

CZAKÓ DÁVID

tervező, Szegedi Vízmű Zrt

czako@szegedivizmu.hu

KIVONAT Rövid tanulmányomban konkrét városfejlesztési terület példáján mutatom be, hogy a lefolyásmodellezés miként tudja segíteni egy – a jelenkor elvárásainak megfelelő – települési vízvezető rendszer tervezését. Arra keresem a választ, hogy a gravitációs hálózaton időben milyen lefutású csapadékintenzitásra adódik a mértékadó állapot, valamint hogy a csapadékvíz-visszatartás lehetőségeinek keresését mennyire lehet hatékonyan támogatni hidraulikai modellvizsgálatokkal.

KULCSSZAVAK lefolyásmodellezés, fenntartható települési vízgazdálkodás, vízkészletvédelem, víz-visszatartás, lefolyásszabályozás, városi villámárvizek, tározás, öntözővíz, záportározó, SWMM

Vízmű Panoráma / A Magyar Víziközmű Szövetség lapja

Kiadja a Magyar Víziközmű Szövetség
Felelős kiadó Nagy Edit / Főszerkesztő Márialigeti Bence
A főszerkesztő munkatársai Várszegi Csaba, Tary Dávid,
Kasperkievics Kinga, Kreitner Krisztina

Szerkesztőség 1051 Budapest, Sas utca 25., IV. em.
Telefon +36 30 315 2472 E-mail vizmu.panorama@maviz.org
Honlap www.maviz.org/vizmupanorama
Hirdetésszervezés Tary Dávid / E-mail tary.david@maviz.org

Lapterv BrandAvenue / Korrektor BrandAvenue
Nyilvántartási szám B/SZI/1925/1993 302-5066
ISSN 2732-0340 / Minden jog fenntartva

Lapunkat rendszeresen szemléli a megújult www.observer.hu

OBSEVER

SZOLGÁLTATÓK SZEMÉVEL

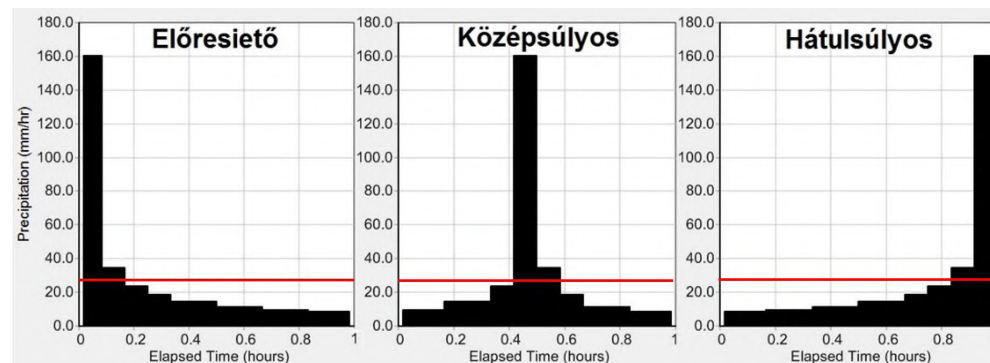
Csapadékvíz-elvezető rendszerek tervezése lefolyásmodellezéssel

BEVEZETÉS

A hazai vízmérnöki szakma egyik legkardinálisabb, ugyanakkor egyre kevésbé gondozott területe a települési csapadékvíz-gazdálkodás. A meglévő elvezetőhálózat karbantartásának hiánya, a burkolt felületek növekedése, valamint a globális klímaváltozás komoly kihívások elé állítják a tervezőket, a döntéshozókat, az önkormányzatokat, az üzemeltetőket, a szakmát. A városok csapadékvíz-elvezetésének fejlesztése nem követte az urbanizációs folyamatokat, így a heves esőzésekből, villám-árvizekből keletkező elöntések jelentős károkat okozhatnak a települési infrastruktúrában.

Gondolkodásra késztet az a tény, hogy az Alföldön akár egy éven belül is jelentkezhet a túl sok és a túl kevés víz miatti vízkárelhárítás kényszere. Szegeden a városi zöldfelületek öntözése szinte kivétel nélkül az ivóvízkészletek terhére történik. Ahogy a szakmai vita kezd pénzügyi kérdéssé válni, úgy változik a csapadékvizekhez történő hozzáállás szemlélete is. A klímaváltozás kapcsán kezd elterjedni az a nézet, miszerint a lehullott csapadékvíz kincs, annak minél nagyobb részét a keletkezés helyén kell visszatartani, felhasználni (Nemzeti vízstratégia, 2017).

Munkám során a szegedi Science Park egyik ipari körzete csapadékvíz-elvezetésének és -elhelyezésének vázlattervszerű kidolgozására törekszem, mely a gravitációs levezetőhálózat helyszínrajzi és magassági vonalvezetését, valamint a záportározó tó üzemrendjének megtervezését foglalja magában. E rendkívül heterogén és szerteágazó kérdéskört EPA SWMM lefolyásmodellező szoftverrel vizsgálom, a különböző intenzitáseloszlású csapadékesemények csatornahálózatra gyakorolt hatásainak, valamint a terület vízháztartásának részletes megismérlése érdekében.



1. ábra: A 4 éves, 60 perces csapadék időben változó intenzitáslépcsői

DISZKRÉT LÉPCSŐS INTENZITÁSMODELLEK

A racionális módszer használata, ezzel együtt az időben állandó intenzitású „blokkcsapadék” feltételezése mind a mai napig a rutinmunkák alapmódszere, pedig a különböző intenzitásmodellek számítógépes implementációiban könnyedén kezelhetők. Így az extrém események valódi hatásaira is fény derülhet.

A csapadékmérő berendezések által mért adatok időbeli felbontása lehetővé teszi a záporsemények során az intenzívebb részintervallumok kimutatását. A szakirodalom három, mért adatokkal alátámasztott, időben változó csapadékinintenzitás-idősort különböztet meg (1. ábra).

Váradai & Nemes (1992) hazai csapadékvizsgálatainak eredményeiből kitűnik, hogy a csapadékhullási ciklus alatt (függetlenül annak hosszától) igazolt előfordulásokkal hol nagyobb, hol kisebb intenzitással hullhat az eső.

A leggyakrabban előforduló középsúlyos eloszlás esetén centrálisan középen található a nagyobb intenzitású csapadék, melyhez lényegesen kisebb intenzitású megelőző és követő csapadékszakaszok csatlakoznak.

A lépcsős intenzitáseloszlásokat a csapadékmaximum-függvény blokkcsapadékaiból lehet előállítani. Az átlagos intenzitás vonala (1. ábra, piros vonal) feletti és alatti részek összege mindig egyenlő a blokkcsapadék intenzitásával.

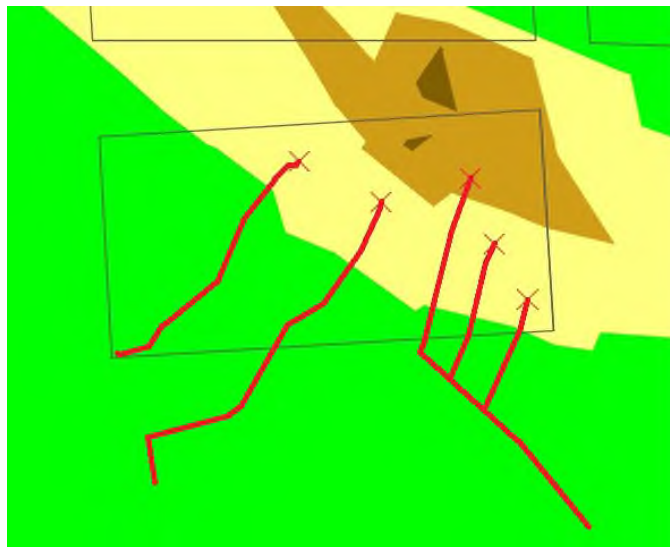
A VONALVEZETÉS KIALAKÍTÁSA

A tervezési területen a megközelítő utak mentén elválasztott rendszerű, zárt csapadékvíz-elvezető hálózatot tervezek. Az épületek elrendezése egy belső útgűrűt eredményez, mely a közműhálózat nyomvonalait is megadja.

A fejlesztési terület közelében nem található sem természetes vízfolyás, sem állóvíz, így befogadóként a külterületi belvízelvezető hálózat került kijelölésre, melyben további tározókapacitás nincs, a csúcsidejű terhelések kiegyenlítését csak a fejlesztési területen lehet megvalósítani. Ezt a célt hivatott szolgálni a közel 1 ha alapterületű puffertározó tó, mely a tervezési terület súlypontjában létesül, feladata a csapadékvíz visszatartása, az öntözővíz szolgáltatása és az állandó vízfelület, mint látványtő biztosítása.

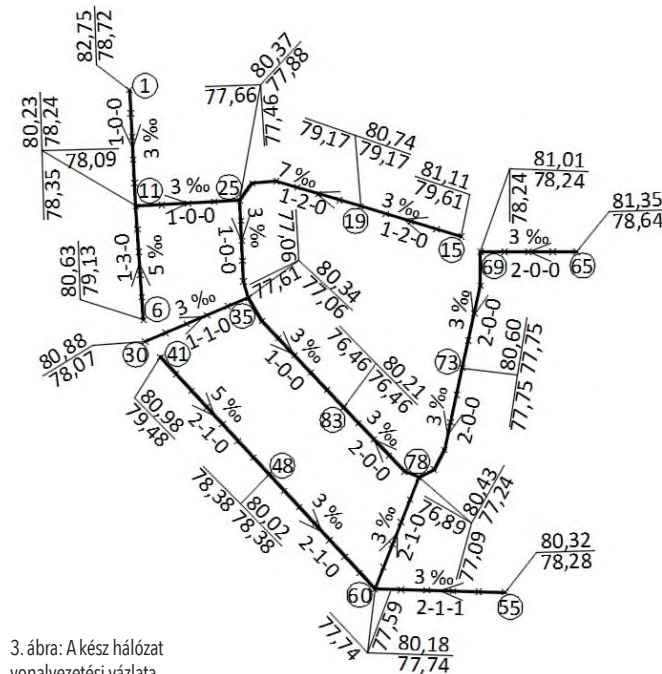
Mint minden vonalas létesítmény tervezéséhez, úgy a csapadék-víz-elvezető hálózat esetében is a kiindulási adatot egy magassági információkat is tartalmazó geodéziai felmérés szolgáltatja. Az adatok körültekintő szűrése után Civil3D programmal előállítható a minden műszaki ágazatban alapvető fontosságú digitális terepmodell, valamint a szintvonalas térkép. A teljes tervezési terület 33 ha, az előálló legnagyobb szintkülönbség 4 m.

Civil3D-ben lehetőség van lefolyásvizsgálatot végezni (2. ábra), mely során a program azt az útvonalat rajzolja meg, amely mentén egy tetszőleges pontba leejtett vízcsepp lefolyna.



2. ábra: Lefolyásvizsgálat Civil3D-ben

Több pontra kattintva átfogó képet kaphatunk az uralkodó lejtéviszonyokról, és hogy merre lehet gazdaságosan, a domborzati adottságokat leginkább kihasználva elvezetni a csapadékvizet. A központi tó elhelyezkedéséből két gravitációs öblözet kialakítása adódott. A nyomvonalon tisztítóaknáknak kerülnek elhelyezésre 30-40 méterenként (3. ábra).



3. ábra: A kész hálózat vonalvezetési vázlata

A terület sík jellegéből adódóan kétszeres átemelés tervezése a legkézenfekvőbb: egy átemelő szivattyútelep a gravitációs szakasz legmélyebb pontjáról emeli be a vizet a záportározó tóba, majd onnan a víz túlfolyóbukon át egy végátemelő aknába ömlik, ahonnan szintén szivattyúk továbbítják egy nyomóvezetéken át a belvízcsatornába.

A HIDRAULIKAI MODELL LÉTREHOZÁSA

Az EPA SWMM (Storm Water Management Model) egy dinamikus, elsősorban városias területek csapadékvíz-lefolyásának modellezésére kifejlesztett, nyílt forráskódú szoftver. Használható konstans vízhozamok vagy akár napi, órai, esetleg még részletesebb menetgörbével leírható vízbevezetések, vízgyűjtő területekhez rendelt csapadékhullások csőrendszerbeli levonulásának szimulálására. Akár mért múltbeli, akár fiktív modellcsapadékokkal terhelhetők a hálózatok. Tudja kezelni a csapadékesemények tetszőleges, időben és térben változó intenzitásának következményeit. A gravitációs lefolyást kedvünkre szabályozhatjuk

tározó műtárgyakkal, átemelőszivattyúkkal, osztóművekkel. A futtatást követően a program menti az egyes részvízgyűjtők által generált lefolyás mennyiségi és minőségi paramétereit, mint a vízhozamot, vízsebességet, úsztatási mélységet, szennyezőanyag-koncentrációt stb. Az eredmények ezután tetszőleges időlépcsőkben vizsgálhatók. Egységes kezelőfelületével szemléletes táblázatokat, grafikonokat, hossz-szelvényeket, színezett térképeket és statisztikai adatokat lehet előállítani. Kiválóan alkalmas tehát csapadékesemények által keltett árhullámok csatornahálózat-beli levonulásának tanulmányozásához.

Általánosan nézve a zárt gravitációs és nyomás alatti hálózatok vizsgálata 1D-probléma. Az SWMM a csőbeli és a felszíni lefolyáshoz is egydimenziós modellezést használ, és képes e két összetevő közötti kapcsolatot oda-vissza reprodukálni. Az összegyülekező víz lefolyását a hullámterjedés elméletének alkalmazásával parciális differenciálegyenletek mentén közelíti úgy, hogy az egyszerre maradjon pontos, de hétköznapi számítógépekkel mégis gyorsan kiszámítható.

A hálózat EPA SWMM programba történő bevitelére többféle módszer is van. Nagy, meglévő hálózatok esetén célszerű térinformatikai rendszereket alkalmazni már a tervezés legelejétől és ezekből exportálni a struktúra elemeit. Kisebb hálózatokon gyorsabban célhoz vezethet a modellezőszoftver kezelőfelületén történő kézi bevitel. Az aknák folyási fenékszintjének módosításával az SWMM automatikusan „real-time” számítja a lejtéseket is, ami nagyban felgyorsíthatja a vonalvezetés tervezését. A hálózat minden tisztítóaknáját „csomópont” objektumként kell megadni, míg a nem elhanyagolható térfogattal rendelkező átemelőaknák és maga a tó „tározó” objektumként kerülnek definiálásra.

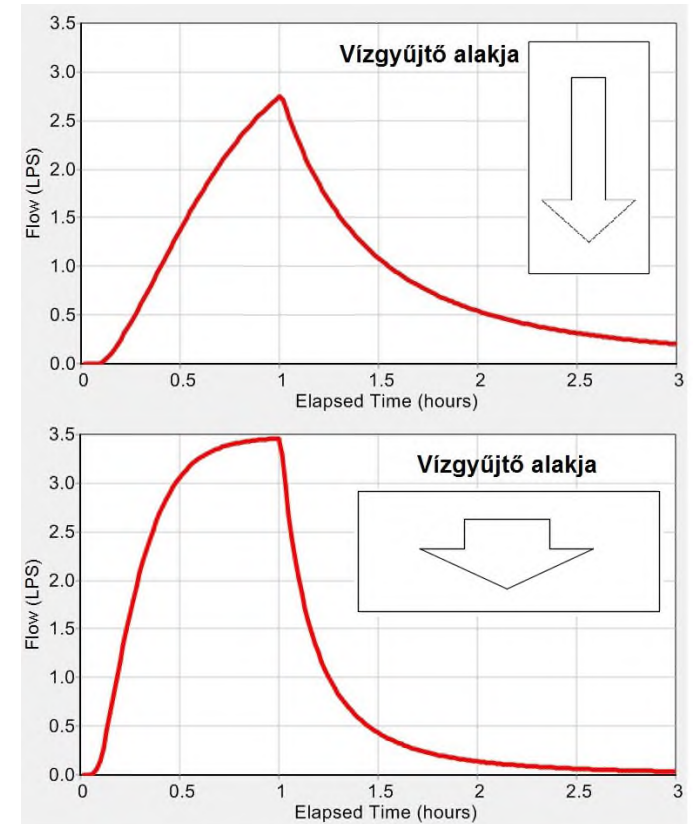
A modell építésének következő, szintén nagy munkaigényű lépése a vízgyűjtő területek lehatárolása. Ezek túlzott kirészletezése felesleges többletmunkát, ugyanakkor csak csekély mértékben pontosabb modellt eredményezne. Az aprólékos felbontás az eredményt még akár hibás irányba is elviheti, ha a vízgyűjtők túl sok bizonytalanul becsülhető paramétert tartalmaznak (Ámon, 2017). A hálózat csomópontjaihoz csatlakozó vízgyűjtőket ezért csak a következő három csoportba osztottam: útburkolat, zöldterületek és ingatlanok (4. ábra).



4. ábra: Vízgyűjtő területek lehatárolása AutoCadben

Egy vízgyűjtő definiálásakor megadható annak mérete, alakja, felszínének lejtése, érdességi értékei, a burkolt felületek aránya, a terület nedvesítéséhez szükséges vízmennyiségek, végül a beszivárgásra, illetve a talaj vízháztartására vonatkozó adatok. A lefolyás geometriai összetevője igényli a legpontosabb adatokat, mivel a modell erre reagál a legérzékenyebben.

Az adatok között nem véletlenül szerepel a vízgyűjtő szélessége, hiszen nem mindegy, hogy milyen alakú vízgyűjtőről történik a lefolyás. Egy keskeny, hosszú, valamint egy széles, de rövid vízgyűjtő árhullámképe szignifikáns különbséget mutat, habár a területük és a rájuk hulló csapadék intenzitása is egyforma. A jelenség vizsgálatához mindkét vízgyűjtőtípus esetében 1 óra időtartamú blokkcsapadékot modelleztem (5. ábra). A keskenyebb vízgyűjtő a csapadékhullás időtartama alatt végig egyenletesen kapcsolódik be a vízszállításba, kisebb a tetőző vízhozam mértéke, valamint a lefolyás jelentős része a csapadékesemény befejeződése után mutatkozik. A szélesebb vízgyűjtőn a rövid lefo-



5. ábra: A különböző vízgyűjtőalakok hatása a lefolyási árhullámképre

lyási pályából eredően hevesebb árhullám keletkezik nem sokkal a csapadékhullás kezdete után, és a vízgyűjtő kiürülési ideje is rövidebb.

A jelenséget a késleltetési idő okozza, mely alapvetően befolyásolja a vízgyűjtő csapadékesemény hatására adott válaszreakcióját. Olyan modellezőszoftverek esetében tehát, melyek számolnak felszíni lefolyással is, a szélességi érték (vagy a vízgyűjtő alakjának) figyelmen kívül hagyása fals eredményeket adhat, hiszen a sok vízgyűjtőre szabdalás miatt megnő az ismétlődő elemek száma, ami sokszorosan kihathat a végeredményre.

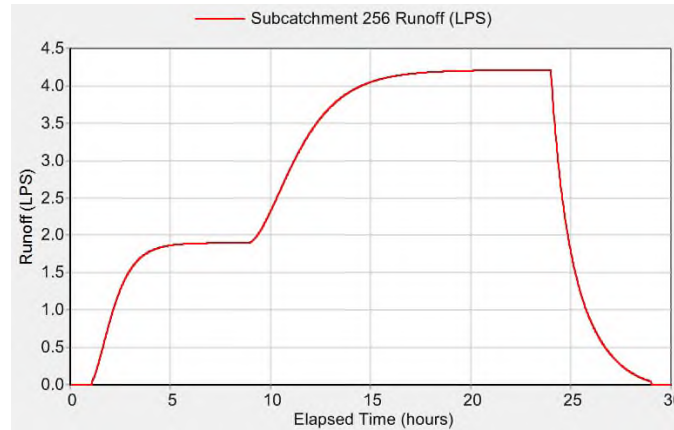
A tervezési terület sok apró vízgyűjtőre bontásával ugyanakkor vizsgálható lenne a ma előtérbe kerülő egyik legfontosabb

koncepcionális kérdés, miszerint a lefolyáscsökkentő beavatkozások közül a centralizált (pl. tározótó) vagy decentralizált (pl. porózus beton, tájökölógiai módszerek, tetőzitek telken belüli hasznosítása stb.) vízvisszatartásba érdemesebb-e fektetni. Az egyes műszaki megoldások összehasonlító vizsgálata során fény derülhetne rá, hogy a csapadékvíznek a keletkezés helyén vagy a felszíni lefolyás szakaszában történő szabályozása-e a költségghatékonyabb beavatkozás.

A modell talán legfontosabb része a vízgyűjtőről történő lefolyás paramétereinek megadása. Az SWMM a lefolyási tényező értékét nem úgy kezeli, ahogy azt a hagyományos racionális méretezésnél megszokhattuk. A lefolyási tényezőt a program egy százalékos értéként értelmezi, mellyel megadható, hogy milyen arányban legyen felosztva a vízgyűjtő a vízzáró és a beszivárogatni képes felületek között. Ezeknek külön-külön érdekesség, nedvesítési tározást, valamint vízáteresztő felület esetén beszivárgást lehet megadni. A nem vízzáró felületről is képezhető tehát lefolyás.

„Tekintettel arra, hogy teljesen burkolt, nagy lejtésű felületen is tartózkodik egy vékony vízréteg, amely azután nem lefolyás, hanem párolgás útján távozik el a felületről” (Öllös, Tervezési segédlet, 1966), a szilárd burkolatra hulló csapadékból nem lesz azonnal felszíni lefolyás, az az aszfalt makroérdességéből – mm-ben mérhető magassági egyenetlenségéből – eredő nedvesítési küszöbértékig a felületen marad. A lokális mélyedésekben a víz tározódni képes, így sík terepen a nedvesítési tározás fokozatosan átalakul tócsásodássá. A felület nedvesítése és a tócsásodás által igénybe vett vízmennyiség ilyenkor levonódik a csapadék-magasságból, melyből lefolyás nem keletkezik. A nedvesítési tározás zöldfelületek esetében fontos a leginkább, hiszen a növények, főleg a fák lombkoronái óriási felülettel rendelkeznek, így vízmegkötő képességük igen számottevő. Az érdesség növelése önmagában ugyan nem csökkentené a lefolyó víz mennyiségét, ám ha a beszivárgás is figyelembe van véve, akkor az érdesebb felszín miatt a víz hosszabb ideig tartózkodik a vízgyűjtőn, a beszivárgási veszteség tehát ennek hatására emelkedik.

A beszivárgást a program Horton-görbével közelíti, mely meglehetősen jól leírja a talajok beszivárogatóképességét, azt



6. ábra: A vízgyűjtőről történő lefolyás időbeli alakulása 50 éves visszatérési idejű, 24 órás csapadék esetén

soha nem engedi az állandósult érték alá csökkenni. Az altalaj vízvezető képességét Magyarország Agrotopográfiai adatbázisának erre a régióra vonatkozó vízgazdálkodási adatai alapján határozta meg (www.mta-taki.hu, 2019) (Várallyay, Makó, & Hermann, 2009).

Schirokné (1983) szerint síkvidéki települések esetében hasznos információt ad a 24 órás csapadék hatásának vizsgálata. Az alacsony intenzitású, de hosszan tartó csapadékhullásokra teljesen másként reagál a modell. A 6. ábrán tetten érhető, hogy először csak a vízgyűjtő burkolt hányadáról indul meg a lefolyás, majd miután az állandósult, 10 óra elteltével kimerül a nedvesítési tározás, és egyben telítődik a talaj vízbefogadó képessége is, ezért hirtelen megindul a lefolyás a zöldfelületekről is. A grafikon lelegején a vízzáró felületek nedvesítési tározásából eredő késleltető hatás látható, mely kb. 1 órán át tart. Ez az ún. „holtidő”, mely a csapadékhullás kezdetétől a csatornabeli lefolyás kezdetéig tart. A csapadékhullás befejezését követően még kb. 5 órán át nem szűnik meg a lefolyás, a modell ezzel bemutatja, hogy a vizek szabad és gyors lefolyását a terep kis esése nem teszi lehetővé.

A lefolyási hányad a csapadékból keletkező lefolyás és a vízgyűjtőre hullott csapadék víztömegének hányadosa. Ezt ugyan-

arra a vízgyűjtőre, egy 10 éves visszatérési időre vonatkozó 10 perces, valamint 1 órás csapadék esetében vizsgáltam. 10 perces zápor esetén 0,79-et, míg 1 órás esetén 0,62-t kaptam eredményül. Ennek magyarázata, hogy hosszabb csapadékhullás esetén a víznek több ideje van beszivárogni a talajba. A vizsgálat igazolja, hogy a lefolyási tényező időben állandónak való feltételezése pontatlanságot okozhat. Ugyan nem függetleníthető a vízzáró/vízáteresztő felületek arányától, de nagyban függ a csapadékhullás tulajdonságaitól, mint az intenzitás vagy az időtartam.

A modell a víznyelők és a telkek bekötéseinek hozamait az aknába koncentrált vízbevezetésként értelmezi, a csöbéli vízmozgás felszínigörbéit csak ezeknél a csomópontoknál közelíti. A modell futása során az aknában előálló legnagyobb „saját befolyás” értékeket kilistázza a program. Ez az érték csupán a csapadékhullásból keletkező lefolyást veszi figyelembe, a visszaduzzasztás során a felszínre kerülő víz újbóli hálózatba kerülését nem, így – egyelőre erősen alulméretezett rendszer esetében is – megfelelőek ezek az információk, mely értékekre a gravitációs hálózat utólag „finomhangolható”. A hálózat tervezésének ezen – utolsó – szakaszán már csak az alkalmazott átmérőkön célszerű változtatni, hiszen a lejtést a már kialakított vonalvezetés, az érdességet pedig a választott csőanyag meghatározza. A magassági vonalvezetés módosítása kissé körülményes a programon belül, mivel az adatokat egyesével, aknáként kell átírni. A tervezéshez használt modellek esetében a geometria könnyű módosíthatósága fontos kérdés. A vonalvezetésen gyakran változtatni, finomítani szükséges, így a végleges hálózat folyamatában alakul ki.

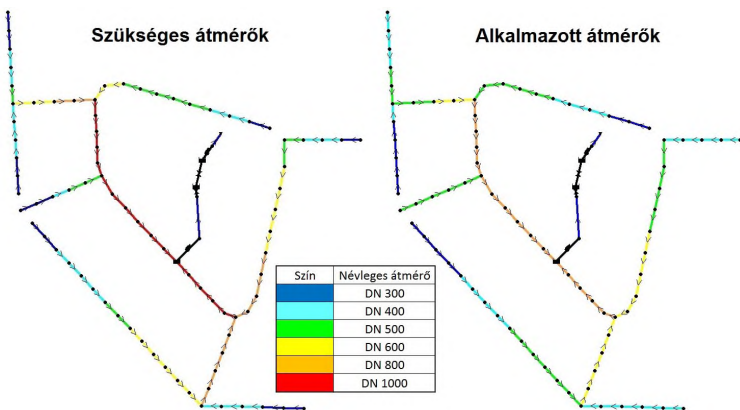
A gravitációs levezetőhálózatot a jelenleg használatos csapadékmaximum-függvény szerinti – szubjektív valószínűség alapján kiválasztott –, 4 éves visszatérési idejű, 10 perc időtartamú blokk-csapadékre méreteztem.

A GRAVITÁCIÓS HÁLÓZAT VIZSGÁLATA

Futtatás után a csövekre a „teltség” megjelenítést beállítva gyorsan tájékozódhatunk a lefolyási viszonyokról, láthatóvá válik a rendszer elégtelensége és/vagy éppen ki nem használt kapacitása. A programból kinyerhető hossz-szelvényeket is elemezve kitűnik, hogy a hálózatban – annak rövidségének ellenére – elnyúlik

a lefolyás, a csúcsvízhozam nem egyszerre terheli az összes hálózati elemet. A befogadó felé haladva a víztömeg egyre inkább szétterül a csőhálózatban.

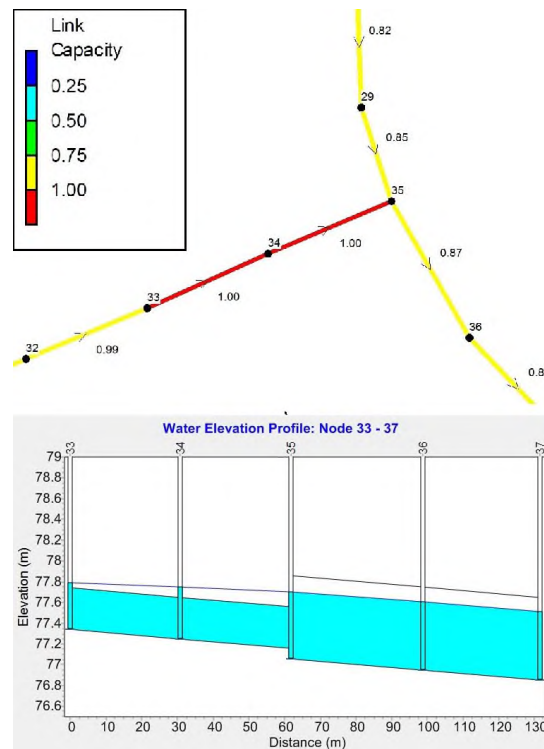
A jelenség számszerűsítéséhez a modellelmen 4 éves vizsztatérési idejű, 10 perces csapadékot futtattam. Egy, a hálózat végpontjához közeli csomóponton kialakuló csúcsvízhozam (72 l/s), valamint a hozzá tartozó vízgyűjtő terület (16.643 m²) hányadosából 43,26 l/s, ha fajlagos lefolyási érték adódik. Ugyanez a mutató a főgyűjtő csomópontjához tartozó (680 l/s) csúcshozam és (190.763 m²) vízgyűjtő terület alapján 35,65 l/s, ha értéket eredményez. Ezzel a hálózatban létrejövő árhullámlapulás jelensége bizonyított, a szelvényekben előálló csúcsvízhozamok a bekapcsolt vízgyűjtő területek méretével nem azonos arányban növekednek. Minél hosszabb a lefolyás útja, annál inkább kiegyenlítődnek a csúcspontok a hálózatban, ahová a vizek a terepi és csatornabeli lefolyási időnek megfelelő késleltetéssel érkeznek. A rövid idejű csapadékokra történő kézi, permanens-egyenletes vízmozgást feltételező átmérőmeghatározás nem veszi figyelembe az árhullámlapulás jelenségét, ezért némiképpen túlméretezi a rendszert. Így 10 perces csapadékok vizsgálata esetén a nagyobb szelvényű hálózati elemeken az igénybevételek tükrében jelentős tartalékok mutatkoznak, a főgyűjtők csőátmérőjét egy-két méretlépcsővel kisebbre lehet venni, mint amit a konstans vízhozamokból számolnánk (7. ábra).



7. ábra: A szükséges és az alkalmazott csővezetékek átmérők szerinti megoszlása

A késleltetés abból is ered, hogy maga a csőhálózat jelentős tározási kapacitással rendelkezik. A 2,6 km hosszú gravitációs csőhálózat belső térfogata 617 m³, egy 4 éves, 10 perces csapadékból pedig 2200 m³ térfogatú lefolyás keletkezik, tehát magában az elvezetőrendszerben a víztömeg negyede elfér, melynek nagy része a csapadékhullás befejeződése után fog lefolyni az átemelőhöz.

A modellből eredményül kapott teltségértékek azonban félrevezetőek is lehetnek. A 8. ábrán az az eset látható, amikor egy kisebb (DN 400) szelvény csatlakozik lényegesen több vizet szállító, nagyobb (DN 800) szelvényhez, mindössze 10 cm átbukással. A becsatlakozáshoz közeli szakaszok magas teltségi értékei ilyenkor megtévesztőek lehetnek, amit nem az adott szelvény lejtése vagy átmérője befolyásol, hanem a főgyűjtőben lévő magasabb vízszint visszaduzzasztó hatása.



8. ábra: A nem megfelelő mértékű átbukási magasságból eredő telt szelvény felülnézetben és hossz-szelvényen ábrázolva

Csupán a teltségeket nézni nem elegendő, a gyors hossz-szelvény és a program által kirajzolt felszingörbe segítségével még értékeesebb információkat kaphatunk a hálózat kapacitásáról. Az átbukás magasságát tehát úgy kell megválasztani, hogy a befogadószelvény 70-80%-os teltségénél se alakulhasson ki nyomás alatti áramlás a kisebb átmérőjű csatlakozó csatornán. Üzembiztos megoldást ad, ha az aknába becsatlakozó csövek felső alkotóit egy magasságba helyezzük.

Általánosságban a gravitációs üzemű elvezetőhálózat három állapotát lehet megkülönböztetni. Ha a teltség a teljes hálózaton 1,00 érték alatt marad, akkor a terhelést a rendszer gond nélkül képes továbbítani. A túlterhelés olyan állapot, melyben az egyébként gravitációs csatornában a csapadékvíz lefolyása a szabadfelszínű mozgásállapotból éppen telt szelvényűvé válik, de nem jut ki a felszínre, és így nem okoz elöntést. A felszíni elöntés esetében pedig a vízvezető rendszerből a csapadékvíz kilép az úttestre, illetve abba nem tud belépni, és/vagy a felszínen marad (Dulovics, 2004).

Csapadék időtartama	Visszatérési idő				
	10'	30'	60'	120'	180'
1 év	✓	✓	✓	✓	✓
2 év	✓	✓	✓	✓	✓
4 év	✓	✓	✓	✓	✓
10 év	2 cm (3 perc)	3 cm (5 perc)	✓ (0,02 m)	✓	✓
20 év	14 cm (7 perc)	15 cm (14 perc)	7 cm (14 perc)	✓ (0,41 m)	✓
33 év	20 cm (10 perc)	23 cm (19 perc)	17 cm (26 perc)	4 cm (14 perc)	✓ (0,64 m)
50 év	24 cm (12 perc)	33 cm (24 perc)	27 cm (35 perc)	18 cm (39 perc)	7 cm (26 perc)
100 év	32 cm (17 perc)	49 cm (31 perc)	48 cm (47 perc)	30 cm (64 perc)	22 cm (64 perc)

A 9. ábrán foglaltam össze, hogy mely blokkcsapadékok haladják meg az általam tervezett gravitációs elvezetőhálózat kapacitását. A pipa utáni zárójelben szereplő, méter dimenziójú érték azt mutatja, hogy a legkritikusabb csomópontban a csatornacső felső alkotójától számítva meddig emelkedett a víz az aknában. Ekkor a csatornahálózat egyes pontjai túlterhelte váltak ugyan, de felszíni kiöntés nem történt. A cm-ben szereplő számok az

útburkolaton megjelenő víz legnagyobb mélységét adják meg, a mögöttük zárójelben lévő értékek pedig azt, hogy mennyi ideig jelentkezett felszíni elöntés. Az útfelület kiemelt szegélyekkel határolt része viszonylag nagy térfogatú tározótér. Az eredményeket szemügyre véve elmondható, hogy a kiöntések csak eltérhető mértékű környezeti és anyagi károkat okozhatnak. Elválasztott csapadékvíz-elvezető rendszer esetén a rövid ideig tartó felszíni elöntés tehát megengedhető.

Megállapítható továbbá, hogy blokkcsapadékok vizsgálata esetén a fél óra időtartamú eső okozza a legkritikusabb üzemi állapotot. Ez annak köszönhető, hogy a csapadékhullás félórás időtartama elég hosszú ahhoz, hogy a nedvesítési tározást és a talaj kezdeti befogadóképességét kimerítse, de nem is túl hosszú, így még számottevő intenzitásértékekkel rendelkezik. Ahogy a vizsgált csapadékhullás időtartamai egyre hosszabbak, úgy egyre nagyobb visszatérési idejű esemény okoz csak elöntést,

a vízgyűjtő egyre inkább kezd egyensúlyba kerülni. A hálózathoz kilépő víz mennyisége csökken, de az elöntési idő értelemesen növekszik. 4 órás, 100 éves visszatérési idejű eső esetén a hálózaton 1,5 órán át alakul ki telt szelvényű vízszállítás, felszíni elöntés azonban nem jelentkezik. Hosszú idejű (>180 perc) csapadékokra a hálózat bármely visszatérési időre megfelel, azok a hálózat vizsgálata szempontjából nem érdekesek.

A mérnöki gyakorlatban továbbra is célszerű a rövid idejű, de nem a 10, hanem a 30 perces csapadékokra való méretezés. A visszatérési idő megválasztásával csak egy vállalható kockázati szintet jelölünk ki, melynek arányosnak kell lennie az építési költségekkel és a környező létesítmények fontosságával. Teljes biztonságot adó rendszer gazdaságosan nem építhető, az úttest időszakosan részleges vagy teljes elöntését nem lehet elkerülni.

A modell felépítése és validálása után annak bővítése és ki egészítése már nem igényel jelentős többletmunkát, módunk van pillanatok alatt többféle bemenetre is választ kérni. A mo-

dellezőszoftverben a csapadékhullás egyes részintervallumainak eltérő intenzitásai is könnyen tanulmányozhatóvá válnak, így lényegesen pontosabb képet kaphatunk a záporosemények keltette lefolyásokról.

A diszkrétizált csapadékhullás-idősorok lehetővé teszik valós események szimulációját, mellyel értékes információkhoz juthatunk az elvezetőrendszerünk esetleges gyenge pontjairól. Mind-



10. ábra: Az időben változó intenzitásmodellek vizsgálatának eredményei (maximális szelvényteltségek)

három típusú, egyórás csapadékesemény (10. ábra) lefolyását megvizsgáltam a helyes tervezési irány kiválasztása és mérlegelése érdekében.

Előresiető eloszlás esetében túlterhelődés a hálózaton sehol sem fordul elő. A maximális szelvényteltség 85%, mely 0:10 perccor áll elő a főgyűjtőn, innentől az egyes csővezetékek víz-szállítása fokozatosan csökken. A talajba történő beszivárgás mértéke ebben az esetben a legnagyobb (4583 m³).

Középsúlyos csapadékhullás vizsgálatánál túlterhelt állapot keletkezik a 31. percben, ami 21 db csőszakaszt érint, és 9 percen keresztül fennáll. A visszaduzzasztás csak a 2-1-0 öblözetet érinti, felszíni kiöntés nem keletkezik. A modell eredményeiből megállapíthatóak a rendszer túlterhelődésének helyei. Határál-

apot először csak a mellékgyűjtő végpontjánál alakult ki, majd ez az állapot percről percre egyre lejjebb jelentkezett, de a főgyűjtőt már nem érte el. A jelenség magyarázata, hogy a csapadékhullás első hányada telíti a felületi tározóképességet, valamint a talaj gyors beszivárogtatóképességét is lerontja, mire megérkezik az intenzív középső szakasz. Annak befejeződése után pedig azért marad még percekig visszaduzzasztva a hálózat, mert a csúcshintenzitáson felül további számottevő csapadékot kap a rendszer. A három modell közül a középsúlyozott módszer adhatja a legrealisabb lefolyási árhullámképet, hiszen a valóságban is ehhez hasonlítanak leginkább a rövid idejű záporok.

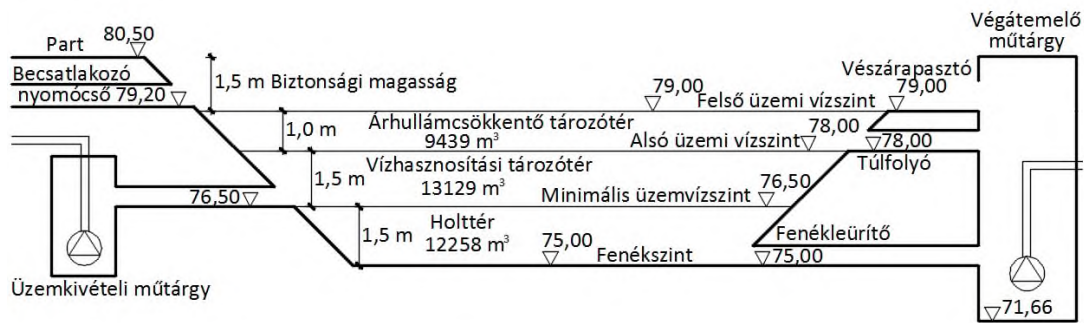
A hátulsúlyos intenzitásmodell eredményei alapján a hálózat 10 perccig duzzadt vissza, mely állapot a csapadékhullás befejezését követően is fennállt. Ebben az esetben kiöntés is keletkezett, összesen 7 m³ víz került a felszínre, mely 3 percig tartózkodott az útburkolaton. A teljes vízgyűjtőről lefolyó víztömeg (4593 m³) és a beszivárgás mérté-

ke (4563 m³) ebben az esetben a legalacsonyabb, ellenben a felszíni lefolyás csúcsvízhozama kiemelkedően a legmagasabb. Ez a módszer már eleve telített talajviszonyokat feltételez, hiszen először az alacsony intenzitású csapadékkal kimerült a nedvesítési tározás és a talaj befogadóképessége, a hálózati elemek feltöltődtek vízzel, majd a nagy intenzitás könnyen elöntést okoz.

A modellből eredményül kapott maximális teltségek szignifikáns különbségei okán tehát nem mindegy, hogy milyen időbeli lefutással adjuk meg a csapadékmennyiségeket. A gravitációs hálózat szempontjából legkedvezőtlenebb állapotot a hátulsúlyos intenzitáseloszlás adja.

A VÍZVISSZATARTÁS ELEMZÉSE

Az építési területen csak szigetelt záportározó tervezése jöhet szóba a magas talajvízállás és a csekély vízáteresztő képességű talaj okán. A csapadékvíz így csak a túlfolyón, párolgás útján vagy öntözővíz-kivétel gyanánt léphet ki a tározóból.

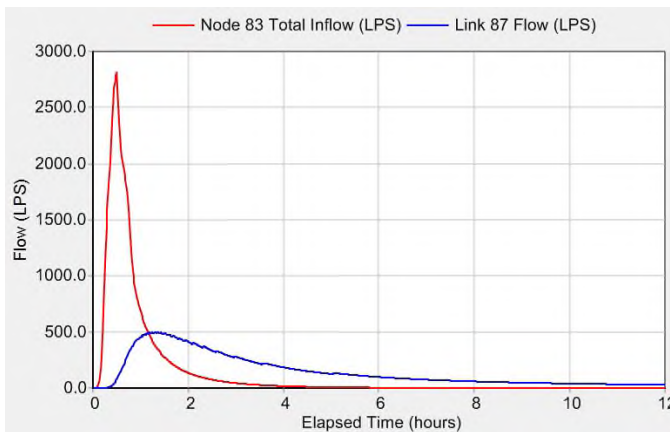


11. ábra: A záportározó tó szintjeinek sematikus ábrája

A 11. ábrán látható az átfolyásos tározó sémája. Öntözővíz-puffere száraz időszak napi 292 m³ öntözővíz-fogyasztás mellett 45 napig tartó csapadékmentes időszakot segít áthidalni. A tó állandó víztükre 8272 m², minimális üzemi vízszintet tartva látványtőként funkcionál. A puffertározó fix küszöbű bukás árapasztóval is el van látva, mely szintén a végátemelő aknába üríti a tó vizét. A tározóként viselkedő csomópontokban is megadható egy jelleggörbe, mely segítségével megadható tetszőleges belső kialakítás alakzat a vízmélységekkel és a hozzájuk tartozó térfogatokkal leírva.

A gravitációs hálózat tervezéséhez képest fontos különbség, hogy a tározó méretezéséhez nem a csapadékhullás intenzitását, hanem a belőle keletkező árhullám tömegét kell figyelembe venni. A tóba belépő hozamidősort a lefolyásmodell szolgáltatja. A záportározótól elvárt elsődleges funkció, hogy a vízhozamok mennyiségi változásainak mérséklését lehetővé tegye, amely nagy mennyiségű csapadék esetén a betározott vízmennyiséggel tehermentesíti a befogadót. A túlfolyó vízhozam várható értéke szoros összefüggésben van a tározó méretével. A tó térfogatának méretezésénél hangsúly helyezendő azonban arra is, hogy elég öntözővízpuffer állhasson rendelkezésre. A mérnöki gyakorlatban a biztonság javára – az észszerűség és a gazdaságosság keretein belül – gyakran elmozdulunk, ám csapadékvízrendszerek esetében óvatosan kell kezelni ezt a

kérdést. Míg a gravitációs üzemi csatorna méretezése során előnyünk származik a túlbecsült csapadékból, a tározást tekintve ez nem célravezető, hiszen egy túlméretezett, vízhasznosítási célt is szolgáló tározó az év nagy részében alacsony vízszintet eredményezne, ami vízminőség, fenntartás és hasznosítás tekintetében sem kívánatos.

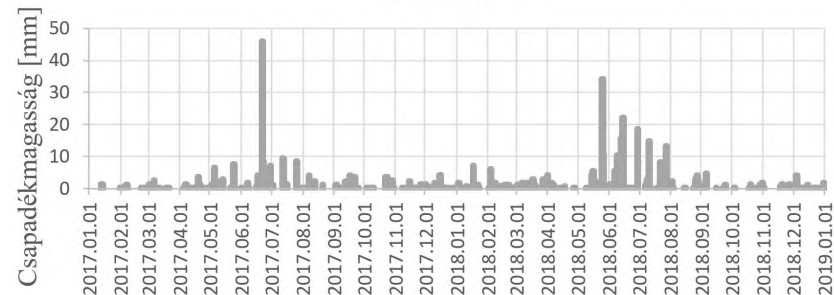


12. ábra: A záportározó árhullámcsökkentő és -késleltető hatása félórás, 20 éves visszatérési idejű blokkcsapadék esetén

A záportározó tó árhullámcsökkentő funkciójának vizsgálatához félórás, 20 éves visszatérési idejű csapadékeseményt vettem figyelembe. A 12. ábrán pirossal jelölt görbe a gravitációs hálózat végpontján lévő átemelőaknába beérkező vízhozamok összegét, a kék vonal pedig a tározótól túlfolyóján átbukó vízhozamot jelöli.

A grafikon tanúsága szerint a csúcsvízhozamot a puffertározó csaknem ötödére csökkenti, annak tetőzési időpontja pedig

Az óras csapadékösszegek Szeged-repülőtér állomáson

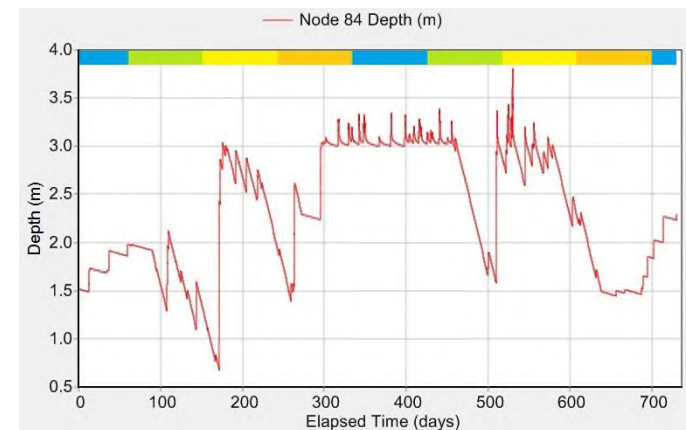


13. ábra: Az óras csapadékösszegek Szeged-repülőtér mérőállomáson (OMSZ)

egy órával később jelentkeznek. Árvíz-tömeg-csökkentés ebben az esetben nem történt, így a két görbe alatti térfogat megegyezik.

Mivel a rendszerben tározó is szerepel, a csapadékesemények hosszabb idejű spektrumának vizsgálatával a vízhasznosítási koncepciót elemezhetjük igazán. A Szeged-repülőtér mérőállomásra vonatkozó 2 éves csapadékidősort az Országos Meteorológiai Szolgálat biztosította számomra (13. ábra).

A 14. ábrán látható a tó vízszintjének alakulása a 2 éves futtatás során. A görbe felett színes sávokkal az évszakokat jelöltem. A program képes a léghőmérséklettől függően állóvízek felszíni párolgását is szimulálni. Az öntözővíz-kivételt szintén jelleggörbé-



14. ábra: A tározó vízállásidőszora a 2 éves futtatás során

vel leírható módon csak áprilistól szeptemberig vettem figyelembe. 2017-ben a Dél-alföldi régióban meteorológiai aszály alakult ki, az éves csapadékösszeg mindössze 439 mm volt Szegeden. Ennek ellenére a vízmérleg az első évben pozitív, az átlagosan csapadékos 2018-as évben pedig negatív, köszönhetően a 2018. május-júniusában érkező 5 db kiadós csapadéknak, melynek nagy része a túlfolyón került ki a tározóból.

A tó többnyire télen töltődik, ilyenkor a még fagyott talaj vízbefogadó képessége erősen korlátozott lehet, a nyári időszakban pedig, ha éppen nem esik jelentős mennyiségű csapadék – nem úgy, mint a vizsgált két év során –, szinte végig ürül, így az éven belüli tározás tetten érhető. A futtatás a téli hónapokban visszaadja az óránkénti körülbelül 0,1 mm-es párolgási veszteséget, nyáron pedig a napi 292 m³ öntözésvíz-igényt.

Télen a többnyire fagyott csapadék a vízgyűjtőn tározódik, így ebben az időszakban a modellvizsgálat a tó vízszintjét kissé felülbecsli. A gravitációs hálózaton egyszer történik kiöntés, mely 2017. 06. 21-én egy intenzív csapadékhullásból keletkezik. Az eső hosszának pontos időtartamát az óras adatszolgáltatásból nem lehet megállapítani, így ezt egy 33 éves visszatérési időhöz közeli, 1 órás csapadéknak feltételeztem. A gyorsan kialakuló felszíni vízborítottság csak percekig áll fenn. A vérszárapasztó egyszer sem üzemelt. A tó legmagasabb szintje 3,81 m, mely 19 cm-rel van a felső üzemi vízszint alatt. Ez egymást követő kiadós nyári záporok eredménye, amikor a talaj tározókapacitása a telítettséghez közeli. Legalacsonyabban 66 cm-en áll az első év júniusának közepén, amikor előtte 1 hónapig nem volt számottevő csapadék. Fontos, hogy az események egymást követő előfordulására milyen eséllyel kell számítani. Nemcsak a heves csapadékesemények, de a hosszabb száraz periódusok is egy új szélső állapotot tárnak fel. Ezért fontos, hogy a generált csapadékidősorok mellett valós, múltbéli eseményeket is futtassunk. A kétéves szimuláció során a tóba befolyó víz 60%-a (131.286 m³) hasznosult a vízgyűjtőn, illetve elpárolgott a tóból, 40%-a (86.076 m³) került csak a befogadó belvízcsatornába. Az elfolyó víz mennyiségének alakulása az év során egyenetlen, a legtöbb télen (36%) és nyáron (36%) csordult túl, tavasszal jóval kevesebb (18%), míg ősszel a legcsekélyebb volt ez a mennyiség (10%).

A vizsgált időszak alatt a csapadék éven belüli eloszlása rendkívül egyenetlen volt, a fenti eredmények alapján azonban megállapítható, hogy a rendszer mind a vízhasznosítási, mind a vízkárelhárítási, mind pedig a befogadó-tehermentesítési célokat megfelelő mértékben kiszolgálja.

ÖSSZEFOGLALVA

A jövőbeli csapadékesemények gyakoriság és intenzitás szempontjából is bizonytalansággal terheltek, ennek okán a műszakilag megfelelő, ugyanakkor gazdaságosan üzemeltethető rendszerek megtervezése alapos körütekintést igényel. A csapadék egyre többször rövid ideig tartó, intenzív záporok, zivatarok formájában hullik. A városok fejlődése és a megnövekedett beépítési igény miatt a jövőben várhatóan még tovább fog növekedni az elvezetendő víz mennyisége. A bő vízú időszakok extrém vízmennyiségeit be kell tározni, hiszen akár évente többszöri vízvisszatartásra is szükség lehet. A mérnöki igényesség egyre inkább ostromozza a racionális számítást, főleg a számítógépes modellek elterjedésének kapcsán. A '70-es években létrehozott, országos érvényességű csapadékmaximum-függvény megbízhatósága ma már megkérdőjelezhető, a valós események a „tankönyvi” visszatérési időkhöz képest lényegesen gyakrabban jelentkeznek. A leegyszerűsített, időben állandó intenzitású csapadékokat súlyozni érdemes, így – a valóságot sokkal jobban közelítő – részletesebb csapadékmódelleket kaphatunk. Az egyes futtatások tapasztalatai alapján a mértékadó árhullámkép a hajtóerős intenzitáseloszlásból keletkezik. A villamos energia és az élőmunka drágulása az eddigieknél is fontosabbá teszi, hogy a kialakított technológia a lehető legkisebb üzemeltetési költségeket okozza. A csapadékvíz helyben tartása és öntözésre való felhasználása tetemes költségmegtakarítást jelenthet városi környezetben is. Természetesen erre a legnagyobb ráhatás a tervezés folyamán adódik. Ma már a numerikus modellek jelentik a mérnöki problémák megoldásainak alapját.

HIVATKOZÁSOK

Amon, G. (2017) *Települési vízrendszerek tervezése modellezéssel*. Baja, Nemzeti Közszolgálati Egyetem.

- Benke, L. (2008) *Hidraulika alapjai*. Budapest, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet.
- Brown, S. A., Schall, J. D., & Morris, J. L. (2009) *Urban Drainage Design Manual*, (Third Edition). Springfield, Virginia, National Technical Information Service.
- Dr. Bene, K. (2016) *Vízépítés*. Győr, Széchenyi István Egyetem.
- Dr. Buzás, K., Dr. Honti, M., Varga L. (2013) *Csapadékmaximum függvények változása*. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem.
- Dr. Buzás, K. (2015) *Vízgyűjtő-gazdálkodási terv – Települési csapadékvíz-gazdálkodási útmutató*. Országos Vízügyi Főigazgatóság.
- Dr. Horváth, I. (1982) *Csatornázás*. Budapest, Építésügyi Tájékoztatási Központ.
- Dr. Illés, G. (1978) *A települések vízgazdálkodása*. Budapest, Országos Vízügyi Hivatal.
- Dulovics, D. (2004) *Sürgető szükségesség-e a csapadékvíz-gazdálkodás? Vízmű Panoráma*, 4, 26–33.
- Fórián, S. (2007) *Urbanizációs folyamat és annak néhány hatása a környezetre*. Debreceni Műszaki Közlemények, 1.
- Gayer, J., & Ligetváry, F. (2007) *Települési vízgazdálkodás és csapadékvíz elhelyezés*. Budapest, Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium.
- Kozák, P. (dátum nélkül). *A belvízjárás összefüggéseinek vizsgálata az Alföld déli részén, a vízgazdálkodás európai elvárásainak tükrében, doktori disszertáció*. Szeged, Szegedi Tudományegyetem.
- Lakatos, M., & Hoffmann, L. (2017) *Növekvő csapadékinテンzítás, magasabb mértékadó csapadékok a változó klímában*. Baja, Nemzeti Közszolgálati Egyetem.
- Lakatos, M., Bihari, Z., Hoffmann, L., Izsák, B., Kircsi, A., & Szentimrey, T. (2018. február 20). *Megfigyelt változások Magyarország éghajlatában*. Országos Meteorológiai Szolgálat honlapja, https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_valtozasok/Magyarország/
- Magyarország csapadékvíz-gazdálkodási stratégiája 2040-ig* (2020), Országos Vízügyi Főigazgatóság.
- Markó, I. (1989) *Települések csatornázási és vízrendezési zsebkönyve*, 3., javított kiadás. Budapest, Műszaki Könyvkiadó.
- VMS 201/1-77 Rövid idejű (10–180 perces) csapadékok meghatározása* (1977). Nemzeti Vízstratégia (2017).
- Paksi, S., Dankó, K., & Kucs, M. (2018) *Science Park beépítési koncepcióterve*. VÁTI Városepítési Kft.
- Péczy, G., Salamin, P., & Winter, J. (1973) *Rövid időtartamú, nagy intenzitású esők törvényeinek vizsgálata*. BME Szakvélemény.