0.69	0.7
20	Industrial	25 years or greater	0.85	0.85	0.86	0.85	0.86	0.86	0.86	0.86	0.87	0.86	0.86	0.88
21	Commercial	less than 25 years	0.71	0.71	0.72	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
22	Commercial	25 years or greater	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.9	0.89	0.89	0.9
23	Streets	less than 25 years	0.7	0.71	0.72	0.71	0.72	0.74	0.72	0.73	0.76	0.73	0.75	0.78
24	Streets	25 years or greater	0.76	0.77	0.79	0.8	0.82	0.84	0.84	0.85	0.89	0.89	0.91	0.95
25	Open Space	less than 25 years	0.05	0.1	0.14	0.08	0.13	0.19	0.12	0.17	0.24	0.16	0.21	0.28
26	Open Space	25 years or greater	0.11	0.16	0.2	0.14	0.19	0.26	0.18	0.23	0.32	0.22	0.27	0.39
27	Parking	less than 25 years	0.85	0.86	0.87	0.85	0.86	0.87	0.85	0.86	0.87	0.85	0.86	0.87
28	Parking	25 years or greater	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97	0.95	0.96	0.97

Default... Load... Save... OK Cancel Help

11.2 Melléklet: A racionális módszerhez tartozó területhasználatok

Helyrajzi szám	Ipari épület (%)	Burkolt felület (%)	Zöldfelület (%)	Lefolyási tényező
01145/49	0	0	100	0.20
01145/58	24.82	37.59	37.59	0.59
01145/59	0	0	100	0.20
01145/80	0	0	100	0.20
01145/81	25.34	37.33	37.33	0.59
5387/112	21.36	15	63.64	0.43
5387/114	9.18	7.75	83.07	0.31
5387/133	44.5	27.75	27.75	0.66
5387/137	0	0	100	0.20
5387/138	17.49	41.25	41.25	0.56
5387/142	33.39	33.08	33.08	0.62
5387/149/1	19.71	40.15	40.15	0.57
5387/149/2	24.41	37.8	37.8	0.59
5387/156	26.75	36.62	36.62	0.59
5387/158	29.91	35.04	35.04	0.60
5387/159	40.06	35.96	23.98	0.68
5387/166	0	0	100	0.20
5387/174	25.97	37.01	37.01	0.59
5387/175	26.67	36.67	36.67	0.59
5387/176	17.27	41.37	41.37	0.56
5387/178	30.61	34.7	34.7	0.61
5387/180	0	0	100	0.20
5387/181	0	0	100	0.20
5387/183	34.22	32.89	32.89	0.62
5387/184	0	0	100	0.20
5387/186	37.55	37.47	24.95	0.67
5387/191	40.83	29.58	29.58	0.64
5387/192	41.31	29.34	29.34	0.64
5387/197	0	0	100	0.20
5387/198	37.73	40.48	21.79	0.69
5387/199/1	27.59	36.21	36.21	0.60
5387/199/2	0	0	100	0.20
5387/214	47.94	29.83	22.23	0.68
5387/220	34.69	55.31	10	0.76
5387/221	25.29	37.36	37.36	0.59
5387/225	20.14	19.97	59.9	0.45
5387/227	45.72	9.42	44.86	0.54
5387/228	32.15	35.7	32.15	0.62
5387/229	0	0	100	0.20
5387/231	15.38	63.69	20.93	0.68
5387/232	0	0	100	0.20

5387/233	14.62	26.2	59.18	0.45
5387/237	0	0	100	0.20
5387/238	52.05	23.98	23.98	0.68
5387/239	0	0	100	0.20
5387/241	25.9	37.05	37.05	0.59
5387/242	25.53	37.23	37.23	0.59
5387/243	12.91	43.54	43.54	0.55
5387/2440245	3	0	97	0.22
5387/247	36.63	32.79	30.58	0.63
5387/248	18.95	40.52	40.52	0.57
5387/250/1	16.75	10	73.25	0.37
5387/250/2	0	0	100	0.20
5387/269/1	31.99	28.38	39.63	0.58
5387/269/2	0	50	50	0.50
5387/274	0	0	100	0.20
5387/275	11.05	44.48	44.48	0.54
5387/277	34.62	30.76	34.62	0.61
5387/280	0	0	100	0.20
5387/281	0	0	100	0.20
5387/282	0	0	100	0.20
5387/283	0	0	100	0.20
5387/286	0	0	100	0.20
5387/288	0	0	100	0.20
5387/289	0	0	100	0.20
5387/290	0	0	100	0.20
5387/291	0	0	100	0.20
5387/292	0	0	100	0.20
5387/293	22.97	14.89	62.14	0.44
5387/294	0	0	100	0.20
5387/297	0	0	100	0.20
5387/298	0	0	100	0.20
5387/300	0	0	100	0.20
5387/301	0	0	100	0.20
5387/79	17.71	19.32	62.97	0.43
5387/80	0	0	100	0.20
5387/81/1	31.74	34.13	34.13	0.61
5387/81/2	0	50	50	0.50

11.3 Melléklet: A SWMM módszerhez tartozó érdességi tényezők

Manning's Roughness for Overland Flow	
Land Surface Type	**Manning n**
Urban:	
Concrete, Asphalt, or Gravel	0.005 - 0.015
Average Grass Cover	0.40
Rural Residential (1 - 10 acre lots, maintenance or grazing assumed)	0.40
Urban Residential (maintained lawns assumed, with effects of landscaping, driveways, roofs included in combined value):	
1 - 3 building units/acre	0.30
3 - 10 building units/acre	0.20
> 10 building units/acre	0.15
Commercial/Industrial (effects of landscaping, driveways, roofs included in combined value)	0.11
Grass:	
Average Grass Cover	0.40
Poor Grass Cover, Moderately Rough Surface	0.30 - 0.40
Light Turf	0.20
Dense Turf	0.17 - 0.80
Dense Grass	0.17 - 0.30
Bermuda Grass	0.30 - 0.48
Dense Shrubbery and Forest Litter	0.40
Natural:	
Short Grass Prairie	0.10 - 0.20
Poor Grass Cover, Moderately Rough Surface	0.30 - 0.40
Sparse Vegetation	0.05 - 0.13

11.4 Melléklet: A SWMM módszerhez tartozó súlyozott érdességi tényezők

Helyrajzi szám	Ipari épület (%)	Burkolt felület (%)	Zöldfelület (%)	Nem vízáteresztő felület (%)	Nem vízáteresztő felület érdessége
01145/49	0	0	100	0	0.000
01145/58	24.82	37.59	37.59	62.41	0.033
01145/59	0	0	100	0	0.000
01145/80	0	0	100	0	0.000
01145/81	25.34	37.33	37.33	62.67	0.033
5387/112	21.36	15	63.64	36.36	0.026
5387/114	9.18	7.75	83.07	16.93	0.011
5387/133	44.5	27.75	27.75	72.25	0.053
5387/137	0	0	100	0	0.000
5387/138	17.49	41.25	41.25	58.74	0.025
5387/142	33.39	33.08	33.08	66.47	0.042
5387/149/1	19.71	40.15	40.15	59.86	0.028
5387/149/2	24.41	37.8	37.8	62.21	0.033
5387/156	26.75	36.62	36.62	63.37	0.035
5387/158	29.91	35.04	35.04	64.95	0.038
5387/159	40.06	35.96	23.98	76.02	0.049
5387/166	0	0	100	0	0.000
5387/174	25.97	37.01	37.01	62.98	0.034
5387/175	26.67	36.67	36.67	63.34	0.035
5387/176	17.27	41.37	41.37	58.64	0.025
5387/178	30.61	34.7	34.7	65.31	0.039
5387/180	0	0	100	0	0.000
5387/181	0	0	100	0	0.000
5387/183	34.22	32.89	32.89	67.11	0.043
5387/184	0	0	100	0	0.000
5387/186	37.55	37.47	24.95	75.02	0.047
5387/191	40.83	29.58	29.58	70.41	0.049
5387/192	41.31	29.34	29.34	70.65	0.050
5387/197	0	0	100	0	0.000
5387/198	37.73	40.48	21.79	78.21	0.048
5387/199/1	27.59	36.21	36.21	63.8	0.036
5387/199/2	0	0	100	0	0.000
5387/214	47.94	29.83	22.23	77.77	0.057
5387/220	34.69	55.31	10	90	0.046
5387/221	25.29	37.36	37.36	62.65	0.033
5387/225	20.14	19.97	59.9	40.11	0.025
5387/227	45.72	9.42	44.86	55.14	0.052
5387/228	32.15	35.7	32.15	67.85	0.041
5387/229	0	0	100	0	0.000
5387/231	15.38	63.69	20.93	79.07	0.026
5387/232	0	0	100	0	0.000

5387/233	14.62	26.2	59.18	40.82	0.020
5387/237	0	0	100	0	0.000
5387/238	52.05	23.98	23.98	76.03	0.061
5387/239	0	0	100	0	0.000
5387/241	25.9	37.05	37.05	62.95	0.034
5387/242	25.53	37.23	37.23	62.76	0.034
5387/243	12.91	43.54	43.54	56.45	0.021
5387/2440245	3	0	97	3	0.003
5387/247	36.63	32.79	30.58	69.42	0.045
5387/248	18.95	40.52	40.52	59.47	0.027
5387/250/1	16.75	10	73.25	26.75	0.020
5387/250/2	0	0	100	0	0.000
5387/269/1	31.99	28.38	39.63	60.37	0.039
5387/269/2	0	50	50	50	0.008
5387/274	0	0	100	0	0.000
5387/275	11.05	44.48	44.48	55.53	0.019
5387/277	34.62	30.76	34.62	65.38	0.043
5387/280	0	0	100	0	0.000
5387/281	0	0	100	0	0.000
5387/282	0	0	100	0	0.000
5387/283	0	0	100	0	0.000
5387/286	0	0	100	0	0.000
5387/288	0	0	100	0	0.000
5387/289	0	0	100	0	0.000
5387/290	0	0	100	0	0.000
5387/291	0	0	100	0	0.000
5387/292	0	0	100	0	0.000
5387/293	22.97	14.89	62.14	37.86	0.028
5387/294	0	0	100	0	0.000
5387/297	0	0	100	0	0.000
5387/298	0	0	100	0	0.000
5387/300	0	0	100	0	0.000
5387/301	0	0	100	0	0.000
5387/79	17.71	19.32	62.97	37.03	0.022
5387/80	0	0	100	0	0.000
5387/81/1	31.74	34.13	34.13	65.87	0.040
5387/81/2	0	50	50	50	0.008

11.5 A racionális és a SWMM módszer összehangolása

Vízgyűjtő	Racionális (m3/s)	SWMM kezdeti (m3/s)	Különbség (m3/s)	Módosítás	SWMM végső (m3/s)	Különbség (m3/s)
01145/49	0.01	0.03	0.02	Szélesség 100->50 m	0.02	0.01
01145/58	0.05	0.09	0.04	Szélesség 100->50 m	0.06	0.01
01145/59	0.02	0.03	0.01		0.03	0.01
01145/80	0.02	0.03	0.01		0.03	0.01
01145/81	0.09	0.12	0.03	Szélesség 100->75 m	0.1	0.01
5387/112	0.97	0.25	-0.72		0.25	-0.72
5387/114	0.46	0.29	-0.17		0.29	-0.17
5387/133	0.05	0.07	0.02	Szélesség 100->50 m	0.05	0
5387/137	0.08	0.04	-0.04		0.04	-0.04
5387/138	0.2	0.19	-0.01		0.19	-0.01
5387/142	0.09	0.11	0.02	Szélesség 100->60 m	0.08	-0.01
5387/149/1	0.03	0.06	0.03	Szélesség 100->45 m	0.05	0.02
5387/149/2	0.09	0.12	0.03		0.08	-0.01
5387/156	0.04	0.07	0.03	Szélesség 100->45 m	0.05	0.01
5387/158	0.05	0.08	0.03		0.06	0.01
5387/159	0.08	0.09	0.01		0.09	0.01
5387/166	0.01	0.03	0.02	Szélesség 100->50 m	0.02	0.01
5387/174	0.03	0.05	0.02	Szélesség 100->50 m	0.04	0.01
5387/175	0.03	0.05	0.02	Szélesség 100->50 m	0.04	0.01
5387/176	0.03	0.05	0.02	Szélesség 100->50 m	0.05	0.02
5387/178	0.05	0.08	0.03		0.06	0.01
5387/180	0.01	0.03	0.02	Szélesség 100->50 m	0.02	0.01
5387/181	0.03	0.03	0		0.03	0
5387/183	0.05	0.08	0.03		0.06	0.01
5387/184	0.01	0.03	0.02	Szélesség 100->50 m	0.02	0.01
5387/186	0.03	0.05	0.02	Szélesség 100->50 m	0.04	0.01
5387/191	0.06	0.08	0.02	Szélesség 100->60 m	0.06	0
5387/192	0.05	0.08	0.03	Szélesség 100->50 m	0.05	0
5387/197	0.07	0.04	-0.03		0.04	-0.03
5387/198	0.18	0.13	-0.05		0.13	-0.05
5387/199/1	0.1	0.12	0.02		0.12	0.02
5387/199/2	0.02	0.03	0.01		0.03	0.01
5387/214	0.29	0.13	-0.16		0.13	-0.16
5387/220	0.16	0.12	-0.04		0.12	-0.04
5387/221	0.03	0.06	0.03	Szélesség 100->50 m	0.05	0.02
5387/225	0.02	0.05	0.03	Szélesség 100->40 m	0.03	0.01
5387/227	0.06	0.09	0.03		0.06	0
5387/228	0.06	0.09	0.03		0.06	0
5387/229	0.02	0.03	0.01		0.03	0.01
5387/231	0.23	0.19	-0.04		0.19	-0.04
5387/232	0.04	0.03	-0.01		0.03	-0.01

5387/233	0.17	0.18	0.01		0.18	0.01
5387/237	0.01	0.03	0.02	Szélesség 100->50 m	0.02	0.01
5387/238	0.06	0.07	0.01		0.07	0.01
5387/239	0.02	0.03	0.01		0.03	0.01
5387/241	0.03	0.05	0.02	Szélesség 100->50 m	0.04	0.01
5387/242	0.03	0.06	0.03	Szélesség 100->40 m	0.04	0.01
5387/243	0.03	0.06	0.03	Szélesség 100->40 m	0.05	0.02
5387/244_245	0.25	0.08	-0.17		0.08	-0.17
5387/247	0.07	0.1	0.03		0.06	-0.01
5387/248	0.03	0.06	0.03		0.05	0.02
5387/250/1	1.04	0.3	-0.74		0.3	-0.74
5387/250/2	0.07	0.04	-0.03		0.04	-0.03
5387/269/1	0.13	0.13	0		0.13	0
5387/269/2	0.05	0.09	0.04		0.07	0.02
5387/274	0.01	0.03	0.02	Szélesség 100->50 m	0.02	0.01
5387/275	0.06	0.11	0.05	Szélesség 100->50 m	0.08	0.02
5387/277	0.14	0.13	-0.01		0.13	-0.01
5387/280	0.04	0.03	-0.01		0.03	-0.01
5387/281	0.02	0.03	0.01		0.03	0.01
5387/282	0.02	0.03	0.01		0.03	0.01
5387/283	0.01	0.03	0.02	Szélesség 100->50 m	0.02	0.01
5387/286	0.01	0.03	0.02	Szélesség 100->50 m	0.02	0.01
5387/288	0.01	0.03	0.02	Szélesség 100->50 m	0.02	0.01
5387/289	0.01	0.03	0.02	Szélesség 100->50 m	0.02	0.01
5387/290	0.01	0.03	0.02	Szélesség 100->50 m	0.02	0.01
5387/291	0.03	0.03	0		0.03	0
5387/292	0.03	0.03	0		0.03	0
5387/293	0.05	0.08	0.03	Szélesség 100->50 m	0.06	0.01
5387/294	0.02	0.03	0.01		0.03	0.01
5387/297	0.05	0.04	-0.01		0.04	-0.01
5387/298	0.09	0.04	-0.05		0.04	-0.05
5387/300	0.01	0.03	0.02		0.03	0.02
5387/301	0.02	0.03	0.01		0.03	0.01
5387/79	0.33	0.22	-0.11		0.22	-0.11
5387/80	0.07	0.04	-0.03		0.04	-0.03
5387/81/1	0.81	0.18	-0.63		0.18	-0.63
5387/81/2	0.24	0.31	0.07	Szélesség 100->60 m	0.25	0.01
Max. lefolyás (m3/s)	**4.89**	**5.19**			**4.81**	

11.6 Manning-féle érdesség értékei lepelszerű lefolyás esetén

TABLE 5-7
ROUGHNESS COEFFICIENTS
(MANNING'S "n") FOR SHEET FLOW

Surface Description	n[1]
Smooth surfaces (concrete, asphalt, gravel, or bare soil)	0.011
Fallow (no residue)	0.05
Cultivated soils:	
Residue cover ≤ 20%	0.06
Residue cover > 20%	0.17
Grass:	
Short grass prairie	0.15
Dense grasses[2]	0.24
Bermudagrass	0.41
Range (natural)	0.13
Woods[3]:	
Light underbrush	0.40
Dense underbrush	0.80

[1] The "n" values are a composite of information compiled by Engman (1986).

[2] Includes species such as weeping lovegrass, bluegrass, buffalo grass, blue grama grass, and native grass mixtures.

[3] When selecting n, consider cover to a height of about 0.1 ft. This is the only part of the plant cover that will obstruct sheet flow.

11.7 Felületi tározási mélységek értékei

Typical Depression Storage Values		
Land Cover	Depression Storage	
	(inches)	(mm)
Impervious Surfaces	0.05 - 0.10	1.25 - 2.50
Lawns	0.10 - 0.20	2.50 - 5.00
Pasture	0.20	5.00
Forest Litter	0.30	7.50