

Csapadékvízgazdálkodás tervezési követelményei

Hogyan tervezzünk városi
csapadékelvezető rendszereket



Magyar Mérnöki Kamara
Kiadványsorozata 47.

Csapadékvíz-gazdálkodás tervezési követelményei

Hogyan tervezzünk városi csapadékelvezető rendszereket

**MMK FAP azonosító:
2019/201-VVT**

Budapest, 2019. október

A sorozat szerkesztője:
NAGY GYULA
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Vízgazdálkodási és Vízépítési Tagozatának gondozásában, a 2019. évi Feladat Alapú Pályázatok pénzügyi keretéből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

Szerzők:
Jancsó Béla
Kaveczki Gergely
Kóczán Gábor
Laborczy Tamás
Knolmár Marcell
Raum László

Lektorálta:
Reich Gyula

Kiadó:
Magyar Mérnöki Kamara
1117 Budapest, Szerémi út 4.
info@mmk.hu, www.mmk.hu

TARTALOMJEGYZÉK

1. Vezetői összefoglaló.....	7
2. Bevezető	9
3. A csapadékvíz-elvezetés méretezés az érvényben lévő szabályozások alapján	11
3.1. A csapadékvíz elvezetés követelményei.....	11
3.1.1. A racionális méretezési módszer.....	12
3.1.2. Mértékadó modell csapadékok	12
3.1.3. Összegyülekezési idő.....	14
3.1.4. Lefolyási tényező	15
3.2. Mértékadó nagyvízhhozam	16
3.3. Lefolyás szabályozás	17
3.4. A csapadékvíz-elvezetéssel kapcsolatos legfontosabb, jelenleg hatályos jogszabályok.....	18
3.5. A tervezésben alkalmazott legfontosabb szabványok, műszaki irányelvek...	19
4. Csapadékvíz-elvezetés tervezése városi környezetben	20
4.1. Csapadékvíz-gazdálkodás, lefolyás szabályozás és csapadékvíz-elvezetés....	20
4.2. Lefolyás szabályozás, visszatartás, késleltetés	22
4.3. Gyakorlati példák a városi csapadékvíz-elvezető rendszerek tervezéséhez...	27
4.3.1. Lefolyás szabályozás, visszatartás, késleltetés elemei, eszközei	27
4.3.2. Csapadékvíz elvezetés gyorsítása	41
4.3.3. Víznyelők szerepe a csapadékvíz-elvezetésben.....	42
4.3.4. Az ingatlanok védelme városi környezetben.....	43
5. Csapadékvíz-elvezetés tervezés – modellezés alapjai	46
5.1. Csapadékvíz lefolyás szimulációja, modellezése.....	46
5.2. Fogalom meghatározások	49
5.3. A modellezés lépései	52
5.4. Számítástechnikai háttér	57
6. Csapadékvíz-elvezetés gazdaságossági megközelítése	60
6.1. Csapadékvíz-elvezetés gazdaságosságának általános vizsgálata	61
6.2. Pénzügyi megtérülés vizsgálata.....	63
6.3. Közgazdasági megtérülés vizsgálata.....	66

6.4.	Egyszerűsítés a közgazdasági megtérülés vizsgálatában.....	69
6.5.	A fejlesztési különbözet módszerének alkalmazása	71
7.	A témával foglalkozó szakirodalom - Irodalomjegyzék	74

1. Vezetői összefoglaló

A városi csapadékelvezetés, csapadékvíz-gazdálkodás témája a mellett, hogy jelentős átalakulás előtt áll és azt az érzetet is keltheti, hogy mindenki beszél róla, mindenki ért hozzá, nincs meg a megfelelő, egységes szakmai szabályozása. A régi hagyományokon alapuló méretezések, szakmai elvek mellett, esetenként arra alapozva, azt tovább fejlesztve kell új megoldásokat találni a kihívásokra.

A változó klíma kihatással van az időjárásra és ezzel együtt a csapadékviszonyokra. A tendenciák még nem mindig egyértelműek, de abban talán már nincs vita, hogy a változások velünk vannak. A változások a környezetünkben azt jelentik, hogy az ezzel foglalkozó Mérnököknek is fel kell készülni a változásra.

Jelen segédlettel egy további eszközt kívánunk adni a gyakorló Mérnökök kezében annak érdekében, hogy akár új információval, akár a már ismertek megerősítésével minél hatékonyabban és jobb minőségben tudjanak a témával kapcsolatban eljárni a napai gyakorlatban.

A segédlet az alapokból a jelenleg érvényben lévő szabályozásból indul ki. A jelenlegi érvényben lévő vagy visszavont, de a szakmában még használatos jogszabályokban és szabványokban, elsődlegesen a biztonságos elvezetés érdekében szükséges teendők elvén történik a szabályozás. A mértékadó csapadékvíz elvezetése a fő cél, kevésbé törődve annak városon belüli gazdálkodásával. A szabályozás és méretezés alapját adó „racionális módszer” általában mindenki által ismert és használt. Azonban talán ennek a használata sem mindig azonos módon történik, ezért is tartjuk fontosnak ennek egységes szemléletben történő bemutatását.

A mai fejlődő és változó környezetben a városon belüli tervezés a csapadékvíz elvezetés, kezelés, gazdálkodás területén új szemléletet igényel. Nem lehet egy-egy részterület, egy-egy lokális probléma kezelése mentén eljárni. A mai és jövő követelményei alapján a korszerű városi csapadécsatornázási rendszereknek a szélsőségesebb terheléseket (csapadékokat) is fogadni képes, azonban a csapadék helyben tartását is lehetővé tevő önszabályozónak, illetve szabályozhatónak kell lenniük. Ezen komplex megoldás ad lehetőséget a különböző intenzitású és időtartamú csapadékok megfelelő kezelésére, elvezetésére, azaz a városi csapadékvíz-gazdálkodásra. A segédlet elvi és gyakorlati példákon keresztül kívánja bemutatni azon eszközöket, módszereket, amiket alkalmazni érdemes és kell a városi csapadékvíz-gazdálkodási rendszereknél. Mára az elvezető rendszer határtalan bővítésével és növelésével nem lehet megfelelni az elvárásoknak, a városrendezőkkel, tájépítészekkel együttesen kell az optimális megoldást megtalálni.

A jövő szempontjából ma már nem kérdés, hogy a „modellezés” mint méretezési eszköz nélkülözhetetlen összetett városi rendszerek tervezése alkalmával. A lehetőség az elméleti háttér és technikai eszközök fejlődésével mára már adóttak a modellezésre. Ennek ellenére sajnos a napi gyakorlatban még nem egy általánosan elterjedt és használt dolog, másrészt sajnos a modellezés értelmezése is elég széleskörű és eltérő. Nem mindig ugyanazt értik a szereplők a modellezés, a modellezés folyamata alatt és ennek megfelelően sokszor torzulnak az eredeti elképzelések. Ahhoz, hogy ezen új és szükséges eszköz megfelelő módon legyen használva fontos az alapok a közös értelmezés, az egyes fogalmak helyes definiálása. A segédlet ennek az alapjait kívánja megadni egységes háttérrel adva annak, aki ebben el szeretne mélyedni. Azt is érdemes megjegyezni, hogy a modellezés egy olyan komplex folyamat, ahol több szakterület (programozó, adatfeldolgozás, modellező, vízépítőmérnök, stb.) együttes közreműködése szükséges.

A döntéseknél fontos, hogy a szakmai, műszaki szükséglet mellett a megoldás a társadalom, a város teherviselő képességén is múlik. Olyan megoldást kell keresni, ami az adott befektetés mellett a leghatékonyabban oldja meg a problémát. Fontos látni, hogy a csapadékvíz-elvezetés nem piaci alapon működik, ezért a megfelelő és hatékony megoldás kiválasztásához szükséges az össz gazdasági, társadalmi hasznok számbavétele. A csapadékvíz-elvezető rendszerek kiépítése olyan beruházás, amely közvetlen hasznot nem termel, viszont a hiánya a város egyéb területein okozhat jelentős károkat. Ezért amikor arról beszélünk, hogy az adott beavatkozásnak mekkora – általában jelentős – a költsége, akkor azt nem lehet önmagában értékelni, a várható kár mértékét, megvédendő értékeinket kell szembe állítani a tervezett beavatkozás költségével.

Fontos megjegyezni, hogy jelen segédlet nem tekinthető jogszabálynak, így a benne lévő értelmezések ajánlásnak minősülnek. Fontos az is, hogy figyelemmel kell lenni a mindenkorai szabvány és jogszabályváltozásokra, amelyekre a tervezés során be kell tartani!

Végezetül, a segédlet nem csak a Tervezőknek kíván iránymutatást nyújtani, hanem a Beruházóknak, Megbízóknak, Önkormányzatoknak és további, a témában érintett szervezeteknek annak érdekében, hogy beépüljön a csapadékvíz-gazdálkodás szemlélet a városok fejlődése, fejlesztése során.

A szerzők részéről reméljük és hisszük, hogy egy olyan segédletet sikerült a Tervező kollégák számára összeállítani, amely a hétköznapi munkájukban segítséget nyújt. **Így ajánljuk minden gyakorló kolléga és a témában érdekelt – azaz mindannyiunk - figyelmébe!**

2. Bevezető

A csapadékvízgazdálkodással összefüggő tervezési feladatok az előttünk álló évek kihívásai közé tartoznak. A témával való foglalkozást részben a folyamatban lévő éghajlati, meteorológiai változások, részben a tervezési gyakorlati útmutatóink, tervezési szemléletünk esetleges hiányosságai, szükséges fejlesztési igényei indokolják. Változó világunkban a szakmának is el kell kezdeni azon módszertani megújulást, amit az egyre intenzívebben fejlődő városi környezet megkíván.

A ma is alkalmazott méretezési módszerek alapjait elődeink az 1800-as évek közepén tették le. A racionális méretezési módszer első alkalmazója 1847-ben T. J. Mulvaney volt, aki egy városi vízgyűjtőről levonuló vízhozamot a $Q=c \cdot i \cdot A$ formulával határozta meg. A módszer lényege az az elv volt, hogy egy vízfolyás vizsgált szelvényének mértékadó vízhozamát az a csapadék szolgálja, amelynek időtartama megegyezik a szelvényhez tartozó összegyülekezési idővel. Ekkor még a legfőbb kérdés a mértékadó vízhozam meghatározása volt.

Arra, hogy miért ez volt az az időszak, amikor ezen módszertanok kidolgozása elindult, talán magyarázat, hogy az akkori városi fejlődési „bum”, az ipari forradalom városok fejlődésére gyakorolt hatása megkövetelte, hogy ezzel foglalkozzon a társadalom kikérve a mérnökök hozzáértését. Azóta eltelt pár év. Az utolsó ezzel a témával még foglalkozó szabványok, irányelvek a 70-es évekre nyúlnak vissza. A tervezés gyakran ezen régi elvek mentén történik az új módszerek korlátozott felhasználásával, de ennek az is az egyik oka, hogy nincsenek meg azok az egységes és azonosan alapokon kezelt tervezési irányok, amelyek a változó környezetünket figyelembe véve segíthetnék a Tervezők munkáját.

Az, hogy a témával foglalkozni kell, még az is indokolja, hogy ahogy az 1800-as években, ma is olyan mértékű fejlődésen, változásokon mennek keresztül a városok, környezetünk, amelyek indokolják az alkalmazott hagyományok, gyakorlatok megújítását. Ez részben módszertanok, tervezési irányelvek változtatását, részben új tervezési szemlélet meghonosítását kell, hogy jelentse.

A segédlet igyekszik hozzájárulni a gyakorló tervező mérnökök részére, új szemléletek, módszerek meghonosítására a napi munkában a csapadékvíz elvezetés területén. Fontos szemléletváltást kell, hogy jelentsen, hogy amellet, hogy értékeink védelme okán törekedni kell az elvezetés biztonságának minél magasabb szinten való megteremtésére, a csapadékvízzel gazdálkodni is kell a városokban. Ma már a csapadékvíz érték, gazdálkodni kell vele! Ma már több szakterület (városrendezés, tájépítészet, stb.) együttes közreműködése adja a megfelelő választ a téma kezelésére.

Ezen komplex együttes gondolkodás adhat garanciát arra, hogy az általunk tervezett megoldások minél jobban megfeleljenek a változó környezetünk kihívásainak és ezzel hosszútávú jó megoldást adjanak a városi környezetben a csapadékvíz elvezetésre, csapadékvíz-gazdálkodására.

A segédlet egy első lépés a téma tervezői oldalról történő megközelítéséhez, tervezők számára adva olyan irányt, útmutatásokat, amik segíthetik a munkájukat, adott megoldás mellett való érveléseket. Nem volt célja a segédletnek azon jogi és üzemeltetési kérdések tárgyalása, ami szintén fontos egy hatékony és jól működő városi csapadékvíz-gazdálkodás működtetésének, fenntartásának. Azt sem lehetett célja a segédletnek, hogy az elmaradt szabályozási hiányosságokat pótolja. A munkát folytatni kell annak érdekében, hogy egy-két éven belül kialakulhasson az az egységes új szabályozás, ami megfelelő garanciát ad mind a döntéshozóknak, mind a tervezőknek, hogy a következő száz évre a városi csapadékvíz-gazdálkodás megfelelő szinten legyen kezelve.

3. A csapadékvíz-elvezetés méretezés az érvényben lévő szabályozások alapján

3.1. A csapadékvíz elvezetés követelményei

A közcsontrák hidrológiai méretezésére vonatkozó szabályozások az elmúlt évtizedekben többször változtak. 1999-2001-ben magyar szabványként közzétették az MSZ EN 752 szabványsorozatot, amely a települések vízvezető rendszereit tárgyalja. Ennek újabb verziója 2008-ban, majd 2017-ben került kiadásra.

Amennyiben egyéb előírás nem határozza meg a számítási eljárást, akkor egyesített rendszerű és elválasztott rendszerű csapadékvíz-elvezető hálózatok hidraulikai-hidrológiai méretezése 200 ha-ig terjedő vízgyűjtő területeken vagy 15 percig terjedő összegyülekezési időig a csapadék csúcsvízhozamának becslésére egy egyszerű eljárás (pl. racionális méretezési mód, esetleg vízmennyiség mérleg) alkalmazható, amikor is racionális módszernél időben állandó csapadékkintenzitás tételezhető fel és az összegyülekezési idő a telt szelvényhez tartozó sebesség alapján számítható. Nagyobb kapcsolódó területek és vízvezető rendszerek vízhozamainál, amelyek jelentős hatást gyakorolnak az alattuk fekvő csatornahálózatokra vagy a befogadóra, időben változó mértékadó csapadékokat és számítógépes modelleket célszerű alkalmazni a lefolyásszimulációhoz.

Mivel Magyarországon egységesen elfogadott és alkalmazott lefolyásszimulációs modell egyelőre nincs ezért a vízgyűjtő terület kiterjedésétől függetlenül általánosságban a racionális méretezési módszer kerül alkalmazásra.

A módszer azonban számos olyan közelítést alkalmaz, amely a terhelés nagyságának meghatározásába bizonytalanságot visz:

- valamely csapadékkintenzitás okozta lefolyás tetőző hozama akkor maximális, amikor a mértékadó csapadék időtartama megegyezik az összegyülekezési idővel (vagy meghaladja azt),
- a tetőző vízhozam nagysága és a csapadékkintenzitás között lineáris függvénykapcsolat van,
- a tetőző vízhozam gyakorisága (előfordulási valószínűsége) megegyezik az öt kiváltó csapadék gyakoriságával adott összegyülekezési idő esetén,
- a lefolyási tényező változatlan bármely időtartamú zápornál és minden évszakban,
- a lefolyási tényező változatlan bármilyen gyakoriságú csapadéknál,

- az ország egész területére ugyanaz a csapadékontenzitás-időtartam függvény érvényes
- múltbeli csapadékadatok alapján kíséreljük meg a jövő csapadékontenzitását megbecsülni.

3.1.1. A racionális méretezési módszer

A racionális méretezési módszer alapfeltevése, hogy egy adott méretezési pont esetében a csapadék időtartama megegyezik a méretezési ponthoz tartozó összegyülekezési idővel. Az összegyülekezési idő az az időtartam, amely alatt a méretezési ponthoz tartozó vízgyűjtő terület valamennyi (lefolyási úthossz alapján mértékadó) részéről a lefolyó víz eléri az adott pontot, vagyis a vízzárlításba bekapcsolódik. A módszer az alábbi a következőkben felsorolt elemekből építkezik.

3.1.2. Mértékadó modell csapadékok

A csapadékvíz hálózat méretezését a hálózatban lefolyásra kerülő csapadékvíz-mennyiség alapján kell elvégezni. Ennek alapján alapvető feltétel a csatornázendő terület csapadékviszonyainak ismerete. Ezen csapadékviszonyok meghatározását a korábban is említett múltbeli csapadékadatok kiértékelésével lehet becsülni, vagyis modellcsapadékok segítségével.

A modellcsapadékokat Vízügyi műszaki segédletek tartalmazzák (pl. VMS 201/1 és VMS 201/2), ahol mind rövid idejű, mind pedig többnapos függvények állnak rendelkezésre. Korábban az MSZ 15300 jelű szabvány az ország területét 12 db körzetre osztotta és határozott meg tájegységekre jellemző mértékadó rövid idejű csapadékértékeket. Ezt váltotta fel az OVHMI 167/2-75, ami már az egész országra érvényes 1 db függvény alkalmazását írta elő.

Csatornahálózat méretezéséhez a rövid idejű csapadékfüggvényt használjuk, ahol a csapadék a legfeljebb három órán át hulló zápor, amelynek intenzitása valószínűségi változó. A rövid idejű csapadék intenzitása (i [mm/h vagy l/s·ha]) a hozzá tartozó „ p ” valószínűségi jellemzővel értelmezhető, amit gyakoriságnak, ismétlődési időnek vagy átlagos visszatérési időnek szoktak nevezni.

A hálózat méretezését megelőzően meg kell állapítani, hogy a méretezés alapjául milyen gyakoriságú csapadékok szolgáljanak. A már korábban említett műszaki irányelvek (pl. MI-10-167/3, MI-455/2) a gyakoriság megválasztására adnak irányutat, de ennek megállapítása mindig a helyi körülményektől, a víztelenítendő

terület jelentőségétől, a beépítés módjától, lejtési viszonyoktól, az elöntés által vélhetően okozott károk nagyságától függ, emellett a költség és a kockázat mértékének az összevetésétől. Beépített területek esetén jellemzően a már meglévő rendszereknél alkalmazott gyakorisági értékeket vesszük figyelembe, így pl. általánosan alkalmazott az 1, 2 és 4 éves gyakoriságra történő méretezés. Új rendszerek tervezésénél jellemzően a 10 éves gyakoriságra történő tervezés általánosan elfogadott, amitől bizonyos rendszerelemeknek (pl. átereszek) akár nagyobb biztonságra történő méretezését is előírják. A valószínűségi jellemző egyben a hidraulikai méretezés egyik biztonsági mutatója is. Az MSZ EN 752:2008 mind egyszerű, mind pedig összetett (pl. időben változó, vagy számítógépes modell) módszerek alkalmazása esetén a tervezésben alkalmazandó mértékadó gyakoriságra ad ajánlásokat.

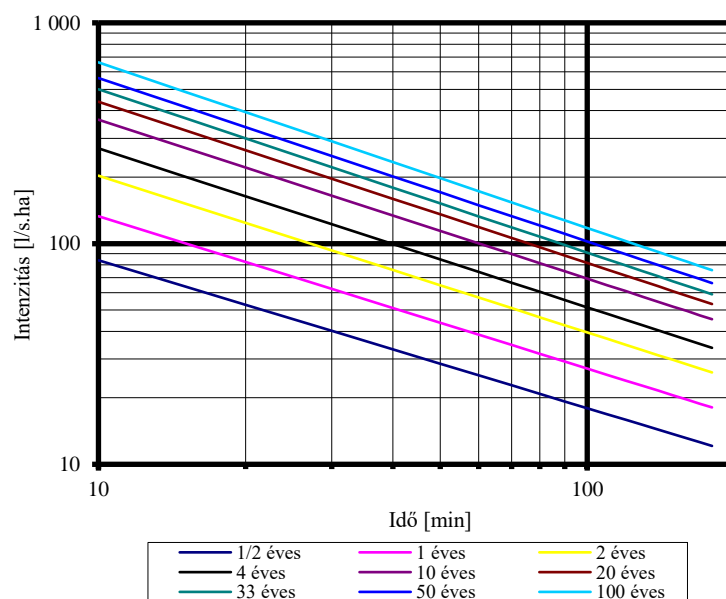
A csapadék valószínűségi jellemzőjét az adott csapadékból keletkező mértékadó vízhozam valószínűségi jellemzésére is érvényesnek lehet tekinteni.

Adott vízgyűjtő területen az összegyűlekezési idő ismeretében a „p” átlagos visszatérési idejű csapadék intenzitása a következő összefüggésből határozható meg:

$$i_p = a \cdot t^{-m}$$

ahol

- i_p a „p” átlagos visszatérési idejű csapadék intenzitása [mm/h vagy l/s·ha],
- a a 10 min időtartamú „p” átlagos visszatérési idejű zápor intenzitása [mm/h vagy l/s·ha],
- t az összegyűlekezési idő 10 min időegységben kifejezve (pl. 25 min esetén $t = 2,5$),
- m a hatványkitevő, értéke valószínűségi jellemzőként állandó.



A rövid idejű csapadékok intenzitása az időtartam függvényében

Az előbbiekben ismertetett csapadéktörvény időben állandó intenzitást tételez fel és ezért alkalmazása során erre tekintettel kell lenni. A csapadék intenzitásának időbeni változásánál a hazai vizsgálatok kimutatták, hogy a maximális intenzitás általában a csapadék időtartamának (összegyülekezési idő) első harmadának a végén következik be (a maximális intenzitás megjelenéséig hulló csapadék az előkészítő csapadék, $0,35 \cdot t$).

3.1.3. Összegyülekezési idő

Az egyesített rendszerű és csapadékvíz-csatornák egyes méretezési pontjaihoz tartozó vízgyűjtő területek lehatárolását jellemzően a domborzat figyelembevételével, valamint az épülettömböket határoló utak által bezárt szögeket felező és azok metszéspontjait összekötő vonalak alapján végezzük el. Az összegyülekezési idő ezen vízgyűjtők paramétereiből származtatható. Meghatározása az alábbi képlet szerint történik:

$$t_c = t_1 + t_2$$

ahol

- t_c az összegyülekezési idő [min],
- t_1 a felszíni összegyülekezési idő [min],
- t_2 a vizsgált szelvény és a csatorna (árok, folyóka) végpontja között lefolyási idő [min].

Települések beépített területén 5%-nál nagyobb tereplejtés és 40%-nál nagyobb arányban vízzáróan fedett terület esetén $t_1 = 5$ min, egyébként $t_1 = 10$ min alkalmazása javasolt. E mellett a t_1 felszíni összegyülekezési időt érdemes egyedileg is vizsgálni, amennyiben a terület jellege, kiterjedtsége, domborzata ezt indokolja. Ez pl.: azokban az esetekben elkerülhetetlen, ahol pl.: nagyobb terepi lefolyási úthosszal vagy a településre érkező külvizek összegyülekezési idejével is számolni kell.

2%-nál kisebb tereplejtés esetén $t_c = 15$ min, 2%-nál nagyobb tereplejtés esetén $t_c = 10$ min értéknél kisebb összegyülekezési időt nem javasolt figyelembe venni.

A csatornában (árokban, folyókában, vízfolyásban, stb.) való lefolyás idejét (t_2) az egyes eltérő geometriai és hidraulikai jellemzőkkel rendelkező szakaszok mértékadó (nagyvízi) vízszállítás középsebességeiből számított részidők szakaszonkénti összegzésével kell meghatározni:

$$t_2 = \frac{1}{60} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{v_i}$$

ahol

- t_2 a csatornában (árokban, folyókában, vízfolyásban) való lefolyási idő [min],
- i az egyes (csatorna)szakaszokra utaló index,
- L_i az i -edik (csatorna)szakasz hossza [m],
- v_i az i -edik (csatorna)szakaszban lefolyó mértékadó vízhozam középsebessége [m/s].

Zárt szelvényű csatornában a lefolyási időt (t_2) a teltszelvényű vízszállításhoz tartozó középsebességek szakaszonkénti összegzésével határozzuk meg.

3.1.4. Lefolyási tényező

A lefolyási tényező a területről lefolyó és a lehullott csapadék közötti viszonyszám. Értékét számtalan tényező befolyásolja. A racionális méretezési módszer képletében a **lefolyási tényező** a pontosság szempontjából a legkritikusabb paraméter, hiszen egy nagyobb vízgyűjtő terület távlati fedettségi viszonyait csak tág határok között lehet becsülni, ráadásul a lefolyási tényező is valószínűségi változó, emellett az adott részvízgyűjtőre jellemző lefolyási tényező értékének meghatározása sok esetben a tervező szubjektív megítélésén alapul.

A lefolyási tényező értékét már az MSZ 15300 is meghatározott, megadja az egyes felületfajták (pl. tető, hézagmentes burkolat, kockakő burkolat stb.) lefolyási tényezőit, valamint az ezek alapján nagyobb területre a lefolyási tényező meghatározási módját (több területrész lefolyási tényezőjének számtani közepe), de emellett ismerteti a városrendezési terv alapján készülő általános tervekhez a lefolyási tényező felvehető értékeit a beépítés függvényében. Azt is rögzíti, hogy a fenti értékek alsó határai 1%-nál kisebb lejtésű, a felső határok 5%-nál nagyobb lejtésű, közepesen áteresztő talajú területekre vonatkoznak (áteresztő talajoknál az értékek 10%-kal csökkentendők, át nem eresztő talajoknál 10%-kal növelendők).

Az 1970-es években megjelent vízügyi műszaki irányelv (MI-10-167/3: 1975) a lefolyási tényezőt az MSZ 15 300 szabványhoz hasonlóan számíttatja, de a korábbiánál több felületfajtát ismertet. A számított lefolyási tényező növelését a tereplejtés függvényében írja elő, 2-5% tereplejtés esetén 5%-kal, 5% lejtés fölött 10%-kal.

A MI-10-455-2:1988 már a záporcsapadék átlagos ismétlődési idejének függvényében is növelhetővé teszi a lefolyási tényezőt, illetve ugyancsak meghatározza a figyelembe veendő lefolyási tényező értékeket.

A záporból keletkező lefolyó víz mennyisége erősen függ az adott vízgyűjtő terület felhasználásától, beépítettségétől, az évszaktól, a megelőző csapadéktól stb.

Egy adott vízgyűjtő területre, illetve egy adott terület felhasználási egységre jellemző lefolyási tényező az alábbi képlettel számítható:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot A_{vi}}{\sum_{i=1}^n A_{vi}}$$

ahol

- $\bar{\alpha}$ az adott vízgyűjtőre, vagy terület felhasználási egységre jellemző átlagos lefolyási tényező [-],
- α_i az i-edik részvízgyűjtő, vagy felületfajta lefolyási tényezője [-],
- A_{vi} az i-edik részvízgyűjtő, vagy felületfajta nagysága, vagy aránya a területen belül [ha vagy -].

3.2. Mértékadó nagyvízhozam

A mértékadó nagy vízhozam számítása során meg kell határozni:

- a lehullott csapadék lefolyási hányadát,
- a méretezési pontra vonatkozó összegyülekezési idő alapján a csapadék intenzitását.

Vagyis a racionális módszer a nagy vízhozamot okozó csapadékintenzitásból (i_p) a számított/felvett lefolyási tényező segítségével számítja a lefolyás fajlagos hozamát, amit a vizsgált terület nagyságával szorozva kapható meg a „p” (év) átlagos ismétlődési (visszatérési) idejű Q_p nagy vízhozam:

$$Q_p = \alpha \cdot i_p \cdot A_v$$

ahol

- Q_p a „p” átlagos visszatérési idejű vízhozam [l/s],
- α a vizsgált vízgyűjtő területre jellemző lefolyási tényező [-],
- i_p a mértékadónak választott csapadék intenzitása [l/s·ha],
- A_v a vízgyűjtő terület nagysága [ha],

Az MSZ 15300 szabvány és az MI-10-167/3-75 műszaki irányelv lehetővé tette, hogy síkvidéki területen a racionális méretezés módszer alkalmazásakor a csatornahálózat tároló képességét az ún. Schrank-féle képlettel figyelembe vegyék:

$$\rho = 0,62^m$$

ahol

- ρ - a tároló képességi együttható [-],
 m - a hatványkitevő, értéke valószínűségi jellemzőként állandó

A csatornahálózat tároló képességét tehát az alábbi módon lehetett figyelembe venni a mértékadó vízhozam meghatározásakor:

$$Q_p = \alpha \cdot \rho \cdot i_p \cdot A_v$$

A műszaki irányelv átdolgozását követően megjelent kiadványok már nem foglalkoztak a tároló képességgel.

3.3. Lefolyás szabályozás

A lefolyásszabályozás alkalmazható telken belül, a csatornahálózatban, a szennyvíztisztító telepen, valamint a befogadóba való bevezetés előtt. A lefolyásszabályozás jelentheti például a csapadékvizek bizonyos hányadának talajba történő beszivárogtatását, a lefolyó csapadékvíz tározással történő visszatartását (annak esetleges felhasználásával kiegészítve), de akár a hálózat más részeibe történő vízkormányzást is.

Belterületen, jellemzően egyesített rendszerű hálózatok védelmében gyakran alkalmazunk záportározókat. A záportározó legfőbb célja a hálózat hidraulikai terhelésének csökkentése, esetlegesen a csapadékvíz hasznosítása.

A leggyakoribb létesítés célja szempontjából megkülönböztetünk átfolyásos és túlfolyásos záportározókat. Az MI-10-455-4:1988 az egyes típusokat részletesen taglalja.

3.4. A csapadékvízelvezetéssel kapcsolatos legfontosabb, jelenleg hatályos jogszabályok

- 1988. évi I. törvény a közúti közlekedésről
- 1995. évi LIII. törvény a környezet védelmének általános szabályairól
- 1995. évi LVII. törvény a vízgazdálkodásról
- 2003. LXXXIX. törvény a környezetterhelési díjról
- 2011. évi CCIX. törvény a víziközmű-szolgáltatásról
- 2011. évi CLXXXIX. törvény Magyarország helyi önkormányzatairól
- 253/1997. (XII.27.) Korm. rendelet az országos településrendezési és építési követelményekről (OTÉK)
- 58/2013. (II.27.) Korm. rendelet víziközmű-szolgáltatásról szóló 2011. évi CCIX. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról
- 5/2004. (I. 28.) GKM rendelet a helyi közutak kezelésének szakmai szabályairól
- 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról
- 220/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszíni vizek minősége védelmének szabályairól
- 240/2000. (XII. 23.) Korm. rendelet a települési szennyvíztisztítás szempontjából érzékeny felszíni vizek és vízgyűjtőterületük kijelöléséről
- 72/1996. (V. 22.) Korm. rendelet a vízgazdálkodási hatósági jogkör gyakorlásáról
- 41/2017. (XII. 29.) BM rendelet a vízjogi engedélyezési eljáráshoz szükséges dokumentáció tartalmáról
- 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről

3.5. A tervezésben alkalmazott legfontosabb szabványok, műszaki irányelvek

Megnevezés	Jele
Közcatornák. A csatornázás rendszere és kialakítása	ME-10-167-1 (1994)
- A hálózatot terhelő fajlagos vízmennyiségek	ME-10-167-1
- Hidraulikai méretezés	ME-10-167-3
Közcatornák tervezése. A csatornázás rendszere	MI-10 167/1 (1975)
- A hálózatot terhelő fajlagos vízmennyiségek	MI-10 167/2 (1987)
- Hidraulikai méretezés	MI-10 167/3 (1987)
Belterületi vízrendezés	MI-10 260
Műszaki hidraulika.	MI-10-291-1 (1985)
- Nyílt medrek vízz szállító képessége	MI-10-291-2 (1985)
- Csövek és csőhálózatok vízz szállító képessége	MI-10-291-3 (1985)
- Műtárgyak vízz szállító képessége	MI-10-291-4 (1985)
Belterületi vízrendezés.	MI-10 455/1 (1988)
- Csapadékvíz elvezető hálózat hidraulikai méretezése.	MI-10 455/2 (1988)
- Záportározók	MI-10 455/4 (1988)
Kül- és belterületi vízrendezés kapcsolatai	MI-10 476 (1992)
Rövididejű (10-180 perces) csapadékok meghatározása	VMS 201/1 (1977)
A 3-24 óra időtartamú csapadékok meghatározása	VMS 201/2 (1978)
Közmű és egyéb vezetékek elrendezése közterületen.	MSZ 7487/1-3 (1979, 1980)
Települések vízelvezető és csatornarendszerei. Csatornarendszer-menedzsment	MSZ EN 752 (1999, 2000, 2001, 2008, majd 2017)
Települések vízelvezető és csatornarendszerei. Tervezés. 2. rész: Hidraulikai tervezés	MSZ EN 16933-2 (2018)
Nem iható víz helyi szállítórendszerei. 1. rész: Rendszerek a csapadékvíz felhasználására	MSZ EN 16941-1 (2018)

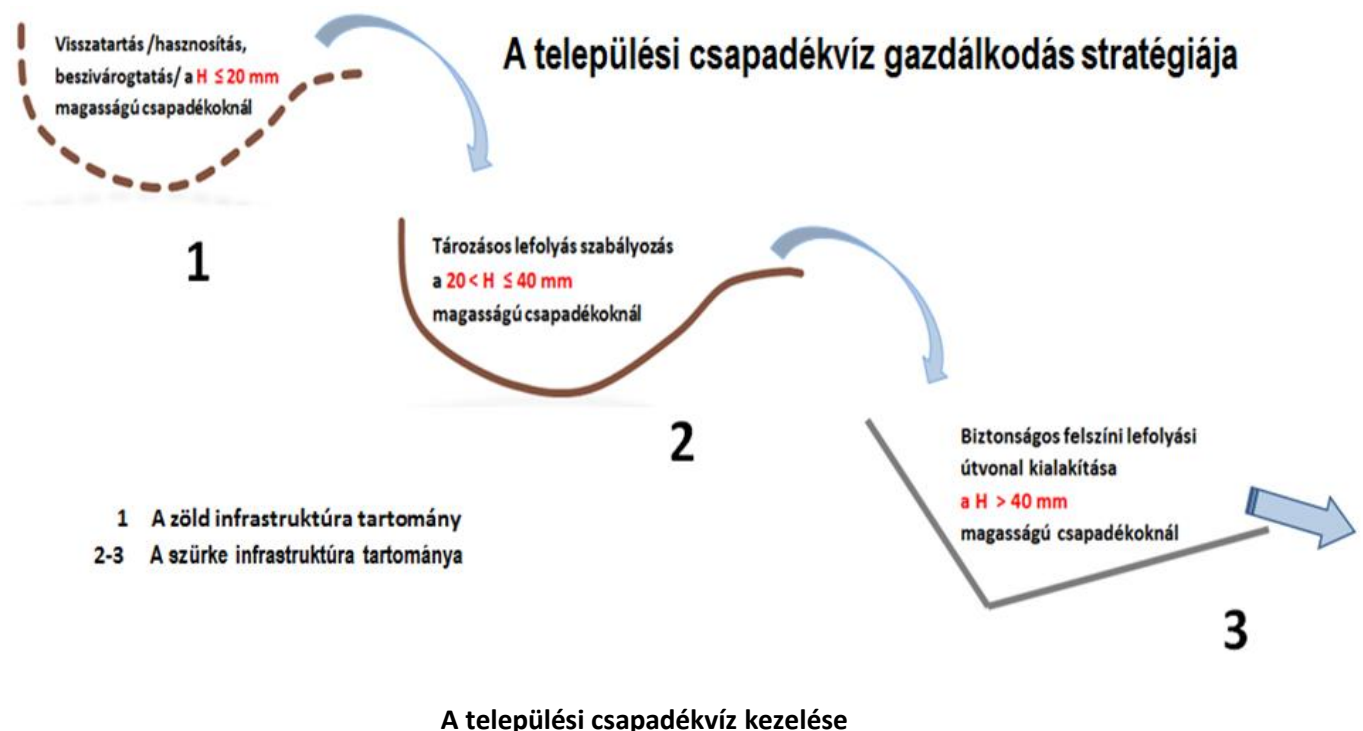
4. Csapadékvízvezetés tervezése városi környezetben

4.1. Csapadékvíz-gazdálkodás, lefolyás szabályozás és csapadékvíz-elvezetés

A városi csapadékvíz események és hatások tekintetében alapvető feladatként jelenik meg az elöntések kockázatának csökkentése, megszüntetése, értékeink, ingatlanjaink védelme. Erre vonatkozóan általános megoldást jelent a lehulló csapadék gyors elvezetése a területről, ilyen formán védve az elöntésektől azt.

A múlt és a jelen csapadék elvezetési gyakorlata azon alapul, hogy valamely adott paraméterekkel rendelkező városi vízgyűjtőről, a mértékadó csapadékból lefolyó vízhozam elvezetésére alkalmas csatornaszelvény mérete kerül meghatározásra. Látva azonban, hogy az elmúlt időszak statisztikai alapján egyre több és nagyobb intenzitású csapadékesemények várhatók, illetve az elvezető rendszerek növelésének fizikai korlátai vannak, ezért az elvezetéssel párhuzamosan újfajta megoldásokat is kell keresni a csapadékok visszatartásával, a lefolyás szabályozásával, azaz a csapadékvíz elvezetés mellett a városi csapadékvíz-gazdálkodás megvalósításával.

Az alkalmazkodó csapadékvíz-gazdálkodás stratégiájának, az elvezetés mellett ki kell terjednie a gazdálkodás lehetőségeinek megteremtésére is. Az ábra szemlélteti és bemutatja, hogy a különböző intenzitású és időtartamú csapadékok kezelése különböző megoldásokkal lehetséges.



Az ábra a lehulló csapadékokat kezelésük szerint mm/h dimenzióban három csoportra osztja:

Az **1. csoportot** a kisebb csapadékok alkotják, amelyek vizét a település területén tartandó, így ezek a csapadékok alkalmasak a talajvíz/talajnedvesség pótlására, vagy akár felhasználva az egyesített közcsatorna rendszerek átöblítéséhez, tisztításához. Ezt a „zöld” infrastruktúra kiépítésével érhető el. Jelen példában a csoport felső határát a ~20 mm/h intenzitású csapadékok jelentik.

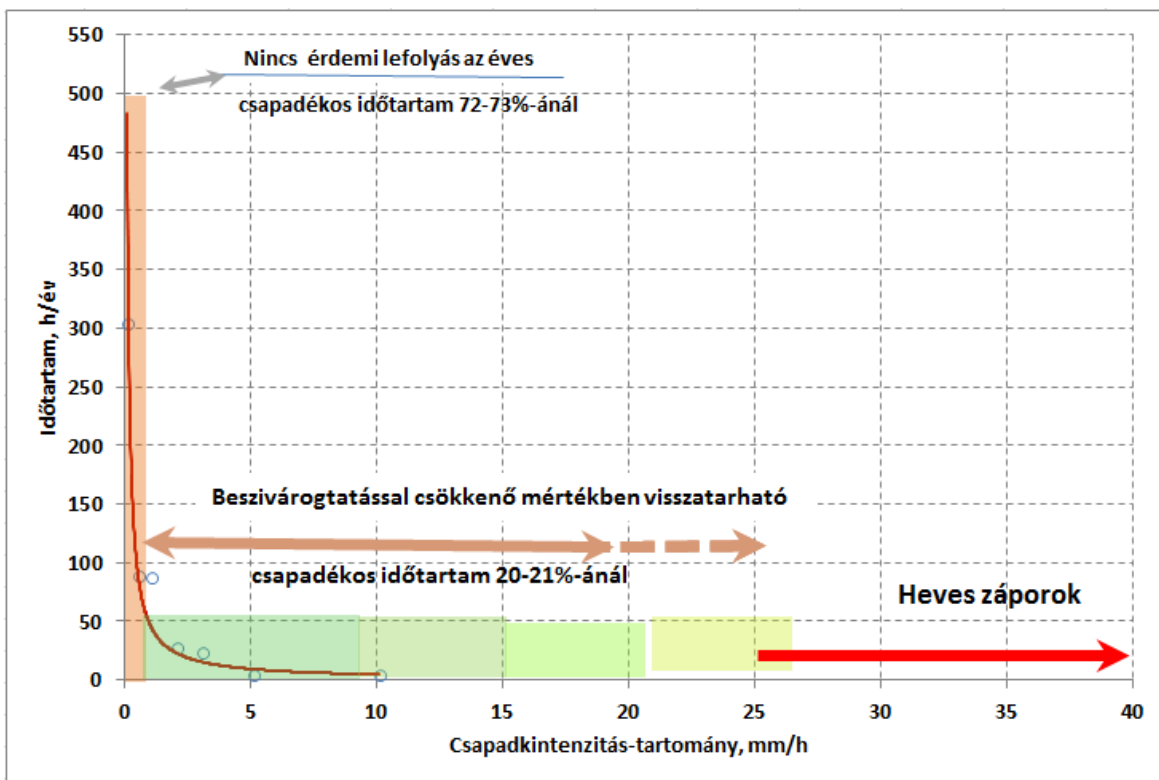
A **2. csoportba** azok a csapadékok tartoznak, ahol az elvezetés késleltetésével lehet csökkenteni az elvezető hálózat terhelését. Ebben a esetben a lefolyás szabályozása a cél a vízgyűjtőn kialakított szabályozó elemekkel, továbbá a célszerűen állandó vagy ideiglenes előntésű felszíni vízborítás mellett, esetenként a csatornahálózatban, vagy a felszín alatt kialakított tározóterekkel valósul meg az árhullámcsökkentése.

Végül a **3. csoportot** az extrém csapadékesemények képezik. Általánosságban elmondható, hogy ezen mértékű csapadékesemények során alakulnak ki a hirtelen, váratlan előntések. Az első két csoport esetében megfelelően alkalmazott lefolyás szabályozó és visszatartó eszközök képesek csökkenteni a harmadik csoport esetében jelentkező elvezetendő csapadék mennyiségét ezzel csökkentve a kiöntések kockázatát azonos elvezetési kapacitás mellett, azonban e mellett szükség lehet olyan havária kivezetésekre is, amelyek a kritikus területeket védik az előntésektől.

A következő ábrán látható, hogy az egyes csoportok és hozzá tartozó éven belüli időtartamok, hogy viszonyulnak egymáshoz. Az ábrából az is látható az évente lehulló csapadékok nagy hányada visszatartható és hasznosítható, illetve, hogy bár rövid időtartam erejéig, de jelen vannak azon nagy csapadékok is, amelyek elvezetéséről gondoskodni kell.

A korszerű városi csapadékcsatornázási rendszereknek a szélsőségesebb terheléseket (csapadékokat) is fogadni képes, azonban a csapadék helyben tartását is lehetővé tevő önszabályozónak, illetve szabályozhatónak kell lenniük. Ezen komplex megoldás ad lehetőséget a különböző intenzitású és időtartamú csapadékok megfelelő kezelésére, elvezetésére, azaz a városi csapadékvíz gazdálkodásra.

A fenti példából is látható, hogy a csapadékvíz-gazdálkodás keretében a csapadékvíz elvezető hálózatok esetében olyan egységes rendszerben kell gondolkodni, amely a vízgyűjtőn való csapadékvíz-gazdálkodással, a közbeni tározással, késleltetéssel és a megfelelő elvezető rendszer kiépítésével együttesen adja a leghatékonyabb, leggazdaságosabb, azaz összességében legkedvezőbb megoldást.



A csapadékkintenzitások átlagos éves megoszlása

4.2. Lefolyás szabályozás, visszatartás, késleltetés

A lefolyás szabályozás témaköréhez a városi vízgyűjtőn, a csapadékvíz felszíni lefolyásának megakadályozását, lassítását, késleltetését magába foglaló műszaki megoldások tartoznak. Ezen eszközök elsődlegesen a kisebb intenzitású és magasságú csapadékok esetében adnak kedvező megoldást, de hatással vannak a nagycsapadékok elöntési kockázatának csökkentésében is.

Lefolyás szabályozás célja és eredménye kettős. Egyrészt a csapadék helyben tartásával hozzájárul a városi zöldfelületek vízháztartásának javításában, másrészt elősegíti a csapadékelvezető rendszer tehermentesítését. Az elvezető hálózat védelme szempontjából a lefolyás szabályozásnak az alábbi hatása van:

- csökken a csatornába kerülő csapadékvíz mennyiség,
- a csapadék árhullám időben elnyújtásával, késleltetésével a pillanatnyi csúcsterhelések lecsökkennek.

A lefolyás szabályozása történhet a városi vízgyűjtő felületén, az elvezető árok- vagy csőhálózatban, illetve mindkettőben, egymás hatásait kiegészítve. Ennek megfelelően beszélhetünk:

- A **hagyományos rendszer alatt**, a tisztán csak a csővezetékes hálózati elemekkel kialakított azaz felszíni visszatartás, vagy hálózaton belüli késleltető, tározó elemek nélküli rendszerek értendők. Ebben az esetben a kapacitások a mértékadó csúcsterhelések alapján határozandók meg, és a rendszer feladata a csapadékvizek mielőbbi gyors elvezetése a végleges befogadó felé.
- A **szürke rendszerek**, esetében a hálózaton belül elhelyezésre kerülnek azok a tisztán mérnöki szerkezeti elemek, műtárgyak, (felszín alatti tározóterek és/vagy ideiglenes elöntésű felszíni tározóterek) amelyekkel már szabályozni lehet a csapadékeseményből keletkező hatásokat, árhullámokat, részben megvalósítva a lefolyás szabályozást. Ebben az esetben már az árhullám részleges visszatartását, tározását, a lefolyás időbeni késleltetésének hatását is figyelembe véve kell a méretezést elvégezni.

Tervezésüknél nem a csapadékvíz helyben tartása a fő szempont. Olyan műtárgyak alkalmazására kerül sor, amelyek a csatornahálózaton lefutó árhullámokat módosítják oly módon, hogy annak átépítése nélkül a rendszeres kiöntések elkerülhetők legyenek. Ide tartoznak a városi lefolyás részleges tisztítását szolgáló műtárgyak is, mint az üleptést és/vagy úszó szennyeződések (például olaj) visszatartani képes tározóterek, valamint a biológiai tisztításra is képes műmocsarak, az ún. wetland-ek.

- A **tisztán zöld szabályozási módszerek** alatt értendők azon beavatkozások, amelyek még az elvezető csatornarendszerbe való bejutás előtt avatkozik be az összegyülekezés, felszíni lefolyás szabályozás területén. Ezen elemek alkalmazása esetén a lehulló csapadék már vagy el sem jut az elvezető csatornahálózathoz a helybeni felhasználás, kezelés hatására, vagy csak jelentősen késleltetve, illetve csökkentett mennyiségben terheli az elvezető rendszert.
- A **hibrid rendszerek** ezen elemek kombinálásával alakíthatók ki. Általában nagyobb, sűrű beépítésű, történelmi városrészekben, városokban a tisztán zöldszabályozású rendszerek a beépítési és előzmény adottságok következtében már nem, vagy csak jelentős költségekkel valósíthatók meg, így itt a hibrid rendszerek kialakítását lehet célként meghatározni, úgy, hogy az adott körülményekhez igazodóan az egyes részterületeken a leghatékonyabb és leggazdaságosabb csapadék szabályozás, elvezetés legyen kialakítva.

A **zöld csapadékvíz szabályozás** elnevezés, elsősorban az angolszász szakirodalomban és gyakorlatban az alábbi, részben eltérő, részben egymást átfedő megoldásokat takarja:

- Rainwater Harvesting, **RH** (csapadékvíz gyűjtés),
- (Blue-) Green Water Infrastructure, **GW**I (kék-zöld vízi infrastruktúra),
- Low Impact Development, **LID** (csekély beavatkozásokkal járó fejlesztések),
- Sustainable Urban Water Drainage Systems, **SUDS** (fenntartható városi csapadékvíz csatornázás).

A csapadékvíz gyűjtése és felhasználása (**RH**) egy részterületre, a tetővizek gyűjtésének ősrégi alkalmazását tárgyalja modern települési környezetben, míg a zöld vízi infrastruktúra a (**GW**I) tájépítészeti, városképi, ám azok szokásos tervezési elveibe a csapadéklefolyás szempontjait is beemelő megoldásokkal foglalkozik.

A mérnöki technikák és technológiák a fenntartható városi csapadékvíz rendszerek és a csekély beavatkozást jelentő műszaki fejlesztések (**LID és a SUDS**) tárgykörébe sorolhatók. Mindkettőnek részét képezi a csapadékvíz gyűjtése is. Jellemző, hogy nem csak hidrológiai-hidraulikai tervezési és számítási módszereket tartalmaznak, de a tervezési kritériumok között megjelenik a városi vízgyűjtőkről származó szennyezőanyag transzport és a szennyezők visszatartása is.

A fenntartható komplex városi csapadékcatornázási rendszer magába foglalja mind a városi felület, mint vízgyűjtőterület átalakításával kapcsolatos intézkedéseket, műszaki elemeket, beavatkozásokat, mind az elvezető rendszer árkok, csőhálózat kiegészítő, kapcsolódó műtárgyak összességét. A komplex rendszerszemlélet és egységes kezelés alkalmazásának fő célja **a lefolyó csapadékvíz mennyiségének fenntartható módon való szabályozása**, az egyébként jelentkező kedvezőtlen környezeti hatások mérséklésével és a meglévő csapadékcatorna hálózati kapacitáskorlátok költséghatékony fejlesztésével, átalakításával. Ezen belül a felszíni vízgazdálkodás céljai:

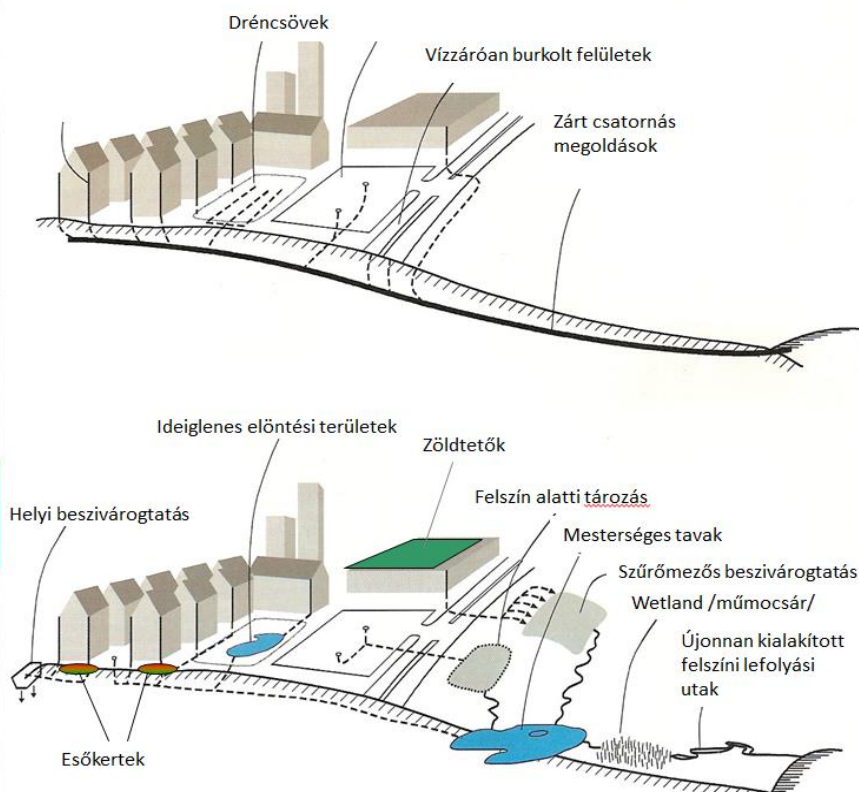
- a felszíni lefolyások csapadék és egyesített rendszerű csatornahálózatokat terhelő mennyiségének csökkentése és a városi kiöntések mértékének csökkentése,
- a városi lefolyások szennyezettségének csökkentésével a befogadó felszíni vizek minőségének védelme,
- a városi vízgyűjtőterületet átszelő vízfolyások alaphozamának növelése a talajvíz pótlásának elősegítésével,
- puffer terek létrehozása a baleseti jellegű szennyezések visszatartására,
- a városi területek esztétikájának és komfort szolgáltatásainak növelése,
- élőhelyek létrehozása a városi élővilág számára, növelve ezzel a biodiverzitást.

Fenntartható városi csapadékcsatornázás

SUDS

Szürke
/hagyományos/
megoldások

Kék-zöld
megoldások



The Interreg IVB
North Sea Region
Programme



A fenntartható városi csapadékcsatornázás főbb elemei

A fenntartható városi csapadékvíz csatornázás érdekében az alábbi folyamatok alkalmazásával szabályozhatók a felszíni lefolyások (SUDS):

- A) **Beszivárgtatás:** A beszivárgás lehetőségeinek megteremtése általában a legcélszerűbb beavatkozás a felszíni lefolyás csökkentéséhez, mivel általa kerülhetünk közelebb a városiasodás előtti, természetes állapothoz és növelhetjük a talajvíz pótlás mértékét, ami a vízfolyások alaphozamának növekedésével jár.
- B) **Visszatartás:** A felszíni és az árkokban, csatornacsövekben keletkező lefolyások, késleltetése. A műszaki megoldásokat a lefolyási útvonalakban elhelyezendő felszíni és/vagy felszín alatti tározóterek, továbbá ezen műtárgyak megfelelően méretezett kifolyási szerkezetei jelentik. A tározók működhetnek ideiglenes elöntési területekként, vagy valamely állandó vízborítású tó fölötti tározótérként. A lefutó árhullámok ellapítása, a csúcs hozamok csökkentése mellett a beszivárgtatást is szolgálhatják.
- C) **Átkötések:** Együtt elhelyezkedő vízgyűjtők, csatornarendszer között, átkötések, leválasztók kialakításával lehetőség van a csapadékvíz

kormányzására, ezzel a túlterhelt területek, befogadók tehermentesítésére. Ezek a kapcsolatok normál működés során nem szállítanak vizet, mechanikus nyitás, vagy vízszintemelkedés alapján lépnek működésbe.

D) Csapadékvíz gyűjtés: Az elnevezés a csapadékvíznek a keletkezés helyén történő visszatartása tározással. Az így felfogott vizet azután ivóvízminőséget nem igénylő háztartási vízhasználatokhoz, magánkertek és közterületi zöld területek öntözésére fordítható.

A fenntartható városi csapadékcsatornázás kialakításának sikeressége abban mérhető, hogy milyen mértékben tudja a természetes vízgyűjtő lefolyási viszonyait megközelíteni a lefolyó összes vízmennyiség, a lefolyás csúcshozama és a lemosott szennyezőanyagok visszatartása tekintetében.

A SUDS technikák alkalmazásánál a prioritás a beavatkozások mértékének és költségének minimalizálása szerint vehető fel. Ez általánosságban azt jelenti, hogy ahol lehetséges, érdemes a minél kisebb (adott esetben ingatlan méretű) vízgyűjtőknél, decentralizáltan alkalmazható megoldásokkal kezdeni a beavatkozást.

A fenti kritériumnak a **GW**I és a **LID** technikákra egyaránt megfelelnek, hiszen az erősen urbanizálódott városrészen elősegítik a beszivárgás és párolgás természetes folyamatainak legalább részbeni visszaállítását. Ez a lefolyás és az ahhoz köthető szennyezőanyag transzport módosítása mellett levegőminőség, mikroklíma és városkép javító hatást is kifejtenek.

A **LID** (csekély beavatkozással járó fejlesztések) lefolyásszabályozási megoldások alaptípusai a következők:

- 1) A lefolyási útvonalak célszerű megváltoztatása, alaphelyzetben a burkolt felületekről lefolyó vizek rávezetése burkolatlanokra. Ehhez lehetőség esetén a vízgyűjtő területhasználatának módosítása, például az áteresztő szilárd burkolatok fektetése a korábbi vízzáró helyett. A csekély beruházási költséggel jellemezhető beavatkozással, a terület talajának típusa és a talajvíz szintje függvényében az éves csapadékok akár 70%-a is visszatartható.
- 2) Beszivárogtató létesítmények kialakítása, amelyek alkalmasak nem csak a lefolyó csapadék mennyiségének, de az árhullám csúcsoknak is a csökkentésére.
- 3) Tározó létesítmények telepítése, amelyek egyaránt lehetnek egyszerű tárolótartályok, ideiglenes elöntési területek, vagy állandó vízborítású vizes élőhelyek.

- 4) Szűrő eszközök, létesítmények, a felszínről lemosódó szennyeződések felfogására, melyeknél a szennyezett lefolyást speciális anyagú, kialakítású szűrőrétegen vezetjük át a csatornahálózat, vagy a talaj-talajvíz felé. A tisztítás mellett ezek a megoldások lassítják a lefolyás sebességét, csökkentik a lefolyó vízmennyiséget és a lefolyási csúcsokat is.
- 5) Csekély beavatkozást igénylő tájépítészeti megoldások, ahol szerepet kapnak a helyi szárazságtűrő növények telepítése, fásítás, hosszabb fűvel borított lefolyási pályák kialakítása. Ezek a megoldások a lefolyás csökkentése mellett, javítják a városi környezet esztétikai megjelenését, és hosszú élettartamuk mellett csekély fenntartási munkákat igényelnek.

4.3. Gyakorlati példák a városi csapadékvízelvezető rendszerek tervezéséhez

4.3.1. Lefolyás szabályozás, visszatartás, késleltetés elemei, eszközei

A hatékony és fenttartható csapadékvíz gazdálkodás egyik fő eleme a felszíni lefolyás megváltoztatása, a gyors lefolyások lassítása és ezzel járó összegyülekezések lehetőség szerinti megnövelése. Az elvezetendő csapadékvíz mennyiségére ez a tényező van legnagyobb hatással. Ezek olyan tájépítészeti beavatkozások, amelyek közvetlenül nem tartozna a víziközmű tervezői feladati közé, viszont jelentős kihatással bírnak a tervezendő elvezető rendszer elemeire.

A lefolyás szabályozásra az alábbi lehetőségek állnak a rendelkezésre:

- Beszivárogtatás gyepes, bokros területen, ahol a víz a gyökérzet által is segítve szivárog a talajba. Ez a módszer a tetőkről, utakról lefolyó csapadékvizek szikkasztására alkalmazható.
- Teknős beszivárogtatás házsorok között.
- Beszivárogtatás nyílt árokban. A csatornafének zúzott kővel való kiépítése javít a módszer hatásfokán, de a döntő tényező a talaj vízáteresztő képessége és a talajvíz-szint mélysége a terepszint alatt.
- Bioszűrő vápák. Fűvel, vízinövényekkel beültetett mélyedések kiválóan alkalmasak a szennyezőanyagok kiszűrésére. Ezek a sekély árkok, minimális, vagy éppen nulla fenékeséssel kiváló biofilterek, és a gyökérzetnek is köszönhetően beszivárogtató hatásuk is van, ezért mennyiségi és minőségi szabályozást is jelentenek.

- Beszivárogtató tó. A tófenék vízáteresztő kell, hogy legyen. A vízszint veszélyes méretű megemelkedését a csatornahálózatra csatlakozó túlfolyó akadályozza meg. Lényeges a tófenék rendszeres kotrása, az üledék eltávolítása céljából.
- Felszín alatti szivárogtató tározás. Nagy hézagterefogatú anyaggal (pl. zúzott kővel) kitöltött, földalatti tározótér. A vízzáró felületekről ide vezetik a lefolyó vizet, ahol az tározódik, majd lassan elszivárog a talajvíz felé. Nagy porozitású talaj esetén a lefolyó vizek tározótér kiépítése nélkül, közvetlenül vezethetők a talajba.
- Lapos tetős épületeken néhány centiméteres tározás érhető el az ejtőcső szűrőkosara köré ültetett korlátozott átbocsátású gyűrű segítségével. Természetesen ehhez a tető megfelelő szigetelése szükséges.
- Az előbbinél ökológikusabb módszer a városi zöldtetők létesítésével a csapadék részleges megkötése.
- Gépkocsi parkolók tározásra történő igénybevétele megfelelő áramlásszűkítő beépítése és a terület kialakítása révén, bár ez a gépkocsik megközelítését nehezíti a tározás ideje alatt.
- Elszivárogtató burkolatok alkalmazásával csökkenthető a csatornahálózatok terhelése, valamint a talajvízháztartás növelése is megvalósulhat. Ezzel a talaj átteresztőképessége együtthatója növelhető, valamint a lefolyási tényező csökkenthető.



Homokos kavicsos
humuszos fű keverék



Nagypórusú szerkezetű
burkolóelemek



Stabilizált kavicsburkolat



Füves fugás kőburkolat
Zöldfelület: 35 %



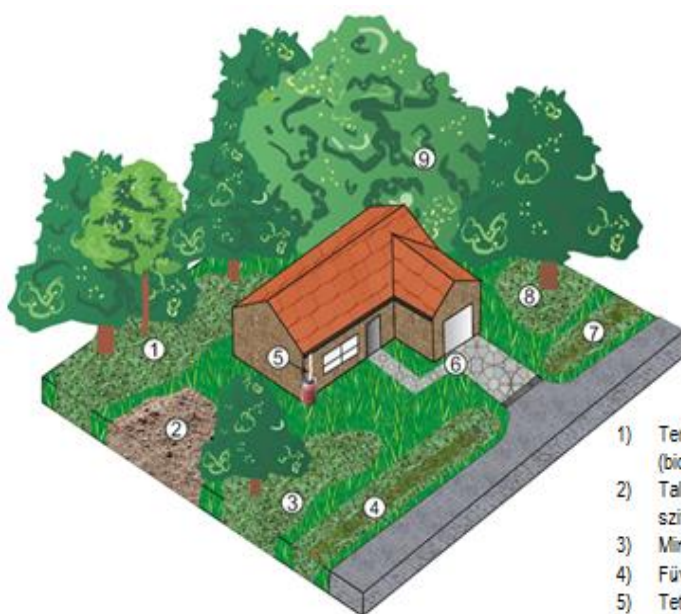
Takarékidomos
Sejtidomkő
Zöldfelület: 40%



Aprókavicsos fugás
kőburkolat

Elszivárogtató burkolatok

Családi házas területen alkalmazható megoldások:



- 1) Terepmélyedés növényzettel beültetve (bioretention/raingarden/)
- 2) Talajjavítás, talajcsere: a tömörödött és/vagy rossz szivárgási tényezőjű talaj cseréje
- 3) Mint 1.
- 4) Fűvesített árok
- 5) Tetővíztároló tartály
- 6) Ateresztő burkolattal kialakított kocsibejáró
- 7) Mint 4.
- 8) Mint 1 és 3.
- 9) A telek természetes növénytakarójának megőrzése

Laza beépítésű, vagy egyedülálló házak esetén alkalmazható megoldások:



Az esőkert mesterségesen kialakított és növényzettel beültetett mélyfelületek természetes helyi talajjal. Korlátozott kiterjedésű burkolt felületek lefolyó vizeit fogadja. Beszivárogtat és párologtat. A hozzárendelt vízgűjtő méretétől függően lehet drénezett is.

Sűrű telekkiosztás esetén alkalmazható megoldások:



- 10) A telek természetes növénytakarójának megőrzése
- 11) Áteresztő burkolattal kialakított járdák
- 12) Tetővíztároló tartály
- 13) Tetővíz elszívárogatására kialakított kavics/zúzottkő töltésű akna
- 14) A vízzáró felület nagyságának csökkentése /ha lehet az utcaszélesség csökkentésével/

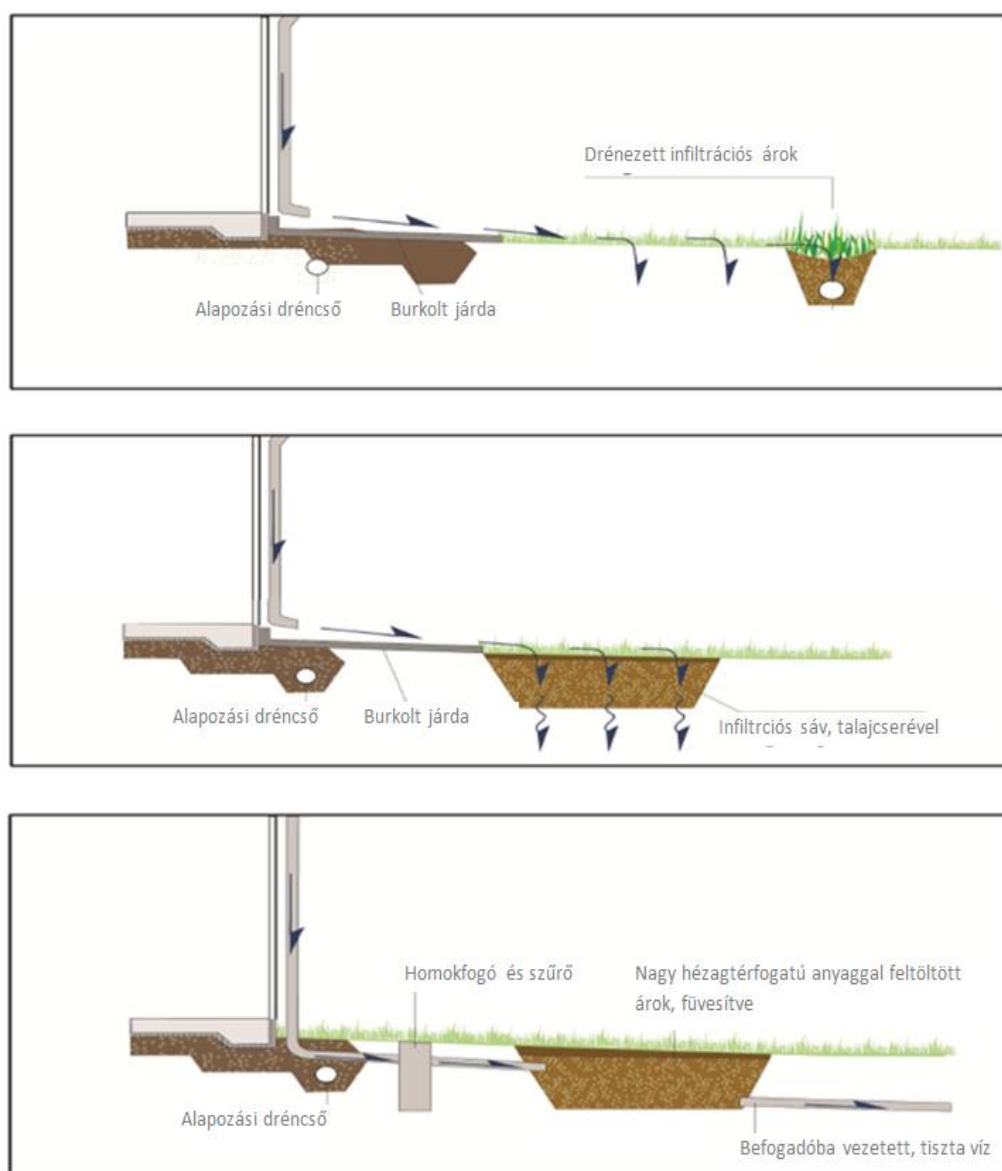


A vízzáró felületű lefolyási pálya megszakítása, beszivárgást lehetővé tevő (pl.: füvesítet felület kialakítása)

A hatékonyság növelése érdekében további lehetőségek állnak a rendelkezésre:

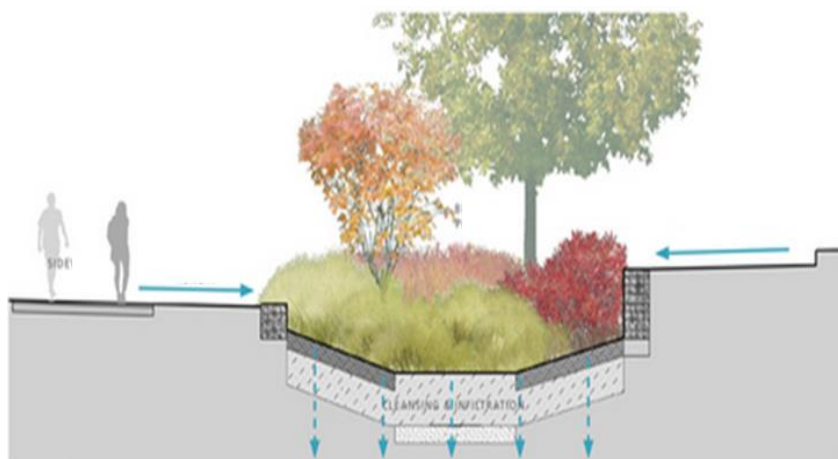
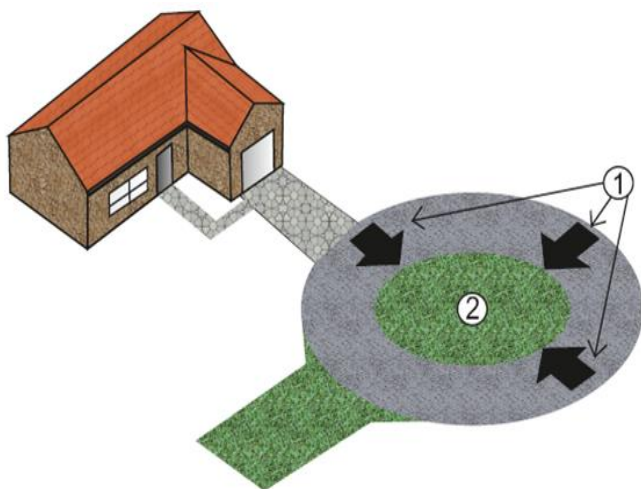
- a növényzettel beültetett terepmélyedés elhelyezése az ingatlanon, hogy a beszivárgás során megszűrődő víz pótolja a talajnedvességet/talajvizet,
- a tetővizek közvetlen bekötése a terepmélyedésekbe,
- a tartályban visszatartott víz használata az ingatlanon belül (öntözés, egyéb, nem ivóvíz minőséget igénylő vízhasználatok),
- az út menti folyóka helyettesítése a növényzettel beültetett terepmélyedések és a füvesített árkok kombinációjával,
- járdához és kocsi beállóhoz áteresztő szilárd burkolat alkalmazása.

A megszakított útvonalon különböző elszivárogtatási és/vagy továbbvezetési kialakítás lehetséges. A következői ábrák ezekre mutatnak néhány példát.

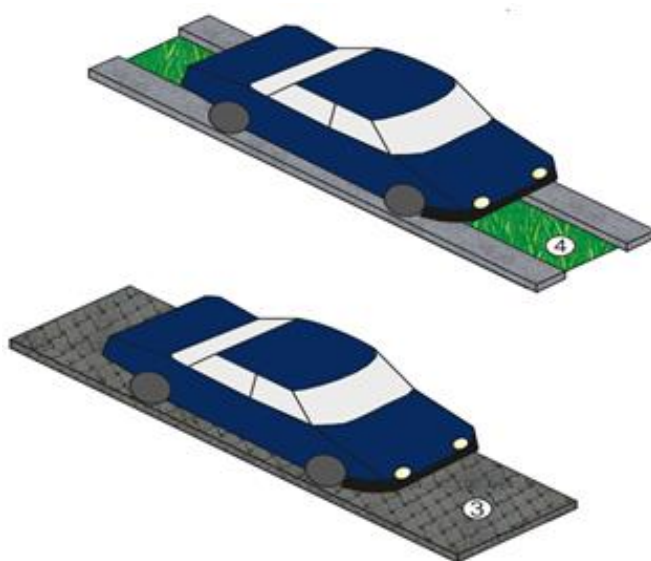


Tetőlevezetés útjának megszakításának lehetőségei

Közlekedési felületeknél alkalmazható megoldások:



A vízzáró közlekedési felületek vízének elszikkasztása helyben

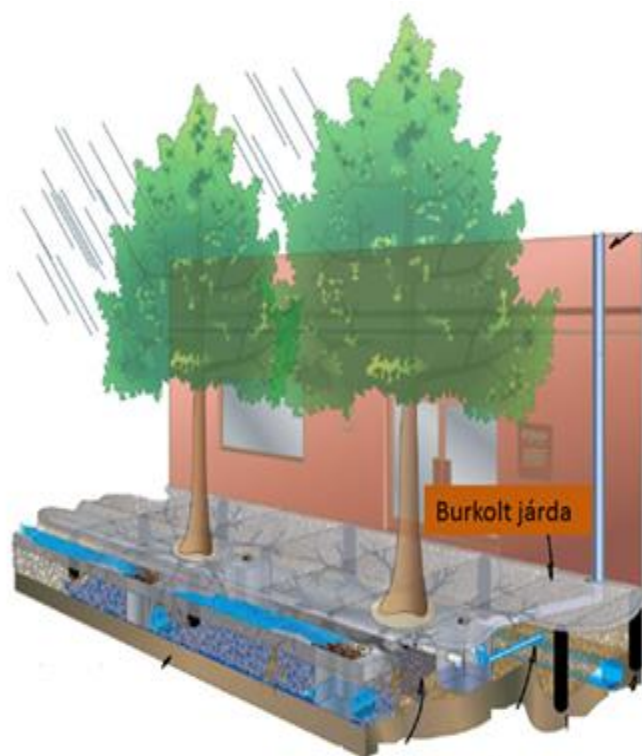


A parkolók vízáteresztő felületű kialakítása



Parkolók lefolyásának bevezetése füvesített vagy kavicsöltésű szivárogtató árkokba

Megvalósult városi példák a csapadékvíz késleltetett lefolyására, helyben tartására



Oslo, 2015, NIBIO



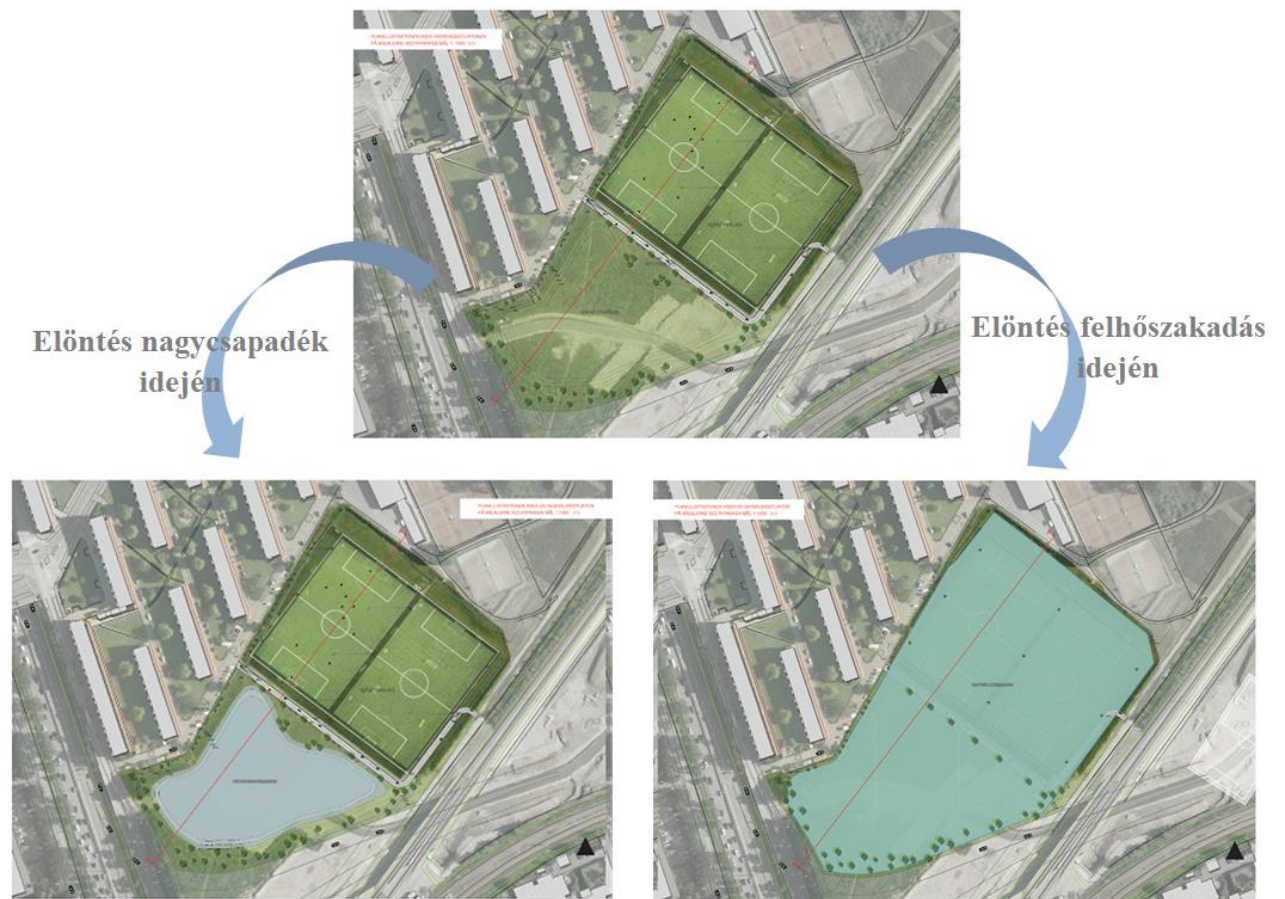


Parkoló és útfelület lefolyásának szikkasztása fásított szikkasztórendszerrel

A városi vízgyűjtő felszínét alakító, nem decentralizált kialakítási lehetőség olyan ideiglenes vagy állandó vízborítású területek kialakítása, ahol a hirtelen nagymennyiségben lehulló csapadék átmeneti tározása megoldható. Ilyenkor az adott terület általános használata a csapadékesemény időtartama alatt átmenetileg korlátozott, viszont egyéb esetekben a terület szabadon használható, betöltve eredeti rendeltetését.

Az **ideiglenes elöntési területek** alkalmazásának célja a lefolyó árhullámok csúcshozamainak csökkentése, beszivárgási többlet elérése. Vannak példák és lehetőségek egyedi helyeken, előre kijelölt területek ideiglenes elöntésre való alkalmazására megfelelő kialakítás mellett. Például kispályás focipályák, műanyag borítású tenispályák stb., melyek használata nagy esőzések idején egyébként sem szokásos és utána rövid időn belül ismét használhatóvá tehető. A leürülési időt általában 2-3 órára választva a területhasználat tényleges zavarása elhanyagolható. Az alkalmazáskor, méretezéskor tekintettel kell lenni arra, hogy az elöntések gyakorisága éves szinten két-három alkalomnál ne legyen több.

Ezekkel a megoldásokkal a szabályozni lehet az elöntési területet, olyan helyre irányítva a csapadékot, ahol az akadályoztatás, károkozás minimális ezzel védve értékeesebb területeket.



Példa, focipálya mint ideiglenes elöntési területre

További megoldás a zöldterületek elvezető rendszereinek olyan kialakítása, ahol az elvezetés mellett jelentősebb térfogatú csapadékvíz tározható be a felszínen, zöldfelületeken, parkokban. Erre mutatnak példát az alábbi megoldások:



Példa, ideiglenes elöntésű zöld terület, park kialakítására

A lefolyás szabályozása mellett tájképző elemként, rekreációs vagy látvány tóként is a városi tájképbe illeszthetők, mint **állandó vízborítású felületek**, amelyek a vízszint változás mellett képesek ideiglenes tározásra.

A szokásos kialakításuk különbözik a wetland-ektől (műmocsaraktól), amennyiben a vízmélység azokénál nagyobb. A víz megtartása érdekében adott esetben vízzáró szigetelésre van szükség.



Példák, állandó vízborítású felületekre

A beszivárogtató cellák mintájára, de a tetőkön is kialakíthatók a lefolyást szabályozó késleltető felületek. Ezeket egységesen **zöldtető** felületnek nevezik. A talaj vastagsága és a telepített növényzet jellege szerint intenzív (folyamatos aktív emberi használat, pl.: pihenőkert funkció) és extenzív (csak növénytelepítés, gondozással) zöldtetők lehetnek. A tetőfelületekről származó lefolyások mennyiségének és a lefolyó csúcshozamnak a csökkentését szolgálják. Egyéb járulékos hasznuk a lokális klíma, a levegőminőség és az épületek hőszigetelésének jelentős javításában jelentkeznek.



Példák, zöldtetős kialakításra

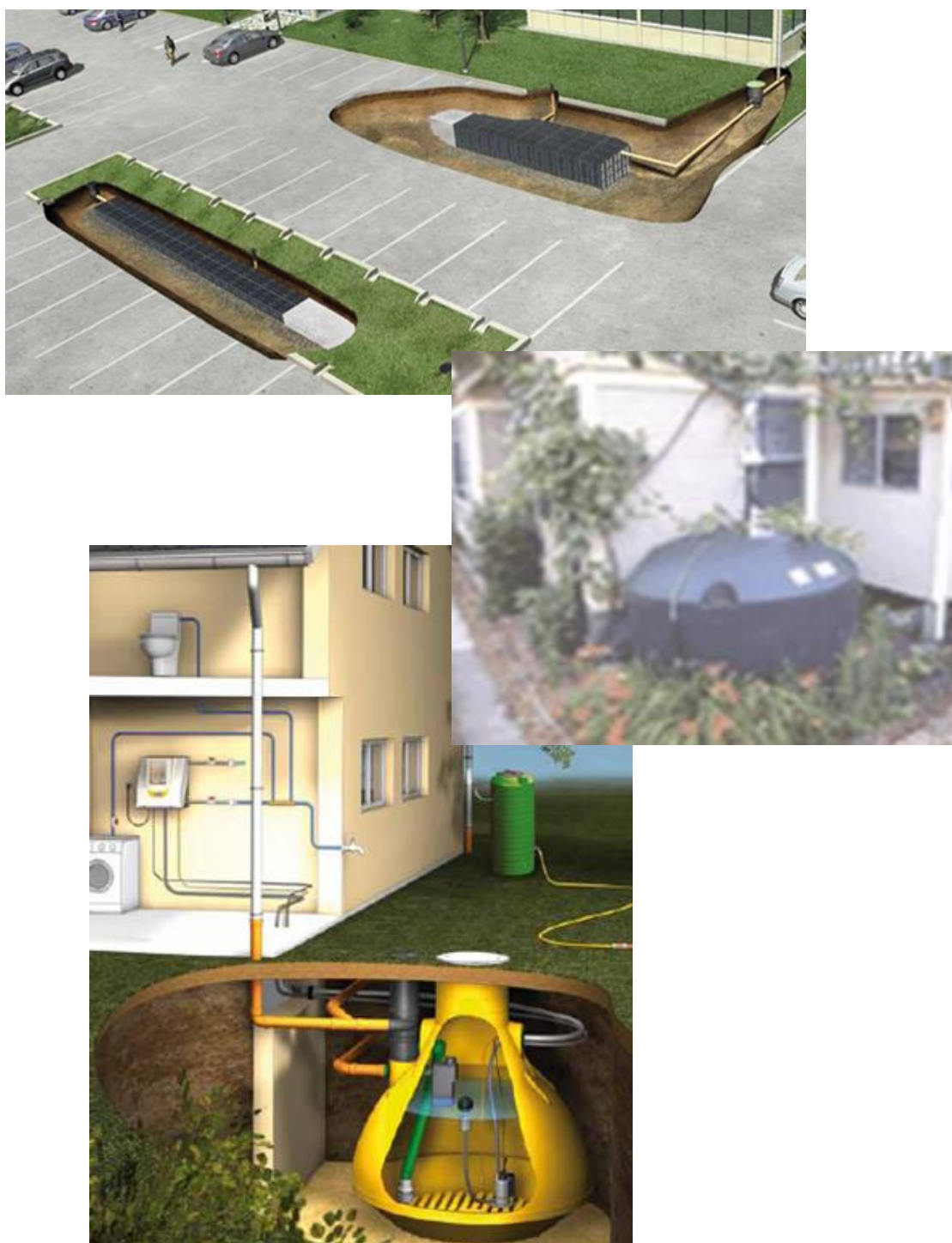
További lehetőség a tetővíz és burkolt felületi lefolyások visszatartása **felszín alatti tárolókkal**. Az ilyen tárolók kialakításuktól függően a csapadékvíz nem ivóvíz minőséget igénylő hasznosítását is lehetővé teszik, és/vagy beszivárogtatással segítik a talajvíz utánpótlását. A lefolyás szabályozása mellett lehetőséget nyújtanak a felszín szabad, például parkolós hasznosítására is.

A fellelhető műszaki megoldások általában nem tartalmaznak bonyolult betonműtárgyakat. Egyedi megtervezésük és kivitelezésük viszonylag egyszerű. Jellemzőjük, hogy az alkalmazás célszerűsége, lehetősége erősen függ a lokális környezeti (talaj, talajvíz és lejtésviszonyok), a területhasználati körülményektől. Ebből következően a szokásos csatornázási tervezéseknél nagyobb az adatigényük és a sikeres beavatkozás komolyabb tervezői munkát és legalább két szakterület együttműködését igényli, nevezetesen az építőmérnök mellett a tájépítészét.

Jellemző továbbá, hogy ha csak egy-egy helyszínen történik a beavatkozás, a csatornahálózatra és a vízháztartásra is csak korlátozott hatása. Ha azonban egy nagyobb települési térségre következetesen alkalmazzák, például a tetővizek tározását és helybeni hasznosítását vagy beszivárogtatását, jelentősen mérsékelhető az elvezető

rendszer hidraulikai terhelése és például elkerülhető az elvezető hálózat kapacitásbővítése.

További előny, hogy az ilyen típusú beavatkozások a települési, csapadékvízzel szállított szennyezőanyag áramokat is mérséklék és növelik a település szélsőséges csapadékeseményekhez való alkalmazkodási képességét.



Példák terep alatti tározótérfogat kialakítására

Az elválasztott rendszerű csapadécsatornák esetében egyre inkább előtérbe kerül részben az árhullámok csökkentése, részben a későbbi utóhasznosíthatóság (pl.: locsolás, tűzivíz, öblítővíz) érdekében a csatornahálózaton, vagy annak közvetlen környezetében elhelyezkedő **tározó kialakítása**. Ezekben az esetekben a csapadékvíz tározása hosszabb ideig történik függően az elvezető kapacitástól, illetve a csapadékvíz felhasználásától. Azonban gondoskodni kell a tározó felügyeletéről, karbantartásáról és a tározott csapadékvíz mennyiségének ellenőrzéséről. A tározót időszakosan, vagy nagyobb csapadékeseményeket követően az esetleges hordaléktól mentesíteni kell, illetve a tározót a kiürítéssel fel kell készíteni a következő csapadék fogadására.

Az egyesített rendszerű csatornahálózatokban, a tározás csak megfelelő kialakítás mellett és átmeneti, árhullám csökkentő célból lehetséges. A tározókat átfolyó (in-line), vagy mellékáramban (off-line) lehet elhelyezni. Törekedni kell arra, hogy a tározóba a leválasztón keresztül erősen hígított (a leválasztott keverékszennyvíz szennyezőanyag koncentrációja a lehető legkisebb legyen), és mechanikai szennyeződésektől mentes (pl: rácsléválasztás) legyen, csökkentve ezzel az átmeneti, rövid idejű (2-3 órás) tározás alatt is a vízminőség romlás, berothadás kockázatát. Ezeket a tározókat az árhullámok elvonulásával, illetve rendszeresen ellenőrizni, tisztítani kell.

Üzemelésük szerint lehetnek:

- **Egyszerű árhullám módosító átfolyásos tározók**, egy vagy több becsatlakozó csatornával, de csak egyetlen kivezetéssel a hálózatban alatta fekvő záporkiömlő/szennyvíztisztító telep felé.
- **Túlfolyásos tározók**, amelyek magukba foglalják a záporkiömlőt is, és két kivezetésük van, melyekből az egyik ülepített keverékszennyvizet enged a befogadóba, a másik pedig a többi vizet és a kiülepedett szennyezőket a szennyvíztisztító telepre.
- **Ülepítő tározó**, ami nem a hálózat valamely közbenső pontján, hanem a záporkiömlő csatorna végpontján található, szerepe a túlfolyó keverékszennyvíz durva, mechanikai (ülepítéses) tisztítása.

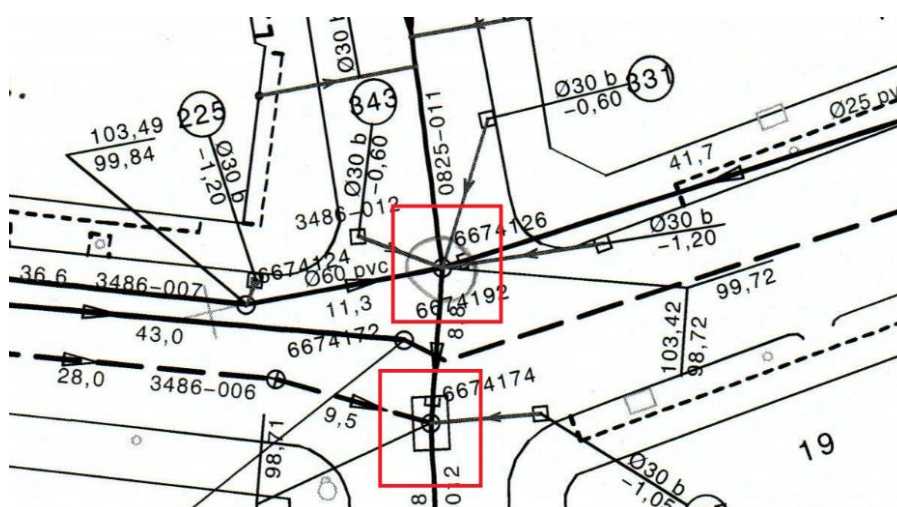
Megjegyzendő továbbá, hogy a lefolyás szabályozására késleltetésre a tározók építése mellett ma már rendelkezésre állnak olyan a meglévő csatornába beépíthető eszközök, amelyek a hálózaton belüli lefolyást automatikusan szabályozzák, késleltetik, megakadályozva ezzel a hirtelen összegyülekezést. Ezek megfelelő alkalmazásával, beépítésével a hálózaton belül lehet olyan visszatartásokat késleltetéseket beépíteni, ami kihasználja a rendszerben meglévő tározókapacitásokat és egyenletes elvezetést biztosít ezzel megakadályozva az esetleges elöntéseket. Fontos, hogy ezen eszközöket csak megfelelő méretezés, vizsgálat alapján lehet a rendszerekbe beépíteni.

4.3.2. Csapadékvíz elvezetés gyorsítása

Mint ahogy az az előzőekben ismertetésre került, a csapadék visszatartás, lefolyás késleltetés mellett a nagy, extrém intenzitású csapadékok esetén azok gyors elvezetését kell biztosítani az elöntési kockázat csökkentése, és a csapadékvíz okozta károk minimalizálása érdekében. Ennek érdekében egyrészt a meglévő hálózaton fel kell tárni azon helyi szűkületeket, amelyek visszaduzzasztásokat okozhatnak, másrészt ki kell építeni azon hálózati elemeket, tehermentesítőket, kiömlőket, amelyek megteremtik az érkező árhullám gyors (bypass) elvezethetőségét.

A lefolyás gyorsításához kapcsolódó feladat a rendszer közbenső- és végátemelőinek megfelelő kapacitásának kiépítése. A közbenső átemelők esetében az átemelő kapacitásának meg kell felelni az érkező terhelésnek, illetve a kapcsolódó nyomóvezetéknek is képesnek kell lenni az elvezetésre. A végátemelőknél a befogadó felé biztosítani kell a maximális elvezetési kapacitást, a megfelelő nagyságú és üzembiztonságú beépített üzemi és tartalék kapacitással.

Rossz hidraulikájú, nagy helyi ellenállást jelentő kedvezőtlen csomópontok jelentős helyi akadályt, szűkületet jelentenek a hálózaton, ezek átalakítása szükséges. Gyakori eset, hogy a közlekedési beruházások helyszűke következtében, vagy az építési költségek elégtelensége okán a nagyatmérőjű csatornák csatlakozó műtárgyai hidraulikailag elégtelenül kerültek megépítésre. Például nagy átmérők esetében „trombita csatlakozások” építése helyett direkt merőleges rákötéssel épül ki a csatlakozás. A rosszul kivitelezett csomópontok sok esetben a tervezett és újonnan megépített szelvény működési zavarain kívül még a fogadócsatornában is jelentős feliszapolódásokat esetleg elöntéseket okozhatnak, pangó víz, zsírosodás léphet fel.



Példa hidraulikailag kedvezőtlen kialakítású csatlakozásra



Példa hidraulikailag kedvező kialakítású csatlakozásra

A csatorna hálózat vízelvezető képességét, a lefolyás gyorsítását azzal is lehet növelni, hogy a hálózat megfelelően kijelölt (mértékadó) pontjain mennyiségmérők kerülnek beépítésre, figyelve a hálózaton érkező vízmennyiséget. A beérkező jelzések, automatikusan átállítják, előkészítik a vízkormányzásra alkalmas csomópontokat, illetve az érintett szivattyútelepet a többletvizek fogadására. (Pl. megfelelő vízkormányzás kialakítása, rácsok gyorsított üzemre állítása, szivattyú indítási szintek átállítása, kezelőszemélyzet figyelmeztetése). A rendszer további fejlesztési lehetősége, amikor már a meteorológiai előrejelzéssel egybekapcsolva történik az előrejelzés és a hálózat felkészítése a várható többletvizek fogadására és annak hatékony elvezetésére.

4.3.3. Víznyelők szerepe a csapadékvízvezetésben

A felszínen lefolyó csapadékvíz és az elvezető csatornahálózat közötti kapcsolatot a víznyelők biztosítják. Ahhoz, hogy a megfelelően kiépített csatornahálózatba be is jusson a víz fontos a megfelelő víznyelő kialakítás. A nem megfelelően elhelyezett és kialakított víznyelők esetében, illetve a víznyelők felszíni szennyeződéstől, hordaléktól való eltömődésének következtében nem, vagy csak jelentősen csökkentve jut a csapadékvíz az elvezető csatornába.

A problémák megoldására a műszaki fejlesztések és széleskörű típusválasztási lehetőség következtében mára már rendelkezésre állnak azon műszaki kialakítások, amelyek következetes alkalmazásával a probléma megszüntethető. A tervezéskor az adott körülmények figyelembevételével az adott helyszínre legkedvezőbb megoldást kell kiválasztani.

A hegyvidéki területekről lezúduló víz esetében szintén nem megfelelőek a hagyományos kialakítású víznyelők. A hegyvidéki utakon lefolyó víz felgyorsul, ezért a hagyományos víznyelőkön átszalad, a víznyelő az elméletileg elnyelni képes víz töredékét vezeti el.



Példa keresztirányú rács beépítésére hegyvidéki területen

4.3.4. Az ingatlanok védelme városi környezetben

Amennyiben a térszín alatti vizes helyiség kerül kialakításra, akkor szükséges annak műszaki védelme. Az ingatlan védelme az ingatlan tulajdonos kötelezettsége, azonban a tervezés során ezt vizsgálni kell, illetve fel kell rá hívni a figyelmet.

Az ingatlanra, az ingatlanon elhelyezkedő épület mélyen fekvő helységeibe a víz a csatornahálózaton keresztül visszaáramlással vagy a felszínről előntéssel juthat be. Ennek megfelelően kell a védekezésre is felkészülni, az előntés megelőzéséről gondoskodni.

A csatornahálózathoz, - elsődlegesen egyesített rendszerek esetén -, a bekötésen való visszaáramlásból származó elöntés elleni védelem egyik alap követelménye, hogy amennyiben olyan helyiségből, vagy azon keresztül történik a kivezetés, ami a terepszint alatt van, mindenképpen gondoskodni kell a visszaáramlást megakadályozó kialakításról, szerelvényről.

Nyugat-Európai országokban (pl.: Németország) gyakorlat, hogy térszín alatti helyiségek esetében a vízelvezetést kizárólag kényszeráramoltatással, átemelő közbeiktatásával szabad csak megoldani, így a visszaáramlást az átemelő szivattyúval együtt beépülő gépészeti szerelvények teljes biztonsággal megakadályozzák. További biztonságot jelent, ha a bekötés nyomóvezetéke olyan magassági kialakítás épül be (csőlíra), ami fizikailag meggátolja a gravitációs visszaáramlást.

Amenyiben nem történik meg a teljes fizikai megszakítás a köztes átemelő beépítésével, a visszaáramlást gátló szerelvényt kell alkalmazni. A „visszacsapó szelepek” az ingatlan irányából kifelé folyó vizet átengedik, de a visszafelé történő áramlást a beépített gumitömítéssel rendelkező billenő lap gátolja.



Visszacsapó szelep működése

A visszaáramlás gátló szerkezetek beépítésénél gondosan meg kell megválasztani a beépítési pontot, úgy, hogy az ingatlan csapadékvizei ne okozhasson elöntést. Ha a visszaáramlás gátló szerkezet mögötti házcscatornára csapadékvíz elvezető csatornák is csatlakoznak, akkor az ingatlanról elvezetendő csapadékvíz sem tud a csatornába folyni, így az ingatlan területén fog a saját csapadékvíz elöntést okozni. A védelem szakszerűtlen kialakítása számos káresemény forrása lehet.

Az ingatlanok, épületek másik tipikus elöntési módja, amikor a közterületen felhalmozódó csapadékvíz, önti el az ingatlant és a nem megfelelően kialakított vagy záródó nyílászárón (ajtó, alagsori pinceablak) keresztül a mélyen fekvő helyiségek víz alá kerülnek.



Példa külső elöntésre

Ezen esetek ellen a közterületi, felszín helyes kialakításával, valamint a megfelelő csapadékvízelvezetéssel lehet védekezni. Az is fontos, hogy egy adott szakaszon nem elég egy ingatlan bevédése, mivel a helytelen bevédés vagy elvezetés egy másik korábban nem veszélyeztetett ingatlan elöntéséhez vezethet.

5. Csapadékvízvezetés tervezés – modellezés alapjai

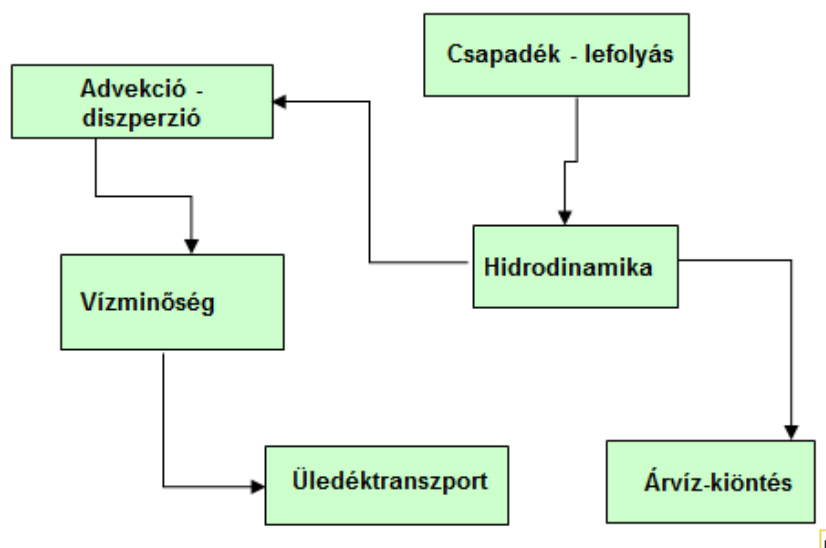
5.1. Csapadékvíz lefolyás szimulációja, modellezése

Összetett és nagy kiterjedésű városok esetében (mint például Budapest) a csapadékelvezető rendszerek fejlesztésének elmaradhatatlan eszköze a rendszer szimulációs vizsgálata, a modellezés. A teljes rendszerben lejárló folyamatok vizsgálata, a hatékony beavatkozások meghatározása dinamikus számítógépes szimulációs szoftverek alkalmazását igénylik, ahhoz, hogy a csapadékvíz gazdálkodás létesítményeinek együttes hatását lehessen számítani.

Ezzel mára már egy olyan eszköz használatára van lehetőség, amivel városfejlesztési és csatornázási elképzeléseket megbízhatóan lehet tesztelni, és ki lehet választani a legkedvezőbb megoldást.

A számítógépen futtatható szimulációs modellek moduláris felépítésűek. Az egyes modulok a valós folyamatok matematikai reprezentációi. A leíró egyenletrendszerek egy része parciális differenciál egyenletekből áll, amelyeket valamely numerikus módszerrel oldunk meg.

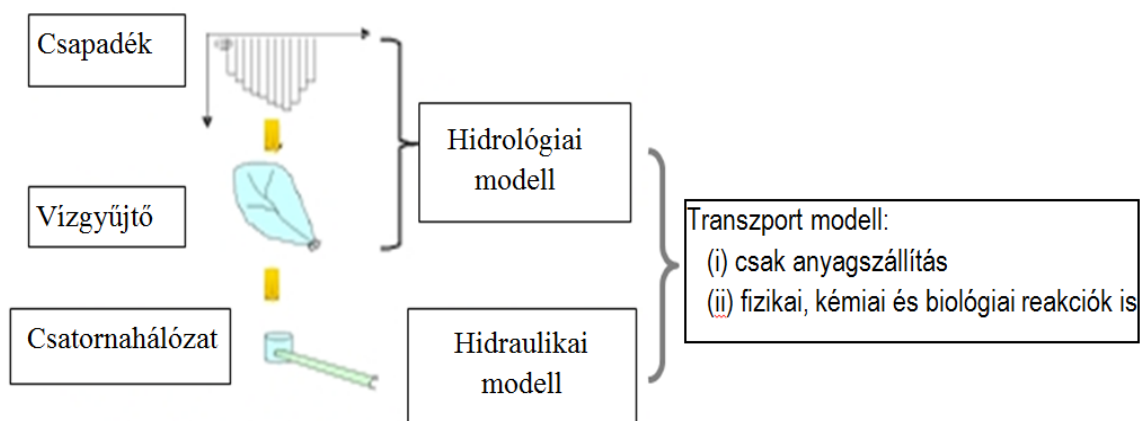
A modellek felépítését a következő ábra szemlélteti:



A szimulációs szoftverek moduláris felépítése

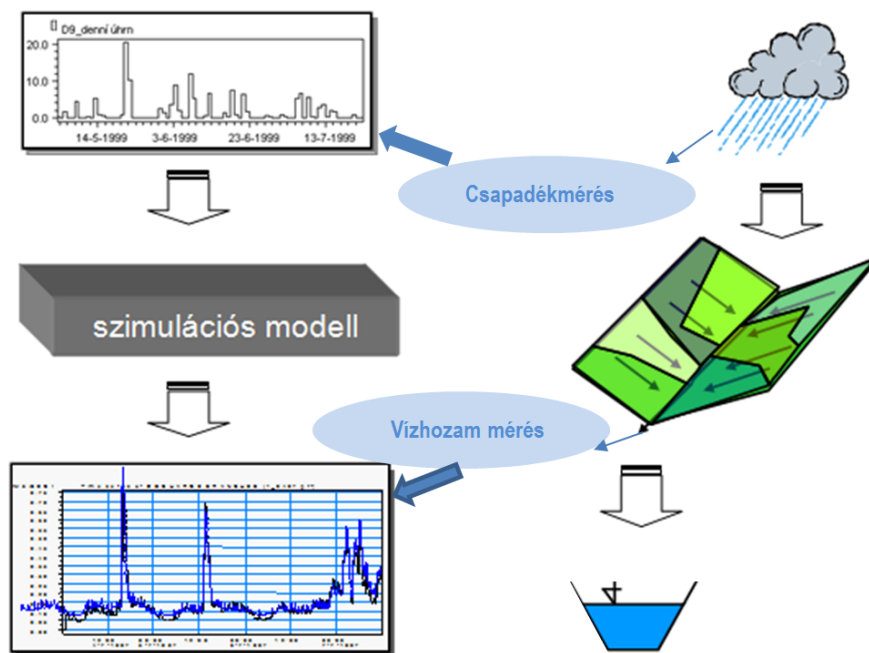
A teljes csatornázási rendszer szimulációja három folyamat-típus modellezésének összekapcsolásából áll. A korszerű hidrológiai és hidraulikai modelleket, ha a víz

(szennyvíz) minőségének változásáról, a befogadó, vagy a szennyvíztisztító telep szennyezőanyag terheléséről is ismeretekre van szükség, a transzport modell egészíti ki (lásd alábbi ábra). A modellek osztott paraméterűek, ennek megfelelően a folyamatok időben változó eredményei a rendszer topológiájához rendelt tetszőleges térbeli pontokban állnak rendelkezésre.



A szimulációs szoftverek hidrológiai, hidraulikai és transzport blokkjainak kapcsolódása

A monitoring program egyidejű csapadék és csatornahálózati méréseket tartalmaz. Elvi felépítését az alábbi ábra mutatja.



A monitoring eredményeinek felhasználása

A monitoring program végrehajtása a szimulációs modellekkel történő feladatoknál két fő célt szolgál:

- terhelési, bemenő adatok megszerzése a szimulációs modellhez (szenny- és idegenvíz hozamok, esetleg a szennyvíz és a befogadó egyes szennyezőanyagainak koncentrációi),
- adatszerzés a szimulációs modell kalibrálásához és verifikálásához (csapadékok, hozamok, szintek és koncentrációk).

A monitoring program indítását megelőzi a tervezés, amiben szükséges rögzíteni a mérendő paramétereket, a mérési helyeket, a mérés időtartamát, vagy azt, hogy a program addig tart, amíg minden releváns lefolyási (terhelési) állapot elő nem fordul. Utóbbira gyakran van szükség a csapadék és az egyesített rendszerű hálózatoknál.

Megjegyzendő, hogy a szimuláció miatt létrehozott adatbázis a hálózat üzemeltetését, karbantartását is szolgálja, tehát az adatbázisra fordított költségek hasznosulása többszörös lesz. Az adatok egy meghatározó csoportját a modellezést megelőző monitoring program során keletkeznek. Ez elengedhetetlen lépés a megfelelő, kalibrált modell felépítéséhez.

A szimulációs szoftverek nagy mennyiségű információt szolgáltatnak a modellezett rendszerről. Ezek az információk nagymértékben kitágítják az üzemeltető lehetőségeit abban, hogy különböző műszaki megoldások következményeit megismerje, értékelje, és szükség esetén módosítsa mindaddig, amíg a rendszer viselkedése a kívánt jellemzőket nem mutatja. A szimulációs módszer alkalmas a csapadékvíz-gazdálkodási rendszer megtervezéséhez is, mert képes mindazon folyamatok számítására, amelyeket az ilyen rendszereknél elengedhetetlen.

A modellezés segítségével a valós beruházáshoz képest csekély költséggel számíthatók az elképzelések csatornázási, csapadékvíz-elvezetési következményei, az eredmények értékelhetők és az eredeti tervek módosíthatók, mielőtt a kiépítést követően, sokkal drágábban utólagos beruházásokra lenne szükség.

Új területek beépítése a vízgyűjtő hidrológiai jellemzőinek változásával jár. Az új burkolt felületek megjelenése kapacitáshiányt, a meglévő csatornarendszer kibővítési igényét is okozhatja a megnövekvő lefolyások miatt. Előzetesen vizsgálható, hogy a beépítés milyen módosításaival kerülhető el a járulékos többletberuházás. A végeredmény jelentős, utólagos, kármentés jellegű beruházási megtakarítás, ami akár nagyságrendekkel is nagyobb lehet a rendszer előzetes szimulációs elemzésének költségeinél.

5.2. Fogalom meghatározások

A valóságos csatorna hálózatot matematikai, hidrodinamikai és számítástechnikai eszközökkel helyettesítő rendszer, ami az adott mérnöki cél szempontjából lényeges tulajdonságokkal rendelkezik, elegendő részletességgel és pontossággal képes leírni a valóságos hálózat működését.

A valóság helyettesítése azért szükséges, mert a valóság pontos mását egyrészt lehetetlen elkészíteni, másrészt az adott cél eléréséhez az egyszerűsített rendszer kezelhetőbb. A helyettesítés egyszerűsítést is jelent, azaz csak a lényeges tulajdonságokat kell megtartani, a célhoz nem szükséges tulajdonságok elhagyhatók.

A helyettesítő rendszer felépítéséhez matematikai és numerikus módszereket szokás használni, azaz gráfokat, mátrixokat, differenciál egyenletrendszereket és azok numerikus megoldását. A hidrodinamikai folyamatok leírása jelenleg a Saint Venant egyenletekkel általánosan elfogadott. Ez a folytonossági és mozgásmennyiség megmaradási egyenletek felírását jelenti minden vezeték szakaszra. A számítógépek számítási teljesítményének és a programozási nyelvek hatékonyságának fejlődése lehetővé teszi az egyenletrendszerek gyors megoldását nagyobb hálózatok esetén is. Ebben az összefüggésben is kiemelendő, hogy a szoftver is csak egy eszköz a modellezésben. A változatos elérhetőségű és különböző felhasználói felületű szimulációs programok a használhatóságban természetesen különbözhetnek, de az alapvető matematikai és hidrodinamikai hátterük nagyon hasonló.

Ha a felépített rendszer az adott cél szempontjából nem képes helyettesíteni a valóságos csatorna hálózatot, akkor nem megfelelő a modell. Azaz a mérnöki feladat szempontjából más és más csatorna hálózati modell lehet megfelelő. Nem feltétlenül ugyanazt a modellt kell elkészíteni és használni nyilvántartási, tervezési, üzemeltetési, rekonstrukciós vagy más feladatokra. Természetesen lehetséges és praktikus is lehet egy modell létrehozása és folyamatos karbantartása.

A különböző mérnöki célokhoz különböző részletességet is hozzá lehet rendelni. Nem feltétlenül szükséges minden egyes víznyelő és annak vízgyűjtőjének beépítése a modellbe nagyobb terület vizsgálata esetén. Azonos szelvényméret és lejtés esetén csatornaszakaszok összevonhatók, ha helyi felszíni elöntések nem várhatók vagy nem vizsgálandók.

A pontossági cél is meghatározó a modell elkészítésekor. A modell pontosságát egy bizonyos pontig érdemes növelni a kalibráláshoz használt mérések számával. Szintén pontosabb számítást lehet elérni pl. több részvízgyűjtőre osztással vagy több

felszínborítottsági kategória alkalmazásával. Csak nagyon kivételes esetben lehet a kalibrálást elhagyni, mert ezzel a pontosság jelentősen csökken.

Jogszályi háttér

A modellezés jogszályi háttérét a MSZ EN 752-4:2000 magyar nyelvű visszavont és a MSZ EN 16933-2:2018 angol nyelvű érvényes szabványok jelentik. A 752-4:2000 települések vízelvezető rendszereinek hidraulikai méretezéséről szóló szabvány "D" melléklete a lefolyásszimulációs eljárás kiválasztásáról szól. A lefolyásszimulációs eljárásokat 3 csoportba sorolja:

- Egyszerű tapasztalati eljárások (egyenletes és stacioner)
- Hidrológiai eljárások (változó és stacioner)
- Hidrodinamikai eljárások (változó és instacioner)

A felszíni lefolyást számítását 2 csoportba sorolja:

- egyszerű (pl. racionális módszer)
- részletes

A D1. táblázat tájékoztatást ad a felszíni lefolyás és a vezetékben áramlás számítási kombinációinak alkalmazási területéről:

Alkalmazási terület	Eljárás		
	Egyszerű tapasztalati eljárások	Hidrológiai eljárások	Hidrodinamikai eljárások
Kis vízelvezető rendszerek méretezése	E	E	*
Nagy vízelvezető rendszerek méretezése	–	E	*
Az előntési gyakoriság ellenőrzés	–	–	E vagy R
Meglévő rendszer ellenőrzése	–	E vagy R	E vagy R
Záporkiömlők és bevezetések tervezése	–	E vagy R	E vagy R
Vízminőségi hatás a befogadóra	–	E	E vagy R
Mennyiségi hatás a befogadóra	–	E	E vagy R
Valós idejű rendszerellenőrzés	–	E vagy R	*
Megjegyzések: E: a felszíni lefolyást egyszerűen veszi figyelembe R: a felszíni lefolyást részletesen figyelembe veszi –: Nem alkalmazható *: Általában nem ajánlott			

A MSZ EN 752:2008 angol nyelvű, visszavont szabvány a MSZ EN 752-4:2000 verzióhoz képest már szakszerűbben részletezte a hidrodinamikai folyamatok jelenleg is legpontosabb leírását adó Saint Venant egyenleteket. Parciális differenciál egyenletrendszerek írják le a fokozatosan változó, nem permanens folyadékmozgást zárt vagy nyitott szelvényben. Az egyenletrendszer egyik csoportja az anyagmegmaradáson, a másik csoportja a mozgási energia megmaradáson alapszik. Az alkalmazás és az áramlási viszonyok függvényében különböző szintjei lehetnek a Saint Venant egyenletek egyszerűsítésének attól függően, hogy a Saint Venant mozgási energia egyenletek mely tagjait hagyjuk el.

Az MSZ EN 752:2017 angol nyelvű, jelenleg is érvényes szabványból már kikerültek a csatorna hálózat hidraulikai számítására vonatkozó részek és erről egy külön szabvány szól. Az MSZ EN 16933-2:2018 „Hidraulikai tervezés”-ről szóló angol nyelvű, jelenleg érvényes szabvány a modellezés részről már nem sok újdonságot adott. Az áramlás szimulációs módszerek csoportosítása szakszerűbb lett:

- egyszerű/tapasztalati módszerek (térben és időben is állandó, összegyülekezési időn és teltszelvényű áramláson alapuló, kis tervezési területekre alkalmazható)
- más egyszerűsített módszerek (térben, időben változó, késleltetést és vezetékekben tározódást figyelembe vevő, a Saint Venant egyenletek különböző tagjainak elhagyásával, meglévő rendszerek és hosszú csapadék idősorok esetén alkalmazható)
- dinamikus hullám módszerek (térben és időben is változó, visszaduzzasztást és nyomás alá kerülést is szimulálni képes, teljes Saint Venant egyenletekkel számoló, előntésekre is alkalmazható)

Az alkalmazhatósági szabályok részletesen szerepelnek továbbra is a régi szabvány D1 táblázatával megegyezően.

A jelenleg használatos hidraulikai-hidrodinamikai számítási módszerek az ismertetett szabványok meghatározásait kiegészítve, pontosítva:

- racionális módszer: időben és térben is állandó, nincs hullámterjedés
- kinematikus hullám: csak a fenék lejtési és súrlódási tag meghagyása, hullámterjedés csak lefelé van, nem számolható visszaduzzasztás, ellapulás
- diffúziós hullám: a nyomásváltozási tag meghagyásával már számolható ellapulás is
- dinamikus hullám: időben is változó, azaz a konvektív gyorsulási és a helyi gyorsulási tagok meghagyásával nyomás alá kerülés, visszaduzzasztás és gyorsabb ellapulás is számolható

5.3. A modellezés lépései

A modellezési lépések általános esetben a következők:

1. Mérések
2. Kalibrálatlan modell felépítése
3. Érzékenységvizsgálat
4. Kalibrálás
5. Validálás
6. Modell szimulációk

A mérések és a modell építése általában párhuzamosan folyhat, bár a mérések általában több időt vesznek igénybe, ezért érdemes azokat időben elkezdni. A modellezési lépések közül kivételesen ki lehet hagyni egyes lépéseket. Amennyiben pl. már nagyon hasonló vízgyűjtőre, csatornahálózatra vannak érzékenységi vizsgálati eredmények, akkor az elhagyható. Amennyiben nem áll rendelkezésre elegendő mérési adatsor, akkor a validálási lépést elhagyva az összes mérési adatsor felhasználható a kalibrálásra. Az is elképzelhető, hogy a szimulációk alatt derül ki a modell olyan hibája, hiányossága, ami miatt újra kell kalibrálni a modellt.

Mérések

A csapadék és áramlás mérések a kalibrálás elvégzéséhez szükségesek, mivel általában nem állnak rendelkezésre történeti adatsorok. Egyidejűleg szükséges mérni a csapadékterhelést és a hatására bekövetkező áramlást a csatornában.

A csapadékmérők a lehullott csapadék mennyiségét mérik. Amennyiben rendelkezésre áll és megfelel a modellezés céljára, érdemes felhasználni a meteorológiai szolgálat vagy más mérők adatait. A csapadékmérés (és az áramlásmérés esetén is) a következő szempontok alapján megfelelő egy műszer által mért adatsor modellezés céljára:

- telepítési hely
- pontosság
- felbontás
- mérési időköz

A csapadékmérőnek a csatorna hálózatot terhelő vízgyűjtő jellemző helyén kell elhelyezkedni. A csapadékmérők területi sűrűségére vonatkozóan nincs magyar szabvány. Az Egyesült Királyságban kiadott előírás (WaPUG, 2002) szerint átlagos domborzati viszonyok esetén 2km²-enként szükséges 1 mérőműszer telepítése. Sík területen elég 4km²-enként, míg hegyi területen 1km²-enként telepíteni. Biztonsági okokból +1 műszerre is szükség van. Telepítési helyként egyébként is biztonságos és környezeti hatásoktól (pl. fák, locsolók) védett helyett szükséges keresni.

Jelenleg a billenőkanalas elven működő műszerek biztosítják a megfelelő pontosságot elérhető költségekkel. A megfelelő pontosságot rendszeres karbantartással (pl. ellenőrzés, tisztítás) és laborban történő kalibrálással lehet fenntartani.

Modellezés céljára 0.1-0.2mm felbontású csapadékmérő műszerek alkalmasak (Knolmár, 2011). 0.1mm-nél kisebb csapadékmagasság csak magas költségekkel mérhető, de a modellezéshez ez már elegendően egyenletes terhelést biztosít. 0.5mm és annál nagyobb csapadékmagasság felbontás más (pl. kertészeti, mezőgazdasági) célokra alkalmas lehet, de a modellben már jelentős eltérést okoz.

Az 1-2 perc alatti billenéseket összegző műszerek elegendően részletes adatokat biztosítanak modellezés céljára (Knolmár, 2011).

A kalibrálás céljából végzett áramlásmérések a csatornában való lefolyás sebességét, vízmélységét (nyomását), illetve az ezekből számítható vízhozamot adják meg. A megfelelőségi szempontok hasonlóak a csapadékmérőkéhez.

Áramlásmérőket a fő gyűjtőkön szükséges elhelyezni. A teljes területre vonatkozóan szükséges mérni, anyagmérleget kell tudni számolni. Redundanciát is érdemes alkalmazni ellenőrzés és adatbiztonság céljából, ezzel is növelve a mérések elfogadhatóságát. A telepítési helyeket csak terepi bejárással lehet pontosan kijelölni. Így lehet a nehezen megközelíthető, nem biztonságos vagy kedvezőtlen áramlási viszonyú telepítési helyszíneket felismerni.

Jelenleg az ultrahangos elven működő sebességmérők alkalmasak leginkább gravitációs csatornáknál. A nyomás alapon működő vízmélységmérők alkalmasabbak az ultrahangos mélység mérőknél pl. uszadék, hullámozás miatt. A sebességmérők pontossága 1% körüli, a vízmélységmérőké 1 nagyságrenddel kisebb. 1-2 perces regisztrálási idő elegendő a modellezés céljára és még energiafogyasztás szempontjából is elfogadható.

Modellépítés

A modell felépítése meglehetősen időigényes feladat, a szükséges adatok beszerzését, kinyerését, átalakítását jelenti. Jellemzően az alábbi adatokból lehet felépíteni egy modellt:

- csatornahálózat topológiája (aknák és vezetékek kapcsolatai)
- vezetékek adatai (szelvényalak, szelvényméret, anyag, érdesség)
- aknák adatai (átmérő, bukás, zsomp)
- részvízgyűjtők adatai (hely, alak, felszínborítottság, felszíni tározódás, burkolt felületek aránya, lefolyási tényezők, lejtések)
- terepadatok (magasságok)
- talaj beszívargási adatok (pl. Horton vagy Green-Ampt modell paraméterei)
- talajvíz adatok (vízszint, vezetékek vízzárósága)
- külső hozzáfolyások/elfolyások adatai
- vízkormányzások (átemelők, bukók, zsilipek stb.) üzemrendje

Érzékenységvizsgálat

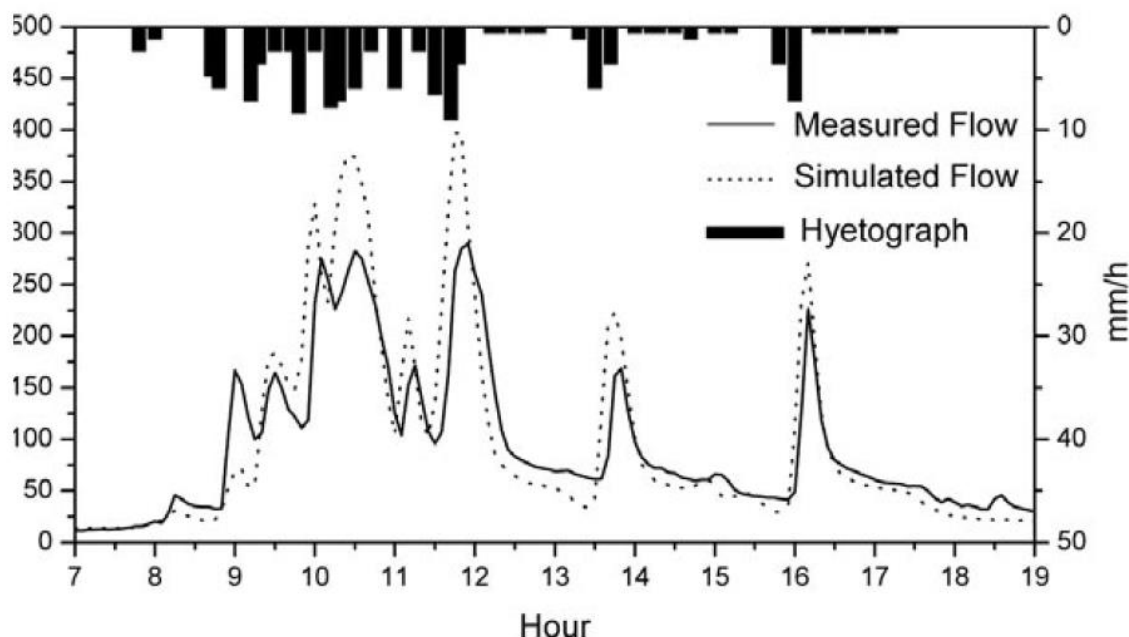
A modell kalibrálása előtt érdemes megvizsgálni, hogy mely paramétereket kell bevonni a kalibrálásba. Azokkal a szabad, bizonytalanságot tartalmazó paraméterekkel érdemes kalibrálni a modellt, amiknek változása nagyobb változást okoz a modell által számolt eredményekben. Az érzékenységvizsgálat sokat segít a modell megismerésében, hatékonyabb lesz a kalibráció.

Kalibrálás

A modell kalibrálására fokozottan érvényes, hogy mérnöki szemlélettel kell végezni, hiába tűnik számítástechnikai feladatnak. A kalibráláskor a mért és számított adatsorok minél nagyobb egyezőségének elérése a cél. A teljes vizsgált területen minden mérési pontra egyszerre kell teljesülnie az egyezőségnek. A szabad paraméterek fokozatos változtatását manuálisan vagy automatizálva is lehet végezni. Túl sok paraméter esetén a kalibrálás hosszadalmassá és átláthatatlan válik. Csak néhány, célszerűen érzékeny paramétert érdemes bevonni a kalibrálásba. Csak olyan tartományban szabad a paramétereket változtatni, melynek fizikailag van értelme.

Kalibráláshoz a vízhozam adatsor a legalkalmasabb. A vízhozam magában foglalja a sebességet és a vízmélységet. Mind a csúcsvízhozam nagyságának, mind a vízhozamgörbe alakjának egyezősége fontos. Kivételes esetekben lehetséges csak sebességre vagy csak vízmélységre is kalibrálni pl. ha nincs lehetőségünk vízhozamot

mérni. Ekkor azonban az így kalibrált modell szimulációs eredményeit is ennek megfelelő fenntartással kell kezelni.



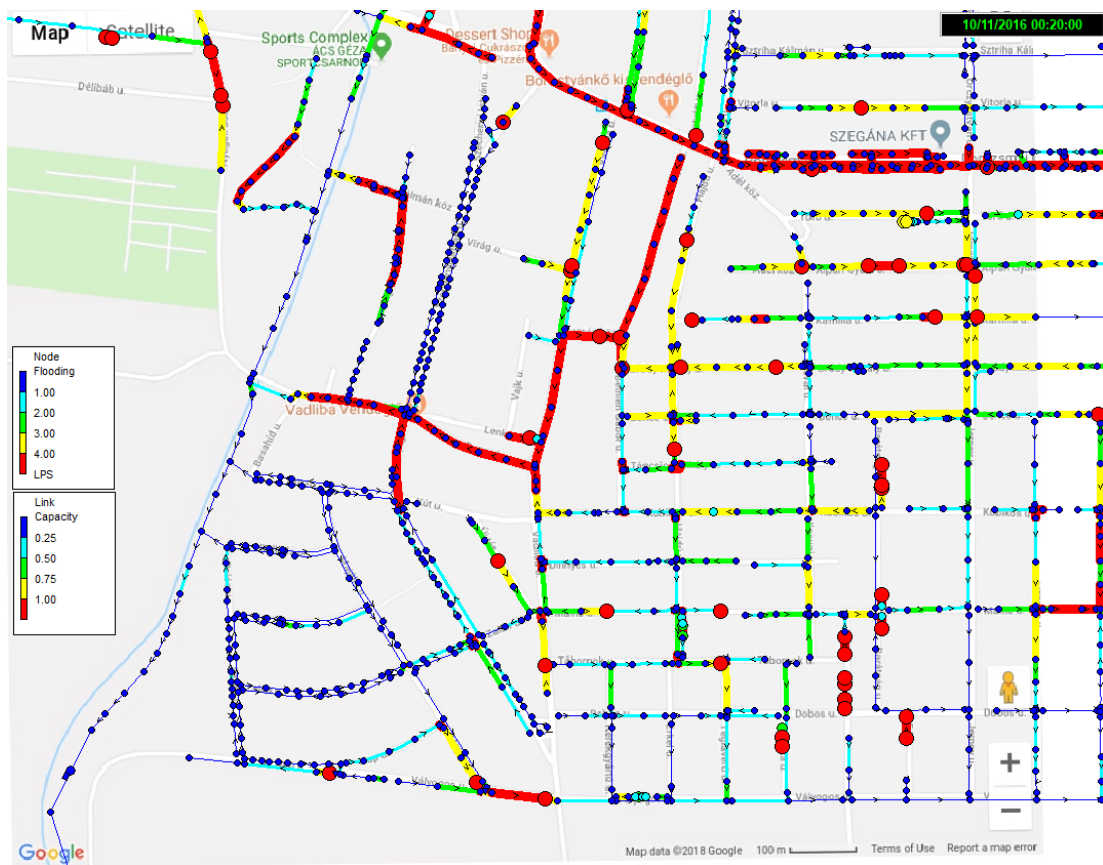
Kalibrálás csapadékterheléssel, mért és számított vízhozammal, forrás:
www.wrc.org.za

Validálás

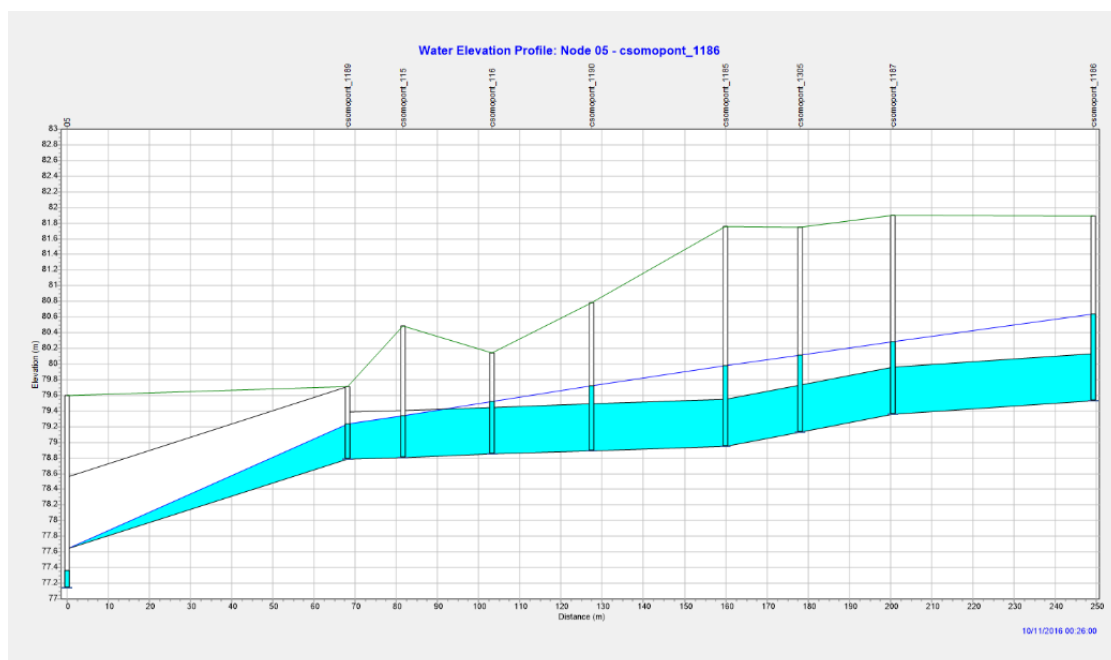
A validálást a kalibrálástól független mérési adatsorra kell elvégezni. Az MSZ EN 16933-2 szabvány is javasol eljárást, amennyiben a validálás nem hoz kielégítő eredményt. Nem biztos, hogy modell paramétereit kell átállítani. Lehet, hogy a mérési adatokban van hiba, vagy a mérés során valamilyen változás következett be a hálózatban, vízgyűjtőn (mederalak, hőmérséklet stb.). Lehetséges, hogy egy hibás mérési sorozatot el kell hagyni. Lehetséges, hogy a csatorna nyilvántartási adatok nem egyeznek a valósággal. Ez esetben helyszíni bemérésre van szükség. Ezek a hibák a kalibrálás és a szimulációs futtatások során is előfordulhatnak, hasonlóan érdemes kezelni.

Szimulációs futtatások

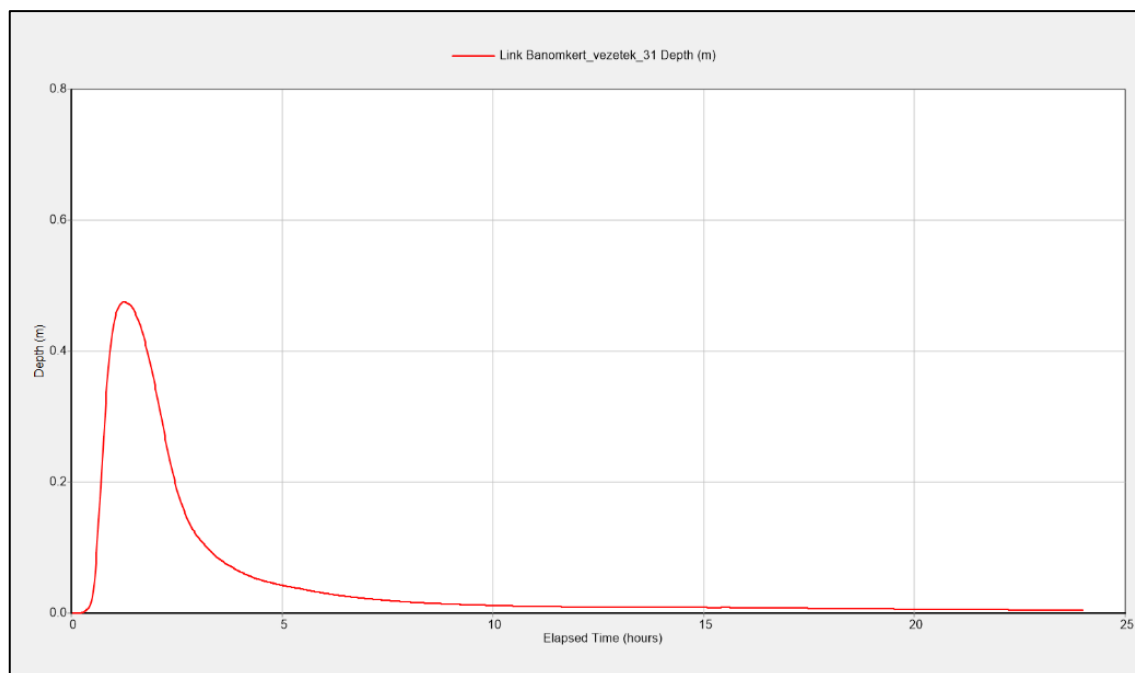
A szimulációs futtatások elsősorban a csatornahálózat kapacitásának vizsgálatára szolgálnak. Az egyes szoftverek különféle megjelenítési eszközökkel segítik az eredmények kiértékelését (kimutatások, táblázatok, helyszínrajz, hossz-szelvény, idősor, animációk). Sokszor más szoftverek (GIS, adatbáziskezelő, Excel) is segítségül hívhatók a hatékonyabb eredmény feldolgozás érdekében.



Kapacitás helyszínrajz, felszíni elöntésekkel és vezetékelttséggel



Kapacitás hossz-szelvény, nyomás alá került szakasszal



Vízmélység idősor

5.4. Számítástechnikai háttér

Minden vízgyűjtő és hálózati modell tekintetében megállapítható, hogy a jelenleg elérhető szoftverek (EPA SWMM, Mouse/Mike Urban, InfoWorks CS, Kanal++, WinDAP, XP SWMM) hasonlóak műszaki teljesítmény, képességek és megbízhatóság tekintetében. Mindegyik szoftver alkalmas az MSZ EN 16933-2 szabványban leírt Saint Venant egyenletek dinamikus hullám módszerrel történő megoldására. Jelentősebb különbségek a felhasználói felület és az adatkezelés tekintetében vannak.

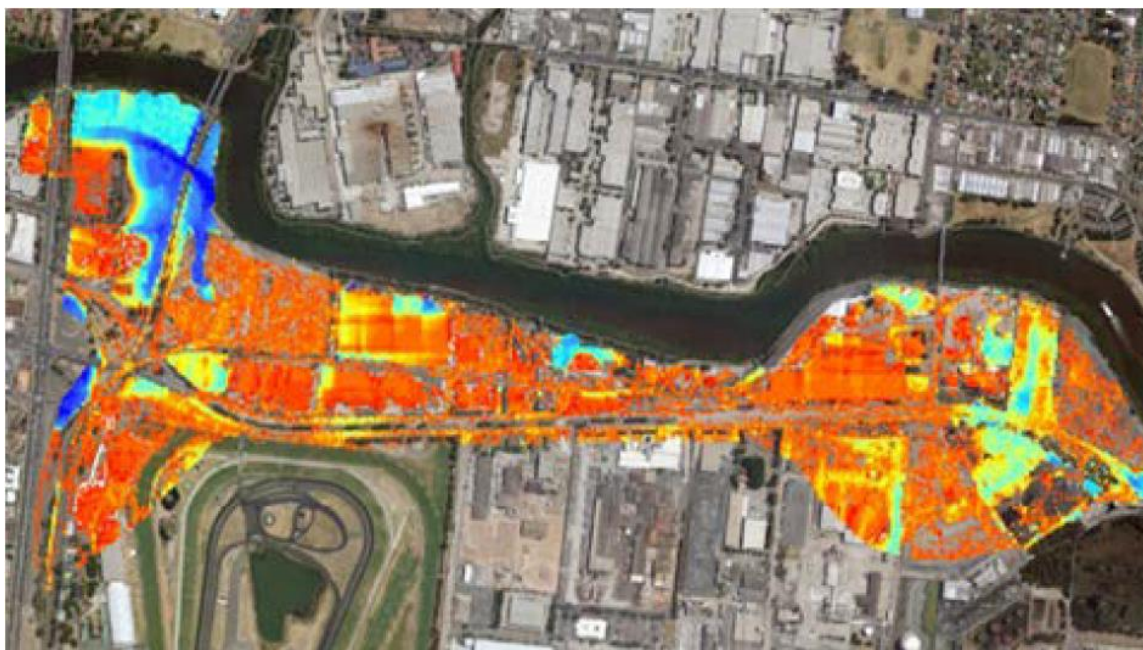
A hidrológiai részek (terepi lefolyás, beszivárgás, talajvízzel való kapcsolat stb.) tekintetében megállapítható, hogy az SWMM egyszerűbb modelleket használ, mint a sokszor túlbonyolított modelleket tartalmazó konkurens programok. Amennyiben rendelkezésre állnak adatok a bonyolultabb modellekhez (talajadatok, talajvízszintek), akkor ezek pontosabb eredményeket szolgáltatnak. Általában azonban ezekre a jellemzőkre még Magyarországnál gazdagabb országokban sincsenek elegendő mérési adatok.

Az SWMM terepi lefolyásra használható egyszerűsített nem-lineáris tározómodellje hasonló eredményeket ad, mint más modellek, beleértve a racionális módszerre épülő modellt is, de csak a modellek kalibrálása után.

Az EPA SWMM csak számítástechnikai szempontok (a viszonylag gyenge adatkezelés, a GIS integráció és kalibrációs segédeszközök hiánya, valamint a nagy hálózatok

elmeinek bonyolult névazonosítói) miatt minősíthető gyengébbnek. Nyílt forráskódja lehetővé tette, hogy számos ingyenes és kereskedelmi fejlesztés történjen ezek kiküszöbölésére (XP SWMM, C3D SSA).

A felszíni elöntések számítását az EPA SWMM egyszerűsítve kezeli. Meg lehet adni az elöntési terület lehetséges területét, de részletesebb terepadatok megadására nincs lehetőség. A felszíni elöntéskor az aknán kifolyt víz megadható, hogy az árhullám levonulása után visszafolyjon az aknán keresztül a csatornába. Elérhetők olyan fejlesztések, melyekkel a felszíni elöntés 2D-ben is szimulálható.



SWMM-mel összekapcsolt 2D elöntésmodell szimulációs eredményei

Az MSZ EN 16933-2 szabvány a felszíni elöntések szimulációjára 2 megközelítési lehetőséget ad. Az egyik módszer a felszíni elöntéseket is 1D áramlással közelíti. Az összetettebb módszer 2D felszíni áramlással számol. A jelenleg elterjedt 2D felszíni elöntést számító programok (Mike Urban, HEC-RAS) képesek az utóbbi módszert alkalmazni.

Modell felhasználása

Kalibrálatlan modellel csak korlátozottan használhatók a szimulációs eredmények. A vízgyűjtők és a csatorna hálózat szabad, kalibrálatlan paramétereiben rejlő hibák az eredményekben is jelentkeznek, akár összeadódva is. A modellező mérnök felelőssége, hogy a lehetséges eltérésekre felhívja a figyelmet.

Kalibrált modell esetén pl. a következő kérdésekre lehet választ kapni a modellel végzett szimulációs futtatásokkal:

- Adott csapadékesemény hatására hol és milyen mértékű nyomás alá kerülés, felszíni elöntés várható a csatorna hálózatban?
- Milyen visszatérésű idejű csapadékesemény esetén várható a rendszerben nyomás alá kerülés, felszíni elöntés?
- Adott beavatkozás (átépítés, átkötés stb.) esetén milyen hidraulikai paraméterek (sebesség, vízhozam, vízmélység) alakulnak ki a hálózatban?
- Milyen tartózkodási idők vannak egy csatornahálózatban?
- Milyen következményei vannak egy vízkormányzási (átemelő, bukó, zsilip stb.) üzemrend változtatásnak?
- A meglévő hálózat kapacitása milyen feltételekkel elegendő egy újabb fejlesztési terület rákötésére?

6. Csapadékvízvezetés gazdaságossági megközelítése

Magyarország helyi önkormányzatairól szóló 2011. évi CLXXXIX. törvény 13. § (1) bekezdés 11. pontja szerint a helyi önkormányzat feladata többek között a vízgazdálkodás, vízkárelhárítás. A vízgazdálkodásról szóló 1995. évi LVII. törvény 4. § (1) bekezdés b) és f) pontjai szerint a települési önkormányzat feladata a település belterületén a csapadékvízzel történő gazdálkodás; a helyi vízrendezés és vízkárelhárítás, az árvíz- és belvízelvezetés. A 120/1999. (VIII. 6.) Korm. rendelet 10. §-a és Melléklete részletezi a fenntartó által a települési vízrendezési feladatok körében elvégzendő fenntartási tevékenységeket.

Annak ellenére, hogy a csapadékvíz-elvezetést, mint egy önkormányzati feladat ellátását a víziközmű-szolgáltatáshoz hasonló módon, vagyis piaci alapon nem lehet megszervezni, egy adott település lakónépessége, a helyi vállalkozások, közintézmények és egyéb szervezetek egy jól működő csapadékvíz-elvezető rendszer hasznélvezői lesznek.

Annak ellenére, hogy a csapadékvíz-elvezetés nem piaci alapon működik, ezért a megfelelő és hatékony megoldás kiválasztásához szükséges a gazdasági, össz társadalmi haszon előnyök, hátrányok, kockázatok együttes gazdasági alapon történő vizsgálata. Ez biztosítja, hogy nem csak egy rendszer egyes elemi, egyes szakterületek önálló érdekei mentén történjen a fejlesztés, hanem a városrendezés, városi csapadékvíz gazdálkodás együttes hatásai legyenek figyelembe véve. A csapadékvízvezető rendszerek kiépítése olyan beruházás, amely közvetlen hasznot nem termel, viszont a hiánya a város egyéb területein okozhat jelentős károkat. Ezért is fontos nem csak az elvezető rendszerre, hanem a teljes környezet egyéb társadalmi hatásokra vonatkozóan figyelembe venni az előnyöket-hátrányokat, költségeket-megtérüléseket.

Összegezve ennek az infrastruktúrának nem önállóan önmagában van jövedelem termelő képessége, bevétele, haszna, hanem össztársadalmi szinten jelentkezik az a szükségesség, amiért ezeket létre kell hozni és fent kell tartani. A következő fejezeteknek az a célja, hogy haszonelvű megközelítés alapján vizsgálja meg a csapadékvíz-elvezető rendszerek létrehozásának és fenntartásának szükségességét és hogy az elemzések alapján az összességében legelőnyösebb megoldást lehessen kiválasztani a település csapadékvíz gazdálkodásának kiépítése, fejlesztése során.

6.1. Csapadékvíz-elvezetés gazdaságosságának általános vizsgálata

Az ebben és a következő pontokban bemutatott pénzügyi, közgazdasági számítási eljárások alapját az Európai Unió intézményrendszerében elfogadott költség-haszon elemzési (CBA) metodikák képezik, melyeket a magyarországi EU-s támogatások kezelésére létrehozott intézményrendszer is átvett, és amelyek a "Széchenyi 2020" elnevezésű pályázati portálon (<https://www.palyazat.gov.hu>) is elérhetők. Ezek közül kettő említhető meg

- a KEOP-os (2007-2013-as ciklusra készült) CBA útmutató (Módszertani útmutató költség-haszon elemzéshez, KEOP támogatáshoz, 2009, készítette: a COWI Magyarország Kft.);
- a TOP-os (2014-2020-as ciklusra készült) CBA útmutató (Módszertani útmutató TOP és VEKOP területi kiválasztási eljárásrendű projektek költség-haszon elemzéséhez, a készítés időpontja és a készítő személye ismeretlen).

Bizonyos értelemben a csapadékvíz-elvezető infrastruktúrák megépítése és fenntartása - más beruházásokhoz hasonlóan - egy befektetésnek tekinthető. A befektetésekkel kapcsolatos elsődleges vizsgálati szempont azok megtérülése, hasznossága. Általánosságban kijelenthető, hogy azokat a befektetéseket érdemes megvalósítani, amelyek valamilyen szempontból várhatóan megtérülnek, vagyis hasznosak. A megtérülés mérésére többféle módszer használatos, ezek közül a leggyakrabban használt a nettó jelenérték (NPV) számítás. E mutatót alapján egy befektetést akkor érdemes megvalósítani, ha a befektetéssel kapcsolatos pénzáramok (haszonáramok) jelenértékeinek összege nem negatív, vagyis $NPV \geq 0$. A pénzáramok között a kiadásokat, költségeket negatív, a bevételeket, hasznokat pozitív előjellel szükséges figyelembe venni. A különböző időszakokban jelentkező pénzáramok egy ún. diszkontráta (kamatláb) segítségével mérhetők egymáshoz. Ez fejezi ki a pénz időértékét.

A nettó jelenérték általános képlete a következő:

$$NPV = \sum_{t=0}^n X_t / (1+i)^t$$

ahol (X) az adott évre vonatkozó pénzáram vagy haszonáram, (i) diszkontráta, (t) az aktuális év.

Az alkalmazott diszkontráta mértéke a befektető döntésétől függ. Azzal a kamatlábbal egyezik meg, amely mellett - hasonló időtávot és kockázati szintet figyelembe véve - a befektető hajlandó a pénzét egy befektetés céljára rendelkezésre bocsátani. A

hivatkozott költség-haszon elemzési útmutatók megkülönböztetik egymástól a pénzügyi és a közgazdasági diszkontrátát. Magas diszkontráta alkalmazása gyors megtérülésre vonatkozó elvárást fejez ki, alacsony diszkontráta esetén a megtérülési idő hosszabb is lehet.

Csapadékvíz-elvezetéssel kapcsolatos beruházások - projektek - esetében a hivatkozott útmutatók alapján az az időszak, amit a jelenérték-számításnál figyelembe kell venni, általában 30 év. A vizsgált időtáv (referenciaidőszaknak is szokták nevezni) kezdő éve - bázis év - az az év, amelyik során a beruházási költségek először jelentkeznek. Az egyes időszakokban jelentkező pénz-, vagy haszonáramok jelenértékét erre az évre kell kiszámítani. Az 1. évben jelentkező pénzáramokat nominális értéken kell figyelembe venni (ez a "0" indexű tag a fenti képletben), a további évek pénzáramait már diszkontálni szükséges - pl. az utolsó év pénzáramát 29-szer.

A beruházás általában 1-3 évig tarthat, amit a létrehozott infrastruktúra működtetése követ. A jelenérték számítás során a működés éveiből csak a referenciaidőszakra eső évek számítanak, vagyis a 30 éves referenciaidőszakot feltételezve 27-29 év. Elképzelhető, hogy a beruházás ideje alatt is működik valamilyen korábban létrehozott létesítmény, vagy rendszer, az ezzel kapcsolatos pénzáramokat azonban figyelmen kívül kell hagyni, mivel a cél az új infrastruktúra megtérülésének vizsgálata.

Csapadékvíz-elvezető rendszerek esetében a megtérülés számításánál figyelembe kell venni azt is, hogy a rendszert milyen biztonsági szintre tervezik meg. A 147/2010. (IV. 29.) Korm. rendelet (a vizek hasznosítását, védelmét és kártételeinek elhárítását szolgáló tevékenységekre és létesítményekre vonatkozó általános szabályokról) 49. § (1) bekezdése a levezetendő vízhozamot illetően három biztonsági szintet nevesít: a 10%-os, a 3%-os és az 1%-os előfordulási valószínűségűt. A 10%-os előfordulási valószínűségű csapadékvízhozam azt jelenti, hogy a tervezést megelőző 100 évben a tervezési területen ennél nagyobb vízhozam csak 10 évben fordult elő. Vagyis átlagosan 10 évente egyszer.

Ha tehát egy csapadékvíz-elvezető rendszer tervezése és kivitelezése, pl. 10%-os előfordulási valószínűségű vízhozamra történik, akkor egy adott évben - hosszú távú idősoros adatokat figyelembe véve - 90% az esély arra, hogy a lehulló csapadék a rendszerben tartható. (A rendszerben tartás nemcsak a csapadékvíznek a befogadóba való vezetését jelenti, hanem a vízelvezetés és a vízvisszatartás valamilyen kombinációját is.) Azonban, ha egy adott évben valamikor a tényleges csapadékvízhozam meghaladja a 10%-os előfordulási valószínűségű vízhozamot, akkor azt már nem lehet teljes egészében a rendszerben tartani, bekövetkezik a környező terület elöntése, és ezzel együtt a káresemény, a vis maior helyzet.

Harminc éves tervezési időtávot és ezen belül 2 éves beruházási időszakot alapul véve annak valószínűsége, hogy a rendszer működésének 28 éve alatt legalább egyszer a tervezési vízhozamot meghaladó csapadékvízhozam keletkezik

- 10%-os előfordulási valószínűségű vízhozamra tervezett rendszer esetében: 94,8%;
- 3%-os előfordulási valószínűségű vízhozamra tervezett rendszer esetében: 57,4%;
- 1%-os előfordulási valószínűségű vízhozamra tervezett rendszer esetében: 24,5%.

Megállapítható, hogy a 10%-os és a 3%-os előfordulási valószínűségű vízhozamra tervezett és megépített rendszer esetében is inkább az a valószínű, hogy 28 év alatt legalább egyszer bekövetkezik az elöntés, mint az, hogy egyszer sem következik be. Ezért azt, hogy egy adott rendszert milyen előfordulási valószínűségű csapadékvízhozamra méreteznek, a megtérülési számítások során is figyelembe kell venni.

A továbbiakban a csapadékvíz-elvezető infrastruktúra létesítésének és fenntartásának megtérülését pénzügyi, illetve közgazdasági szempontból vizsgáljuk tovább.

6.2. Pénzügyi megtérülés vizsgálata

A csapadékvíz-elvezető rendszerek pénzügyi megtérülésének számítása során a tulajdonosnál, fenntartónál, üzemeltetőnél felmerülő, tényleges pénzkiadással járó költségeket, illetve a nála pénzben realizálható bevételeket kell számításba venni.

A költségek lehetnek a beruházáshoz kapcsolódó költségek, továbbá, a rendszer működtetése során felmerülő üzemeltetési és pótlási költségek (utóbbi kettő együtt: fenntartási költségek), valamint a vis maior költségek. A beruházási költségek jellemzően azok az építéssel, megvalósítással kapcsolatos költségek, melyek a rendszer üzembe helyezésekor a tulajdonos/vagyonkezelő (együtt: fenntartó) könyvelésében bruttó értéken aktiválásra kerülnek. Az üzemeltetési költségek közé a rendszer működése során felmerülő anyagjellegű ráfordítások (anyagköltség, energiaköltség, igénybe vett szolgáltatás stb.), személyi jellegű ráfordítások (bér, bérjárulék, egyéb személyi jellegű kifizetés) és az ún. egyéb költségek (díjak, illetékek) tartoznak. A karbantartási költségek a számviteli törvény szerint az előző költségkategóriákba sorolhatók be. Az értékcsökkenési költséget nem kell figyelembe venni, mivel nem jár tényleges pénzkiadással. A pótlási költségek a gépészeti és egyéb cserélhető eszközök pótlásának, javításának, illetve az épített létesítmények, műtárgyak felújításának,

korszerűsítésének költségeit jelentik. A pótlási költségek a karbantartási költségektől eltérően beépülnek az eszközök számviteli törvény szerinti bruttó értékébe. A vis maior költségek akkor jelentkeznek, amikor a csapadékvíz-elvezető rendszer nem képes ellátni funkcióját és előntés keletkezik. Ide tartoznak a védekezés, a helyreállítás költségei, és egyéb, az előntéssel kapcsolatban felmerült, a fenntartónál, üzemeltetőnél tényleges pénzkiadással járó költségek. A vis maior költségek azonban egy adott évben csak bizonyos valószínűséggel merülhetnek fel. Pl. 10%-os előfordulási valószínűségű vízhozamra történt tervezés és kivitelezés esetén egy adott évben 10% annak az esélye, hogy valamikor olyan csapadékvízhozam keletkezik, amelyet a rendszer nem tud elvezetni, és előntés következik be. A költségek közül egyébként a vis maior költségek becslése a legnehezebb. Figyelembe lehet venni a korábbi előntések alkalmával összegyűjtött adatokat, de a becslés bizonytalansága teljesen nem szüntethető meg, mivel előre nem lehet megjósolni a csapadékvíz-elvezető rendszer terhelhetőségét meghaladó csapadékvízhozam mértékét.

A csapadékvíz-elvezető infrastruktúra üzemeltetése során realizálható bevételek két fajtáját nevesítjük. Az egyik fajtába a csapadékvíz-elvezető rendszer tulajdonosának (általában települési önkormányzatnak) tulajdonában lévő, a beruházás eredményeképpen "felszabaduló", korábban használaton kívüli területek hasznosításából befolyó eseti vagy rendszeres bevételek tartoznak. A bevételek másik fajtájába a csapadékvíz-elvezető rendszerhez tartozó ideiglenes, vagy állandó víztározó létesítményekben tárolt víz hasznosításából (pl. öntözési célú értékesítéséből) származó bevételek tartoznak. Elképzelhetők az egyes települések eltérő adottságaival összefüggő különféle egyéb bevételek is, ezeket azonban nem nevesítjük, nem tartjuk jellemzőnek.

A bevételek között a rendszernek a referenciaidőszak végi maradványértékével nem számolunk, mivel a vagyonelemek értékesítése az önkormányzati feladatellátás jogszabályi kötelezettsége miatt nem reális opció.

A bevételek esetében figyelembe kell venni azt a valószínűséget, melyre a rendszert méretezték. Pl. 10%-os előfordulási valószínűségű vízhozamra történt tervezés és kivitelezés esetén egy adott évben 90% annak a valószínűsége, hogy a lehulló csapadék a rendszerben tartható és ekkor az infrastruktúrához kapcsolódó bevétel is realizálható. Elöntés bekövetkezése esetén viszont úgy tekintjük, hogy az adott évben bevétel nem realizálható.

Be kell látni, hogy a költség-haszon elemzések során a leggondosabban végzett becslések alapján kapott eredmények megbízhatósága sem éri el a 100%-ot. Csapadékvíz-elvezető rendszereknél, pl. 10%-os előfordulási valószínűségű

vízhozamra történő tervezés esetében a megtérülési számítások megbízhatóságának felső határa 90%.

Az előzőek alapján a csapadékvíz-elvezető rendszer létesítésének és fenntartásának pénzügyi megtérülését mutató pénzügyi nettó jelenérték (FNPV) számítási képlete a következő:

$$FNPV = \sum_{t=0}^n (B_t + \ddot{U}_t + P_t + (1-v) \times VM_t + v \times I_t) / (1+i)^t$$

ahol:

- B: a beruházási költség,
- \ddot{U} : az üzemeltetési költség,
- P: pótlási költség,
- VM: vis maior költség,
- I: bevétel,
- v: a bevétel realizálásának valószínűsége (pl. 10%-os előfordulási valószínűségű vízhozamra történő tervezés esetén $v=0,9$),
- i: a pénzügyi diszkontráta,
- t: az aktuális év.

A pénzügyi diszkontráta az Európai Unió 2014-2020 közötti tervezési időszakában 4%. A költségeket negatív, a bevételeket pozitív előjellel kell figyelembe venni. A pénzügyi megtérülés esete akkor áll fenn, ha az $FNPV \geq 0$.

ÁFA kezelése

A tényleges pénzkiadással járó költségek esetében az ÁFÁ-t attól függően kell szerepeltetni, hogy a tulajdonos, a fenntartó, üzemeltető jogosult-e az ÁFA visszaigénylésére. ÁFA levonási jog akkor keletkezik, ha a csapadékvíz-elvezető rendszer üzemeltetése gazdasági tevékenység keretében történik, és az üzemeltetés során bevétel képződik. Nem tekinthető bevételnek, és figyelmen kívül kell hagyni a számítások során a tulajdonosnak, fenntartónak, üzemeltetőnek a beruházáshoz, illetve a működtetéshez nyújtott különböző támogatásokat. Amennyiben az infrastruktúra működéséhez kapcsolódóan várhatóan bevétel keletkezik, a költségeket részben vagy egészében nettó módon kell számításba venni, figyelemmel az ÁFÁ-ra vonatkozó jogszabályi előírásokra is.

A fenti számítás arra a feltételezésre épült, hogy elöntést okozó csapadékvízhozam csak az üzemeltetés éveiben jelentkezhet. Azonban elöntés a beruházás ideje alatt is bekövetkezhet, mégpedig minél tovább tart a beruházás, annál nagyobb valószínűséggel. Ennek esélye - ha a rendszer - 10%-os előfordulási valószínűségű

vízhozamot már nem tud elvezetni - 1 éves megvalósítási idő alatt 10%, 2 éves megvalósítási idő alatt viszont már 19%. Ha a beruházás időszaka alatt következik be előntés, az egyrészt többletköltséget okozhat, másrészt késleltetheti a befejezést. Ezt az eshetőséget a pénzügyi megtérülés számítása során ún. forgatókönyv elemzés alkalmazásával lehet figyelembe venni. Külön-külön kell határozni az egyes forgatókönyvek (alapeseti, nem alapeseti) bekövetkezése esetére a pénzügyi nettó jelenértékeket, majd ezekből az egyes esetek bekövetkezési valószínűségeivel szorozva szorzatösszeget kell képezni. Az így kapott nettó jelenérték tulajdonképpen egy súlyozott számtani átlag lesz, amely az esetleges előntésnek a teljes tervezési időszakra vonatkozó kockázatát tartalmazza. Hasonló módon kell eljárni a közzgazdasági megtérülés vizsgálata során is.

6.3. Közzgazdasági megtérülés vizsgálata

A közzgazdasági megtérülés vizsgálata során - a pénzügyi megtérüléssel ellentétben - nem kizárólag a csapadékvíz-elvezető rendszerrel kapcsolatban a tulajdonosnál/fenntartónál, üzemeltetőnél jelentkező tényleges pénzkiadással járó költségeket, illetve a realizálható pénzbevételeket kell figyelembe venni. Egyrészt a költségek megtérülését társadalmi szempontból kell vizsgálni, pl. egy településen egzisztáló minden jogalany szempontjából, másrészt nemcsak a tényleges pénzmozgással járó kiadásokat és bevételeket kell figyelembe venni, hanem a kapcsolódó, pénzmozgás nélküli költségeket és hasznokat is. Ugyanakkor - az összemérés elvének megfelelően - fontos, hogy minden költség- vagy haszonelem valamilyen becslés, vagy kalkuláció alapján pénzben kifejezhető legyen.

Egy csapadékvíz-elvezető rendszer, vagy annak egy része létesítésének, fenntartásának közzgazdasági költsége meghatározásához a kiindulópontot az előző pontban bemutatott pénzügyi költségek (beruházási, üzemeltetési, pótlási) jelentik. Amennyiben, és ez az alapvető feltételezésünk, a létesítés és a fenntartás környezetkímélő módon, illetve más vagyonának igénybevétele nélkül, vagy arányos ellenszolgáltatással történő igénybevételel történik, akkor a település lakóinak, az egyéb jogalanyoknak a létrejövő infrastruktúrából káruk nem származik, így ehhez nem kapcsolódik további társadalmi költség. Ebben az esetben a közzgazdasági költségek részben megegyeznek a pénzügyi költségekkel. Az egyezés teljes mértékben a beruházási, az üzemeltetési és a pótlási költségek körében áll fenn. A vis maior költségek között azonban már nem csak a csapadékvíz-elvezető rendszer tulajdonosánál, fenntartójánál, üzemeltetőjénél felmerülő pénzügyi költségeket kell figyelembe venni, hanem a minden olyan jogalanyét, akinél az előntéssel összefüggésben bármilyen - nem csak tényleges pénzkiadással járó - költség felmerül.

Ha a megvalósítás, vagy működtetés ideje alatt a fenti költségeken kívül más társadalmi költségek (pl. tartós környezetkárosítás, ingatlanok használati értékének ellentételezés nélküli csökkenése stb.) is keletkeznek, ezeket közgazdasági költségként természetesen szintén figyelembe kell venni.

Ugyanakkor a pénzügyi költségek átvétele során megfontolásra érdemes, hogy az időszakosan jelentkező pótlási költségek helyett a beruházás során létrejött új eszközök, infrastrukturális elemek együttes éves értékcsökkenése kerüljön figyelembe vételre. Az értékcsökkenésből eredő költség a tényleges közgazdasági költséget ugyanis pontosabban jeleníti meg, mint a pótlási költség, tekintettel arra pl., hogy egyes rendszerelmek várható használati ideje a tervezési időszakot meghaladja, így pótlásukra, felújításukra az üzemeltetésnek a referenciaidőszakra eső éveiben nem, vagy csak kismértékben kerül sor. Ez az eljárás – a jelenérték számítás metodikájából adódóan – azonban azzal jár, hogy a közgazdasági költségek jelenértéke nagyobb lesz, mintha a számítások során a pótlási költségeket vennénk alapul.

Közgazdasági haszonként kell figyelembe venni a potenciális előntési területen lévő valamennyi vagyontárgyból származó összes hasznot, pl. lakóépületeknél a használat élvezeti értékét, gazdasági célú ingatlanoknál, eszközöknél az azokból származó éves nettó jövedelmet, közösségi funkciójú ingatlanoknál (út, iskola, park) azok társadalmi hasznát. Ebbe természetesen beletartoznak a csapadékvíz-elvezető rendszer tulajdonosánál, fenntartójánál, üzemeltetőjénél keletkező az előző pontban nevesített bevételek is. Bár ezek a másik félnél kiadásként jelentkeznek – így társadalmi értelemben az egyenleg 0 lenne -, azonban ezeket a kiadásokat a másik fél nyilván azért vállalja, mert legalább ugyanekkora hasznot remél tőlük (pl. az öntözött termőterület hozamában). Így társadalmi haszon mégis csak keletkezik.

A fent felsorolt hasznokat egy település közössége azonban csak akkor tudja élvezni, realizálni, ha a csapadékvíz-elvezető rendszer képes a keletkező csapadékvízhozamot elvezetni, megtartani. Ennek valószínűsége egy adott évben - 10%-os előfordulási valószínűségű vízhozamra való tervezés és kivitelezés esetén - 90%. Elöntés esetén ezek a hasznok elvesznek, sőt a védekezés, helyreállítás stb. költségei ténylegesen felmerülnek.

A csapadékvíz-elvezető rendszer beruházásának és működésének közgazdasági megtérülését mutató közgazdasági nettó jelenérték (ENPV) számítási képlete a következő:

$$ENPV = \sum_{t=0}^n (B_t + \ddot{U}_t + P_t + TK_t + (1-v) \times EK_t + v \times TH_t) / (1+i)^t$$

ahol

- B: a beruházási költség,
- \ddot{U} : az üzemeltetési költség,
- P: pótlási költség,
- TK: társadalmi költség (pl. tartós környezetkárosításból eredő költség),
- EK: az elöntés nélküli esetben elkerült költség, ami elöntés esetén ténylegesen jelentkezik (pl. a védekezés költsége),
- TH: társadalmi haszon,
- v: a haszon realizálásának valószínűsége (pl. 10%-os előfordulási valószínűségű vízhozamra történő tervezés esetén $v=0,9$),
- i: a közgazdasági diszkontráta,
- t: az aktuális év.

A pótlási költség helyett alkalmazható az éves értékcsökkenés is. Az elkerült költség az a vis maior költség, amely elöntés esetén társadalmi szinten merül fel. Ez fogalmilag nagyobb terjedelmű, mint az előző pontban tárgyalt vis maior költség; ez indokolja a megkülönböztetést a betűjelzésben.

A közgazdasági diszkontráta az Európai Unió 2014-2020 közötti tervezési időszakában 5%. A költségeket negatív, a hasznokat pozitív előjellel kell figyelembe venni. Az ÁFÁ-t a tényleges pénzkiadással járó költségek esetében kell figyelembe venni, az előző pontban leírtak szerint. A közgazdasági megtérülés esete akkor áll fenn, ha az $ENPV \geq 0$.

A közgazdasági megtérülés számítása során a legnagyobb problémát a társadalmi költségek és hasznok számszerűsítése jelenti. Ez általában valamilyen becslést igényel, ami mindig bizonytalansággal jár. Pl. a védekezés, helyreállítás költsége települési szinten számos jogalany között oszlik meg, és természetesen ezeknek csak egy része szolgáltat adatot a különböző hivatalos nyilvántartások (KSH, biztosítók, önkormányzat stb.) számára. Éppen ezért indokolt valamilyen egyszerűsítést alkalmazni a közgazdasági megtérülés kiszámításához.

6.4. Egyszerűsítés a közgazdasági megtérülés vizsgálatában

A közgazdasági megtérülés előző pontban bemutatott számításában a legnagyobb bizonytalanságot a realizálható társadalmi hasznok meghatározása jelenti. A pénzügyi költségek viszonylag jól becsülhetők, az esetleges előtéssel összefüggésben felmerülő rendkívüli költségek (EK) legalább részben - a biztosítóknál összesített kárigények alapján - megbecsülhetők. A csapadékvíz-elvezető rendszerek létesítésével és működésével kapcsolatos további társadalmi költségek - amennyiben ilyenek azonosítható módon felmerülnek - szintén megfelelően becsülhetők.

A társadalmi hasznokat azért kellene a lehető legjobban meghatározni, mert ezeknek kell a különböző költségeket ellensúlyozniuk annak érdekében, hogy az infrastruktúrát közgazdasági szempontból érdemes legyen létrehozni és fenntartani. A továbbiakban az egyszerűsítés érdekében kísérletet teszünk arra, hogy a csapadékvíz-elvezető rendszerek társadalmi hasznát összefüggésbe hozzuk az általuk megvédett területen lévő ingatlanok és ingóságok értékével.

Egy település területén valamennyi ingatlannak van valamekkora - pénzben kifejezhető - értéke. Az ingatlanok használatából a használónak valamilyen haszna származik. A lakóingatlan esetében a haszon a lakhatás élvezeti értékét (beleértve, pl. a másutt lakás alternatív költségének megtakarítását), a gazdasági célú ingatlan esetében az ingatlan által realizálható nettó jövedelmet, a közösségi célú ingatlan esetében a funkció használatával együtt járó jóléti értéket jelenti. Az összes ingatlanból származó összes haszon adja ki települési szinten az ingatlanokból származó társadalmi hasznot. Egy csapadékvíz-elvezető rendszer közgazdasági haszna az általa megvédett területen elhelyezkedő ingatlanok hasznával arányos. Ha ugyanis a csapadékvíz-elvezető rendszer rosszul működik, az előtétsnek kitett területen levő ingatlanokból származó haszon nem, vagy csak részben realizálható.

A megvédett területen elhelyezkedő különböző csoportba (lakó, gazdasági, közösségi) tartozó ingatlanok száma megbecsülhető, kisebb terület esetén meg is számolható. A lakóingatlanok átlagos értéke, vagy újrabeszerzési ára a KSH adatbázisa, illetve a különböző hirdetések alapján meghatározható. A gazdasági célú ingatlanok közül a termőföldek értékét a piaci árszabás, az ipari, szolgáltató létesítmények újrabeszerzési értékét hirdetések, közlemények alapján lehet meghatározni. Községi célú ingatlanok esetében szintén az újrabeszerzési ár (közbeszerzési hirdetmények, nyilvánosságra hozott szerződések alapján) lehet a mérvadó. A telkek értéke szintén a hirdetések kínálatából ismerhető meg. Az értékadatok összegyűjtése után meghatározható a különböző csoportba sorolt ingatlanok csoportonkénti átlagos fajlagos értéke, amelynek segítségével a megvédett területen lévő ingatlanok méretének és számának ismeretében, az összes ingatlan becsült értéke

meghatározható. Az ingatlanok értékéhez hozzá kell számítani a bennük, vagy rajtuk lévő ingóságok értékét is. Az ingóságok értéke a biztosítók biztosítási ajánlatai alapján átlagosan az ingatlanok értékének kb. 10-20%-ával egyenlő.

Település szintjén az összes ingatlanból adódó összes haszon az összes ingatlan értékére vetítve egy átlagos haszonkulcsot eredményez. Az átlagos haszonkulcs és a megvédett területen fekvő ingatlanok együttes értékének szorzata tekinthető a megvédett terület társadalmi hasznának. Minden más tényezőtől eltekintve, akkor érdemes egy csapadékvíz-elvezető infrastruktúrát létrehozni és fenntartani, ha ennek költsége nem haladja meg az általa megvédett területen realizálható társadalmi hasznot.

A csapadékvíz-elvezető rendszer létesítésének, fenntartásának közgazdasági megtérülése az előzőekben ismertetett egyszerűsítések figyelembevételével a következőképpen számítható:

$$ENPV = \sum_{t=0}^n \left(B_t + \ddot{U}_t + P_t + TK_t + (1-v) \times EK_t + v \times h \times ME_t \right) / (1+i)^t$$

ahol

- B: a beruházási költség,
- \ddot{U} : az üzemeltetési költség,
- P: pótlási költség,
- TK: társadalmi költség,
- EK: az előntés nélküli esetben elkerült költség, ami előntés esetén ténylegesen jelentkezik,
- \acute{E} : a megvédett ingatlanok értéke (ingósággal együtt),
- v: a haszon realizálásának valószínűsége (pl. 10%-os előfordulási valószínűségű vízhozamra történő tervezés esetén $v=0,9$),
- h: ingatlanokhoz köthető átlagos haszonkulcs,
- i: a közgazdasági diszkontráta,
- t: az aktuális év.

Az átlagos haszonkulcs becsléséhez a bruttó hazai termék (GDP) átlagos növekedését vehetjük alapul, abból a megfontolásból, hogy a gazdasági növekedés, mint a nemzetgazdaság hozama átgyűrűzik a társadalom nem gazdasági szféráiba is, pl. magasabb munkabérek, transzferek formájában. Ennek eredményeként az ingatlantulajdonosok többet költenek az ingatlanokra, mely által azok élvezeti, használati értéke emelkedni fog. A GDP átlagos jövőbeni növekedésének becslése legegyszerűbben a korábbi évek statisztikai adatai alapján történhet meg.

Természetesen, a becsült átlagos haszonkulcs mértékében, illetve az ingatlanok becsült fajlagos értékében eltérés lehet az elmaradott, illetve a fejlettebb térségek között, és a számítások során az adott település fejlettségét figyelembe is kell venni.

Értelemszerűen a számítás megbízhatóságának felső határa ebben az esetben is annak a csapadékvízhozamnak az előfordulási valószínűségétől függ, amelyre a rendszert méretezték.

6.5. A fejlesztési különbözet módszerének alkalmazása

A fejlesztési különbözet módszerének alkalmazására azért van szükség, mert szinte minden esetben létezik egy korábbi infrastruktúra, amelynek a fejlesztésre a beruházás irányul. Csapadékvíz-elvezető rendszer esetében zöldmezős beruházásra ritkán kerül sor.

A fejlesztési különbözet módszere azt jelenti, hogy a tervezési időszakra vonatkozóan az új rendszer összes költségéből le kell vonni azokat a költségeket, melyek akkor merülnének fel, ha a beruházásra nem kerülne sor, vagyis a meglévő rendszer működné tovább. Ugyanígy, az új rendszer által realizálható bevételekből és hasznokból le kell vonni a régi rendszerhez köthető bevételeket és hasznokat. (A régi rendszer hipotetikus tovább működését projekt nélküli esetnek is szokás nevezni, a tervezett fejlesztést pedig projektes esetnek.) A költségek és hasznok különbözeteit jelenértéken kell összehasonlítani, vagyis tulajdonképpen az előző pontokban tárgyalt pénzügyi és közgazdasági nettó jelenértéket a fejlesztési különbözetre kell kiszámítani.

A projekt nélküli esetben beruházási költségekkel nem számolunk, hanem csak a fenntartás (üzemeltetés és pótlás) költségeivel, mivel a feltételezés szerint éppen a beruházás megvalósítása különbözteti meg egymástól a projektes esetet a projekt nélkülitől. A projekt nélküli eset üzemeltetési és pótlási költségeit - az összehasonlíthatóság érdekében - azokra az évekre szükséges kiszámítani, amikor a tervezett fejlesztés eredményeként létrejött infrastruktúra már üzemel. A beruházás éveiben felmerülő üzemeltetési és pótlási költségekkel a jelenérték számítás során tehát egyik esetben sem számolunk. (Ezek különbözete egyébként is nulla.)

A pénzügyi költségek esetében tehát a projektes eset beruházási, üzemeltetési, pótlási és vis maior költségéből le kell vonni a projekt nélküli eset üzemeltetési, pótlási és vis maior költségeit. A vis maior költségek meghatározott valószínűséggel jönnek számításba. Pl. egy 25%-os előfordulási valószínűségű csapadékvízhozamot elvezető meglévő rendszer esetében 25% esélye van az előtérnek, és ezzel együtt a vis maior költségek felmerülésének. Ha ezt a rendszert 10%-os előfordulási valószínűségű

csapadékvízhozam levezetésére teszik alkalmassá, akkor már csak 10%-os valószínűséggel kell egy adott évben a vis maior költségek felmerülésével számolni. Figyelembe kell venni azt is, hogy az új rendszer "erősebb" lesz, mint a régi, így előntés esetén a védekezés várhatóan rövidebb ideig tart, és a védekezés, helyreállítás költségei is alacsonyabbak lesznek (kevesebb szivattyúzás, kevesebb gép és munkaerő igénybevétel stb.) Elképzelhető, hogy a referenciaidőszak egészét vizsgálva a vis maior költségek csökkenése ellensúlyozza a beruházási költséget, továbbá a fenntartási költségek növekményét, így a várható bevételektől és hasznoktól függetlenül is érdemes a fejlesztést megvalósítani.

Hasonló módon kell eljárni a közgazdasági költségek fejlesztési különbözetének számítása során is. Itt azonban nehézséget okoz az elkerült vis maior költségek becslése, mivel azok számos jogalanynál merülnek fel. Nehéz megfelelő adatforrást találni a becsléshez. Leginkább célravezetőnek tűnik a MABISZ (Magyar Biztosítók Szövetsége) statisztikáira támaszkodni. A biztosítók alkalmanként szoktak összevont adatokat közölni egy-egy jelentősebb káresemény során beérkezett kárigényekről. De nem minden károsultnak van biztosítása, és nem minden biztosított jelenti be a kárigényét. Továbbá, a biztosítók általában csak a helyreállítás várható költségeit térítik meg - kárként - a biztosítottak, a védekezés költségeit viszont nem.

A pénzügyi bevételek számítása során vizsgálandó, hogy a projekt nélküli esetben voltak-e egyáltalán a régi rendszerhez köthető bevételek. Elképzelhető, hogy a projekt tesz alkalmassá bizonyos területeket rendszeres hasznosításra, illetve, a projekt során létesül olyan víztározó kapacitás, amely öntözésre alkalmas vízmennyiséget képes tárolni. Amennyiben a régi rendszer esetében is voltak ahhoz kapcsolódó bevételek, akkor azokat le kell vonni a tervezett beruházás esetére kalkulált bevételekből.

A közgazdasági hasznok esetében a fejlesztési különbözet a megvédett területre vonatkozik. De mit jelent maga a megvédett terület? Azt a területet, amelyen pl. egy 10%-os előfordulási valószínűségű vízhozamot feltételezve, a projekt nélküli esetben előntés keletkezik, a projekt esetében - ha a csapadékvíz-elvezető rendszert 10%-os előfordulási valószínűségű vízhozamra méretezték - viszont nem lesz előntés. Az ezen a területen lévő ingatlan- és ingó vagyon alkotja a megvédett értéket, melynek haszna mindkét esetben meghatározott valószínűséggel realizálható. (A példánál maradva, ha a régi rendszer 25%-os előfordulási valószínűségű vízhozamra lett méretezve, akkor a projekt nélküli esetben társadalmi haszon 75%-os valószínűséggel realizálható egy adott évben). A fejlesztési különbözetre számított közgazdasági haszon tehát a két valószínűség különbözetének és a megvédett érték éves hozamának a szorzata.

A fejlesztési különbözet módszerének alkalmazása során a forгатókönyv elemzést csak a projektes esetre kell elvégezni, tekintettel arra, hogy a projekt nélküli esetben beruházás nem lesz.

A fejlesztési különbözet módszerét alkalmazva is akkor érdemes - gazdaságossági szempontból - fejleszteni egy csapadékvíz-elvezető rendszert, ha jelenértéken számolva a pénzügyi bevételek, vagy a közgazdasági hasznok legalább egyenlők a pénzügyi, illetve a közgazdasági költségekkel. Másként fogalmazva, ha különbözetre számolt pénzügyi, vagy közgazdasági nettó jelenértékek közül legalább az egyik nem negatív. Képletszerűen:

$$\text{FNPV(különbözet)} \geq 0, \text{ vagy } \text{ENPV(különbözet)} \geq 0.$$

7. A témával foglalkozó szakirodalom - Irodalomjegyzék

- [1] MSZ EN 752-4:2000: visszavont, magyar nyelvű, Települések vízelvezető rendszerei. 4. rész: Hidraulikai méretezés és környezetvédelmi szempontok, 2000.10.01.
- [2] MSZ EN 752:2008: visszavont, angol nyelvű, Települések vízelvezető rendszerei, Drain and sewer systems outside buildings, 2008.11.01.
- [3] MSZ EN 752:2017: angol nyelvű, Települések vízelvezető és csatornarendszerei. Csatornarendszer-menedzsment, Drain and sewer systems outside buildings. Sewer system management, 2017.08.01.
- [4] MSZ EN 16933-2:2018: angol nyelvű, Települések vízelvezető és csatornarendszerei. Tervezés. 2. rész: Hidraulikai tervezés, Drain and sewer systems outside buildings. Design. Part 2: Hydraulic design, 2018.02.01.
- [5] Knolmár M.: Számítógéppel segített csatornatervezés, BME, PhD, 2011.
- [6] Wastewater Planning Users Group (WaPUG): Code of Practice for the Hydraulic Modelling of Sewer Systems, Version 3.001, United Kingdom, 2002.
- [7] Dr. Buzás Kálmán – Települési csapadékvíz-gazdálkodás
- [8] Gayer József – Ligetvári Ferenc: Települési Vízgazdálkodás Csapadékvíz-elhelyezés, Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató Intézet Kht., Budapest, (2007),
- [9] Gayer József, Doktori értekezés, A települési csapadékvíz elhelyezés az integrált vízgazdálkodás tükrében, 2004
- [10] Horváth Imre – Vízellátás és csatornázás, 2011, Szent István Egyetem
- [11] Dr. Horváth Imre – Csatornázás, 1982
- [12] Települések csatornázási és vízrendezési zsebkönyve
- [13] Kiss Katalin - Meglévő csapadékcsatorna hálózatok hidraulikai felülvizsgálata, lefolyási viszonyainak javítása és költség-haszon elemzése, 2010. Hidrológiai Tájékoztató
- [14] Gerőfi-Gerhardt András-Rácz Tibor-Oszoly Tamás: Amikor szakad az ég. Csapadékvíz elvezetési problémák a fővárosban. MAVÍZ konferencia, Sopron, Prezentáció, 2015.

A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

2017.

1. NÉMETH András, MILÁVECZ Richárd Iparban használatos vízminőségek
2. DR. SZILÁGYI Zsombor, DR. SZUNYOG István Mérések a gáziparban
3. DR. BARNA Lajos, EÖRDÖGHNÉ DR. MIKLÓS Mária, DR. SZÁNTHÓ Zoltán, DR. BALLA József A biztonságos ívóvízellátás megteremtésének tervezési eszközei
4. BORBÁS Lajos Dr. Felépítés elvű (additív) gyártástechnológiák a gépészetben
5. BERENCSI Miklós, BEREZKY Ákos, HORVÁTH László, KOVÁCS Gergely, MIHÁLFFY Krisztina Kerékpárosbarát közlekedéstervezés
6. TÜDŐS Tibor, DR. VARJÚ György, DR. PETRI Kornél, GÁBOR András A csillagpontkezelés legújabb külföldi és hazai eredményei (Útmutató és tervezési segédlet)
7. DR. GARBAI László, DR. JASPER Andor, VÁRADI András Fűtési és használati melegvíz-igények kockázati elvű méretezése példákkal
8. KÁDI Ottó, DOHÁNY Máté, JÓZSA Bálint, LÁSZLÓ Csaba Tibor, JAKKEL Ottó A közúti vasutak (villamos) tervezésével kapcsolatos kézikönyv

2018.

9. BLAZSOVSZKY László A gázfogyasztó készülékek égéstermék elvezetésével kapcsolatos szabályozások hiányosságai és ellentmondásai
10. CSORDÁS Szilveszter, FORGÁCS Lajos Dr., PÓLYA Endre ifj., RÉV Zoltán, UDVARDY Péter Orvostechológiai továbbképzés ismeretanyaga
11. NÁDASDY Tamás, EGYHÁZY Zita, KOVÁCS Ákos Sándor, SZECSŐ Dániel Géza A közúti biztonsági audit (KBA) jelentések elkészítésének alkalmazási segédlete – A közúti infrastruktúra közlekedésbiztonsági kezeléséről szóló jogszabályhoz és utügyi műszaki előíráshoz kapcsolódó értelmezési, kidolgozási és elfogadtatási javaslatrendszer
12. DR. SZILÁGYI Zsombor, HORÁNSZKY Beáta Földgáz kereskedelem (mérnöki segédlet)
13. DR. SZILÁGYI Zsombor Az energiahordozók jövője – kőolaj, földgáz, megújulók
14. S. VÍGH Judit, DOHÁNY Máté Magános közlekedők baleseti súlyosságának csökkentése mobil applikáció segítségével
15. DR. BALIKÓ Sándor, DR. CSÜRÖK Tibor, NOVÁK Dániel, ORBÁN Tibor, DR. ZSEBIK Albin Ötletlapok I. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
16. DARABOS Zoltán, KOLTAI Henrik, SZABÓ Tamás, SZÁSZ Béla, VAJDA Sándor Felvonók felújítása és átalakítása – Műszaki segédlet
17. TÜDŐS Tibor, KRUPPA Attila Alapozásföldelők új tervezési elvei és kivitelezési módszerei – Tervezési segédlet és kivitelezési útmutató
18. FENYVESI Zsolt Tűzvédelmi tervek tartalmi szabályainak átdolgozása

19. GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH József Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás Nagyméretű informatikai beruházásoknál (fejlesztéseknél) ajánlott szoftveroldali tervdokumentációk tartalmi elemeinek meghatározása (I. – II. kötet)
20. DR. DIVÓS Ferenc Az élő fák stabilitása – mérnöki megközelítés – Élő fák, mint teherhordó faszerkezetek
21. DR. KARÁCSONYI Zsolt Faanyagok tartós szilárdsága
22. BARNA Lajos Dr., ERDEI István, JASPER Andor Dr., TAKÁCS Gyula Segédlet épületek csatorna-berendezéseinek tervezéséhez
23. ANTÓK Péter István, FÜZÉR Ferenc, SÁRKÖZI András Fényvezető kábelszakaszok műszaki-minőségi ajánlás gyűjteménye
24. JANCsó Béla, DR. KULCSÁR Alexandra, NÉMETH Gábor, DR. VÍMI Zoltán, DÉRI Lajos, SZIMANDEL Dezső Vízbiztonsági engedélyezési eljárással kapcsolatos dokumentációk és engedélyeztetéssel kapcsolatos követelmények a 2018.01.01-én hatályba lépett 41/2017. (XII.29.) BM rendelet alapján
25. DR. TAKÁCS Bence, DR. SIKI Zoltán, DR. ÉGETŐ Csaba, BÉNYI László Mérnökegeodéziában alkalmazott alapponthálózatok – A jó gyakorlat bemutatása mintapéldákkal
26. DR. MÓCZÁR Balázs, LAUFER Imre, TÓTH Gergő, WOLF Ákos Korszerű támszerkezetek tervezése
27. HALÁSZ Györgyné Dr., CSERVENYÁK Gábor, TUCZAI Attila, VIRÁG Zoltán Különböző funkciójú épületek klímatechnikája II.
28. KÁDI Ottó, JÓZSA Bálint Kerékpáros balesetek létesítmények szerinti vizsgálata
29. GARBAI László Dr., JASPER Andor Dr., PELLER József Bendegúz Hőteljesítményátviteli tényező alkalmazása távhőrendszerek optimális szabályozásának modelljében
30. GARBAI László Dr., SÁNTA Róbert Dr., JASPER Andor Dr. A kompresszoros hőszivattyúk optimalizálása – Tervezés és üzemeltetés
31. LADÁNYI Gábor Dr. Diagnosztika a karbantartásban
32. MÉSZÁROS János, MOLNÁR Tibor, RITZL András KIÜRÍTÉSI ÉS MENEKÜLÉSI ÚTVONALBA ÉPÍTETT AJTÓK tervezési segédlet (2018)

2019.

33. BLAZSOVSZKY László Földgáz elosztóvezetékek üzemeltetése
34. DR. SZILÁGYI Zsombor A megújuló energiahordozók jövője Magyarországon
35. FORGÁCS Lajos Dr., HAIDEgger Tamás Dr., PÓLYA Endre ifj. Új fejlesztések, innovatív megoldások az orvostechnológia terén
36. VARRÓ Beáta, DR. KIS András Magyarországon előforduló, épületekbe beépített faanyagokat károsító gombák vizsgálata és azonosítása DNS diagnosztikával
37. MANNINGER Marcell, SZEPESHÁZI Attila, SCHEURING Ferenc, MOLNÁR György Munkatér határoló szerkezetek
38. KORSÓS András, RÁDULY Zsolt A közterületi és belterületi térfigyelő kamerarendszerek tervezési irányelvei
39. GERGELY Edit, DR. BEZEGH András Módszertani útmutató az üvegházhatású gázok közvetlen és közvetett kibocsátásának számítására
40. DR. BEZEGH András, BITE Pálné Dr., GERGELY Edit Városi környezetvédelem (Fenntartható és okos városok)

41. GÓDOR Balázs, DR. KÁSA László, SZÉKELY Bence Híddaruk méretezési segédlete (2019.)
42. FÜRJES Andor Tamás, KOTSCHY András, NAGY Attila Balázs, CSOTT Róbert Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban
43. DR. KARÁCSONYI Zsolt Faanyagok tartós szilárdsága
Faanyagok szilárdságának változása az idő függvényében
44. DR. BALIKÓ Sándor, ORBÁN Tibor, VARGA Péter, DR. ZSEBIK Albin Ötletlapok II. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
45. PRIMUSZ Péter, PhD. Hajlékony útpályaszerkezetek méretezése talajstabilizációk figyelembevételével
46. NÉMETH Balázs, HÁMORI Sándor, KOSTYÁK Attila, VÍGH Gellért Különböző funkciójú épületek klímatechnikája III. Segédlet ipari épületek lég- és klímatechnikai rendszereinek tervezése
47. JANCsó Béla, KAVECZKI Gergely, KÓCZÁN Gábor, LABORCZI Tamás, KNOLMÁR Marcell, RAUM László Csapadékvízgazdálkodás tervezési követelményei
Hogyan tervezzünk városi csapadékelvezető rendszereket
48. DOHÁNY Máté, SCHVANNER Norbert Kerékpárosok sebességének felülvizsgálata jelzőlámpás csomópontokban
49. JÓZSA Bálint, S. VÍGH Judit Sebességcsökkentés hatásainak vizsgálata gyorsforgalmi utakon
50. DR. ZSEBIK Albin, NOVÁK Dániel Projektlapok I. – Energiahatékonyság növelő javaslatok projektlapjai
51. DR. MÓGA István Beruházási projektek szabályozási és szabvány környezete, Tervezési követelmények meghatározása
52. DR. GÁBORI László, DR. BEINSCHRÓTH József, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás Informatikai Tervező szakmai minősítő rendszere (Informatikai szakmai terület illesztése a Mérnök Kamarai működési rendbe és rendszerekbe)
I. kötet: Konceptió és modell
II. kötet: Modell illesztése
III. kötet: Tudástár
53. VIRÁG Zoltán, GYURKOVICS Zoltán, SZAKÁL Szilárd, VIRÁG Zsolt, ORCSI Attila Országos Tűzvédelmi Szabályzat épületgépész értelmezése a szakmai gyakorlatban
Segédlet a gyakorló épületgépész mérnökök számára I.