

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

A TELEPÜLÉSI CSAPADÉKVÍZ-ELHELYEZÉS AZ INTEGRÁLT VÍZGAZDÁLKODÁS TÜKRÉBEN

Gayer József

Budapesti Corvinus Egyetem

Budapest

2004

A doktori iskola

megnevezése:	Tájépítészet és Döntéstámogató Rendszerek
tudományága:	4.6. Interdiszciplináris Agrártudományok 4.1. Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok
vezetője:	Harnos Zsolt, DSc tanszékvezető egyetemi tanár, akadémikus Budapesti Corvinus Egyetem
Témavezető:	Ligetvári Ferenc, DSc tanszékvezető egyetemi tanár Szent István Egyetem Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar Vízgazdálkodási és Meliorációs Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

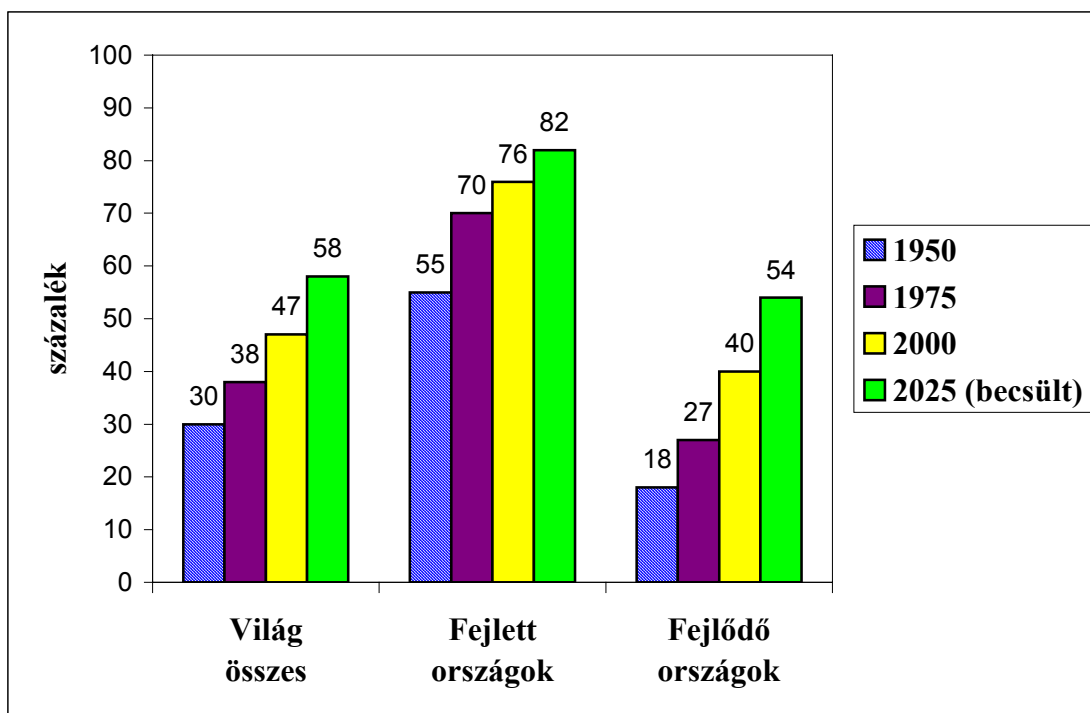
<u>BEVEZETÉS</u>	1
<u>1. A KUTATÁS ALAPJAI ÉS A VÁROSI VÍZGAZDÁLKODÁS TÖRTÉNETI FEJLŐDÉSÉNEK ÁTTEKINTÉSE</u>	6
<u>1.1 A települési vízgazdálkodás rendszertani összefüggései</u>	6
<u>1.2 A csatornázás jelentőségének felismerése</u>	7
<u>1.3 A csatornázás fejlődése</u>	9
<u>1.4 A csapadékvíz-elhelyezés jelenlegi állapota</u>	13
1.4.1 A városiasodás hatása a hidrometeorológiai adottságokra	15
1.4.2 Klimatikus hatások	15
1.4.3 A lefolyást érintő hatások	16
1.4.4 A befogadóra gyakorolt hatások	21
<u>2. A VÁROSOK VÍZGAZDÁLKODÁSA</u>	26
<u>2.1 A vízigények kielégítése</u>	27
2.1.1 Racionális vízhasználatok	30
2.1.2 A csapadékvíz, mint alternatív vízforrás	32
2.1.3 A biztonságos ellátás problémája	33
<u>2.2 A használt vizek elhelyezése</u>	34
2.2.1 A csatornázás rendszerei	34
2.2.2 A csatornázás hazai helyzete	36
2.2.3 A szennyvíz mint készlet	38
<u>3. AZ INTEGRÁLT VÍZGAZDÁLKODÁS ÉS A CSAPADÉKVÍZ-ELHELYEZÉS</u>	42
<u>3.1 A csapadékvíz mennyisége, figyelembe véve az éghajlatváltozás várható hatását</u>	48
3.1.1 Az éghajlatváltozás és várható hatása a mértékadó csapadéokra	48
3.1.2 A mértékadó (tervezési) csapadék kérdése	52
3.1.3 A mértékadó csapadék módosítása	59
3.1.4 A változások lehetséges hatásai a csapadékcatornázási infrastruktúrára	63
<u>3.2 A csapadékvíz minősége</u>	66
3.2.1 Szennyezőanyag források és útvonalak	68
3.2.2 A szennyezőanyagok mennyiségi változásai	77
<u>3.3 A városi lefolyás integrált kezelése</u>	83
3.3.1 A keletkezés helyén történő szabályozás	85
3.3.2 A közművi szabályozás	91
3.3.3 A csapadékvíz minőségi kezelése	93
3.3.4 Igazgatási–intézményi (nem–szerkezeti) megoldások	100
3.3.5 A kettős csapadék–csatornázás	101
3.3.6 Valósídejű szabályozás	103

<u>4. A VÍZIKÖZMŰVEK VÁROSTERVEZÉSI, VÁROSGAZDÁLKODÁSI ÖSSZEFÜGGÉSEI</u>	104
<u>4.1 A városi infrastruktúra veszélyhelyzetei</u>	104
<u>4.2 A közművek üzemeltetésének helyzete</u>	106
<u>5. EREDMÉNYEK</u>	109
<u>5.1 A kutatás eredményeként megállapított új összefüggések és felismerések (tézisek)</u>	111
<u>6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK</u>	113
<u>ÖSSZEFOGLALÁS</u>	118
<u>SUMMARY</u>	119
MELLÉKLETEK	
M1: Hivatkozások	
M2: Példák a víz megjelenésére a városokban	
M3: Köszönetnyilvánítás	

BEVEZETÉS

A világban tapasztalható jelenségek közül az urbanizáció a gazdasági-társadalmi fejlődés elkerülhetetlennek látszó folyamata. Míg 1800-ban a Föld lakosságának csak egy százaléka élt városokban, az ipari forradalom következtében kialakult agglomerációk egyre nagyobb tömegeket vonzottak (vagy a körülmények kényszerítették őket áttelepülésre). Így 1970-re ez az arány már elérte a 30%-ot és az ezredfordulóra megközelítette az 50%-ot. 2030-ra, a várhatóan több mint 8 milliárdos népesség 60%-a fog városokban lakni (UN 2003).

A növekedés üteme a fejlődő országokban különösen meredek, 2000-ben 1,3 milliárddal több ember lakott városokban, a harmadik világban, mint 25 évvel korábban, és 2015-re újabb 1 milliárdos növekedés várható (1. ábra). Javarészüik városi nyomornegyedekbe születik, vagy (oda)költözik igen rossz higiéniai körülmények közé. Egyes adatok szerint (pl. UNCHS 2001) a városi nyomornegyedek lakóinak száma meghaladja az egymilliárdot. Nem véletlen, hogy az ENSZ Millenniumi Fejlesztési Céljai között az ivóvízzel - csatornázással foglalkozó rész cél az ellátatlanok arányának 50%-os csökkenését írja elő 2015-re (az egész világra, nem csupán a városokban élőkre vonatkoztatva). A feladat pontos meghatározását az adatok illetve a népességnövekedési előrejelzés bizonytalansága nehezíti, bár a 2002-es johannesburgi Fenntartható Fejlődés Világtalálkozón és a 2003-as ENSZ Nemzetközi Édesvíz Év számos rendezvényén meglehetősen következetességgel hangzottak el adatok. Ezek szerint a XXI. század elején, a világon 1,1 milliárd ember nélkülözi a megfelelő szintű vízellátást és 2,4 milliárd a higiéniailag elfogadható csatornázást. A becslések szerint a csatornázási rész cél eléréséhez napi 340.000 főnek kellene ehhez a szolgáltatáshoz jutnia mostantól 2015-ig. Ehhez pillanatnyilag még a tervezői kapacitás sincs meg, pedig a vizes infrastruktúra hiányára visszavezethető higiéniai okok miatt napi 6000 ember, főleg öt évnél fiatalabb gyermek hal meg (WEHAB Working Group 2002). Az ilyen drámai adatok láttán érthető miért került a víz a politikai érdeklődés előterébe napjainkban.



1. ábra. Városi területeken élők aránya a világ különböző régióiban

További millenniumi fejlesztési rész cél 100 millió nyomornegyedben élő ember életkörülményeinek jelentős javítása 2020-ra, melynek a vízellátási-csatornázási vonatkozásai kiemelkedők.

Az ezredfordulón a Föld 389 városának lakossága érte el, vagy haladta meg az egymilliót, közülük tizenhat pedig úgynevezett megavárossá vált, tízmilliót meghaladó népességgel. Közülük néhányat az 1. táblázat sorol fel. Jellemző, hogy az első tízből hét fejlődő országbeli, illetve hat ázsiai. 2015-re a megavárosok száma várhatóan 23-ra emelkedik, közülük 19 a fejlődő világban lesz.

1. táblázat. A világ legnagyobb városai, illetve néhány európai nagyváros népessége 2000-ben (forrás: UN 2002)

Sorrend	Város	Ország	Népesség (millió)
1	Tokió	Japán	26,444
2	Mexikóváros	Mexikó	18,066
3	Sao Paulo	Brazília	17,962
4	New York	USA	16,732
5	Mumbai (Bombay)	India	16,086
6	Los Angeles	USA	13,213
7	Calcutta	India	13,058
8	Sanghaj	Kína	12,887
9	Dhaka	Banglades	12,519
10	Delhi	India	12,441
...			
19	Párizs	Franciaország	9,630
24	Moszkva	Oroszország	8,367
25	London	Nagy-Britannia	7,640
50	Milánó	Olaszország	4,251
76	Berlin	Németország	3,319
124	Kijev	Ukrajna	2,499
132	Varsó	Lengyelország	2,274
154	Bécs	Ausztria	2,065
177	Budapest	Magyarország	1,819
309	Prága	Csehország	1,203
331	Brüsszel	Belgium	1,135

Bár a megavárosok száma szaporodik, a városi lakosság zöme azért kisebb településeken tömörül. Az ENSZ adatai szerint 2000-ben a világ összlakosságának 28,5 százaléka élt az egymilliónál kisebb és 4,3 százaléka a 10 milliót meghaladó városokban. Magyarország lakosainak (10 millió 142 ezer fő) 28,6%-a 100 000 főt meghaladó méretű nagyvárosban, 30,3%-a 10 000–100 000 fő

közötti városban, 33,55%-a 1000–10 000 fős településen él a KSH 2003. január 1-jei adatai szerint. Ha a 10 000 főnél valamivel kisebb kisvárosokat is figyelembe vesszük 63%-ra tehető a városokban és 37%-ra a községekben és kistelepüléseken élők aránya.

A városiasodás a kezdetektől sokféle szakismeretet igénylő vízgazdálkodási feladat megoldását kívánta. A változás ma már olyan mértékű, hogy a települések a vízgyűjtő-gazdálkodás meghatározó tényezőivé váltak.

A városok jelentős vízigénnyel lépnek fel, úgy a lakosság, mint az ipar koncentrációja miatt, melynek kielégítéséhez gyakran távoli területeken lévő vízkészleteket vesznek igénybe. A kibocsátott nagymennyiségű szennyvíz pedig a befogadót szennyezi, veszélyeztetve az alvízi használatot. A csapadékvízből származó lefolyás gyakran szennyezettebb, mint a háztartási szennyvíz, a felszíni lefolyás során, vagy a csatornában korábban leülepedett és ekkor felszedett anyagoktól. A beépített területek növekedésével a város mintegy módosítja a hidrológiai ciklust, a burkolt felületek beszivárgás-gátló és lefolyást gyorsító hatásával, mely utóbbit a nyílt vagy zárt csatornarendszerek még tovább növelnek. A fejlődő országokban különösen súlyos állapotok állnak elő, mert a kül- és elővárosi nyomornegyedekbe özönlő lakosság ellenőrizetlen vízkivételeket és szennyvízkibocsátásokat idéz elő. Afrika, Ázsia és Latin-Amerika város lakóinak fele szenved olyan betegségben, mely a nem kielégítő vízellátáshoz vagy csatornázáshoz kötődik.

A városi vízgazdálkodás összetettsége abból származik, hogy nem csupán a vízellátás-csatornázás infrastruktúrájával kell törődni, hanem a (főleg ipari eredetű) szennyezés csökkentésével, a készletek fenntartható használatával, az árvízvédelemmel, a különböző ágazatok közötti koordinálással stb.

Mindezt tovább bonyolítja, hogy miközben az ivóvízhez jutás alapvető emberi jog (UN 1977) a szolgáltatás pénzbe kerül és így gyakorlatilag a víz áru, mely nézetnek az elfogadása vagy elvetése heves vita tárgyát képezi sok esetben a különböző fórumokon.

Térségünkben a rendszerváltás óta eltelt közel másfél évtizedben a közép- és kelet-európai országok nagy erőfeszítéseket tettek vízgazdálkodási problémáik megoldására a gazdasági átalakulás meglehetősen nehéz éveiben. A központi irányítás struktúráinak átalakulása, a települési önkormányzatok létrejötte és működése, a településfejlesztés új eszköz- és intézményrendszerei alapvetően új feltételeket, helyzetet jelentettek és jelentenek a települések fejlődésében (*Kőszegfalvi és Loydl* 2001). A vízellátás-csatornázás megszervezése, az infrastruktúra tulajdonlása, felújítása terhelte elsősorban a települések önkormányzatait, melyek esetében gyakran a megfelelő szakértelem is hiányzik. A hatalmas összegeket felemésztő beruházások, melyeket az EU követelményeknek való megfelelés kényszerít ki (elsősorban a városi szennyvíz irányelv, de a vidéki területek esetén az ivóvízellátás korszerűsítése is) rendkívül megterhelők. Az önkormányzatoknak nem csupán környezetvédelmi, de közszolgáltatói funkcióikból fakadóan, más gazdasági, társadalmi feladataik ellátása során is gyakran kell a közösségi környezeti jog által meghatározott követelményekre tekintettel lenniük (Horváth et al. 2002).

A térség egyes országaiban a vízellátás, csatornázás és szennyvíztisztítás fejlesztése a GDP több százalékát emésztte fel még hosszú évekig. Ez rendkívül gondos tervezést igényel. A prioritások meghatározása, a gyorsan eredményt hozó beruházások előresorolása kulcsfontosságú feladat. A gazdaság fejlődésének ütemétől függően ez az átmeneti korszak két-három évtizedet is felölelhet bizonyos államokban. Ebből adódóan társadalmi konfliktusok is keletkeznek a csatlakozás és az erőltetett fejlesztések kapcsán.

Hazánkban a városias területek kiterjedésének mértéke növekszik az agglomerációs gyűrű fejlődésével, mely jelenség elsősorban Budapest környékén szembetűnő. Itt, bár a főváros közigazgatásának határán belüli népesség csökken, a környező településekbe irányuló kiköltözések hatására, valamint az életszínvonal javulásával járó fejlesztések következtében a korábban falusias környezet urbanizált formát ölt és egy kb. két és félmillió agglomeráció alakult ki az elmúlt évtizedekben. A budapesti agglomeráció erőteljes fejlődésével és területi növekedésével

számolhatunk az elkövetkező évtizedekben is (*Kőszegfalvi* 1997). Hasonló tendenciával jár a vidéki városok körüli zöldmezős beruházások, ipari parkok, bevásárlóközpontok létrehozása is.

A hazai ivóvízminőség-javító program több mint 100 milliárdos, míg a szennyvízprogram közel 1000 milliárdos igénye hosszú távú, de biztosan megtérülő beruházás, mely egyaránt szolgálja a lakosság egészségének megőrzését és a környezet védelmét. Megvalósításukhoz, illetve az EU csatlakozással összefüggő területeken humán és intézményi kapacitások fejlesztésére van szükség.

A városi területeken az eredetileg természetes vízgyűjtő, az emberi beavatkozás hatására jelentősen módosul, mennyiségi és minőségi változásokat vonva maga után a hidrológiai körfolyamatban. A legjelentősebb változást a burkolt, vízzáró felületek növekedése, valamint a csökkenő felületi tározódás és ugyancsak csökkenő felületi érdesség miatt, a vízvezető képesség jelentős növekedése jelenti (2. ábra). Ennek következtében a városiasodást megelőző korszakhoz képest megnő a lefolyás, a kialakuló tetőző vízhozam és csökken az összegyülekezési idő, ill. az árhullám tetőzési ideje.



2. ábra. A budapesti belváros részlete (fotó: VITUKI Argos)

A másik negatív hatás a településen áthúzódó vízfolyások fokozódó eróziója. A természetes vízfolyások geometriai viszonyai jól mutatják a vízgyűjtő hidrológiai viszonyaiban beállt változásokat. Átlagos esetben olyan tetőző vízhozam növekedésre számíthatunk, ami egy kisvízfolyás keresztmetszetét akár kétszeresére is növelheti.

A csapadécsatornázás ill. városi hidrológia iránti világszerte megnövekedett érdeklődést mutatja a Nemzetközi Hidraulikai Kutatási és Mérnöki Szövetség (IAHR) és a Nemzetközi Vízsövetség (IWA) közös bizottságának létrehozása a városi vízelvezetésről (Joint Committee of IAHR/IWA on Urban Drainage), illetve a közös bizottság alatt működő különböző munkacsoportok tevékenysége. A munkacsoportok olyan résztémákkal foglalkoznak mint a városi lefolyás modellezése, valószerű szabályozás, csatornarendszerek és az ott lejátszódó folyamatok, közmű előtti szabályozás, városi csapadék, oktatás és technológia transzfer. Utóbbi a fejlődő és az ún. átmeneti országok szakmai, műszaki felzárkóztatásával foglalkozik, technológia transzfer ill. oktatás, információcsere révén és hazánkban is rendezett már egyhetes továbbképzést a közép- és kelet-európai országok speciális problémáira koncentrálna.

A közös bizottság égisze alatt 1978 óta háromévenként megrendezésre kerülő Városi Csapadékcsatornázási Nemzetközi Konferencia növekvő népszerűsége és a területen működő szakemberek számának emelkedése elsősorban az iparilag fejlett világban jellemző. Ezért is volt fontos az oktatási és technológiatranszfer munkacsoport felállítása. A szűkebb területek nemzetközi szakmühely-találkozói (workshop-jai) is azt mutatják, hogy (talán Csehország kivételével) a KKE térség lemaradásban van a korszerű városi hidrológiai eszközök alkalmazásában és meghonosításában.

Általános hiba az iparilag fejlett országokban, hogy a szennyvíz problémáját a társadalomtól elválasztva oldják meg. Amennyiben a csapadékvíz illetve a háztartási- és ipari szennyvíz hatékonyan eltávolításra kerül (eltűnik a lefolyóban, vagy nyelőben) az átlagemberek vajmi keveset törődnek azzal, hova is kerül ezután. Ezekben az országokban az elődök nagyvonalúan megoldották a víz- és szennyvízelvezetést, és olyan rendszereket építettek az akkori adófizetők pénzéből, melyek még a mai generációkat is kiszolgálják. Hazai példával élve a budapesti belváros és a vidéki kistelepülés lakója egészen máshogy látja a problémát. Előbbi hasznára és javára például a Dunaparti, vagy a nagykörúti főgyűjtő méretezése és építése idején évszázados megoldást találtak az akkori szakemberek és városgazdák. Utóbbi pedig talán mostanában fizeti be, a szerencsés esetben megépülő csatornahálózat és szennyvíz-tisztító telep rá eső költségeit. Kevésbé szerencsés esetben maga gondoskodik az emésztőgödör szippantásáról és a telke előtt húzódó árok karbantartásáról (vagy annak elmaradása esetén elszenvedi a belvízi elöntést, mint például 1999-ben).

Az integrált vízgazdálkodás szemléletének világszerte tapasztalható térnyerésével egyre fontosabbá válik a városi vízgazdálkodáshoz kapcsolódó víz- és anyagforgalom zártabbá tétele. Ehhez járul hozzá az EU csatlakozással járó kötelezettségeknek, így a Víz Keretirányelvnek (VKI) és a városi szennyvizekre (ideértve a csapadékvizet is) vonatkozó (91/271/EEC számú) irányelvnek való megfelelés szükségessége.

A XXI. században az emberiség egyik nagy kihívása a vízgazdálkodás problémáinak megoldása lesz. A városok ellátása, beleértve az ivó- és egyéb vízigények kielégítését, illetve a szennyvizek elvezetését és tisztítását, egy kiemelkedő fontosságú és nehézségű problémakört képvisel már napjainkban is. Az igények növekedése és a használható készletek csökkenése mellett a minőségi követelmények teljesítése csak új vízgazdálkodási szemlélettel valósítható meg.

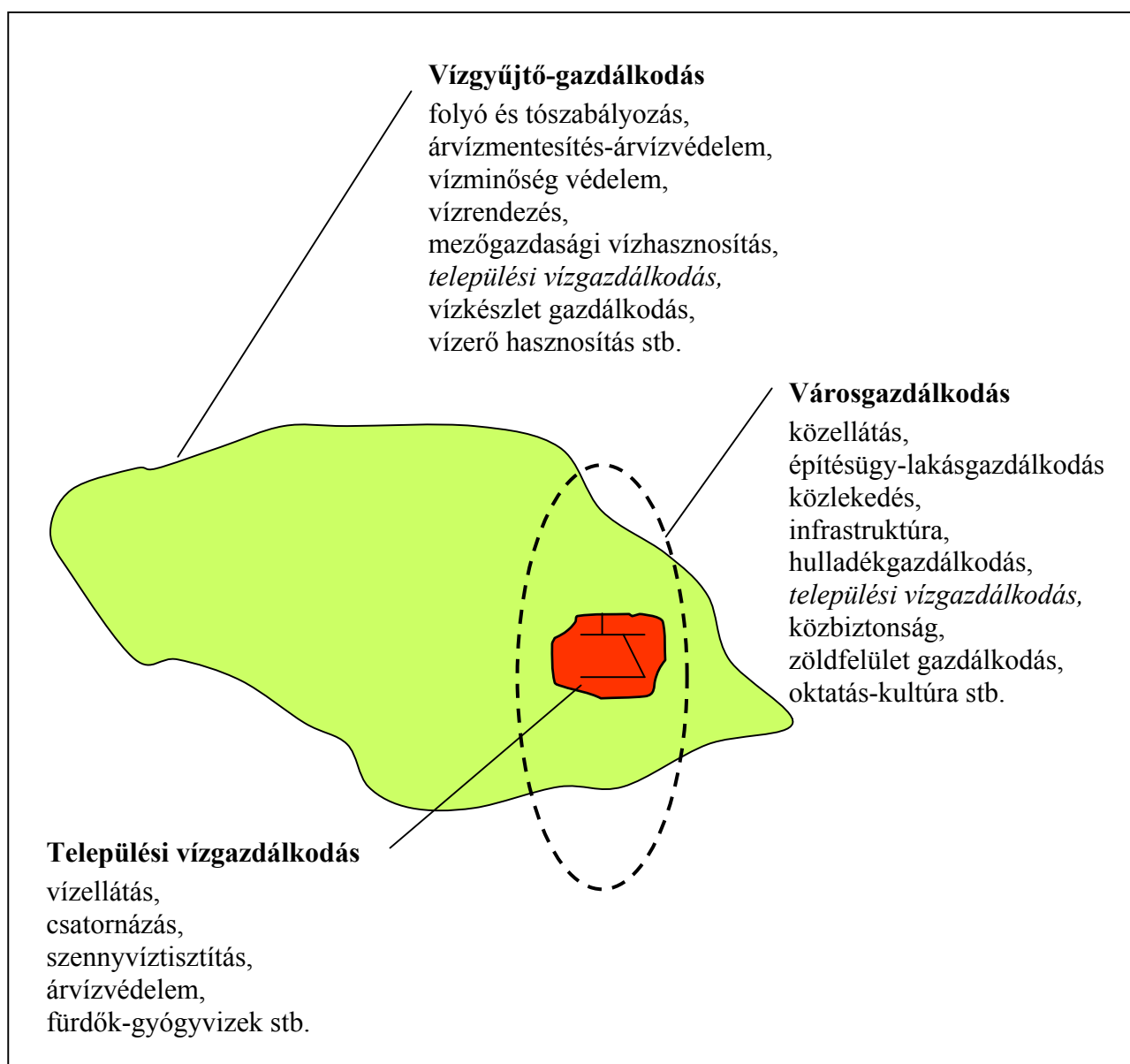
Értekezésem célja a városi hidrológia és csatornázás területén lefolytatott kutatási eredményeimre alapozva a bel- és külföldön rendelkezésre álló ismeretek, tapasztalatok, szakirodalom és egyéb tudásanyag rendszerszemléletű összefoglalása és az integrált vízgazdálkodás szellemiségét tükröző bemutatása. Eredményeként egy olyan stratégiai dokumentumot szándékoztam elkészíteni, mely segít választ adni a vízgazdálkodás települési vonatkozású kihívásaira, különös tekintettel a csapadékvíz elhelyezésének kérdésére a korunkban tapasztalt éghajlatváltozás következményeinek figyelembe vételével is, és hozzájárulhat a készletek fenntartható használatának eléréséhez.

A kutatásban alkalmazott módszer a városiasodással együtt járó vízgazdálkodási problémák, azok kapcsolódásai és a jövőben várható változások feltárása, majd a megoldásként javasolt eszközök felsorakoztatása volt. Ez magába foglalta a hazánkban nagyjából még nem alkalmazott technikák számbavételén túl a csapadékvíz mennyiségi és minőségi kezelését egyaránt célzó eljárások rendszerezését, azok kritikai elemzését és gyakorlati felhasználási körének meghatározását. Mivel a bemutatott módszerek elterjedésének egyik gátja a hagyományos döntéshozási és tervezési eljárások „inerciája”, dolgozatomban igyekszem az érintettek kíváncsiságát szemléletváltását is elősegíteni.

1. A KUTATÁS ALAPJAI ÉS A VÁROSI VÍZGAZDÁLKODÁS TÖRTÉNETI FEJLŐDÉSÉNEK ÁTTEKINTÉSE

1.1 A települési vízgazdálkodás rendszertani összefüggései

Széleskörű szakmai és társadalmi egyetértés mutatkozik abban, hogy a vízgazdálkodási tervezés alapja a vízgyűjtő, mint természetes vízgazdálkodási egység, kell legyen. Ezen alapul az Európai Unió vízpolitikája is, mely vízgyűjtő gazdálkodási tervek és ezekhez kapcsolódó intézkedési tervek készítését írja elő a tagállamok számára, a vizek jó állapotának elérése érdekében (Ijjas 1999, 2000/60/EK, 2000).



1.1 ábra. A települési vízgazdálkodás kapcsolódásai

A vízgyűjtő fogalmának meghatározásánál az Irányelv korábban szokatlan meghatározást használ (egyszerűsítve tengeri torkolattal rendelkező folyó völgyet ért alatta), azonban a rész-vízgyűjtők fogalmát is ismeri, melyekre részletes tervek készíthetők az Irányelv céljainak elérése érdekében.

Felszíni vizeknél az ökológiai és kémiai, felszín alatti vizeknél a mennyiség és a kémiai minőség a mérték. A vízgyűjtő gazdálkodási terveknek tartalmazniuk kell a vízgyűjtő jellemzőit, az emberi tevékenység hatásának áttekintését az ott található vizekre. Ebből kifolyólag a települési vízgazdálkodás a vízgyűjtő gazdálkodás egyik fontos összetevője, hiszen, mint a bevezetőben már szó volt róla, a városok gyűrű

ált vízigénye és szennyvízkibocsátása alapvetően befolyásolja az adott (rész)vízgyűjtő állapotát. A jövőbeli intézkedési terveknek behatóan kell majd foglalkozniuk a városiasodással összefüggő negatív hatások kompenzálásával. A Duna menti nagyvárosok hatása hosszan kimutatható az alattuk fekvő szakaszon. A folyó mentén haladva nő a parti szűrősű vizek minőségi kockázata.

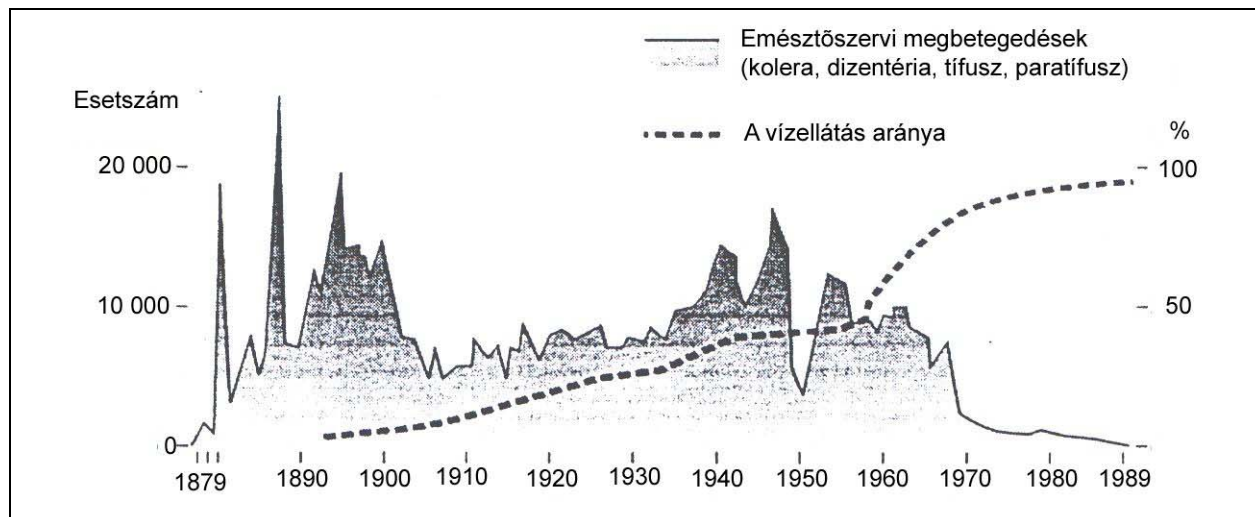
A települési vízgazdálkodás a város komplex gazdálkodási rendszerének része, mely összetettségénél fogva hatásában túlnyúlhat az adott vízgyűjtőn is (1.1 ábra). A városgazdálkodás különböző elemei kölcsönhatásban vannak egymással, így a vízellátás és a csatornázás hálózatainak és egész rendszerének illeszkednie kell a település szerkezetéhez, adottságaihoz, más infrastruktúrák által meghatározott feltételekhez. A vízellátás-csatornázás hálózata az utakhoz, épületekhez igazodik, a „kettős csatornázás” pedig kifejezetten az útpályák megfelelő kiépítését igényli. Az „élhető város” fogalmához ugyanakkor hozzátartozik a jól működő vizes infrastruktúrán kívül a víz által nyújtott rekreációs és esztétikai érték is. A városi zöldterületi ellátottság számításához Ormos (2000) által meghatározott korrekciós értékek között a vízparti és a vízfelületi faktor magas értéke a rekreációs funkció mellett, a jelentős kondicionáló hatást, a biológiailag aktív felület értékét mutatja (Szilágyi 2003). A víz a kultúra része is, és ezen keresztül főleg a településekhez kötődik. A fürdővárosok fogalma, melynek Magyarországon különös jelentősége van, tradicionális kapocs a víz, a rekreáció és az épített környezet között. A zöldfelület gazdálkodás elképzelhetetlen megfelelő vízellátás nélkül. A városgazdálkodás fontos eleme a szemetgyűjtés és a hulladékgazdálkodás, különösen a közterületek tisztítása, karban tartása. Ennek a tevékenységnek közvetlen hatása van a felszíni lefolyás, és így a befogadó vízminőségére.

1.2 A csatornázás jelentőségének felismerése

Az első települések mindenütt vízforráshoz kapcsolódóan jöttek létre. A korai civilizációknál együtt jelentkezett úgy az emberi települések vízellátása mint vízmentesítése iránti igény. A római kori „aqueduct” szerkezetek jól ismertek Európában, így Magyarországon és a néhai birodalom más részein egyaránt. Kevésbé ismert, hogy Mezopotámiában az elsők között építettek műtárgyakat a „városi” vízvezetés céljából, már mintegy 5000 évvel ezelőtt (Wolfe, 2000). A történelem viharaiban később ezek a létesítmények jórészt elpusztultak, de maradványaik még számos helyen fellelhetők. Az újkorban a higiénia és a víz kapcsolatát a XIX. században ismerték fel, amikor az orvosok a közegészségügyi gondok forrását a szennyezett víz fogyasztásában látták, ahogy Louis Pasteur mondta „betegségeink 90%-át megisszuk”. Még 1935-ben is 2600 halálos áldozatot követelt Marseille-ban a kolera, amit a nyílt csatornában szállított nyersvíznek tulajdonítottak (Roche et al. 2001). A problémát később klóradozással szüntették meg és szoros összefüggést találtak az adagoló pontok száma, valamint a halálesetek csökkenése között. Hasonló tapasztalatról számoltak be a világ más pontjain is (München, Buenos Aires, Oszaka). Utóbbi esetben az emésztőszervi megbetegedések alakulását mutatja a 1.2 ábra, az ellátás százalékában. Figyelemre méltó, hogy a drasztikus csökkenés a betegszámban csak az 50%-ot meghaladó ellátási arány után következett be.

A csatornázás gyakorlata a Római Birodalom bukása után feledésbe merült és felszíni árkok és az utcák szolgáltak mindenfajta vízzel kapcsolatos hulladék elhelyezésére és eltávolítására. Ez volt az „egyesített rendszer” születése (Chocat et al. 2004). Jóllehet még nem létezett tervszerű hulladékgazdálkodás, számos érdekes gyakorlat alakult ki mind a szennyvíz, mind a csapadékvíz hasznosítására, mivel ezeket nem hulladéknak, hanem inkább értékes, hasznosítható anyagoknak tekintették (Maneglier 1991). A fekáliából szerves-trágyát készítettek, mely iránt nagy kereslet volt

Párizsban a XVIII. század végéig. A munkálatokkal megbízott személy gazdag és befolyásos szereplője volt az akkori közéletnek. A vizeletet a talajba szivárogtatták és salétromot, majd puskaport gyártottak belőle. A csapadékvizet ciszternákban gyűjtötték és különösen Dél-Európában fontos vízkészletnek számított. Egy észak-európai példáról *Varis* és *Somlyódy* (1997) számolnak be, mely szerint 1853-ban Koppenhágában először olyan csatornázási koncepciót javasoltak, amelyik az öblítéses WC-ből származó szennyvizet a többi háztartási szennyvíztől és a csapadékvíztől elválasztva szállította volna.



1.2 ábra. A vízellátás és a vízhez kötődő betegségek összefüggése Oszakában (forrás: Roche et al. 2001)

Mivel a megoldások nem voltak higiénikusak, számos tífusz és kolera járvány tört ki Európában és Amerikában is, különösen az 1830-as és 1870-es években, melyek arra késztették a városi hatóságokat, hogy más megoldást találjanak a szennyvíz elhelyezésére és kezelésére (*Wolfe* 2000).

Három döntő érvet sorakoztattak fel a „mindent a szennyvíz-csatornába” elv választása mellett (*Chocat et al.* 2004):

- egy "tudományos", mely az emberi szervezet és a település közötti analógián alapult; ha egy végtag a véráramlás hiánya miatt beteg, hasonló helyzet alakulhat ki egy városrészben is a vízáram hiánya miatt. Ezért a víz folyamatos áramlása szükséges, hangsúlyozva, hogy a tartályok, ciszternák a "ragályos pangás" rossz példái,
- egy politikai érv, mely különösen erősen tartotta magát Franciaországban a forradalom után, és az egyenlőség elve alapján állította minden állampolgárt egyenlően kell kezelni az állami és a városi hatóságok előtt, mely elvet egy közös szennyvízgyűjtő hálózat valósít meg a legjobban, ebben az esetben,
- végül egy gazdasági érv; a gyors ipari fejlődés közepette nagyon nemkívánatos jelenség volt egy betegség széles körű elterjedésével megbénítani a termelést, a kereskedelmet és a fogyasztást.

Figyelemre méltó, hogy Magyarországon a Helytartótanács már 1847-ben rendeletet adott ki „a’ szabad királyi Pest Város kebelében építendő földalatti csatornák iránt” (Tanácsi Végzés, 1847), melyben nagyjából a mai napig fennmaradt osztályozást alkalmazza a közcsatornák és magáncsatornák terén.

1.3 A csatornázás fejlődése

A XIX. század végére jelentős haladást értek el a városi csapadék-csatornázás területén a méretezésre kifejlesztett empirikus módszerek révén. A csapadék és a lefolyás közötti összefüggés felismerése vezetett a racionális módszer (RM) megalkotásához, melyet általában *Mulvaney*-nek tulajdonítanak 1851-es publikációja alapján. Az összegyülekezési idő fogalmát *Kuichling* (1898) vezette be és *Lloyd-Davis* (1906) nevével is összefüggésbe hozzák a RM-t, aki Angliában alkalmazta először. Figyelemre méltó, hogy *Martin Ottó* a pesti oldal csatornázására, 1884-ben készített tervében már használta a csapadékintenzitás, a lefolyási tényező és a késletetés fogalmakat (*Garami et al.* 1972). Kár, hogy munkája nem vált nemzetközileg ismertté.

A következő években számos változatát dolgozták ki és alkalmazták világszerte ennek az alapképletnek. A módszer lényegében a lefolyás hozamát a csapadék intenzitásából, és a területből számítja, figyelembe véve a felszíni egyenatlenségek, a beszivárgás és a párolgás okozta veszteségeket. A fenti tényezőket figyelembe vevő, számszerűsítő redukáló szorzót hívják lefolyási tényezőnek.

A mérnökök a XIX. század második felére már birtokában voltak annak az alapvető (és néhány változatban elterjedt) tervezési eljárásnak, melyek a következő száz évben a városi csatornázás alapjául szolgált. Az elfogadott koncepció szerint a városokban keletkező csapadék- és egyéb szennyvizet minél gyorsabban és lehetőleg teljes mennyiségében el kell vezetni a városon kívülre. Londonban az 1850-es években *dr. John Snow* képviselte ezt a nézetet leginkább, felismerve az összefüggést a kolerajárvány és a rossz higiéniai viszonyok között. Ezekben az években nagy hangsúlyt fektettek a csatornában talált szilárd anyagok eltávolítására is, számos újítás alkalmazásával. A pesti elképzelésekről Fodor a jeles orvos, bár kritikusan szól, elismeri, hogy a csatorna hulladékok elszállítására egészségügyi szempontból alkalmas (*Somlyódy et al.* 2002).

A racionális módszer az 1960-as évek végéig uralta a mérnöki gyakorlatot (az iparilag fejlett országokban is, másutt még tovább) és még mindig használatos bizonyos körülmények között (kis vízgyűjtőterület, egyszerű elágazó rendszer esetén, tározás, vagy más szabályozó műtárgy nélkül, felvízi visszahatástól mentes körülmények között).

A számítógépek terjedésével párhuzamosan a tervezési módszerek gyors fejlődésnek indultak. Számos lefolyás-számítási módszert dolgoztak ki, melyek szemben a racionális módszerrel, nem csupán a tetőző vízhozamot adták meg, hanem a lefolyó árhullámot is, figyelembe véve a csapadék intenzitásának változását az esemény alatt. Ma már olyan pontossággal és felbontással lehet a hálózat különböző pontjain a vízhozamot kiszámítani, mely lehetővé teszi azok költségtakarékos tervezését és üzemeltetését.

Míg a mennyiségre koncentráló módszerek lehetővé tették a városi elöntések csökkentését és ennek következtében javították a közegészségügyi állapotot, a vízminőségi megfontolások késtek, különösen annak figyelembe vétele, hogy a növekvő városi lakosság tevékenységének milyen hatása van a környezetre. Kezdetben a kutatás a csapadékvízzel szállított szennyezésekre, illetve a kiömlőkön keresztül a befogadóba jutó szennyezőanyagokra koncentrált. Jelentős előrelépés történt azoknak a vízminőségi változásoknak a megértése terén, melyek a csapadék- vagy egyesített víz szállítása, tározása és kezelése során bekövetkeznek, valamint a kibocsátott víznek a befogadóra gyakorolt hatását illetően. Sajnos azok a folyamatok, melyek a csatornahálózatokban lévő víz minőségét befolyásolják sokkal bonyolultabbak és kevésbé determinisztikusak, mint azok melyek ugyanott a vízhozamot határozzák meg. Ebből következően számos kérdés még megoldatlan maradt a vízminőséget illetően. Azonban az eddigi eredmények alapján már léteznek olyan számítógépes modellek, melyek megfelelő, mért adatokkal történt kalibráció után alkalmasak a legtöbb mérnöki feladat megoldására.

Ezek az eredmények nagyrészt annak a konferencia-sorozatnak a keretében kerültek bemutatásra, mely a bevezetőben említett, mai nevén IAHR/IWA (a kezdetekben IAHR/IAWPRC, illetve IAHR/IAWQ) csapadékcatornázási közös bizottság égisze alatt került megrendezésre. A közös

bizottság létrehozása a csapadékvízzel kapcsolatos mennyiségi és minőségi problémák együttes kezelésének igényével merült fel a két (vízmennyiséggel illetve vízminőséggel foglalkozó) nemzetközi szervezet részéről, és szakmai felügyelete alatt számos tudományos rendezvény került sorra az elmúlt két és fél évtizedben. Közülük kiemelkednek a háromévenként megrendezett Városi Csapadécsatornázási Nemzetközi Konferenciák (1978 Southampton, Anglia; 1981 Urbana, Illinois, USA; 1984 Göteborg, Svédország; 1987 Lausanne, Svájc; 1990 Oszaka, Japán; 1993 Niagara Falls, Kanada; 1996 Hannover, Németország, 1999 Sydney, Ausztrália; 2002 Portland, USA). Ennek a sorozatnak a konferencia-kiadványai, melyek többsége megtalálható Magyarországon is, a szakterület történeti fejlődését is jól reprezentálják. A soron következő hasonló konferencia 2005-ben Koppenhágában, a 2008-as pedig Edinburgh-ban kerül majd megrendezésre. A helyszínek mintegy azt sugallják, hogy a probléma a fejlett, gazdag országok sajátja, jöllehet az emberiség nagyobb része él a fejlődő világban és amint a bevezetőben utaltunk rá a városiasodási tendencia ott erősebb és a higiéniai viszonyok sürgős intézkedéseket kívánnak.

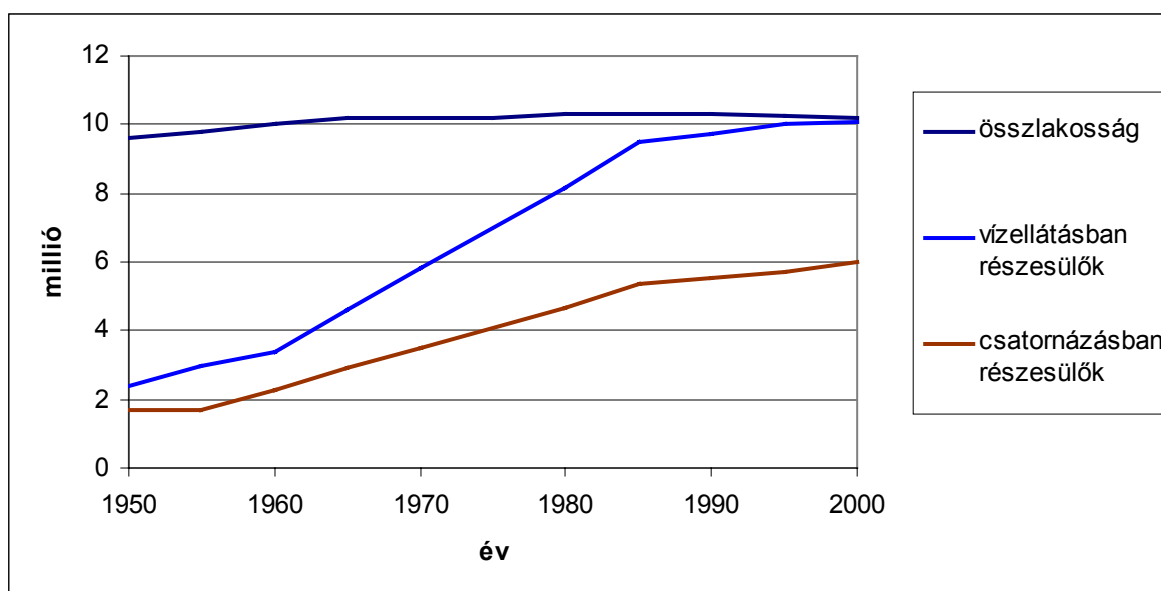
Növekvő szakmai népszerűséget szerzett a franciaországi Lyonban 1992 óta, szintén háromévenként megrendezett NOVATECH konferencia, mely a városi vízgazdálkodás fenntartható módszereire, innovatív eljárásokra és hosszú távú stratégiákra összpontosít, és szintén élvezi a közös bizottság támogatását. 2004. júniusi rendezvényén már 600 szakember vett részt.

Az elmúlt másfél évtized további speciálisabb nemzetközi rendezvényeit, melyek részben, vagy egészben települési vízgazdálkodással foglalkoztak, és amelyekben fellelhető az integrált vízgazdálkodás gondolata az alábbi helyszíneken és témakörben rendezték (zárójelben a rendezvény publikációjának jellege):

- New Technologies in Urban Drainage (A városi csatornázás új technológiái) Dubrovnik, 1991 (kiadvány Elsevier Applied Science)
- Hydroinformatics in Planning, Design, Operation, and Rehabilitation of Urban Drainage Systems (Hidroinformatika a városi csatornahálózatok tervezése, méretezése, üzemeltetése és rehabilitációja terén) NATO ASI, Harrachov, Csehország, 1996 (kiadvány Kluwer Academic Publishers, 1998).
- Controversies between Water Resources Development and Protection of Environment (A vízgazdálkodási fejlesztések és a környezetvédelem közötti ellentmondások) NATO ARW, Visegrád, Magyarország, 1996 (kézirat)
- Engineering and Urban Sustainability beyond 2000 (Műszaki fejlesztések és a városok fenntarthatósága), Budapest, 1995 (kézirat).
- Integrated Water Management in Urban Areas (Integrált vízgazdálkodás városi területeken), Lund, Svédország, 1995 (kiadvány Transtec Publications, 1996)
- Developments in Urban Drainage Modelling (Városi csapadécsatornázás modellezésének fejlődése), London, 1998 (konferencia-kiadvány)
- A Víz és a környezet nemzetközi konferencia, Dublin, 1992, (magyar nyelvű kiadvány, VITUKI, 1993)
- Urban Stability Through Integrated Water-related Management (Városi stabilitás a vízzel kapcsolatos integrált gazdálkodáson keresztül) Stockholm Water Symposium 1999 (kiadvány SIWI)
- Water Resources Management in the 21st Century (Vízgazdálkodás a XXI. században), Budapest, 2000 (kézirat)
- Frontiers in urban water management: deadlock or hope? (A városi vízgazdálkodás határai: zsákutca, vagy remény?) Marseille, Franciaország 2001 (kiadvány UNESCO-IHP)

A csapadékvíz kezelésével kapcsolatos álláspontok jelentős fejlődésen mentek keresztül a XX. század második felében. A második világháborút követő évtizedekre az iparilag fejlett országokban a mennyiségi szemlélet volt jellemző és a lehullott csapadékvíz, illetve a burkolt felületekről lefolyó víz minél gyorsabb elvezetése, az azoktól történő leggyorsabb „megszabadulás” volt a jellemző, és ez egyre nagyobb méretű műtárgyak (csatornák, átereszek, szivattyútelepek stb.) építését eredményezte. A közvetlen következmény az volt, hogy a talajvíztükör számottevően süllyedt a városok alatt a visszatáplálás hiánya miatt.

Hazánkban ez idő tájt a vízellátást helyezték előtérbe a döntéshozók és ennek következtében jelentősen nőtt az úgy nevezett „közműolló”, a vízellátás és csatornázás színvonala, ill. az ellátottságok közötti különbség (1.3 ábra). A kialakult gyakorlat az egyesített és elválasztott csatornarendszerekkel (2.2.1 pont) együtt is azt jelentette, hogy a települési vízforgalom „beviteli oldala” lényegesen nagyobb volt, mint a „kivitel” és következésképpen bizonyos helyeken talajvízdombok keletkeztek a települések alatt. Budapesten a külvárosi részeken ahol az 1960-as évek elején kezdtek átállni a közkutas ellátásról és a házakba bevezették a vizet, a megnövekedett fogyasztás, illetve az elszikkasztott szennyvíz miatt felborult a külterületek vízháztartása, talajvíz pincékbe tört be és volt ahol temetkezési gondokat is okozott a magas talajvízállás.



1.3 ábra. A közműolló alakulása Magyarországon (forrás: Németh 1996 és OSAP)

Az iparilag fejlett országokban az 1970–1980-as években egyre inkább felismerték a minőségi problémák jelentőségét, (ezek valójában ekkortájt fokozódtak is) és a mennyiség + minőség együttes kezelésére került a hangsúly. Ugyanekkor az a felismerés is megfogalmazódott, hogy a csapadékvíznek (illetve egy részének) a keletkezés helyén történő elhelyezése, a közmű előtti szabályozás számos előnyt rejt. Konkrétan, csökkenthetők a műtárgyak méretei és ezzel a költségek, valamint a vízminőségi panaszok egy része is orvosolható. Fentieken túl az 1990-es években egyre nagyobb szerepet kaptak a rekreációs szempontok, a víz szerepe megnőtt a környezet mikroklimájának alakításában, a melynek városokon belüli szerepe nem hanyagolható el, és amely a csapadékvíz elhelyezéssel is közvetlen kapcsolatba hozható. A víz érvényesülése rusztikus és csiszolt környezetben egyaránt jelentkezik. A növényekhez hasonlóan a lakó- és külső tér közötti kapcsolat megteremtésére alkalmas. Évszázados alkalmazása során kondicionáló szerepe mellett esztétikai funkciót is kapott (Ligetvári 2003). Ahogy a Budapest Főváros Általános Rendezési Terve (1993) fogalmaz: „Növelni kell a vízfelületek, kutak, csobogók mennyiségét”. A víz városokon belüli megjelenésére a 2-es melléklet mutat néhány példát.

Magyarországon a rendszerváltást követő években kezdődött meg a felzárkózás a csatornázás területén, a „közműiolló zárása”. Egy gyorsított ütemű fejlesztésnek lehetünk tanúi, melyet az európai uniós csatlakozásból következő feladatok is sürgetnek. Az ilyen szituációk lehetőséget nyújtanak arra, hogy elkerülve a fejlődés buktatóit, zsákutcáit, amelyeket az előttünk járók elkövettek, egy fejlődési fokot átugorva modernizáljuk települési vízgazdálkodási módszereinket. Ehhez megfelelő óvatosság szükséges, illetve azoknak a tendenciáknak a felismerése, melyek a fenntartható fejlődés megvalósítása felé vezetnek. Ebben nyújt támogatást az integrált vízgazdálkodás elve, melynek települési értelmezése képezi értekezésem célját, a városi csapadékvízzel kapcsolatos szakmai tudományos eredmények elemzése révén.

A hazai vonatkozó kutatási eredmények, publikációk közül – felsorolásszerűen – a következők emelhetők ki:

- Csapadékból eredő vizek lefolyásának vizsgálata Budapest területén, VITUKI témajelentés, 1987
- Fehér F., Horváth J. és Ondruss L. Területi vízrendezés, Műszaki Könyvkiadó, 1986
- Starosolszky Ö. Városi hidrológia és hidraulika, összefoglaló jelentés, OTKA – VITUKI 1990,
- Öllös G. Budapest és a környező területek integrált vízgazdálkodása, esettanulmány, BME 1994
- Magyarország vízügyi politikája és annak gazdaságpolitikai összefüggései, KHVM, 1998 (kézirat)
- Somlyódy L. A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései, MTA 2002,
- Buzás K. Tározó műtárgyak térfogatának meghatározása egyesített rendszerű és csapadékcsatorna-hálózatokban. Hidrológiai Közöny 8/1978
- Dulovicsné, D.M. A csatornázás irányzatai. MaSzeSz Hírcsatorna 2002. július–augusztus
- Öllös, G. Csatornázás és szennyvíztisztítás I., K+F eredmények, AQUA Kiadó, Budapest, 2000
- Wisnovszky, I. A települések csatornahálózatának hidrológiai vizsgálata. Vízügyi Közlemények 1/1975

A nemzetközi szakirodalom további publikációi sorából az alábbiakat emelem ki:

- UNESCO Manual on drainage in urbanized areas, Volumes I and II, (Városi területek csatornázási kézikönyve I. és II. kötet) 1987
- UNESCO Integrated Water Resources Management in Urban and Surrounding Areas – A Contribution to the International Hydrological Programme (Integrált vízgazdálkodás városi és környező területeken – hozzájárulás a Nemzetközi Hidrológiai Programhoz), 1995
- Cedo Maksimovic és José Alberto Tejada-Guibert Frontiers in urban water management: deadlock or hope, (A városi vízgazdálkodás határai, holtpont vagy remény) IWA Publishing, 2001 (nem azonos az azonos című fent említett konferencia-kiadvánnyal, de annak alkalmával jelent meg).
- Falkenmark M. et al. Water a reflection of land use, Swedish Natural Science Research Council, UNESCO-IHP, 1999
- Global Water Partnership Integrated Water Resources Management, TAC background paper no.4, 2000

- Andjelkovic, I. (2001) Guidelines on non-structural measures in urban flood management (Nem-szerkezeti módszerek alkalmazására városi árvízkezelésben irányelv) Series Technical Documents in Hydrology Serial Number 50. Project IHP-V Project 7., IHP-V Technical Documents in Hydrology No. 45. UNESCO

A konferenciák és (főleg a külföldi) publikációk szaporodó száma a téma iránti érdeklődés növekedését jelzi, mely egyértelműen utal a problémakör aktuális voltára. A XX. század végére a fenntartható fejlődés igényének előtérbe kerülése kapcsán egyre több kérdés merült fel a világon vízzel kapcsolatban általában és a városi vizekre vonatkozóan specifikusan is. Hogyan lehet a lakosság jelentős részének igényeit hatékonyan és fenntartható módon kielégíteni? Megfelelőek-e a múltban kialakult technikák? Többen kétlik, hogy a mai (örökölt) módszerek alkalmasak lesznek a jövőbeli kihívások kezelésére (*Argue* 1995; *Marsalek és Chocat* 2001). A vízzel kapcsolatos paradigmaváltás sokat hangoztatott szükségessége a városi vízgazdálkodásban erőteljesen jelentkezik. A fejlett világ illetve a hagyományos infrastruktúrával rendelkező városlakók nem utasíthatják el a felelősséget a csapadék- és a szennyvíz elhelyezése kapcsán és az új paradigmának el kell ismernie, hogy ezek egyben fontos készletet is jelentenek (*Otterpohl et al.* 1997, *Rauch et al.* 1998, *Dulovicné*, 2003, *Horváthné és Wisnovszky*, 2003).

A legutóbbi időkben a következő tényezők hoztak alapvető változásokat a csatornahálózatok tervezése és üzemeltetése kapcsán:

- a fenntartható fejlődés koncepciójának elterjedése,
- az ökológiai szemlélet térnyerése,
- az elfolyó vizek befogadóra gyakorolt hatásának jobb megértése,
- a hálózat, a szennyvíztelep és a befogadó egységes kezelése,
- a számítástechnikai eszközök és az analitikai módszerek folyamatos fejlődése,
- az EU Víz Keretirányelvvel összhangban a vízgyűjtőszemlélet elterjedése.

1.4 A csapadékvíz-elhelyezés jelenlegi állapota

A fejlett országokban a városi csapadékvíz-elvezetés megoldása sikertörténetnek látszik, ha a városlakók szempontjából a két legfontosabb szempontot, a közegészség helyzetét és az elöntések elleni védelmet vizsgáljuk. A múltban „csatornát mindenkinek” volt a jelszó. A régi koncepció ma már azonban nem képes kielégíteni a városok minden ez irányú igényét. Bizonyos problémákat még mindig nem tudtunk megoldani, mások most kerülnek előtérbe, attól függően milyen az adott település földrajzi adottsága, illetve az ott élő lakosság elvárása. Az előttünk álló legfontosabb feladatok kapcsán megoldásra várnak:

- *A lefolyás mennyiségével kapcsolatos problémák.* A lefolyás megnövekedett mennyisége és tetőző vízhozama, ami környezeti és anyagi károkat okoz és kivételes esetben emberéletet is követel, a süllyedő talajvíztükör, melynek következményeként talajsüllyedés és szerkezeti károk is keletkezhetnek az építményekben, a településen áthúzódó vízfolyások eróziója és az ottani élőhelyek károsodása.
- *A lefolyás minőségével kapcsolatos feladatok.* A városi csapadékvíz az egyik legnagyobb nem-pontszerű forrása számos szennyezésnek, a nehézfémek, a szerves anyagok, a tápanyagok (főleg foszfor), illetve a szennyezett hordalék és kórokozók befogadásával.
- *A táj esztétikai, ökológiai és használati értékével összefüggő problémák.* A hagyományos csatornahálózatok elfolyó vizei hatással vannak a befogadó biológiai integritására, elsősorban az élővilág elterjedtségére és sokféleségére. Ugyancsak hátrányosan befolyásolják

a befogadó használati értékét, úgymint az ivóvíz kivétel, fürdés, halászat-horgászat, valamint a víztest általános esztétikai értékét, különös tekintettel a rekreációs elvárásokra.

- *A meglévő városi csatornahálózatokkal kapcsolatban fennálló problémák.* Ide tartozik a szennyvíz-tisztító telepek teljesítménycsökkenése a csapadékvízből származó túlterhelés következtében, a városi terület növekedésének korlátai a nem megfelelő infrastruktúra és az előregedő rendszerek költséges fejújítása miatt.

Ezek a kihívások motiválják a fenntartható városi vízgazdálkodási stratégiák fejlesztését és új alternatívák keresését a hagyományos csatornahálózatokkal szemben. Remélhető, hogy a korszerű, integrált szemléletű módszerek segíteni fogják a fejlődő és az átmeneti gazdasági helyzetű országokat abban, hogy a fejlődés egy lépcsőfokát átugorva, olcsóbban és gyorsabban építsék ki városi csatornarendszereiket. A fenntartható városi vízgazdálkodás célja nem csupán a felesleges vizek biztonságos és hatékony elvezetése és a vízminőség szabályozása, hanem egyúttal esztétikai, rekreációs, ökológiai és gazdasági előnyök érvényesítése, beleértve a szóban forgó terület értéknövekedését is (Ellis 1995). A XXI. század elején a városi csatornázás sokkal több, mint a csapadékvíz egyszerű elvezetése a településről. Az új stratégiát öt cél jellemzi (Chocat et al. 2001) és a városi hidrológiai ciklus teljes körű gazdálkodásának nevezik (*total urban water cycle management*) (Lawrence et al. 1999). Az öt cél:

- a városi lefolyás csökkentése a csúcs-vízhozam redukálása céljából,
- a szennyezés csökkentése a városi vízgyűjtőkön keletkező szennyezőanyagok összegyűjtése és kezelése révén,
- a csapadékvíz visszatartása és lehetőség szerinti maximális felhasználása a vízgyűjtőn vagy közelében,
- a városkép javítása, a víz elrejtése helyett annak megjelenítésével, és beillesztésével a funkcionális zöldövezetekbe,
- a csatornázási beruházás csökkentése, például a csapadékvíznek zöld területekre vezetésével, csökkentve az infrastrukturális költségeket.

Ahogy Somlyódy és társai (2002) fogalmaznak a települési vízgazdálkodás célja ma már a települési víz- és az ahhoz kapcsolódó anyagforgalom együttes kezelése.

Ezekkel az új elképzelésekkel kapcsolatos kutatás a világ számos pontján folyt és folyik, a helyi prioritások figyelembe vételével. Ausztráliában három fő szempont szerint végezték a kutatásokat: a városi elöntések csökkentése, a szennyezés minimalizálása és az arid, vagy szemi-arid területeken a csapadékvíz gyűjtése-hasznosítása (Argue 1995). Japánban a „nulla kibocsátás” gyakorlatát próbálták a csatornatervezés kapcsán megvalósítani (Fujita 1998). Az USA-ban és Kanadában a fő kutatási irány a szennyvíz- és az egyesített rendszerek túlfolyásának megakadályozása volt a vízminőség javításának érdekében (EPA 1994). Európában a meglévő egyesített rendszereket javították az elöntés-védelem és a szennyezés-csökkentés ellentmondó céljainak feloldására. Magyarországon az 1990-es évek elejéig a meglévő rendszerekből kiindulva, a közműöllő sajátos és sajnálatos jelenségének felszámolása érdekében folytak kutatások (Buzás 1978; Dulovics et al. 1978; Gayer 1989; Starosolszky 1990; Wisnovszky 1975, 1979, 1994), majd az EU csatlakozás előtérbe kerülésével a Közösség előírásainak való megfelelés és a kapcsolódó anyagi terhek illetve lehetőségek kerültek a figyelem előtérbe (Juhász 1995, 2003/b; Varis és Somlyódy 1997; Gayer 1997). Ezzel párhuzamosan a kilencvenes éveket – a gazdasági átmenet összes nehézsége ellenére – a vízi infrastruktúra [csatornázás] soha korábban nem látott mértékű fejlesztése jellemezte (Somlyódy 2002/a). A beruházások mértéke közel kétszázmilliárd forint volt, és ennek eredményeként nemcsak az ivóvízellátás, hanem a csatornázás és szennyvíztisztítás szintje is emelkedett. A csatornázás színvonala (a bekötött lakások aránya) 2002-ben már 56%-os volt, miközben kb. egymillió ember nem hajlandó rákötni saját háztartását a ház előtti közcsatornára (a tényleges lehetőség 66%). Változást hozhat ezen a téren, hogy a környezetterhelési díjról szóló

2003. évi LXXXIX. törvény 2004. július 1-jétől talajterhelési díj fizetésére kötelezi azt a kibocsátót, aki a műszakilag rendelkezésre álló közcsontrára nem köt rá, és helyi vízgazdálkodási hatósági, illetve vízjogi engedélyezés alapján szennyvízelhelyezést alkalmaz.

1.4.1 A városiasodás hatása a hidrometeorológiai adottságokra

A növekvő népsűrűséggel fordított arányban változik a városi parkok kiterjedése, márpedig a modern nagyvárosok területrendezési-területfelhasználási konfliktusainak jelentős része valamilyen módon összefügg a zöldfelületek meglétével vagy hiányával, fejlesztésével vagy a meglévő zöldfelületek más célra történő igénybevételeivel (Budapest Főváros Általános Rendezési Terve 1993). A műszakilag túlhasznált, urbanizált környezetben a zöldfelületek a humán komfort klíma fenntartásának és a természetes vízháztartásnak nélkülözhetetlen elemei lennének.

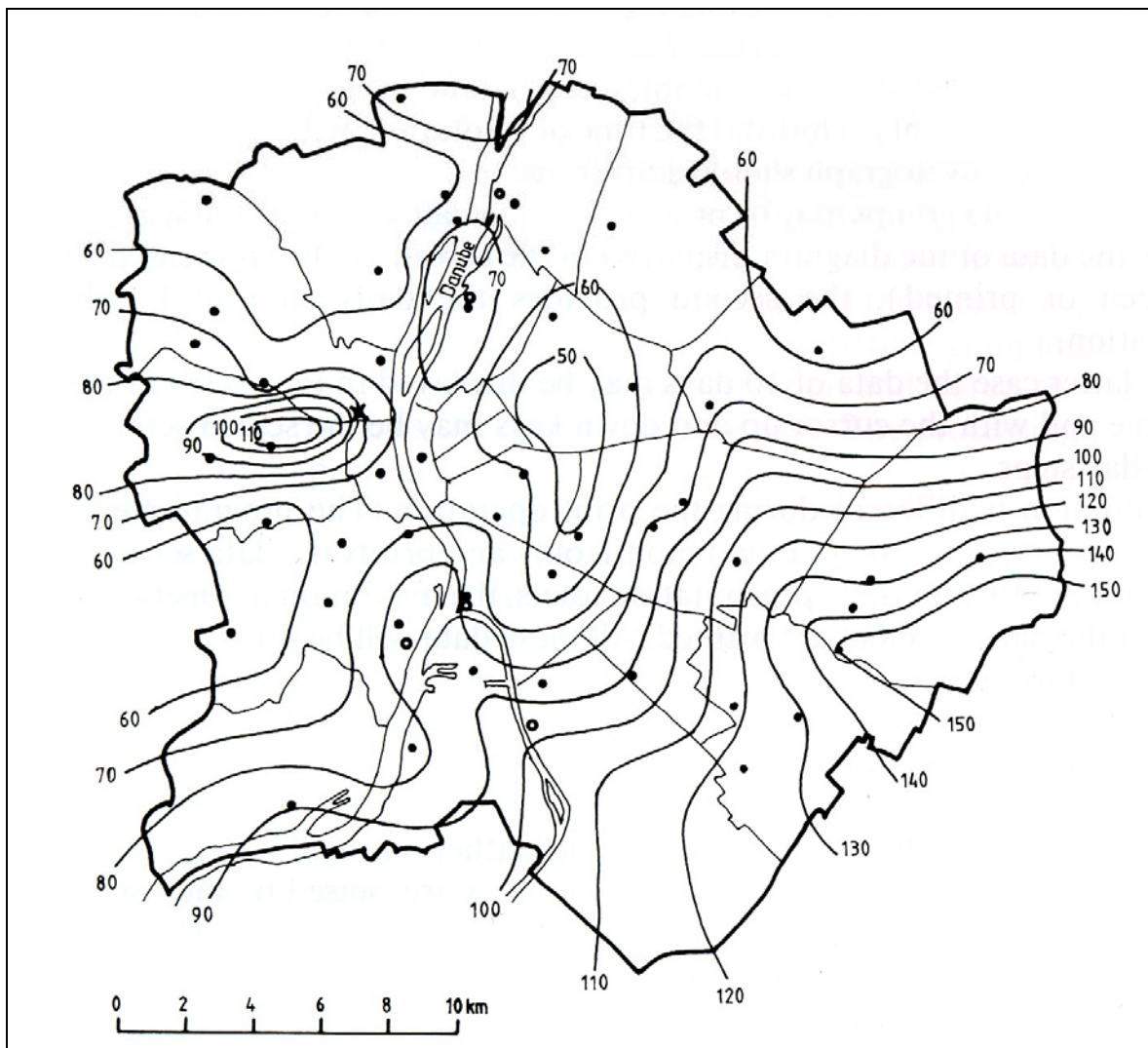
A városiasodás, az ipari fejlődés és a népességnövekedés összetett hatásaként megváltozik a természetes környezet és változnak az érintett terület hidrológiai jellemzői is, a „vízgyűjtő válasza” és mindez környezeti, ökológiai hatásokkal jár. Ebben a folyamatban a természetes környezet számos elemét ember alkotta műtárgy, létesítmény stb. váltja fel (*1.4 ábra*), és ezáltal változik a hidrológiai ciklus is. Az urbanizáció következtében előálló lényeges változások a klimatikus viszonyokat, a lefolyást, a vízminőséget érintik és ezeken keresztül a környezet és az ökoszisztéma is változáson megy át, a biodiverzitás csökkenését is beleértve. Ráadásul a városok hatásai messze túlnyúlnak közigazgatási határaikon, hiszen a vízellátó rendszerek sokszor távoli folyók, tavak vagy felszín alatti vízkészletek vizét vezetik a városba.

Az urbanizációs folyamat tipikusan kötődik a földhasználati változásokhoz a természetes vagy a mezőgazdasági terület – a településen belül, illetve a közlekedési folyosók mentén – burkolt felületté válik, az energia-kibocsátás növekedéséhez, vízellátáshoz, szennyvíz- és csapadékcsonnázáshoz. A felsorolt tényezők a vízviszonyokon kívül a levegő és a talaj állapotára is kihatnak. Bármely földhasználati változásról hozott döntés egyben vízgazdálkodási döntés is, és viszont megfelelő földhasználati szabályozás szükséges a vízvédelem szempontjából (*Falkenmark et al. 1999*).

1.4.2 Klimatikus hatások

A nagyterjedésű városoknak a helyi klimatikus viszonyokra gyakorolt hatását már régebben felismerték. A módosult mikroklíma sok összetevőnek az eredménye lehet, mint például az energiaháztartásban bekövetkezett változás, légszennyezés, a légmozgást befolyásoló tényezők (magasházak), földhasználati változások, üvegházgázok kibocsátása. Ezek a tényezők befolyással vannak a sugárzási egyensúlyra, valamint a csapadék és a párolgás mennyiségére, ezáltal a hidrológiai ciklusra is. Együttes hatásuk eredményeként nagyvárosok éves csapadékösszege 5–10 százalékkal is magasabb lehet, mint a környező területeké, és az egyes csapadékesemények során a különbség elérheti a 30%-ot is (*Geiger et al. 1987*). A nagyobb csapadékot általában a város szél alatti részén mérik, amint az az 1951 és 1980 közötti napi maximum értékekből is kitűnik Budapest esetén (*Takács et al. 1991, 1.4 ábra*), ahol a légáramlás uralkodó iránya É-Ny-i, (mely a Nyugat és Közép Európában jellemző, Ny-K-i irányú általános cirkuláció része). Budapest városklímájával kapcsolatban *Probáld* (1974) is hasonló megállapítást tesz: „a városok csapadéknövelő hatása főleg a lee-oldal felé érződik”. Ugyanakkor megállapítja, hogy a városi légszennyezés hatása növeli a kicsapódást (szombat-vasárnap kevesebb csapadékot észlelnek, mint munkanapokon).

Városok felett a levegő hőmérséklete a 4–7 °C-kal magasabb, az így megnövekedett párolgási érték 5–20%-kal több (*Geiger et al. 1987*). A tényleges párolgás és evapotranszpiráció értéke, természetesen nagyban függ a helyi viszonyoktól.

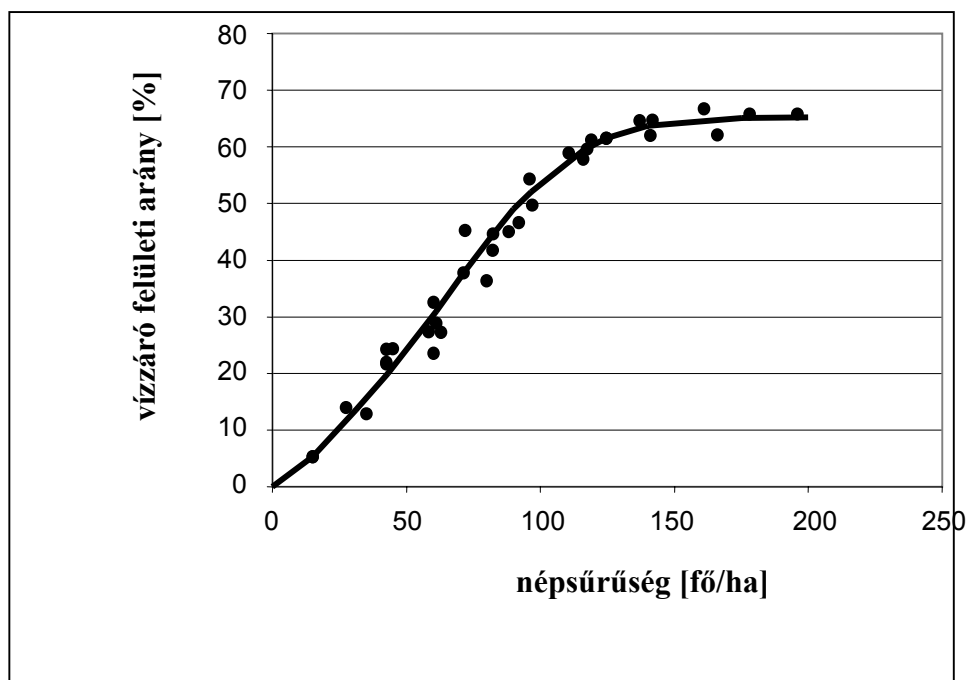


1.4 ábra. Az 1951–1980 közötti napi csapadékmaximumok Budapesten (forrás: Takács et al. 1991)

1.4.3 A lefolyást érintő hatások

A legjelentősebb változást a burkolt, vízzáró felületek megnövekedése, valamint a csökkenő felületi tározódás és ugyancsak csökkenő felületi érdesség miatt, a vízvezető képesség jelentős növekedése jelenti (Gayer 1989). A városiasodással, a népsűrűség növekedésével és a közlekedés fejlődésével jár, hogy a fejlesztésbe vont területen megjelennek az aszfalt vagy betonozott útpályák, a járdák, illetve az épületek, és beszivárgást gátló vízzáró felület képeznek. A mezőgazdasági termelés és a termékek feldolgozása még vidéki területeken is egyre több szilárd burkolat létrehozását eredményezte a települések közelében, amelynek következtében a korábban befogadó felületek átalakultak kibocsátóvá és ezáltal növelik a csatornahálózat terhelését (Ligetvári 1995-97).

A vízzáró felület aránya a teljes vízgyűjtőhöz igen fontos paraméter a városi hidrológiai vizsgálatok során. Lakóterületeken jó egyezés mutatható ki a népsűrűség és a vízzáró felület arány (R_f) között, amint azt a 1.5 ábra mutatja (Campana és Tucci 2001 nyomán). A népsűrűség növekedésével kb. 120 fő/ha értékig meredeken, e fölött enyhén nő a vízzáró felület aránya. A 150 fő/ha-t meghaladó értékeknél azonban gyakorlatilag állandósul (kb. 65%-on). A lakóövezetekre érvényes megállapítás természetesen nem igaz az ipari, kereskedelmi városrészekre, ahol a nullához közeli állandó lakosság mellett R_f értéke általában meghaladja a 70–80%-ot is (1.1 táblázat).



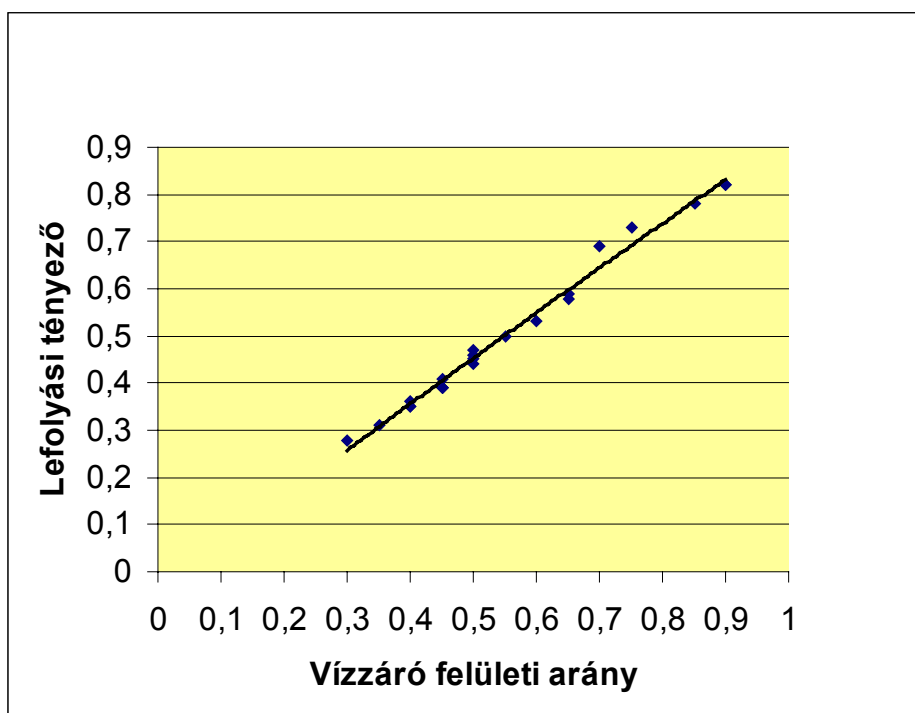
1.5 ábra. A népsűrűség hatása a vízzáró felületi arányra (forrás: Campana és Tucci 2001)

Az R_f növekedése következtében a városiasodást megelőző korszakhoz képest megnő a lefolyás mennyisége, csökken a beszivárgás és a párolgás. Az 1.6 ábra budapesti volumetrikus lefolyási tényezők¹ (C_v) alakulását mutatja a vízzáró felületi tényező függvényében egy korábbi vizsgálat nyomán (Gayer 1990). A C_v növekedését elsősorban R_f befolyásolja, kisebb hatása van a felszín lejtésének. Az értékek éves átlagra vonatkoznak és változhatnak az egyes csapadékesemények között és alatt is a fennálló hidrológiai körülményeknek megfelelően (a megelőző csapadékindex értékétől függően). Az átlagtól való eltérést felfelé a kis felületi tározódás, kötött talaj, a viszonylag nagyobb terepesés és a kis mennyiségű átfolyás vízzáró felületről vízáteresztő területre indokolja. A másik irányban (a kiegyenlítő-görbétől lefelé) történő eltérésre a nagy felületi tározódás, laza talaj, kis terepesés és a nem közvetlenül a csatornába kötött vízzáró felületek a jellemzőek általában.

1.1 táblázat. Átlagos vízzáró felületi arányok településeken (Wisnovszky, 1975 nyomán)

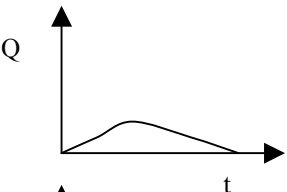
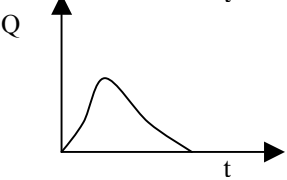
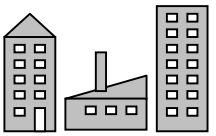
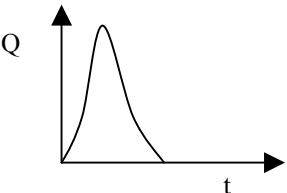
A terület jellege	vízzáró felületi arány (R_f)
Falusi település	0,15 – 0,30
Családi házas városrész	0,20 – 0,40
Társasházias városrész	0,30 – 0,50
Tömbös lakótelep	0,40 – 0,70
Városközpont, kereskedelmi övezet	0,60 – 0,90
Régi belváros, ipartelep	0,80 – 0,95

¹ A volumetrikus lefolyási tényező (lefolyási hányad) C_v = lefolyt mennyiség osztva a csapadékkal.



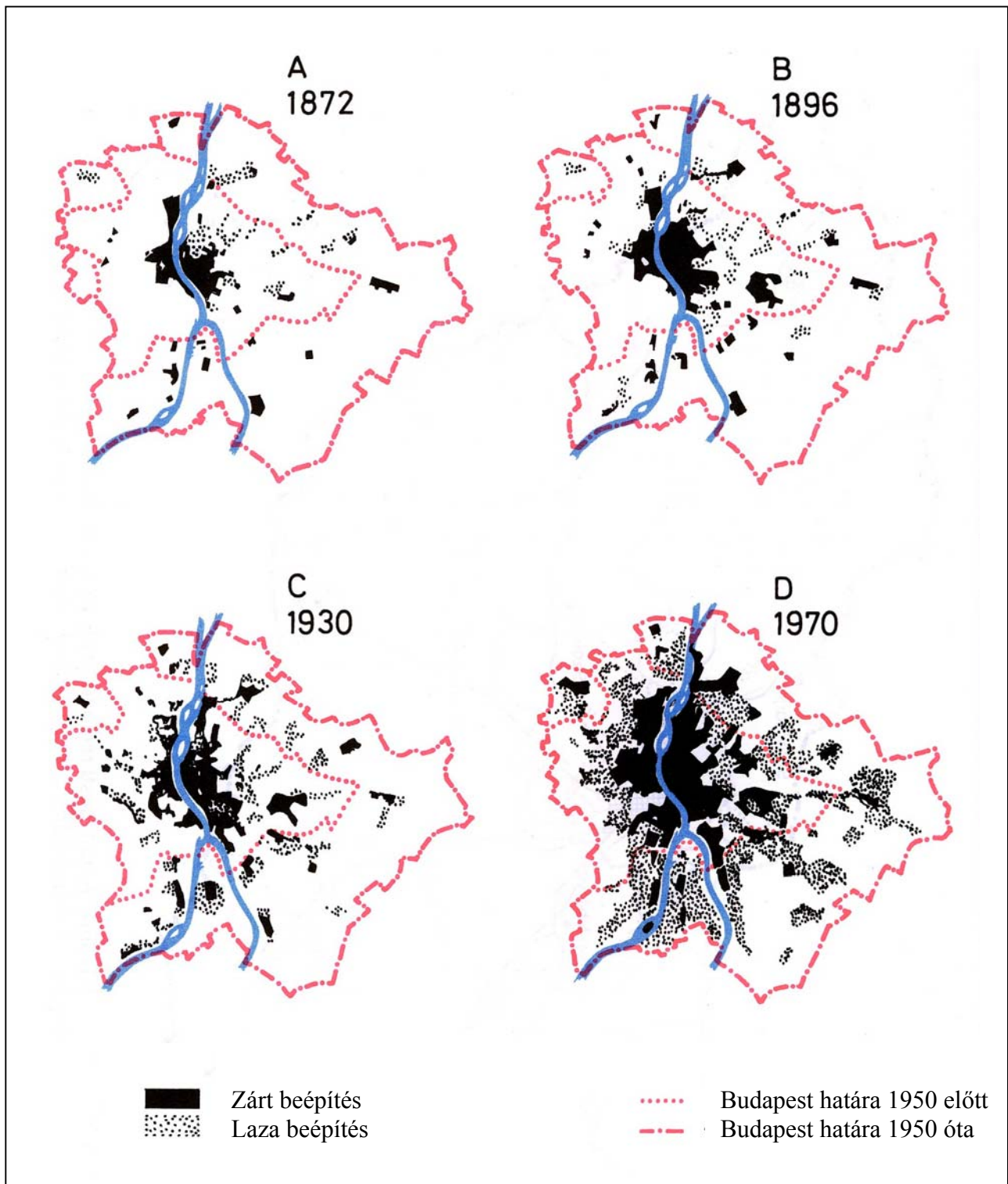
1.6 ábra. Budapesti volumetrikus lefolyási tényezők

Ugyancsak nő a tetőző vízhozam és csökken az összegyülekezési idő, illetve az árhullám tetőzési ideje (1.7 ábra). A tetőző vízhozam értéke a helyi viszonyoktól függően a többszörösére is emelkedhet. Ugyanez állapítható meg a lefolyó mennyiség kapcsán, mely nem csupán a beszivárgás, de a felületi tározódás csökkenése miatt is jelentősen megnő.

A vízgyűjtő állapota	Árhullám-kép	Jellemzés
Természetes vízgyűjtő 		Alacsony lefolyási hányad; elhúzódó árhullám
Előváros 		Növekvő mennyiségű és gyorsabb lefolyás; magasabb árvízcsúcs
Belváros 		Drasztikusan megnőtt lefolyás; rövid tetőzési idő; nagy árvízcsúcs

1.7 ábra. Az urbanizáció hatása a lefolyásra

A városfejlődés évszázados alakulását mutatja a 1.8 ábra Budapest példáján. Jól nyomon követhető a város kiterjedésének növekedése. A pontvonal az 1949. december 31-ig érvényes városhatárt, az eredményvonal az 1950-től érvényeset mutatja.



1.8 ábra. Budapest beépítettségének változása évszázados léptékben (forrás: Öllös 1994)

A vízhozamban bekövetkezett változás kritikus lehet az elöntések számát és mértékét illetően. Az érintett területek viszonylag kis kiterjedésűek, elsősorban mélyen fekvő utcák, aluljárók, épületek pincéi, alagsorai, de az okozott kár a felhalmozott érték nagysága miatt igen jelentős, sőt az elöntés emberéleteket is veszélyeztethet.

A természetes vízgyűjtőről és a városi területről származó árvízhozamok közötti különbség, illetve a lefolyó mennyiség növekedése általában a terület lefolyási tényezőiben² bekövetkező változással jellemezhető. Minthogy a természetes körülményekre érvényes lefolyási tényező változhat a csapadékesemény alatt a talaj telítettség válsága következtében, a különbség csökken a nagyobb visszatérési idejű eseményeknél. A csatornahálózat hatása a lefolyó árhullámkép alakjára jelentős és ezt tovább befolyásolhatja a csapadékfront iránya és haladási sebessége *Niemczynowicz* (1988). *Yen és Chow* (1969) laboratóriumi kísérlettel bizonyították, hogy a főcsatornával párhuzamosan lefelé vonuló csapadékfront nagyobb, az ellenkező irányú zápor kisebb csúcsvízhozamot eredményez, mint az álló csapadék. Viszont az olyan csapadékok esetén, amelyeknél a front sebessége eléri a lefolyás sebességének kétszeresét, a bármely pontban kialakuló vízhozam ugyanaz, mint álló csapadék esetén lenne. A csapadék mozgási sebességére és irányára vonatkozó vizsgálatok azt mutatták, hogy az irány megegyezik a 700 mbar-os széliránnyal, de a sebesség kisebb, mintegy 15%-al (*Marsall*, 1980, *Niemczynowicz*, 1987).

Vízvisszatartó medencék, záportározók, melyek működése különösen hasznos lehet a csúcsvízhozam csökkentésében, tovább módosíthatják az árhullámképet. Felszínalatti szerkezetek, mint mélyvezetésű utak, metró, felszínalatti parkolók különösen erősen befolyásolhatják a talajvízszinteket és –áramlást. A budapesti észak-déli metróvonal kirívó példa erre.

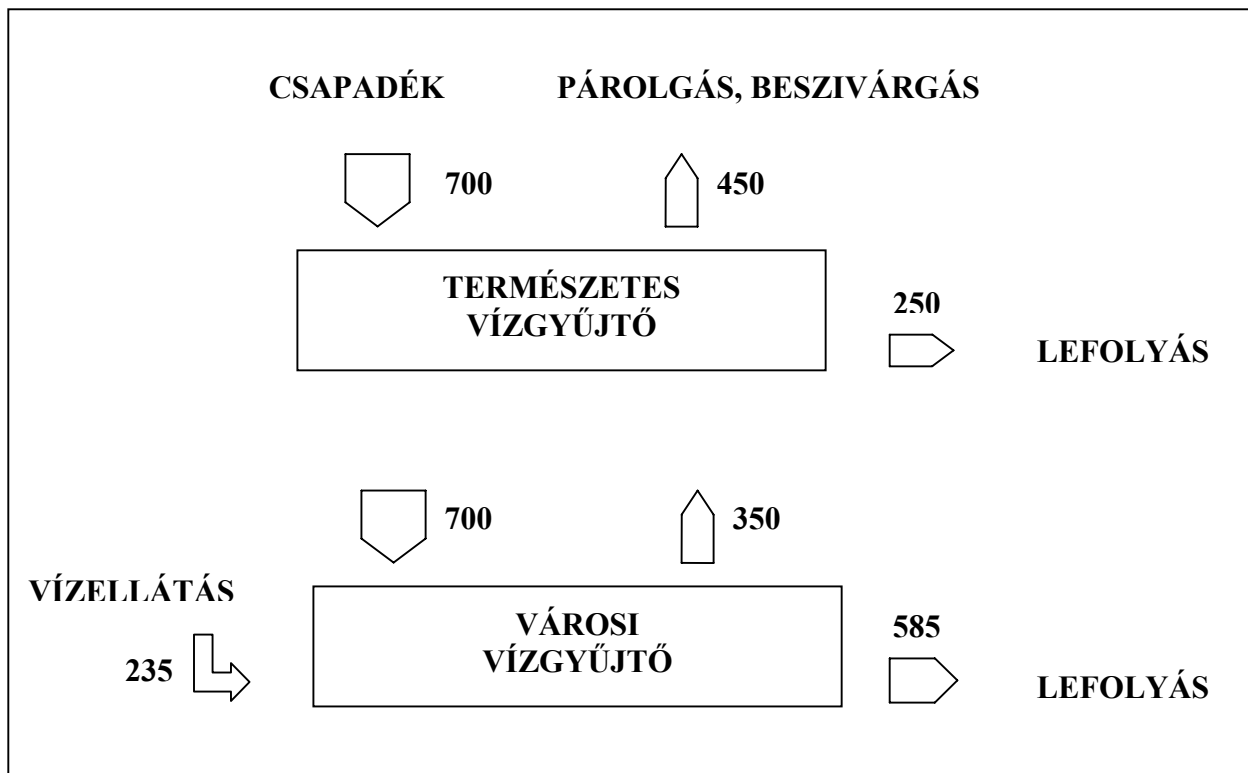
A városok kifejlődése és a kapcsolatos építési tevékenységek alapvető beavatkozást jelentenek azokba a természeti folyamatokba, melyek a talajvíz helyzetét, mozgását meghatározzák. Pozitív beavatkozásoknak tartják (a lakóhely megteremtése szempontjából) a belvizes területek lecsapolását, a településen áthúzódó vízfolyások szabályozását. Ugyanakkor a talajvizek káros megemelkedését (talajvíz domb kialakulását) okozhatja a közművezetékek meghibásodása, vagy a vízellátás – csatornázás szintje között kialakuló „közműölló”, ami a pincevizek megjelenését is eredményezheti, amint arra számos lakossági panasz is utal (FTV, 1988). Ennek ellenkezője a nagy csatornasűrűségű, kiterjedt és vízzáróan burkolt területek példája, ahol talajvíz-süllyedés következik be a pótlás megszűnése miatt.

Másik negatív hatás a nyílt vízfolyások fokozódó eróziója. A természetes vízfolyások geometriai átalakulással reagálnak a vízgyűjtő hidrológiai viszonyaiban bekövetkezett változásokra. Átlagos esetben egy $R_f = 0,35$ vízzáró felületi tényező érték mellett olyan tetőző vízhozam növekedésre számíthatunk, ami egy kis vízfolyás keresztmetszetét akár a kétszeresére is erodálhatja. A növekvő erózió magán a vízgyűjtőn is előállhat, amint arról *Apman* (1974) számol be. Az Egyesült Államokban egy 25 km²-es vízgyűjtőn a városiasodás hatására 75 000 m³-es eróziót mértek, mely jelentős költségű kotrásokat vont maga után a befogadóban.

Megállapítható, hogy a városiasodás egyik következménye a kiterjedt csatornázás megjelenése, amely egy emberi válasz a hidrológiai és környezeti problémákra és amely átfogó módon befolyásolja a hidrológiai ciklust (*Starosolszky* 1990).

A vízellátáson keresztül a városi vízgyűjtők mintegy plusz bemenetet, a vízmérleg szempontjából hozzáfolyást kapnak, mely ha nem is éri el a csapadék volumenét, összemérhető vele. Az egyidejűleg csökkenő párolgás (és beszivárgás) eredményeként a lefolyás több mint kétszeresére nő egy svédországi példa esetében (1.9 ábra).

² Meg kell különböztetni a csúcs-vízhozamhoz tartozó illetve a volumetrikus lefolyási tényezőt. Előbbi a racionális módszer képletében alkalmazott faktor, míg utóbbi értelemszerűen a lefolyt mennyiséggel függ össze (1.6 ábra).



1.9 ábra. Sematikus vízmérleg természetes és városi vízgyűjtőn (mm)

1.4.4 A befogadóra gyakorolt hatások

A településeknek a befogadóra kifejtett hatásait a kezeletlen szenny- és csapadékvizek, illetve a szennyvíztisztító telepről kilépő, valamint a közvetlenül elfolyó ipari vizek jelentik. A kibocsátásoknak fizikai hatásai lehetnek az élőhelyekre, lehetnek a vízminőséget befolyásoló hatások, hordalékviszonyokat érintő hatások, toxikus szennyezések, érhetik hatások a biológiai közösségeket, a talajvíz viszonyokat és közegészséget érintő következményei is lehetnek a fekáliás szennyezést tartalmazó kibocsátásoknak. Az elfolyó városi vizek hatásának értékelésénél figyelembe kell venni azok térbeli és időbeli jellegét. Előbbi a hatás térbeli kiterjedésére, utóbbi annak heveny, vagy krónikus, akkumulálódó jellegére utal (*Lijklema et al. 1993*). A heveny hatások percekkel a kibocsátás után már érződnek és ilyenek lehetnek a vízáram, a biológiailag lebontható anyagok, ammónia vagy nehézfém toxikus koncentrációja, az összes maradék klór és a fekáliás bakteriális szennyezés. Jellemzésükhöz a szennyezőanyag koncentrációját és áramát, a szennyezés előfordulásának gyakoriságát illetve tartósságát valamint a befogadó transzportdinamikáját kell ismerni.

A halmozódó hatások a befogadó fokozatos változását idézik elő és csak bizonyos küszöbérték elérése után válnak észrevehetővé. Tipikus példája az üledékből származó tápanyag vagy mérgezőanyag (*Harremoës 1988*), ill. a geomorfológiai változások az áthúzódó vízfolyásokon. Ezek nagy időléptékű folyamatok.

A hatások jellegük szerint lehetnek:

- fizikai
- kémiai
- és ezek környezetmódosító hatásai.

Fizikai hatás a hőmérsékletnövekedés, mely a felmelegedett felületekről származó lefolyás következménye. A magasabb víz hőmérséklet a vízi élőlények földrajzi elterjedését is befolyásolhatja. (Ligetvári 1995). A módosulások főleg a hideg vizet kedvelő fajok kárára (főleg algák és gerinctelenek) következnek be, végső soron a táplálékláncot is befolyásolva. Városi tavak sűrűségi rétegződéséről is beszámoltak már (Marsalek et al. 2000), ami a tavak közelében húzódó utak téli sózásából eredt, és ami a függőleges elkeveredést gátolva megakadályozza az oxigénben gazdag felszíni rétegből az oxigén lejutását a mélyebb rétegekbe. A mederberágódás, a talajvízsüllyedés, a hordalékproblémák, az elöntés tipikus fizikai hatások, melyek szintén kihatással lehetnek az ott élő fajokra és a táplálékláncre. A fizikai hatások által érintett vízhasználatok a vízellátás, a halászat / horgászat és az öntözés.

Városi szennyvízkibocsátások *kémiai hatásai* a szervesanyag terhelésben és a kémiai oxigénigény növekedésében nyilvánulnak meg és toxikus mikroszennyezést eredményezhetnek. Különösen a kezeletlen szennyvizek tartalmaznak nagy oxigénigényű anyagokat (pl. ammónia) a jól kezelt szennyvizek illetve a csapadékvizek kevésbé problémásak ebből a szempontból. Rövidtávú hatásuk a BOI és KOI értékének megváltozásában jelentkezik, míg hosszabb jellegű hatásként jelentkezik az üledék oxigénigényének változása (Hvitved-Jacobsen 1982). Az oldott oxigénnel kapcsolatos problémák a biodiverzitásra és a vízhasználatra vannak kedvezőtlen hatással.

A befogadó *tápanyag-feldúsulása* és eutrofizációja³ a kibocsátott nitrogén és foszfor következtében áll elő, mely anyagok a különböző formában találhatók szennyvíztelepi elfolyó vizekben, kezeletlen szennyvízben, csapadékvízben és bizonyos ipari szennyvizekben. Jelentős a mosószerekből származó foszfor-mennyiség, hiszen a hagyományos mosószerek foszfáttartalma foszforban kifejezve 8–10% volt és még az új, környezetharmonikusabb mosószereké is általában eléri a 4%-ot (Ijjas 1997). Az oldott oxigén koncentráció napi ingadozását is növelheti a bevitt tápanyag az elsődleges produkció növekedésén keresztül. Ezen túlmenően az elhalt növényi maradékok lebomlása a víz-üledék határfelületen tovább növeli az oxigénigényt. A tápanyag-feldúsulás a kritikus fajokra, a táplálékláncre és az ökoszisztéma fejlődésére van negatív hatással. A vízhasználatokat tekintve a vízellátás, a fürdés, a rekreáció, a halászat / horgászat, az ipari vízhasználat és az öntözés érintett kedvezőtlenül.

Az elfolyó városi szennyvizek *mérgező hatását* az ammónia, az összes maradék klorid, a cianid, a szulfidok, a fenolok, a nehézfémek, a szénhidrogének (különösen a policiklikus aromás szénhidrogének, PAH-ok) és néhány egyéb szerves szennyező, köztük peszticidek toxikus koncentrációi okoznak (Chambers et al. 1997). A mérgezés hatása lehet akut (halálos), génmérgező (a génanyagot károsító) és krónikus (a reprodukcióra káros).

Endokrin és egyéb új vegyi anyagok hatásait az utóbbi időben fedezték fel a befogadóban. Gyógyszerek és hormonok az emberi ürülékkel kerülnek a szennyvízbe, és mivel eltávolításuk megoldatlan, átjutnak a szennyvíztelepeken (Ternes et al. 1999). Még kis mennyiségük esetén is az endokrin anyagok az ösztrogén receptorokhoz kötődve a halak hím egyedeiben jelentősen veszélyeztetik azok szaporodási képességét. Endokrin anyagok egyébként bizonyos ipari szennyvizekben is találhatók, hatásuk lehet mérgező és ösztrogén. Gyógyászati és testápoló termékek (antibiotikumok, gyulladáscsökkentők, bétablokkolók, bőrápolók stb.) komplex vegyi keveréket is találtak már szennyvíztelepi elfolyó vizekben (Daughton és Ternes 1999). A társadalom által használt bármely anyag előbb vagy utóbb kimutatható a szennyvízben (Somlyódy 2003).

A befogadót érő hatások az elfolyó vizek eredetét tekintve származhatnak a:

- csapadékvízből (felszíni lefolyás, elválasztott rendszer esetén)
- kezeletlen szennyvízből (lehet kevert is, egyesített rendszer esetén)

³ A Fekete-tenger egyes sekélyvizű részeit különösen veszélyezteti az eutrofizáció. A Nemzetközi Duna-védelmi Egyezmény keretében végzett mérések szerint évente kb. 60.000 tonna a Dunából a Fekete-tengerbe jutó foszfor mennyisége.

- szennyvíztelepről (kezelt szennyvíz)
- ipari szennyvízből.

A *csapadékvíz* a területhasználatától függően igen toxikus lehet (közlekedési utak, elsősorban télen, illetve ipari területek) de a hótakaróban akkumulálódott szennyezőanyag ugyancsak jelentős minőségi változást idézhet elő. A csapadékesemény alatt az első hullám (first flush) szennyezőanyag koncentrációja jelentősen meghaladja a lefolyás későbbi szakaszában mértéket (a megelőző csapadékmentes időszak hosszától is függően (Gayer et al. 1999). Ehhez járul hozzá az atmoszférikus eredetű szennyezőanyagok gyors nedves kiülepedése.

A *kezeletlen szennyvizek* csapadékesemények során jelentős mennyiségű és meglehetősen komplex jellegű szennyezőanyagot juttatnak a befogadóba, melyek egy része hagyományos kommunális eredetű, más része a csatornában korábban leülepedett és átalakuláson keresztülment anyag kiöblítéséből, harmadik része pedig a felszíni lefolyásból származik. Nagy koncentrációjú lebegőanyag, BOI, tápanyagok (N és P), különböző toxikus anyagok, fekáliás baktérium és más patogén anyagok kerülnek a befogadóba ilyenkor. Az első hullám ezért értelemszerűen még veszélyesebb, mint az elválasztott rendszer esetén. Száraz időszak szennyvize abban különbözik ettől, hogy nem tartalmaz a felszíni lefolyásból, illetve a légkör átöblítéséből származó anyagokat, de a kommunális szennyezés nagyobb koncentrációban jelentkezik (1.10 ábra).



1.10 ábra. A budapesti Ördögárok beömlése a Dunába (nyomjelzős kísérlet, fotó: Szolnoky)

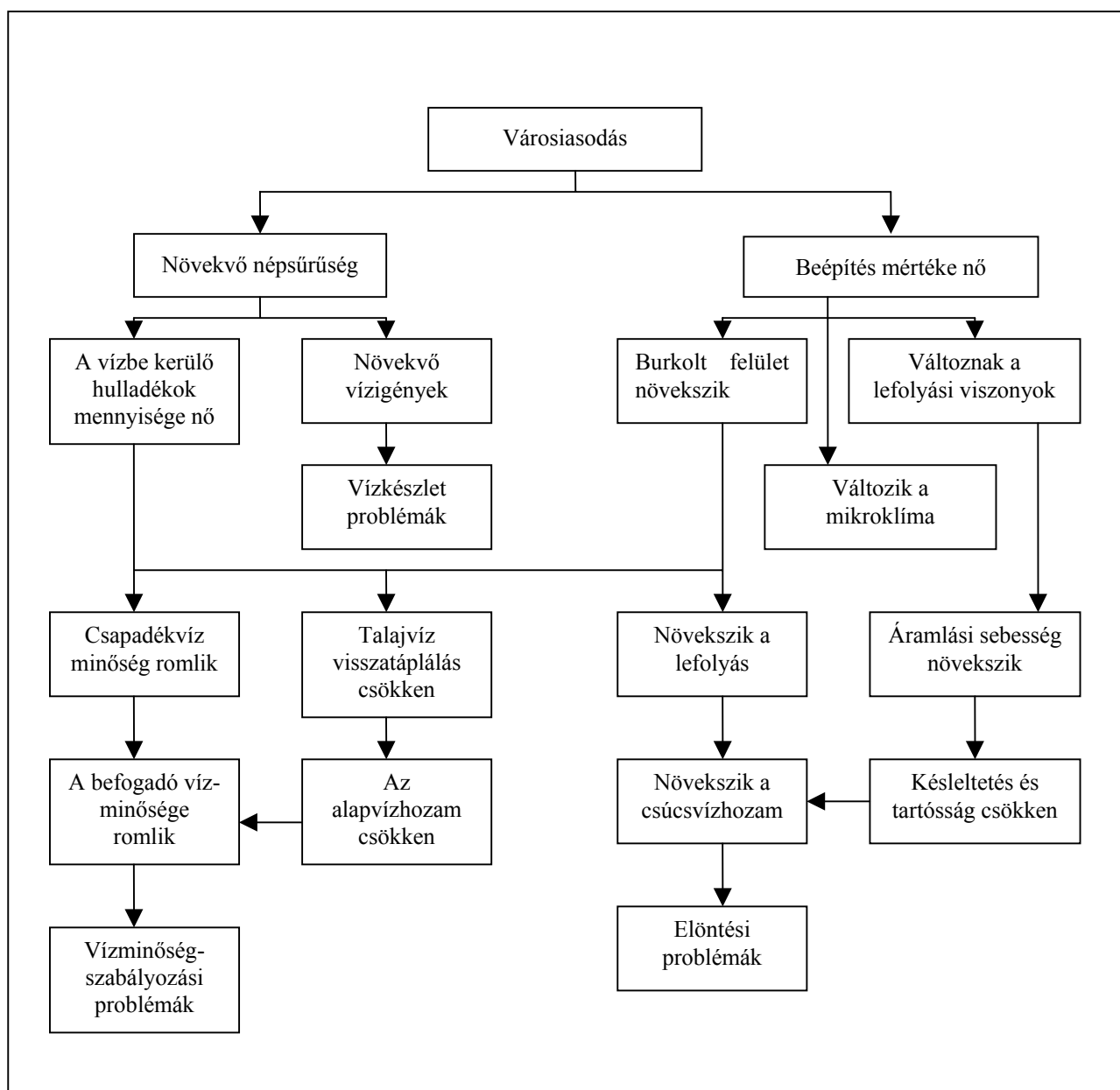
Szennyvíztelepek elfolyó vizeinek összetétele nagyban függ azok eredetétől. Jól működő telep esetén nem toxikus hatású. A két leggyakoribb toxikus állapotot az ionizálatlan ammónia és az összes maradék klór idézi elő (Orr et al. 1992). Egyéb problémát okozó anyagok a gyógyszeripari, szépségápolási eredetűek (fentebb) és a kezelés melléktermékei, melyek adott esetben nem kevésbé toxikusak, mint az eredeti anyag. A patogének kezelésére a leggyakrabban alkalmazott eljárás a fertőtlenítés. Ennek módszerei lehetnek a klóradozolás (gyakran követi a klórmentesítés), brómadagolás, UV besugárzás, ózonizáció. Következményük lehet toxikus anyagok megjelenése az elfolyó vízben (az UV besugárzás kivételével), különösen a nem tökéletes klórmentesítés esetén a maradék klór igen mérgező.

Ipari szennyvizek összetétele (az ismert alkalmazott technológia miatt) megbízhatóbban jelezhető előre, mint más típusú települési szennyvizek. Az ipari elfolyó vizek koncentrációja, összetétele azonban fluktuációt mutat, napi, heti vagy hosszabb ciklusban. Az általuk jelentett terhelés az alkalmazott kezeléstől (beleértve az esetleges visszaforgatást is) függ. Az ipari szennyvizekben található vegyi anyagok széles skálán mozognak, lehetnek köztük nehézfémek, szénhidrogének (policiklikus aromás szénhidrogének is) lebegő és oldott anyagok, mérgező anyagok (pl. cianid, kloridok) és endokrin anyagok is (Chambers et al. 1997).

A közegészségre gyakorolt hatások nem csupán a fejlődő országokban de az iparilag fejlettekben is jelentkeznek. Előbbiekben a gondokat a túlterhelt és nem megfelelően működő infrastruktúra jelenti, melynek következtében gyakoriak a vízzel terjedő, vagy a vízhez kötődő betegségek. (malária, dengue-láz, hepatitisz, agyhártyagyulladás, kolera, bőr-, szem- és fülfertőzések stb.). A nem megfelelően (illetve egyáltalán nem) tisztított szennyvíz azután az alvízi használatokat is károsan befolyásolja. Hazai vizeink leggyakrabban épp a bakteriológiai értékek miatt kapnak alacsony osztályú vízminősítést.

A fejlett országokban a problémák főleg a rekreációs vízhasználatok korlátozásában mutatkoznak, továbbá a halászati vizek szennyezésében és ritkán de előfordul az ivóvízkészletek veszélyeztetése is emberi mulasztás vagy üzemzavar következtében. Mind a csapadékvíz, mind a kezeletlen városi szennyvíz nagy mennyiségben szállít fekáliás, kóliiform baktériumot (E-coli). A befogadóba történő belépést követően az elkeveredés és baktériumpusztulás következtében az eredeti koncentráció (10^7 E-coli/l a szennyvízben, illetve 10^6 E-coli/l a csapadékvízben) gyorsan csökken. Epidemiológiai adatok hiányában a tényleges kockázat kevésbé ismert, mindenesetre a fürdővizekre előírt megengedett *Escherichia coli* koncentráció 500/100 ml (COM 2002) meghaladása esetén az érintett partszakaszt lezárják. A kiváló minőséghez ennek maximum a fele a megengedett. A mikrobiológiai szennyezésnek ugyancsak hatása lehet a táplálékláncra, az ökoszisztéma fejlődésére, míg az érintett vízhasználatok tekintetében a vízellátást, fürdést és halászatot / horgászatot kell említeni (Lijklema et al. 1993).

Összefoglalóan, a városiasodás hatásának fő elemeit és folyamatát a 1.11 ábra szemlélteti.



1.11 ábra. A városiasodás hatása a hidrológiai folyamatokra (forrás: *GHK International* 2003)

2. A VÁROSOK VÍZGAZDÁLKODÁSA

A városi vízgazdálkodás felöleli a mesterséges vízellátást, a szennyvizek (beleértve a szennyezett csapadékvizet is) kezelését, elhelyezését, a városon áthúzódó vízfolyások, vagy ott található tavak, tározók védelmét, kezelését, hasznosítását, a területhasználatból fakadó vízgazdálkodási következmények kezelését. A XXI. századi városi vízgazdálkodás feladata a fenntartható fejlődésre való törekvés jegyében olyan tényezők integrálása és a döntések meghozatalánál szempontjaik figyelembe vétele, mint:

- mennyiség és minőség,
- felszíni és felszín alatti vizek,
- felvízi és alvízi kapcsolatok,
- vízhasználók és –szolgáltatók,
- egymással versengő vízhasználók,
- hatóságok és ügyfelek,
- vonatkozó intézményi rendszerek,

vagyis természeti és emberi kategóriák egyaránt szerepet játszanak az integrált városi (települési) vízgazdálkodás kialakításában.

Míg az ősi civilizációk a csapadékvizet gyűjtötték és értéknek tekintették, később az ipari forradalom korában az esővizet inkább a kellemetlenség forrásának tekintették és ettől kezdve (csatornaépítéssel) igyekeztek minél gyorsabban megszabadulni tőle. Azok a területek, amelyek fontos szerepet tölthettek be az árvízcsökkentésben csapadékos időben és az alapvízhozam fenntartásában száraz időszakban, beépítésre kerültek. Következésképpen a természetes lefolyás megváltozott és a víz, a hordalék és a szennyezőanyagok gyorsabban jutnak a településekről a természetes vizekbe.

A gyér népességű területeken az emberi beavatkozás hatása általában elenyésző, a sűrűn lakott területek azonban (legalábbis saját területükön) teljesen megváltoztathatják a hidrológiai körforgást akár úgy, hogy a csapadékvizet teljesen felfogják, akár a beszivárgás meggátolása révén, szinte a teljes csapadékot azonnal lefolyásra kényszerítik. Minél nagyobb a lakosság sűrűsége, minél több a lakosság vízigénye, annál inkább megváltozik a terület hidrológiai körforgása, azaz a természetes vízháztartás. Az ember azonban nemcsak térben és időben helyezi át a vizet, hanem a víz tulajdonságait, azaz a minőségét is megváltoztatja, a víz hőmérséklete, hordaléktartalma, oldott anyagai változnak, sőt a víz szennyeződik, használatra alkalmatlanná válva kerül vissza a körforgásba. A folyamatban résztvevő víz mennyisége azonos marad, de az emberi beavatkozás hatására idő- és térbeli megjelenése megváltozik. A vízbe kerülő szennyezőanyagokat vagy tisztítás révén kivonják, vagy az a víz körforgása folyamán kiválik, kiülepedik. Az így felhalmozódó szennyezőanyag természetbeni elhelyezkedése a vízjárással változhat. Például a leülepedett anyagot az árvíz újra mozgásba hozhatja, és tovább szállíthatja. A talajvízbe került szennyezés lassú mozgással halad és lehetséges, hogy évszázadok múlva kerül újra a felszínre (Starosolszky 1990).

Az emberiség vízfogyasztó és vízhasználó tevékenysége a nagyvárosokban koncentráltan jelentkezik, ahol a naponta és fejenként akár több száz liter vizet is felhasználnak, beszennyeznek. A városok mint energia-szigetek eleve hőt termelnek, azaz növelve a levegő hőmérsékletét megváltoztatják a párolgási és a transzspirációs viszonyokat. A városokra hulló hó hamarabb olvad el, és ezt még vegyszerekkel, a hó összegyűjtésével és a folyókba juttatásával még tovább gyorsítják. A vegyszerek és más csúszásmentesítő anyagok tovább szennyezik az olvadó havat, amely egyébként is összegyűjti a légkörből kiülepedő szennyezést. Tehát a téli város különösen erőszakosan avatkozik be a természetes körforgásba (Starosolszky 1990).

A gyors és nagymennyiségű felszíni lefolyásból származó közvetlen (nem vízfolyástól származó) elöntési kockázat ellen természetesen védekeznek a városok. A védekezés eszköze a (zárt vagy nyitott) csapadékcsonna, vagy egyesített csonna, ami tovább gyorsítja a lefolyást, gravitációsan vagy átemelővel segítve azt. A víz mesterséges összegyűjtése és továbbítása a hidrológiai ciklus felszíni ágában általában gyorsítást eredményez, hacsak újabb mesterséges eszközökkel nem lassítják le a folyamatot.

A közúti közlekedés fejlődése illetve térhódítása – a burkolt felületek növekedésén keresztül – nagyban felelős a földhasználati változásokért. Az autóközlekedés biztosításához szükséges, a városi vízgyűjtőkön végbement nagyléptékű változások (utak, parkolók építése) az iparilag fejlett országokban oda vezettek, hogy a vízzáró felületek 70%-át az ilyen létesítmények teszik ki (Wong et al. 2000). Ez a trend különösen az Egyesült Államokban figyelhető meg, ahol az átlagos városi családra vetített, az autóközlekedéssel összefüggésben lévő burkolt felület meghaladja a lakásukhoz tartozó vízzáró területet (Heaney et al. 1999). A világ más részein is hasonló tendencia mutatkozik az autóközlekedés előretörésével.

Megállapítható, hogy a városok, ipartelepek, kereskedelmi (bevásárló) övezetek és nagyterjedésű úthálózatok az ott folyó tevékenység, illetve a vizes infrastruktúra révén beavatkoznak a víz természetes körforgásába, ezáltal mikro- és mezo-környezetükben változásokat hoznak létre, melyek összegződése esetén saját kiterjedésüket jelentősen meghaladó területre is kifejti hatásukat.

A keletkező vízmennyiség közcélú hasznosítása vagy a károk megelőzése érdekében a városi hidrológiai körfolyamat vizsgálata ki kell terjedjen (Starosolszky 1990):

- a meteorológiai, különösképpen a csapadékviszonyokra,
- a hidrológiai, elsősorban a lefolyási viszonyokra,
- a mesterséges levezetést elősegítő létesítmények méretezése révén a hidraulikai feltételekre.

2.1 A vízigények kielégítése

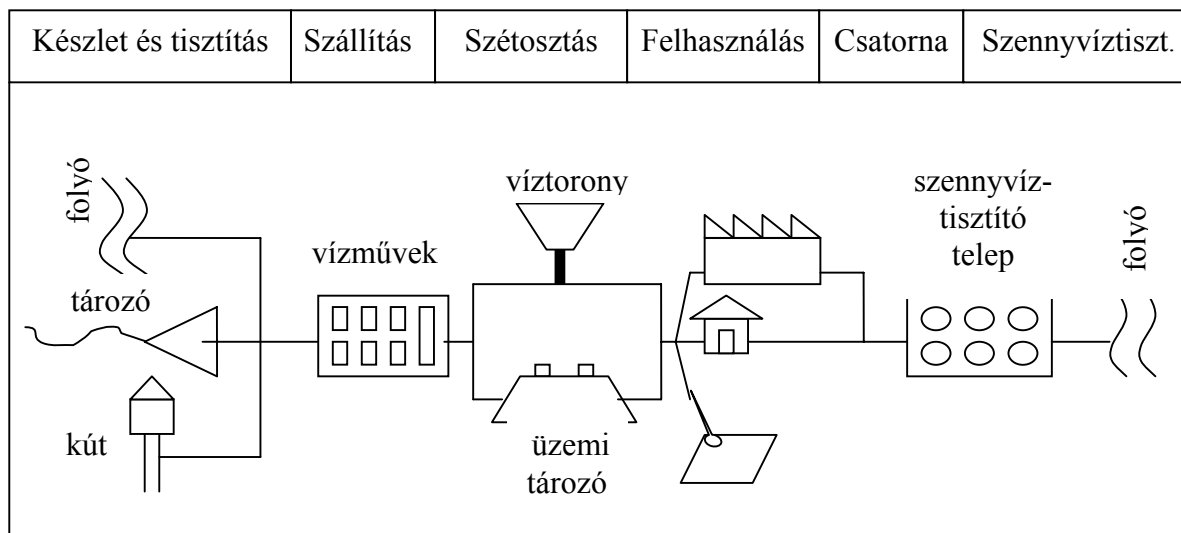
A vízhez jutás, mint alapvető emberi jog számos világszintű rendezvényen kinyilvánításra került (az ENSZ Vízkonferenciája, Mar del Plata, 1977; a Föld Csúcs, Rio de Janeiro, 1992; a Fenntartható Fejlődés Csúcstalálkozó, Johannesburg, 2002). Mégis a valóságban kb. 1 milliárd ember nem jut hozzá a napi 50 liter – Gleick (1998) ajánlása szerinti – alapszükséglethez.

A nem megfelelő vízellátás miatt bekövetkező betegségek egy része emésztőrendszeri (pl. hasmenést okozó fertőzések), amit a szennyezett víz fogyasztása okoz, más része a vízi ökoszisztémában élő rovarok, csigák, mint vektorok által terjesztett betegség (pl. malária, bilharziázis), harmadik részük az elégtelen vízellátás miatt kialakuló higiénés problémák (tisztálkodás, mosás hiánya) következtében elterjedt baktériumok és élősködők okozta megbetegedések (pl. trachoma, rüh). Világszerte kb. kétmilliárd embert érintenek ezek a betegségek évente, közülük 300 millió súlyos eset van. A halálos áldozatok száma a malária esetében kb. egymillió, a többi vízhez kötődő betegségben több mint kétmillió ember hal meg, nagy részük öt évnél fiatalabb gyermek. A legnagyobb tragédia, hogy ezeknek a haláleseteknek nagy része elkerülhető lenne (UN 2003).

Ha az alapvető igények kielégítetlenek maradnak, annak komoly társadalmi és gazdasági következményei is vannak. A közvetlen orvosi költségeket és a kiesett munkaidőt tekintve az éves veszteség 125 milliárd dollár a világon (Pearce és Warford 1993). Ugyanakkor egyes becslések szerint a fejlődő országok vízellátás és szennyvíz-elhelyezési gondjait ennél lényegesen kevesebb pénzből is meg lehetne oldani (Gleick 1998).

A vízellátás a városi vízgazdálkodás elsődleges feladata. Sok országban ezt a problémát sikerrel megoldották, a viszonylag olcsó és megbízható szolgáltatás kialakításával. Ennek során olyan

eszközöket és módszereket is alkalmaznak, mint a készletek takarékos használatára való ösztönzés az igénygazdálkodás bevezetésével és a veszteségek lecsökkentésével, a rendelkezésre álló készletek optimális elosztása, a víz újrahasznosítása. Ezeket a módszereket a vízellátási folyamat (2.1 ábra) mind a négy szakaszán (beszerzés, tisztítás, továbbítás és szétosztás házi vagy ipari használatra) alkalmazni lehet.



2.1 ábra. A városi vízszolgáltatás ciklusa (forrás: Latham 1990)

A kettős vízellátás (vagyis ivóvíz és egyéb használatra, pl. WC öblítésre olcsóbb, nem ivóvíz minőségű víz külön szolgáltatásának) gondolatát számos helyen kutatták (Pratt 1999, van der Hoek et al. 1999) és a beruházási többletigényről kimutatták, hogy azt ellensúlyozhatja az olcsóbb tisztítás, de az is nyilvánvalóvá vált, hogy nem vízhiányos területeken a megoldás nem gazdaságos, továbbá a felmerülő közegészségügyi kockázat egyelőre nehezen becsülhető. Néhány példa azonban létezik a „nem-hagyományos” vízszolgáltatásra (Roche et al. 2001), Párizsban már régóta öntözik a parkokat, illetve mossák az úttestet (folyókát) nyersvízzel, külön hálózattól, Kuvaitban „másodosztályú” édes-sós víz keveréket, Gibraltárban tengervízet szolgáltatnak, Japánban egyes helyeken a konyhai, fürdőszobai „szürke vizet” tisztítják helyben és használják WC öblítésre, Dél-Kaliforniában ipari vízellátást alapoztak tisztított szennyvízre (korszerű membránszűrő eljárással), Namíbiában, Windhoek városában az ivóvízellátás negyedét fedezi tisztított szennyvízből 25 éve, lagúnás rendszer, aktív szénszűrő és ózonos fertőtlenítés után.

Az Európai Unió napi 70 literben szabja meg a fejenkénti minimumot (Somlyódy et al. 2002), míg a hazai fogyasztás a háztartásokban felhasznált víz alapján kb. 100 liter/fő/nap (2.1 táblázat). Néhány EU ország fogyasztását a 2.2-es táblázat mutatja, megkülönböztetve a háztartási és az összes fejenkénti fogyasztást.

Magyarországon az 1990-es évekre jellemző nagymértékű csökkenés (az 1980-as évek végéhez képest 10 év alatt 30–40%-os), megállt és stabilizálódni látszik a fogyasztás. Eltérő adatokat találunk viszont a település nagysága, ellátottsága szerint. Budapesten az átlag kb. 180 l/fő/nap, ami jelentősen meghaladja a kistelepülésekre jellemző 50 l/fő/nap alatti értéket, míg a nagyobb vidéki városokra 130–135 l/fő/nap a jellemző (Somlyódy et al. 2002). Ebből étkezéssel, ivással kapcsolatos fogyasztás: 3–4 liter; tisztítás, mosás: 30–35 liter; tisztálkodás; WC öblítés: 90–100 liter. Látható, hogy a legnagyobb mennyiségre a fürdőszoba-WC használat kapcsán van szükség, amellyel kapcsolatban gyakran felvetődik a kétféle minőségű víz szolgáltatásának ötlete (lásd fentebbi példákat, illetve a csapadékvízzel, mint alternatív vízforrással foglalkozó pontot).

2.1 táblázat. Ivóvíz ellátottsági mutatók Magyarországon 1999 és 2002. december 31-kei adatok szerint (forrás: OSAP)

	1999		2002	
Állandó lakosság	10 200 000 fő		10 142 362 fő	
Összes lakás	4 061 279 db	100,0%	4 104 019 db	100,0%
Ivóvízbekötéssel rendelkező lakások	3 721 926 db	91,6%	3 833 340 db	93,4%
Közkifolyóról ellátott lakások (becsült adat)		7,0%		6%
Ivóvízellátásban részesülő lakások		98,6%		99,4%
Háztartásoknak szolgáltatott ivóvíz	374 464 000 m ³ /év	69,2%	386 520 000 m ³ /év	70,4%
Egyéb fogyasztóknak szolgáltatott ivóvíz	166 920 000 m ³ /év	30,8%	162 811 000 m ³ /év	29,6%
Összes ivóvíz	541 384 000 m ³ /év	100%	549 331 000 m ³ /év	100%

2.2 táblázat. Néhány EU tagország vízfogyasztása (forrás: Centre d'information 1998)

Ország	Háztartási fogyasztás l/fő/nap	Összes fogyasztás* l/fő/nap
Olaszország	220	293
Dánia	194	290
Svédország	175	350
Hollandia	159	195
Spanyolország	158	217
Finnország	156	288
Franciaország	147	211
Németország	146	196
Ausztria	132	267
Nagy Britannia	132	267
Belgium	108	166

* Az összes fogyasztás a háztartáson kívül tartalmazza az ú.n. közösségi fogyasztást, mint a kórházak, iskolák, utcatisztítás, munkahelyek és az üzleti szféra fogyasztását

Magyarországon az ivóvízigények csökkenése lehetővé tette, hogy a felszín alatti vízkészletekből szolgáltatott víz aránya tovább emelkedjen és elérje a 94–95%-ot, ami alatt kb. 40% parti szűrésű, 30% mélységi és 25% talaj, illetve karsztvíz értendő. Országos szinten mind a vízkészletek

nagysága, mind a vízművek kapacitása elegendő a jövőben reálisan várható ivóvízigények kielégítésére (Somlyódy et al. 2002). A víz minőségével szemben azonban már ma is vannak gondok, bár jelenlegi ismereteink szerint közegészségügyi szempontból megfelelő, ártalmat nem okoz: a határérték-túllépések nem vonatkoznak a patogén mikroorganizmusokra és a mérgező (mikroszennyező) anyagokra (Somlyódy et al. 2002). Viszont vas-, mangán-, arzén-, ammónium- és szervesanyag-tartalom tekintetében sok vízműtelep vize túllépi az EU-nak az emberi fogyasztásra szánt víz minőségéről szóló irányelvében (98/83/EK) rögzített határértékét, több millió személyt érintve főleg a Tisza-völgyben. (A tagállamok kérhetnek átmeneti mentességet a vízminőségi előírásoktól, ha ezzel nem okoznak potenciális veszélyt az egészségre, és az ivóvíz az érintett településeken más módon nem biztosítható.) Az említett irányelvnek a hazai jogrendbe illesztését a 202/2001. (X. 25) Kormányrendelet az ivóvíz minőségéről valósította meg. A rendelet meghatározott ütemtervet ír elő az egyes paraméterek teljesítésére három prioritáscsoport megállapításával:

I. prioritás csoport	határidő 2006. december 25. (arzén > 0.03 mg/l; bór; fluorid; nitrit)
II. prioritás csoport	határidő 2009. december 25. (arzén > 0.01 mg/l; ammónium)
III. prioritás csoport	határidő 2015. december 25. (indikátorparaméterek, melyek határértékének be nem tartása nem jelent közvetlen egészségügyi kockázatot, pl. vas, mangán)

Az összes paraméter betartására vonatkozó véghatáridő tehát 2015, azonban fontos megjegyezni, hogy a vízminőséget nem a vízműtelepen, hanem a fogyasztónál kell biztosítani az irányelv szerint.

Az ivóvíz minőségének javítása az ország lakossága egészségének megőrzése érdekében történik, mely az állam alkotmányos kötelezettségei közé tartozik, ezért a program finanszírozásánál az állami szerepvállalás meghatározó (Rákosi 2003). A program tervezett előzetes költsége 2001. évi árszinten 111,3 milliárd Ft, mely tartalmazza az ivóvízminőség-javító beruházások mellett az üzemeltetési eszközök fejlesztési igényét is, valamint a program előkészítésének, menedzselésének és ellenőrzésének költségeit, továbbá az ÁNTSZ laborhálózatának és intézményeinek fejlesztési költségeit is. A költségek időben növekvő alakulása a terv szerint: 2003-ban 6,4 milliárd; 2004-től 2006-ig évi 15 milliárd; és 2007–2009 között közel 20 milliárd Ft. Az egy főre jutó átlagos költség kerekítve 40 ezer forint, figyelembe véve a 2,75 millió érintett lakost, (ÖKO Rt 2001).

2.1.1 Racionális vízhasználatok

A vízkészletekkel való takarékos gazdálkodásra számos lehetőség kínálkozik. Mivel a vízgazdálkodás minden fázisában fellép veszteség, azok csökkentése révén a készletek hasznosítása javítható. A legnagyobb veszteség a szállítás-szétosztás folyamatában lép fel, bizonyos esetekben akár a ténylegesen szolgáltatott mennyiség is veszendőbe megy (50%-os veszteségi arány), de a legjobb rendszer sem kerülhet el bizonyos mértékű veszteséget. Jónak tekinthető a 80%-ot meghaladó effektív szolgáltatási arány (Roche et al. 2001), de igazán hatékony a 90% fölötti rendszer. Ilyen például a párizsi, mely a könnyen megközelíthető és így módon javítható hálózatnak köszönhetően éri el ezt az értéket, illetve a németországi, ahol az egyesülést követően nagyszabású rekonstrukcióba kezdtek (például a kelet-berlini 50%-os veszteségű hálózat komplett cseréjével) és ma már az egész országra érvényes effektív szolgáltatási arány kb. 95%. A magyar vízveszteségi arány (a belső szóhasználat szerint értékesítési különbözet) kb. 25%, ezen belül a budapesti 18–20% között változik. Az értékesítési különbözetnek mintegy a felét jelenti a hálózaton belüli szivárgásokból, csőtörésekből adódó veszteség, míg a másik felét az órák pontatlansága, lopások, stb. teszik ki.

Új vízbázisok fejlesztése, használatba vétele sok esetben elkerülhető a meglévő hálózat rekonstrukciójával, megfelelő karbantartásával, különös figyelmet szentelve a veszteségre hajlamos helyekre. Másik lehetőség a készülétek kímélésére a fogyasztók ösztönzése a takarékos vízhasználatra, vízmérők alkalmazásával. Az elfogyasztott mennyiséggel, illetve annak árával való konkrét szembesülésnek komoly hatása van a fogyasztásra, szemben az átalánydíjas, takarékosagra egyáltalán nem ösztönző rendszerrel. A házon (lakáson) belüli csöpögő csapok problémáját is gyorsan megoldja egy ilyen változás. Sajnos Magyarországon a mérők lakáson belüli elterjedését gátolja a mérők magas ára, az egy lakáson belüli felszálló-vezetékek száma (többszörözve a szükséges mérők számát) és a leolvasással kapcsolatos nehézségek (költségek). Bár az utóbbi időben lényeges javulás történt, különösen a távfűtésben alkalmazott fogyasztónkénti mérések mintájára.

A víz (és a kapcsolódó csatornadíj) árának emelése takarékosagra serkent, viszont meghagyja a fogyasztó számára a döntést abban a tekintetben, hogy mennyi vizet kíván felhasználni, (azaz milyen komfortszintet akar elérni). A vízigények mindenütt csökkentek ahol jelentős áremelkedés történt, ahogy erről egy OECD tanulmány (1999) beszámol, (melyben konkrétan Dánia, Franciaország, Magyarország, Csehország és Luxemburg került említésre). A hatás még nagyobb lehet, ha ú.n. „ár-menetrenddel” párosul, azaz a csúcsidőszak fogyasztására emelt ár érvényes. Angliában és Walesben viszont, annak ellenére, hogy a költségmegtérülés elve már jó ideje érvényesül, a fogyasztás növekedése tapasztalható, mivel igen kevés háznak van mérője.

Az áremelkedés fogyasztáscsökkentő hatását befolyásolja az eredeti fogyasztási szint, a kulturális szokások, az érintettek gazdasági-szociális helyzete, az áremelkedés mértéke, üteme, a klíma, stb. ezért nagy különbségek érzékelhetők az országok között.

A lényegesen lecsökkenő fogyasztás negatív hatásokat eredményez, mivel a nagyobb igényre kialakított hálózatban lassabban cserélődik a víz, így esetenként minőség-romlás állhat elő.

A takarékos megoldásokban rejlő lehetőség nagyságrendjét mutatja, hogy becslések szerint (*Gleick et al, 2003*) a jelenlegi kaliforniai városi vízhasználatok egyharmadát, évi 2,8 milliárd m³-t lehetne megtakarítani a jelenlegi technológiák alkalmazásával. Ennek 85%-át olcsóbban lehetne elérni, mint amennyi a hasonló mennyiségű vizet nyújtó vízkészletek kiaknázásának költsége, nem is beszélve az ilyen méretű projektek társadalmi, környezeti és gazdasági következményeiről.

Mivel a WC öblítővíz nagyobb része a vizelet leöblítéséhez kötődik, takarékos megoldást jelent a terjedőben lévő kétutas öblítővíztartály, mely kevesebb vizet használ erre a célra. A korszerű kialakítású WC csészék már a széklet öblítéséhez is kevesebb (hat liter) vizet igényelnek. Ugyanakkor az öblítővíz csökkentésének más módja is van, mely foszfor és nitrogén visszanyeréssel, mezőgazdasági hasznosítással párosulva jelenthet megoldást (lásd lentebb). A korszerű csapok, zuhanyfejek, mosó- és mosogatógépek egyaránt segítik a takarékos használatot. Összességében, átlagos vízfogyasztás mellett a háztartásokban mintegy 30–35 liter víz takarítható meg fejenként és naponta a korszerű berendezések használata révén (*Dulovicsné, 2003*). További csökkenés érhető el az újrahasznosítással, a magasabb minőségi igények felől az alacsonyabb felé, illetve a csapadékvíz házi hasznosítása révén (2.1.2 pont).

Az ipari vízhasználatok számos megtakarítási lehetőséget rejtenek magukban a takarékos technológia alkalmazásától az újrahasznosításig. Utóbbira különösen a hűtővíz, viszonylag egyszerű kezelése az újabb felhasználás előtt, ad példát. A textilipari folyamatokban is lehetőség van a technológiai víz ismételt felhasználására, mintegy feleakkora költséggel, mintha állandóan ivóvíz minőségű vizet használnánk.

A kezelés jellege természetesen az elfolyó víz minőségétől és az újrahasznosított vízzel szemben támasztott követelményektől függ, de általában egyszerűbb és kevésbé költséges módszerek, mint az ultraszűrés, az aktív szén szűrés, a fordított ozmózis alkalmazásával jó eredmények érhetők el.

A vízellátás integrált megvalósítása a készülétek megóvásán, a hálózatok fejlesztésén, a víztakarékos használat elterjesztésén (melyhez az ilyen irányú oktatás és a technológia-fejlesztés egyaránt

hozzájárul), valamint az alternatív vízkészletek használatán múlik. Utóbbira a Közel-Keleten látni példákat a szennyvíz mezőgazdasági hasznosításán keresztül (a Tel-Aviv környékén keletkező szennyvizet tárolókban helyezik el és a közöttük létesített csápos kutak által kitermelt vizet a Negev sivatagba juttatják).

Meg kell jegyezni azonban, hogy a Magyarországon az 1980-as évekhez képest tapasztalt, az árak növekedése miatt csökkenő fogyasztás a kapacitások kihasználtságának csökkenéséhez vezetett, és ennek eredményeként romlott a gazdálkodás jövedelmezősége, különösen az állami tulajdonú, nagy, regionális szolgáltatóknál (Somlyódy et al. 2002). Éppen ezért igen fontos az igények megbízható előrejelzése, melyek a társadalmi, gazdasági, technológiai tényezők bonyolult szövevényének eredményeként alakulnak ki.

2.1.2 A csapadékvíz, mint alternatív vízforrás

Az ivóvíz árának emelkedése miatt egyrészt, másrészt a háztartási komfortszint növekedése okozta vízigény növekedés előtérbe hozta a telken belül lehulló csapadékvíz hasznosításának gondolatát a fejlett országokban is. Hazánkban elsősorban a karsztvidékeken alakult ki a háztetőről lefolyó csapadékvizet gyűjtő házi rendszerek építésének gyakorlata (Horváthné és Wisnovszky 2003). A korszerű, csapadékvizes ciszternás vízellátási rendszer ingatlanonként, vagy házcsopontonként is kiépülhet. A létesítmény tulajdonképpen egy társas közmű, mely polgári szerződéses együttműködéssel létesített ciszternából és vízgépészeti berendezésből áll. A ciszterna vizéből táplálják a családi tulajdonú alrendszeri hálózatokat és berendezéseket. (König 1999). Az átlagos házi ivóvíz igények 40–50%-a elégíthető ki szűrt csapadékvízből Bartenbach szerint (2001), míg Dulovicsné (2003) 45 liter/fő/nap csapadékvíz használati lehetőséget mutat ki. Erre elsősorban családi házak, nyaralók esetén nyílik lehetőség, ahol WC-öblítésre, mosásra, bel- és kültéri burkolatok tisztítására, öntözésre, kerti díszmedencék feltöltésére, vízpótlására lehet használni az ily módon nyert vizet. A csapadékvíz hasznosítása révén nem csupán a közműves ivóvíz fogyasztása csökkenthető, de késleltethető illetve csökkenthető a csapadékvíz lefolyása is, és ezáltal a belterületi elöntési kockázat is kisebb lesz (Horváthné és Wisnovszky 2003).

A tárolt csapadékvíz mennyiségét és minőségét a gyűjtő tetőfelület mérete és anyaga határozza meg (Dulovicsné 2003). Jók a cserép és műanyag felületek, a fémhéjazat bár sima, a fémionok kioldásának veszélyét hordozza, hasonlóan a betoncserépnél is várhatók kémiai reakciók. Palatetők a csapadékvíz felhasználáshoz nem ajánlottak, a bitumenes tetőkről a szag és elszíneződés veszélye okoz gondot (Dulovicsné 2003).

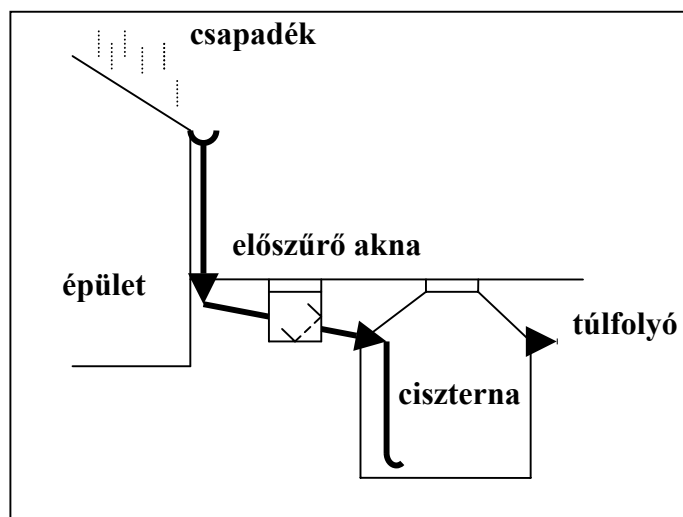
König (2002) egy négytagú család 150 m² alapterületű házát alapul véve készített vízmérleget tetővíz hasznosítására. Hazai körülményekre adaptálva (Dulovicsné 2003) 600 mm-es évi csapadékmagasságból kiindulva és 75%-os kihozatalt feltételezve 67,5 m³/év felhasználható mennyiség adódik. Másrészt a csapadékvízből a háztartásban és a ház körül hasznosítható becsült mennyiség fejenként az alábbi:

Használat	Fogyasztás liter/fő/nap
WC öblítés	24
tisztogatás	5
mosógép vízfogyasztása	12

Ez éves viszonylatban 58,4 m³ felhasználást tesz ki. Ehhez járul hozzá a kertlocsoláshoz használt mennyiség, mely 60 liter/ m³/év öntözési igény és 120 m²-es kert mellett 7,2 m³. Összesen tehát 65,6 m³/év reálisan becsülhető, nem ivóvíz minőségű igény áll szemben 67,5 m³/év összegyűjthető mennyiséggel.

A kielégítés biztonságához, természetesen tározóra van szükség. Célszerű ez esetben két külön ciszterna építése a ház és a kert igényeihez alkalmazkodva. Egy havi tartózkodási időt feltételezve kb. 5 m³-es tározóra van szükség a ház számára, míg a kerti locsoláshoz szükséges mennyiséget a vegetációs időszak (hat hónap) figyelembe vételével célszerű ciszternában tárolni.

A csapadékvíz megfelelő előtisztítását biztosítani kell, melyre számos megoldás létezik (előszűrő akna, csőszűrő, szűrőkosár, stb. *Dulovicsné*, 2003). Algásodás veszélye miatt a felszínalatti ciszterna kiépítése javasolt (2.2 ábra).



2.2 ábra. A tetővíz házi tározása

2.1.3 A biztonságos ellátás problémája

Üzemzavarok, vagy a vízkészlet baleseti szennyeződése esetén a szolgáltatás (megfelelő minőségű) folyamatos végzése közegészségügyi, illetve gazdasági szempontból igen fontos. A fejlett országokban (így Magyarországon is) ahol a fogyasztás szintje elég stabil, a beruházások az alrendszerek közötti kapcsolatok kiépítésére, a tározókapacitás növelésére, tartalékolt készletek fejlesztésére koncentrálnak, hogy az esetlegesen bekövetkező üzemzavar esetén minimalizálják a kimaradásokat. A havária-esetek kezelését a mintavételi helyek előzetes kialakítása, illetve a szennyezőhullám terjedését előrejelző modellek segítik. A 2000. évi, a Szamost és a Tiszát sújtó cianidszennyezés esetén ezek jó szolgálatot tettek például Szolnok biztonságos vízellátásáért.

Baleseti szennyezés elsősorban felszíni vízkivételt de még partiszűrősű kutakat is veszélyeztethet. Erre példa az 1984. augusztusában a Csepel szigetnél történt tankhajó baleset, melynek nyomán a halásztelki, tököli, és ráckevei kutak mentén maradt vissza szennyezett sáv. Ilyenkor szükség szerint le kell állítani a veszélyeztetett kutakat és a parti szűrőréteg rehabilitációját (a szennyezett kavicsréteg eltávolítását) kell elvégezni.

Súlyos aszály esetén a helyi hatóságok korlátozási rendeletet hozhatnak a parkok öntözésére, gépkocsi-mosásra vonatkozóan, vagy a szolgáltató árpolitikával befolyásolhatja a fogyasztást. (Pl. Dél-Kaliforniában a vízművek által „szüneteltethető” szolgáltatásért kevesebbet, míg a szárazság alatt biztosított vízért többet kell fizetni, (*Roche et al.* 2001).)

2.2 A használt vizek elhelyezése

A szennyvíz-elvezetés és -tisztítás az iparilag fejlett országokban a lakosság túlnyomó részét érintő szolgáltatás, többnyire hálózatokon és szennyvíztisztító telepeken, kisebb részben egyedi közműpótló berendezéseken keresztül. A szennyvíztisztítás a vízminőség-szabályozás gyökere (Somlyódy 1995). Számos fizikai, biológiai és kémiai módszer létezik a szennyvíz tisztítására, melyek általában garantálják a befogadó szempontjából az elfolyó víz megfelelő minőségét. A fejlesztés folyamatos, a teljesítmények és a hatások javítása érdekében, valamint az újonnan megjelenő szennyezőanyagok miatt. A fejlődő országokban a helyzet távolról sem ilyen rózsás. Annak ellenére, hogy 1990 és 2000 között 747 millió ember jutott valamilyen csatornázáshoz, a WHO (2001) világméretű felmérése szerint, az ezredfordulón még mindig 2,4 milliárd ember élt „fejlett” szanitáció (szennyvízelhelyezés) nélkül. A „fejlett” szennyvízelhelyezés alatt a közműves csatlakozást, vízöblítéses latrinát, egyszerű, ásott latrinát, és szellőzéssel javított latrinát kell érteni, míg a fejletlen alatt olyan latrinákat, melyekből kézi erővel távolítják el az ürüléket, illetve köz- vagy nyitott rendszerű latrinákat. Közegészségügyi szempontból a szanitáció szerepe óriási a fertőző anyagokkal való érintkezés csökkentésében, illetve a betegséget terjedésének megakadályozásában. Érthető, miért szerepel az ENSZ Millenniumi Fejlesztési Céljai között az ellátatlanok arányának 50%-os csökkentése 2015-re.

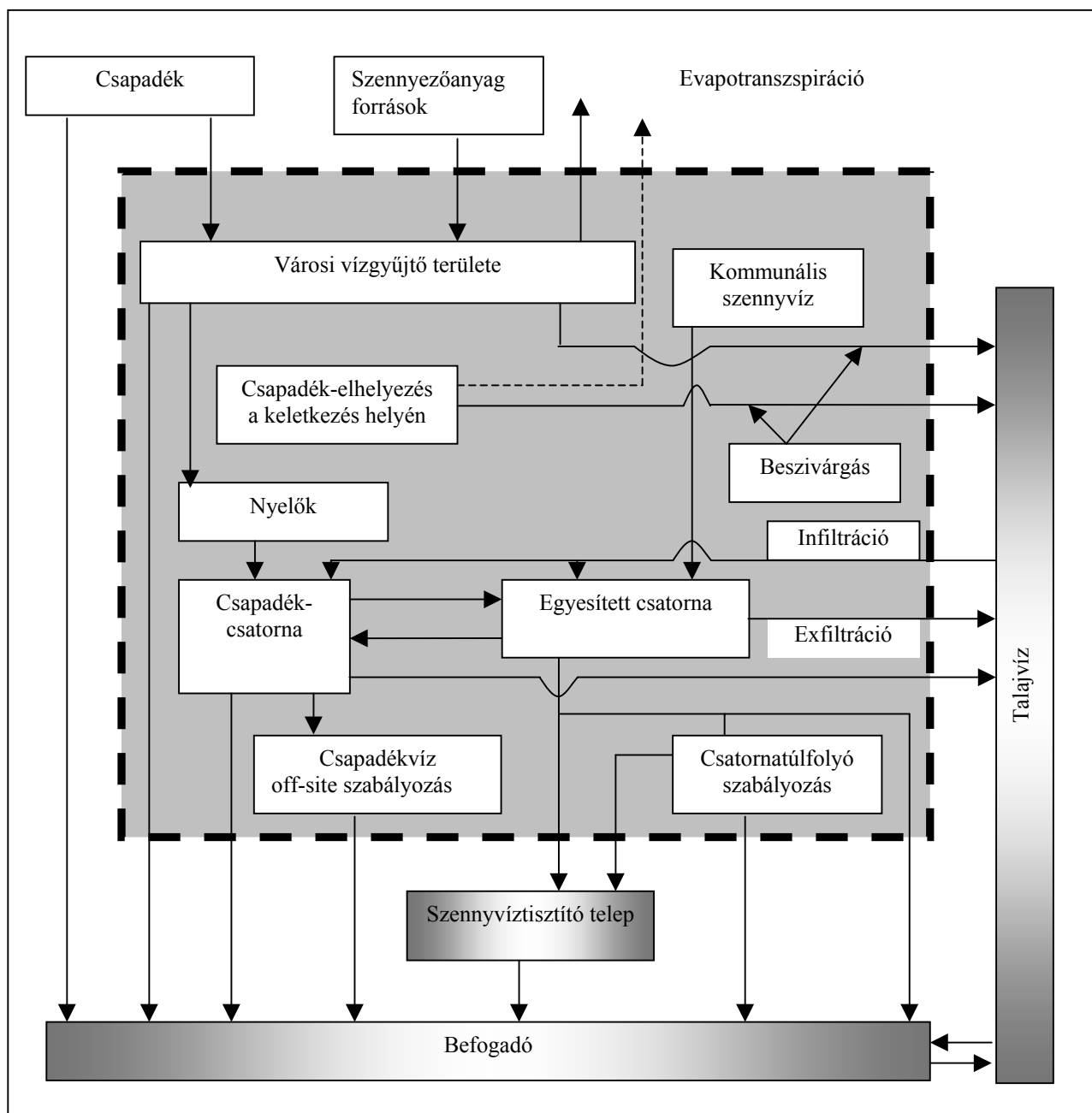
2.2.1 A csatornázás rendszerei

A csatornázás hagyományos rendszerei az egyesített (2.3 ábra) és az elválasztott hálózat. Előbbi a szennyvizet és a csapadékvizet azonos rendszerben gyűjti össze és vezeti a szennyvíztisztító telepre, vagy a befogadóba (utóbbira példa a budapesti Ördög-árok). Viszonylag nagy keresztmetszetű szelvények jellemzik, hiszen a csapadékvíz elvezetésének igénye határozza meg a méreteket. A szennyvíz-tisztító telep túlterhelésének megelőzésére záporkiömlőket építenek be, mely higított szennyvizet bocsát be közvetlenül a befogadóba. A gyakori túlfolyás mérséklésére lefolyás-szabályozást alkalmaznak (Öllös 2003). A befogadó vízminőségének védelme érdekében az egyesített rendszerek túlfolyásának (combined sewer overflow, CSO) megakadályozásának komoly irodalma létezik.

Az elválasztott rendszer legalább két hálózattól áll, melyek közül a szennyvízcsatorna a települési szennyvizet, míg a csapadékcatorna a település vízgyűjtőjére hullott csapadékvizet vezeti le, függetlenül attól, hogy igényel-e tisztítást (Dulovicsné 2002). A csapadékcatornába bevezethető a tisztítást nem igénylő külvíz, talajvízszint-süllyesztésből származó víz és a források, kutak vize is (Dulovicsné 2002). A csapadékcatorna hálózat kialakítására első megközelítésben két lehetőség kínálkozik. Zárt szelvényű, föld alatti hálózat, illetve nyílt, árkos rendszer. Sűrűn lakott városrészekben, esztétikai és közegészségügyi okokból csak az előbbi jöhet szóba, de ritka beépítésű területeken az utóbbi is igen elterjedt.

A hagyományos rendszerek továbbfejlesztéseként jelent meg egyrészt a *javított vegyes (egyesített) rendszer*, mely a települési szennyvizet és a tisztítást igénylő csapadék hányadot a záportúlfolyás és tárolás leválasztása után a szennyvíztisztító telepre vezeti (Dulovicsné 2002). A tisztítást nem igénylő belterületi csapadékvíz, a külvíz, a talajvízszint-süllyesztésből származó víz, források és kutak vize, stb. tárolás, beszivárogtatás és hasznosítás után csökkentve vezethető a befogadóba.

A másik, újabban teret nyert rendszer a *javított elválasztott rendszer*, a települési szennyvizet a szennyvízcsatornán keresztül a szennyvíztisztítóba, míg a tisztítást igénylő csapadékvizet a csapadékcatornába vezeti, ahonnan az a csapadéktisztító műbe, majd a befogadóba kerül. A tisztítást nem igénylő csapadékvizet tárolás, beszivárogtatás, vagy használat útján csökkentve, közvetlenül vezetik a befogadóba a külterületi lefolyással, a talajvízszint-süllyesztésből, forrásokból és kutakból eredő vízzel együtt (Dulovicsné 2002).



2.3 ábra. Az egyesített csatornahálózat elemei

A hagyományos egyesített rendszer hátránya a befogadó terhelése a záporkiömlőkön keresztül, míg az elválasztott rendszer ellen a magas költség (két párhuzamos csatorna) szól. A javított rendszerek előnye, hogy a szétválasztás után lehetővé teszik a tisztítást nem igénylő csapadékvíz felhasználását, illetve a szennyezettebb csapadékvíz kezelését. A szennyvíz- és csapadékvíz gazdálkodás fenntartható gyakorlatának elérése érdekében célszerű a különböző minőségű vizeknek a keletkezés helyén történő szétválasztása. Ez nem csupán javítja a tisztítás hatásfokát, de hatékonyabb újrahasznosítást is lehetővé tesz. A csapadékvíz elhelyezéséről, illetve felhasználásáról valamint a háztartási, pontosabban a WC-ből származó szennyvizek szétválasztásáról a későbbiekben írunk.

A városokat átszelő folyók védelme vízminőség-szabályozási stratégia kidolgozását igényli. A befogadók fenntartható használatát szolgáló szennyvíz-tisztítási technológiák meglehetősen költségesek, de kiépítésük szakaszolható. Az ilyen megvalósítás lehetővé teszi, hogy a kitűzött cél

elérése lépésenként, de mégis belátható időn belül lehetővé váljon. A kis költségű tisztítási vagy előtisztítási módszerek alkalmazása, például a feláramlásos anaerob iszapágyas bioreaktorok alkalmasak ipari előtisztítóként, vagy decentralizált települési szennyvíztisztításra. Ezek a berendezések, ha megfelelően tervezik és túlterhelés nem éri őket, jól működnek. Ugyanakkor óvatosan kell bánni az egyszerűnek gondolt „természetes” vagy ún. „low-tech” megoldásokkal, mert bizonyos uralkodó tévhitek fölébe helyezik ezeket a „high-tech” berendezéseknek. *Brix* (1994) és *Harremoës* (1997) számol be a gyökérszén szennyvíztisztítási módszer dániai kudarcáról, ahol 80 ilyen telepet építettek egy parlamenti döntés alapján, aztán később kiderült, hogy nem váltják be a hozzájuk fűzött reményeket. Nem kielégítő hatásfokuk szabályozási nehézségekkel (hosszú időállandó) párosult. Az eset azt példázza, hogy a rossz előkészítés milyen károkat okoz, hiszen a mesterségesen épített vizes területeknek meg lenne a szerepük a szennyvíztisztításban, de a rossz tapasztalat hiteltelenné tette azokat. Az alapszabály az, hogy minden műszaki megoldásnak megbízhatóan kell működnie.

A szennyvíztisztító telepek korszerűsítése, második, vagy harmadik fokozatú tisztítás bevezetése nem mindig garantálja, hogy az elfolyó víz elfogadható minőségű lesz. Az elsőről másodikra, illetve másodikról harmadik fokra történő fejlesztés általában csökkenő koncentrációt eredményez az elfolyó vízben lebegőanyag, BOI, KOI és ammónia tekintetében, a tényleges koncentráció az érkező víz összetételétől függ. A technológiai fejlődéssel számos új módszer, például membrán szűrés, kerül alkalmazásra a szennyvíz-tisztításban, azonban ezek a nagyteljesítményű berendezések drágák, és alkalmazásuk csak érzékeny és fontos befogadók esetén indokolt.

A szennyvíztisztítási technológia fejlődése mellett a kezelt szennyvizek és a szennyvíz-iszap elhelyezésével, illetve újrahasznosításával kapcsolatos tapasztalatok is a figyelem középpontjába kerültek. A hűtővíz visszaforgatásán, mint kézenfekvő példán kívül az utóbbi három évtizedben terjedőben van a szennyvíz öntözési hasznosítása, főleg arid és szemi-arid területeken, nem csupán a fejlődő, de a fejlett országokban is (*Marsalek et al.* 2001). Magyarországon már az 1970-es évek óta folynak kutatások a szennyvíz mezőgazdasági célú hasznosításáról (*Szlávik és Vermes* 1980, *Vermes* 1982). Talajvíz-dúsításra, vizes területek és halastavak vízellátására, nem-ivóvíz minőségű vízigények kielégítésére is mód van, megfelelő előkezelés után. Egyedi vizsgálat dönti el, hogy a szennyvíz alkalmas-e a kiválasztott technológia alkalmazására. Elsősorban élelmiszer-növények öntözése esetén kell fokozott óvatossággal eljárni.

A szennyvíziszap elhelyezésével kapcsolatos félelmek bizonyos, nehézfémeket tartalmazó iszapok kapcsán felmerülő aggodalmak kivetítése, az egyébként jól kezelt és fertőző vagy mérgező anyagot nem tartalmazó iszapokra is. A megfelelő módon kezelt szennyvíziszap nem károsítja a környezetet és elhelyezhető talajjavítás, -feltöltés céljából, szerves trágyaként, stb.

2.2.2 A csatornázás hazai helyzete

A csatornázással kapcsolatos fejlesztési tervekről a 25/2002 (II. 27.) számú Kormányrendelet (Nemzeti Települési Szennyvíz-elvezetési és -tisztítási Megvalósíthatósági Program) intézkedik. A röviden szennyvízprogramnak nevezett rendelet célja az EU települési szennyvizekkel foglalkozó irányelvnek (91/271/EGK) hazai megvalósítása. Az irányelv alapvető szerepet játszik az EU csatlakozással együtt járó vízvédelmi célok elérésében és mivel követelményeinek hazai teljesítése közel 1000 milliárd forintba kerül, a szakmai és gazdasági körök érdeklődésének homlokterében van. Kevésbé köztudott, hogy hatálya kiterjed a települési csapadékvízre is. Az irányelv alapvetően programjellegű, megközelítése bizonyos tekintetben eltér a korábbi magyar gyakorlattól. Így például a lakosegyenérték (LEÉ) fogalmához köti a csatornázás szintjét, illetve a megvalósítás határidejét (1 LEÉ = 60 g BOI₅/nap kibocsátás). Az agglomerációt úgy definiálja, hogy az egy olyan terület, melyen a népesség, illetve a gazdasági tevékenység oly mértékben koncentrált, hogy a városi szennyvizet csatornán szükséges a szennyvíztisztítóba vezetni.

Fenti kormányrendelet előírja, hogy a települési szennyvizek közműves elvezetését és biológiai tisztítását, illetőleg a települési szennyvizek ártalommentes elhelyezését különböző, a lakosegyenértéktől függő határidőre meg kell valósítani, (2.3 táblázat). A csatlakozási tárgyalásokon Magyarország négy területen kapott haladékokat az EU-normák alkalmazására, közülük a leghosszabb átmeneti mentesség a szennyvíztisztítással kapcsolatban van. Ahogy a táblázatból kitűnik az uniós előírásokat csak 2015 végétől kell teljes mértékben alkalmazni (illetve bizonyos településeken 2008, illetve 2010 végétől).

2.3 táblázat. Csatornázási-szennyvíztisztítási határidők

Határidő	Kritérium
2008. december 31.	10 000 LEÉ-et meghaladó, a 240/2000 (XII. 23.) Kormányrendelet szerint kijelölt érzékeny területeken, a nitrogén- és foszforeltávolítással együtt.
2010. december 31.	15 000 LEÉ felett
2015. december 31.	10 000 – 15 000 LEÉ között
2015. december 31.	2 000 – 10 000 LEÉ között

A kormányrendelet mellékletben sorolja fel a különböző lakosegyenértékkel jellemezhető településeket a 2000. december 31-i állapotot tükröző alapleltár szerint. Az OSAP legújabb rendelkezésre álló csatornázási adatai, összehasonlítva az 1999-es helyzettel a 2.4 táblázatban láthatók.

2.4 táblázat. Csatornázási mutatók Magyarországon 1999 és 2002. december 31-kei adatok szerint (forrás: OSAP)

	1999		2002	
Állandó lakosság	10 200 000 fő		10 142 362 fő	
Összes lakás	4 061 279 db	100,0%	4 104 019 db	100,0%
Csatornabekötéssel rendelkező lakások	2 002 624 db	49,3%	2 302 999 db	56,1%
Csatornával bekötetlen lakások (ellátott területen)	475 826 db	11,7%	414 301 db	10,1%
Tisztított szennyvíz mennyisége és az összegyűjtöthöz való aránya	349 336 m ³ /év	59,3%	340 880 m ³ /év	65,2%
– mechanikai	11 938 m ³ /év	2,0%	21 764 m ³ /év	4,2%
– mechanikai és biológiai	253 770 m ³ /év	43,1%	217 045 m ³ /év	41,5%
– mechanikai, biológiai és III. fok.	83 628 m ³ /év	14,2%	102 046 m ³ /év	19,5%

A 2015-ig tartó szennyvízprogram első időszakában nagyobb ütemű fejlesztést szükséges végrehajtani (2010-ig a program 87%-a kell, hogy megvalósuljon), ebben Budapest hálózatfejlesztési és tisztítókapacitási fejlesztése meghatározó. Ennek költsége a teljes fejlesztés 1/5 része (Rákosi 2003). A 2010–2015-ös időszakban már csak a normál (nem érzékeny) területeken

lévő 10 000 LEÉ-nél kisebb agglomerációk fejlesztésének befejezésére kerül sor. A települési szennyvízelvezetés és –tisztítás 2001–2005 között 316,8 milliárd Ft-ot, 2006–2010 között 351,9 milliárd Ft-ot, és 2011–2015 között 303,7 milliárd Ft-ot, tehát a 2001–2015 közötti időszakban összesen 972,4 milliárd Ft-ot emészt fel 2001. évi árszinten. Mindez az 1993–2000 közötti időszak több mint 400 milliárdos fejlesztésén túl értendő. A vízi infrastruktúra fejlesztése 2015-ig a GDP-t kb. 0,3%-al terheli (Juhász 2003/b).

2.2.3 A szennyvíz mint készlet

A városi vízgazdálkodás alapvető (mennyiségi) vonása, hogy a víz a szállítóeszköz szerepét tölti be. A magyarországi átlag 100 liter/fő napi fogyasztás elenyésző része kerül közvetlen emberi fogyasztásra (ivás, főzés) túlnyomó többsége mosás, fürdés és WC öblítés célját szolgálja, vagyis különböző szennyezőanyagokat szállít, (jó esetben a szennyvíztelepre, kevésbé jó esetben közvetlenül a befogadóba). Kérdés, hogy fenntartható-e, a mai gyakorlat. Harremoës (1997) sorra veszi a szállítóeszköz szerep előnyeit, hátrányait és a fennálló problémákat:

Előnyök	Higiénikus körülmények (vízzel terjedő betegségek kiküszöbölése); alig látható, egyszerű szállítás; a szerves anyagok és tápanyagok megfelelő kezelése; alacsony energiafogyasztás.
Hátrányok	Magas vízfogyasztás; a rendszer fenntartása költséges; mivel nem látszik, nem is kap megfelelő figyelmet; a szennyvíziszap újrahasznosítása nem megoldott.
Fennálló problémák	Nem minden szennyvíztisztítás felel meg a környezetvédelmi előírásoknak; a csapadékvízből származó lefolyás környezeti szempontoknak megfelelő kezelése.

A víz, mint szállítóeszköz alternatívája egy másik szállítóeszköz lehet, ami képes a szennyezőanyagokat a városból kijuttatni. Az ürülék gyűjtésére és elszállítására kevés higiénikus megoldás van a világban (Japán egy példa), azonban a teherautós megoldás energiafelhasználás szempontjából nem kifizetődő. A városokban a vízzel való gazdálkodás alternatíváit rendszerszemléletű megközelítés alapján kell kiértékelni, az összes szempont figyelembe vételével (Harremoës 1997).

A Világjövőkép a vízről (Cosgrove és Rijsberman 2000) elérendő célokat fogalmaz meg a vízfelhasználásról 2025-re figyelembe véve a növekvő népességet, az ebből (és az éhínség elleni küzdelemből) adódó élelmiszertermelési többletet, illetve ennek vízigényét, ipari és lakossági vízfelhasználások számbavételét. Teszi mindezt a fenyegető vízválság elkerülésére törekedve, racionális használatokra buzdítva (pl. a *more crop per drop*, azaz *több termést egységnyi vízfelhasználással* jelszóval). Előrejelzésük szerint a lakossági vízhasználatok jelentős mértékben csak a fejlődő országokban fognak növekedni, ahol a higiéniai feltételek javítása indokolja ezt, míg az iparilag fejlett országokban (egy magasabb szinten) stagnálás vagy csökkenés várható. Utóbbiak esetében az ipari vízigények is csökkennek víztakarékos technológiák bevezetése révén (melyeket éppen a magas vízdíjak ösztönöznek). Mindezt tovább bonyolítja a klímaváltozás, melynek következtében a szélsőségek fokozódása befolyásolhatja a mezőgazdasági vízigényeket is, a Magyarországhoz hasonló mérsékelt égövbe tartozó országokban, illetve a szabad vízkészletre gyakorolt hatása, különösen a Tisza völgyében (Simonffy 2002). A tisztított szennyvizek az aszály elleni küzdelemben is szerepet kaphatnak (Vermes 2000). Az 1990-es évek végére Magyarországon a lakossági vízellátást szolgáló vízkivételek megközelítően azonos értékűvé váltak a mezőgazdasággal: 660, illetve 715 millió m³/év (Simonffy 2002). Ehhez természetesen a mezőgazdasági vízhasználatok csökkenése is kellett, melynek okaira itt nem térek ki. Megjegyzendő, hogy legújabb statisztikai adatok kevesebb ivóvízmennyiséget mutatnak (2.1 táblázat). Tény viszont, hogy a világlágtól (kb. 7:1-es arány) messze eltérően a hazai lakossági fogyasztás nagyságrendben összemérhető a mezőgazdasági vízhasználattal.

Fentiek alapján megállapítható, hogy vízelosztási átrendeződés idejét éljük, a különböző ágazatok vízfelhasználási aránya változóban van, mely érinti a települési vízforgalmat, és annak összefüggését mennyiségi és minőségi szempontból. Vizsgáljuk meg, milyen lehetőségek vannak a szennyvíznek a hagyományostól eltérő kezelésében a fenntarthatóság közelítésében.

Amint arról már szó esett, a fejlettnak mondott világ a XIX. században kezdte a szennyvízcsatorna hálózatok kiépítését (mely folyamat a nyugati országokban kb. 100 évet vett igénybe). Ennek része a vízöblítéses WC, melynek segítségével az emberek „könnyen, gyorsan” megszabadulnak a lakásukban keletkezett emberi ürülektől, ami az (ivóvíz minőségű) öblítővízzel nagymértékben felhígulva kerül a szennyvíztelepre, ahol tisztításra kerül. Sok esetben a csapadékvizet is ezen a hálózaton vezetik, mely tovább hígítja a fekáliás, vizeletes szennyvizet, ami nagy mennyiségű tápanyagot is tartalmaz. Más szennyezőanyagok (nehézfémek, szerves szennyezők, patogének, endokrin anyagok) eltávolítása további gondokat okoz. A XXI. században a fenntartható fejlődésre törekedve és a paradigmaváltás korszakában felmerül a kérdés, hogy megfelelő-e a fenti gyakorlat. Szükség van-e az adott esetben költséges vízisztításra, a WC öblítéshez egyrészt, másrészt lehetne-e értékes anyagot visszanyerni a szennyvízből, bizonyos szeparálással egybekötve? Szükség van-e energiaigényes folyamatokra minden esetben? Gazdaságilag, környezetvédelmi szempontból lehet-e jobban koordinálni a tápanyag és biotermék termelést város és vidék között? Mindez abban a korszakban (az európai fejlett és az átmeneti gazdasági helyzetű országokat tekintve legalábbis) mikor az előregedő vizes infrastruktúra amúgy is rehabilitációra szorul. Lehet-e előrelátóan, koncepcióváltással megoldani a fennálló problémákat, úgy, hogy a jövő generációknak is javára szolgáljon? Lehetőleg úgy, hogy a megoldások a fejlődő országok jogosan növekvő vízigényének kielégítéséhez is segítséget nyújtsanak.

A vizelet, ellentétben a közhiedelemmel, általában több tápanyagot tartalmaz, mint a széklet, a személyenkénti N, P és K kibocsátások 88, 67 és 71százalékát jelentve (2.5 táblázat). Általában mentes a patogén anyagoktól is, amelyek viszont megtalálhatók a fekáliában. A fürdés, mosás, mosogatás úgynevezett „szürke szennyvíze” nagyobb BOI₅ és KOI terhelést okoz, mint a vizelet és fekália, de nitrogén és foszfor tekintetében ez fordítva áll (2.6 táblázat).

Ha a két táblázat adatait összevetjük kiderül, hogy az egy személyhez kötődő nitrogén-kibocsátás kétharmadát, illetve a foszforkibocsátás egyharmadát a vizelet adja. Azaz a szennyvíztelep tápanyagterhelésének jelentős csökkenését lehetne elérni a vizeletnek a keletkezés helyén történő leválasztásával és külön kezelésével. Az is kiadódik, hogy a BOI₅, a nitrogén és a foszfor átlagos aránya 100:19:2, ami eltér az ideális 100:5:1 aránytól (mely esetén a hagyományos biológiai tisztítás jól működik). Ilyenkor esetleges megoldás lehetne a nagy BOI₅ tartalmú (pl. vágóhídi) elfolyó vizet keverni a szennyvízbe, mert az arány javítása a tisztítási hatásokon is javít. Másik megoldás viszont a vizelet leválasztása, mert így 100:8,2:1-es BOI₅:N:P arány érhető el, jelentősen javítva a terhelési viszonyokat és a nitrogén- és foszforeltávolítás hatásfokát.

2.5 táblázat. Tápanyag az emberi vizeletben és fekáliában (forrás: SEPA 1995)

paraméter	vizelet		fekália		összes kibocsátás	
	g/fő/d	%	g/fő/d	%	g/fő/d	%
nedves tömeg	900–1200	90	70–140	10	1000–1400	100
száraz tömeg	60*	63	35	37	95	100
N	11,0	88	1,5	12	12,5	100
P	1,0	67	0,5	33	1,5	100
K	2,5	71	1,0	29	3,5	100

* Ennek nagy része biológiailag gyorsan lebomlik, ami nagyrészt megtörténik már a csatornában.

2.6 táblázat. Személyenkénti szennyvízterhelés (forrás: Ministry of Construction, Japan 1996)

paraméter	átlag g/fő/d	szórás	adatok száma	vizelet + fekália %	„szürke szennyvíz” %
BOI₅	58	18	99	32	68
KOI	26	9	96	36	64
lebegőanyag	44	16	99	47	53
N	11	3	99	75	25
P	1,0	0,2	98	75	25

Az 1960-as 1970-es évek „zöld forradalma” lehetővé tette a népességnövekedéssel lépést tartó, illetve azt meghaladó élelmiszertermelés növekedést a világban, aminek ára a magas műtrágya-felhasználás volt. Ennek következtében viszont a vízi környezet károsodott, eutrofizáció lépett fel tavak, sőt tengerek esetében is a mezőgazdasági nem-pontszerű szennyezés révén. A városokban keletkező tápanyag mezőgazdasági újrahasznosításával viszont csökkenthető lenne a más forrásból bekerülő tápanyag mennyisége, ami elsősorban a foszfor esetében (korlátozott készletei miatt) fontos megtakarítást is eredményezne és csökkenthetné a felszíni vizek eutrofizációját, valamint a felszín alatti vizek nitrátszennyezését. A mezőgazdaság tápanyagigénye természetesen általában meghaladja a városi szennyvíz tápanyagtartalmát, de a FAO adatai alapján (1995) mezőgazdasági nitrogénigényét Japán 100%-ban, India és Indonézia 50%-ban fedezhetné a vizelethől. Kálium tekintetében Egyiptom 100%-ban, India 90%-ban lehetne ily módon ellátott.

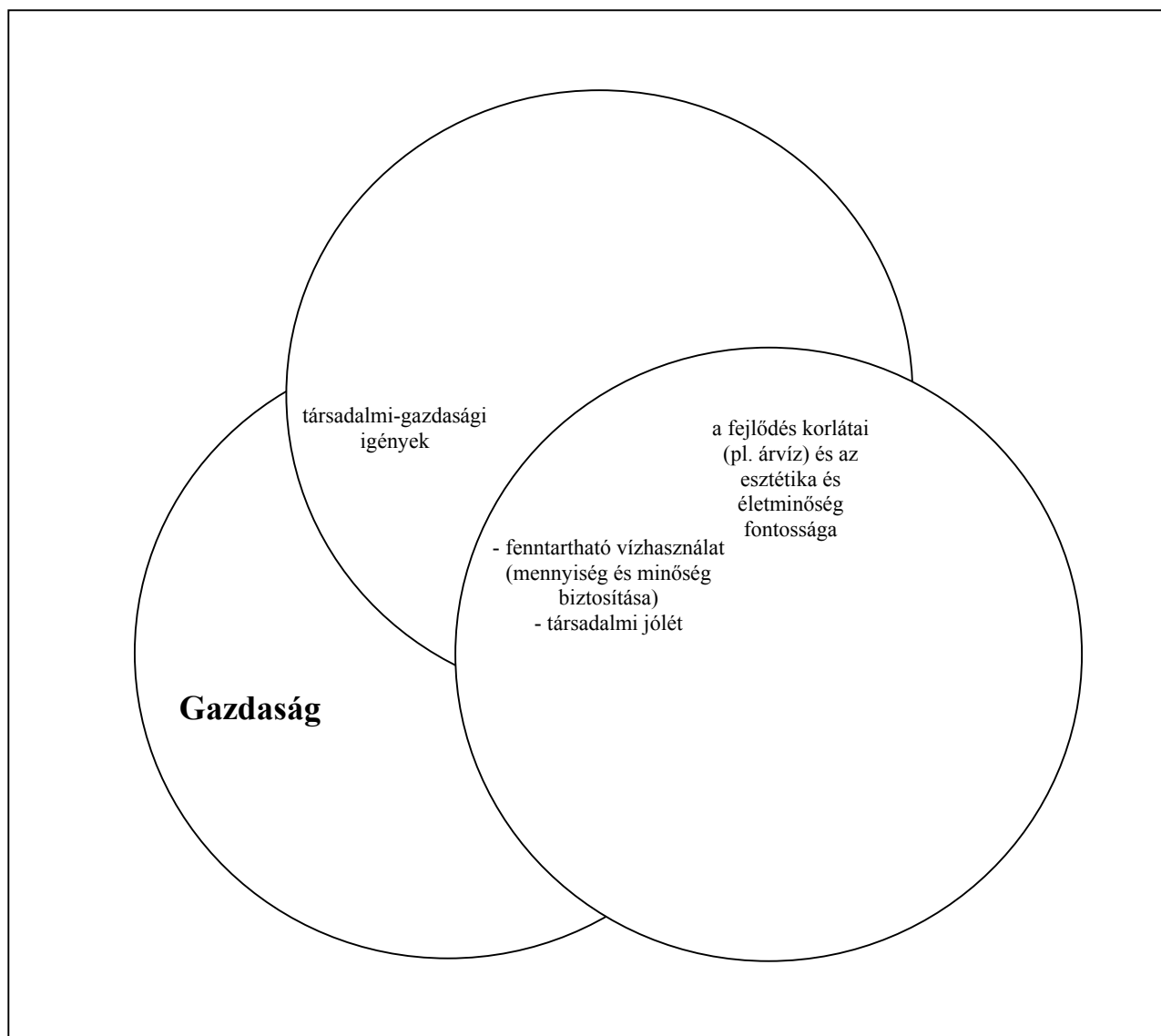
A vizelet szétválasztása a nagy összegű beruházáson túlmenően a szemléletváltás, a lakosság megnyerése révén lehetséges. Előbbire néhány európai példát mutat a 2.4 ábra. A vizeletet ezután külön vezetéken egy közeli tartályba lehet elvezetni, ahonnan vákuumtartályos teherautó szállíthatja egy tápanyag-feldolgozó telepre. Itt a nitrogén és foszfor kinyerésével műtrágya állítható elő a mezőgazdaság számára. Így egyben az öblítővíz felhasználása is jelentősen csökkenthető. A megoldás fejlődő és fejlett országokban egyaránt alkalmazható. Előbbiek esetén külön előny, hogy a szennyvízelhelyezés hiánya miatt fennálló közegészségügyi problémát kevesebb vízfelhasználással oldja meg, mint a hagyományos vízöblítéses WC. További előnye, hogy a szennyvíztelepi hatások javítható a BOI₅:N:P arány kedvezőbbé válásával.



2.4 ábra. Vizeletleválasztó WC csészek (forrás: WM-Ekologen és BB-Innovation, Svédország; illetve Passavant-Roediger, Németország)

3. AZ INTEGRÁLT VÍZGAZDÁLKODÁS ÉS A CSAPADÉKVÍZ-ELHELYEZÉS

Az integrált vízgazdálkodás (IVG) egy a korábbinál szélesebb, interdiszciplináris megközelítést jelent, amelyben a környezettel, mint az adott vízgyűjtőben lévő, egymásra ható ökoszisztémák komplex egységével gazdálkodunk. Az integrált vízgazdálkodás figyelembe veszi a rendszer összetettségét, elemeinek egymásra gyakorolt hatását. Szemlélete holisztikus, és magában foglalja a helyi és a regionális szervek, munkáltatók, környezetvédők, döntéshozók, politikusok és az érintettek bevonását is. Az IVG természeténél fogva „ágazatközi”, meghaladva a társadalmi szerkezeteket, osztályokat és intézményeket. Megvalósításának legnagyobb kihívását éppen az ágazatközi együttműködés és az integrált multidiszciplináris tevékenységek megteremtése jelenti (Geiger és Hofius 1995). A víz integráló szerepére hívja fel a figyelmet Csemez (1996). Az ilyen típusú vízgazdálkodást az Egyesült Államokban és Kanadában ökoszisztéma alapú vízgazdálkodási megközelítésnek nevezik, melyben egyforma figyelmet kap a társadalom, a gazdaság és a környezet (Hartig és Vallentyne 1989). Kapcsolatukat a fenntarthatóság jegyében mutatja a 3.1 ábra az UNESCO nyomán (1995).



3.1 ábra. A fenntartható vízgazdálkodás összefüggése a társadalom, a gazdaság és a környezet kapcsolatában (forrás: UNESCO 1995)

A *Global Water Partnership* (GWP) egy külön kiadványt szentelt az IVG meghatározására és gyakorlati megvalósításának elősegítésére (GWP 2000) a dublini elvekből kiindulva⁴. Ebben kiemeli a természeti rendszerek, illetve az emberi rendszerek integrálásának fontosságát. Előbbihez az édesvízi-tengerparti rendszerek; a területgazdálkodás – vízgazdálkodás; zöld víz – kék víz; felszíni – felszín alatti víz; mennyiség – minőség; és a felvízi – alvízi érdekek integrálását tartja fontosnak. Az emberi rendszerek kapcsán a horizontális, ágazatközi integrálás jelentőségét emeli ki, egyéni szempontok (pl. a víz- és szennyvízgazdálkodás integrálása, az érintettek bevonása a tervezésbe, döntéshozatalba stb.) mellett. A GWP meghatározása szerint „az integrált vízgazdálkodás olyan folyamat, amely a víz, a terület és a kapcsolatos készletek összehangolt fejlesztését és gazdálkodását teszi lehetővé, annak érdekében, hogy maximalizálja az egyenjogúság szem előtt tartásával az ebből származó gazdasági és társadalmi jólétet, anélkül, hogy a létfontosságú ökoszisztémák fenntarthatóságát megsértenék”.

Az integrálást a természeti és az emberi rendszereken belül és azok között is végre kell hajtani, figyelembe véve azok tér- és időbeli változékonyságát. A történeti kialakulást tekintve a vízgazdálkodással foglalkozó szakemberek magukat egy semleges szerepkörben látták, akik úgy gazdálkodnak a természeti készlettel, hogy azzal a társadalom által meghatározott igényeket elégítsék ki. Be kell látnunk, hogy a szakma (annak képviselőinek) viselkedése befolyásolja a vízigényeket is. Egyértelmű, hogy a fogyasztónak csak olyan termék iránt lehet igénye, amit szolgáltatnak. Azonban a vizet eltérő tulajdonságokkal lehet szolgáltatni, például a minőség, vagy a rendelkezésre állás tekintetében. Az árképzés is befolyásolja a vízigényeket, éppúgy, mint az infrastrukturális beruházás, ami a potenciális igényeket ténylegessé változtatja.

A közelmúlt felismerései arra mutatnak, hogy a vízgazdálkodási fejlesztéseket az érintett környezet érzékenységeire való tekintettel, a hatások felmérésével és az alternatívák széles spektrumának figyelembe vételével kell végrehajtani és a jövőbeli körülményeket átfogóbb módon kell előre jelezni, a társadalom, a gazdaság és a környezet összefüggésében, ahogy azt a *3.1 ábra* mutatja. A ma szakemberének számos, gyakran ellentmondásos igényt kell figyelembe vennie és nagyszámú, jogi és fizikai korláttal kell számolnia. Egyensúlyoznia kell a (különböző) célok elérése érdekében, a döntéshozók, a felhasználók és az általános érdekeltek között, ráadásul az egyes csoportokon belüli különbözőségeket is figyelembe véve.

A vízgazdálkodási fejlesztések általában nagy-összegű beruházásokkal járnak, és ebből következően jelentős megtakarításokat lehet elérni úgy a vízkészlet fejlesztések, mint a szolgáltatások terén, ha a megvalósuló létesítmények, és az ezekhez tartozó gazdálkodási rendszerek nagyléptékűek. Létrehozásukat a jelenlegi szétaprózódott önkormányzati rendszer nem segíti elő, továbbá a regionális rendszerekkel szemben sokszor tapasztalható olyan típusú ellenkezés, mely az önállóság csorbulásának, elvesztésének félelméből fakad. Ugyanakkor általában elismerik, hogy egy települési vízgazdálkodási projekt pénzben kifejezett költsége nem tükrözi annak fontosságát. Ezzel összefüggésben meg kell különböztetni árat és értéket, ahol is az ár egy pillanatnyi, átmeneti jellegű tényező és nem a végső értéknek a pontos mértéke. A hagyományos költség-számításoknak ki kell egészülniük a környezeti költségekkel, melyek figyelembe veszik a beruházásnak úgy a pozitív, mint negatív környezeti hatásait (*Geiger és Hofius* 1995).

⁴ A négy dublini (vagy rió-dublini) alapelv:

I. Az édesvíz véges és sérülékeny természeti forrás, amely alapvetően fontos az élet fenntartása, a fejlődés és a környezet szempontjából.

II. A vízkészletek fejlesztését, és az azzal való gazdálkodást participatív (az érdekeltek részvételén alapuló) megközelítés szerint kell végezni, úgy, hogy abban a felhasználók, a tervezők, és a gazdálkodáspolitikai minden szintje képviselve legyen.

III. A nők központi szerepet töltenek be a víz beszerzésében, megóvásában és az azzal való gazdálkodásban.

IV. A víznek minden egymással versengő felhasználásakor gazdasági értéke van és azt, mint a gazdasági javak egyikét kell elismerni.

A tervezésnek figyelembe kell vennie a települési vízgazdálkodás céljait, a rendelkezésre álló vízkészletek jellemzőit, a használatokkal járó funkciókat, a kölcsönös függőségeket, a helyenként előálló kényelmetlenségeket, a méretekből adódó gazdasági kérdéseket, a többcélú használatból fakadó előnyöket, a szolgáltatás monopolhelyzetét és az árképzést (Marsalek 1988). A városi vizek többcélú használata nyilvánvaló prioritásokat követ, ahol első helyen a vízellátás biztosítása áll. A víz „mozgékony jellege”, a készletek fizikai kapcsolat-rendszere a független felhasználók és fejlesztők tevékenységét kölcsönösen függővé teszi egymástól. A vízgazdálkodás előtt álló nagy kihívás az, hogy egyensúlyt teremtsen a készletek használata – mint az emberek életfeltétele – és a készletek védelme és megőrzése között, a készletek funkcióinak és jellemzőinek fenntartása érdekében. A készletek és használataik között fennálló kölcsönkapcsolati viszony, különösen intenzív használat esetén erős ösztönző lehet az integrált vízgazdálkodásra. A kölcsönös függőségek megfelelő kezelése pedig az előnyök elterjedését idézhetik elő.

Butler és Maksimovic (1999) a XXI. század legégetőbb városi vízgazdálkodási problémáit öt csoportba foglalja össze:

- a készletek és megőrzésük,
- az infrastruktúra bővítése, fejlesztése, innováció és integrált tervezés,
- a víznek a városi környezetbe, a mindennapi életbe való beillesztése, azaz esztétikai, rekreációs értékének megtalálása, helyreállítása,
- az intézményi rendszerek javítása a társadalom bevonása, szervezeti korszerűsítés, jogalkotás és szabványosítás révén, és végül
- „újfajta gondolkodás”, a hagyományos eljárásokkal való szakítás, új módszerek kidolgozása és alkalmazása, a komplex városi vízgazdálkodási problémák megoldására.

Az integrált városi vízgazdálkodás koncepciója a fenntartható fejlődéssel foglalkozó világtalálkozók (mint Rió, Johannesburg) céljainak központi eleme, tekintettel a világon tapasztalható városiasodási tendenciára. Azonban, míg a fejlett világban észlelhető a koordináció, a területi integrálás, a közös gazdálkodás, vagy a szolgáltatások funkcionális integrálása, a fejlődő országokban a szolgáltatások ad hoc jellege, a széttöredezett intézményi rendszer, a környezettel szembeni „merényletek” tapasztalhatók. Mindez párosul a finanszírozás hiányával, a rohamosan növekvő népességgel, és az ezáltal növekvő vízigénnyel. Az átmeneti gazdasági helyzetű országok a felzárkózás periódusát élik, amire a fejlesztések iránti igény és a (viszonylag) szűkös pénzforrások éppúgy jellemzők, mint az intézményi rendszer hibái. A hatékonyság és hatásosság maximalizálása érdekében a hatósági és szolgáltatói funkciók szétválasztása, mely Magyarországon folyamatban van, elengedhetetlen. A jó intézményi rendszer a társadalmi igények kielégítésére az alternatívák széles skáláját sorakoztatja fel. Nem nélkülözheti a politikai aspektusokat sem, a környezetpolitikai döntéshozóknak fel kell mérniük a kockázatokat és a kezelésükhöz szükséges anyagi eszközöket, még akkor is, ha első látásra azok irreálisnak tűnnek. A szervezeti felépítés tervezésénél el kell mozdulni a szűklátókörű, „szakmai sovinizmus” felfogásából adódó előítéletes szervezeti struktúrától, a rendszerszemléletű, multi-diszciplináris megközelítést lehetővé tevő felépítés irányába.

Az integrált megközelítés a vízkészletek tekintetében éppúgy jelent fejlesztést, mint megőrzést.

Reich és Simonffy (2002) szerint „A települési vízgazdálkodás integráltságán elvileg azt értjük, hogy a vízellátás, a szennyvízelvezetés és -tisztítás, a befogadóba való bevezetés, az iszapkezelés és -elhelyezés, a csatornapótlók alkalmazása, a helyi fürdővizek gondozása, a belterületi vízelvezetés, a helyi vízkárelhárítás összehangoltan valósul-e meg, a finanszírozást és a területfejlesztési tervekhez való kapcsolódást is biztosító terv szerint. Ilyen értelemben az integráció *nem biztosított*.”

Más szóval a teljes körű települési integrált vízgazdálkodás magában foglalja a más (a településhez kötődő) vízfelhasználó (és szennyező) ágazatokkal, valamint a természeti környezettel való harmonikus kapcsolat megvalósítását is. Az ágazatközi integrálás egy emberi rendszerek közötti, a

lehetőségekhez képest, összehangolt kapcsolatrendszert feltételez, mely aligha valósítható meg súrlódásmentesen, de az integrált vízgazdálkodás elvének folyamatjellegéből kifolyólag tendenciaszerűen valósulhat meg. Jogi szabályozása jelen keretek között távolról sem létezik, hiszen a vízgazdálkodási törvény, bár kötelezi az önkormányzatokat a helyi vízi közüzemi tevékenység fejlesztésére vonatkozó – a vízgazdálkodás országos koncepciójával és a jóváhagyott nemzeti programokkal összehangolt – tervek kialakítására ill. végrehajtására, és nem írja elő a települési vízgazdálkodási feladatok összehangolt ellátását (*Reich és Simonffy* 2002), vagyis ágazaton belüli integrációt. Az ágazatközi integrációt pedig csak egy magasabb szinten, elsősorban környezet-politikai módszerekkel és tudatformálással lehet létrehozni. A természeti környezettel való harmonikus kapcsolat kialakítása pedig a számos, a fenntartható fejlődéssel kapcsolatban megfogalmazott elv (az életközösségekről való gondoskodás, a Föld életképességének és diverzitásának megőrzése, a meg nem újuló erőforrások használatának minimalizálása, a magatartásváltozás szükségessége stb.) betartása révén közelíthető.

Az integrált feladatellátást jelentősen segíthetné ha kötelező lenne települési vízgazdálkodási terv készítése⁵, vagy legalábbis, ha a településszerkezeti terv kötelező szakági munkarészei között a környezetalakítási (benne a vízzel kapcsolatos természeti és művi elemek, ezek egymásra hatása) és a közművesítési (különösen ivóvíz, szennyvíz, csapadékvíz stb.) fejezetek igényesen lennének elkészítve, ill. ha ezek végrehajtásának ellenőrzése is megtörténne (*Reich és Simonffy* 2002).

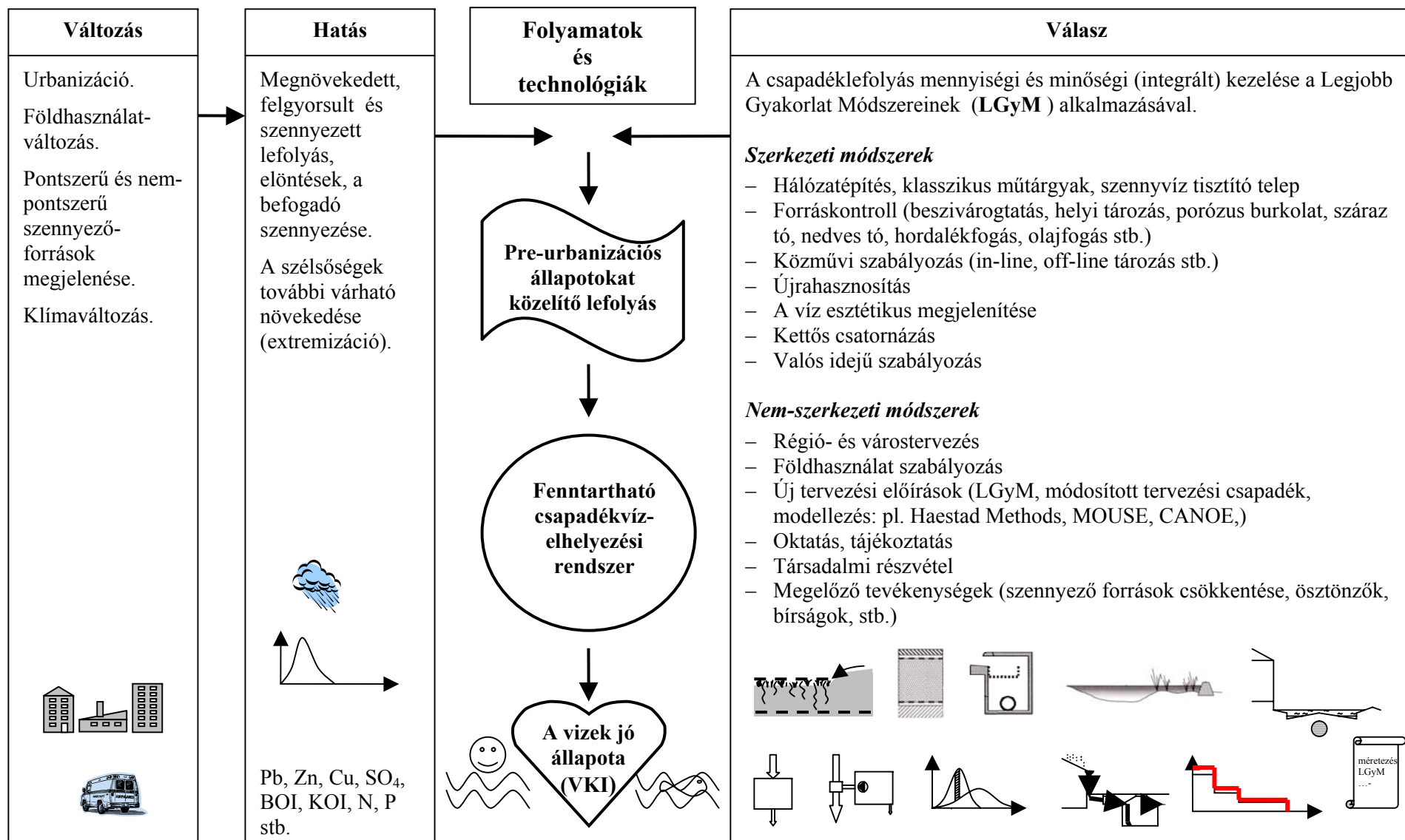
A csapadékvíz elhelyezésével, az azzal való gazdálkodással kapcsolatos problémakör ma már nem csupán az 1-es fejezetben tárgyalt „klasszikus” urbanizációs hatások kompenzálását jelenti. Figyelembe kell venni az éghajlatváltozás, ma kikerülhetetlennek látszó tendenciáját (függetlenül attól, hogy ez természetes, vagy antropogén hatások eredménye). A klímaváltozás témája évek, sőt évtizedek óta napirenden van kül- és belföldön egyaránt (*Láng et al.* 2004). Legutóbb a 2004. június 9-ei viharok kapcsán került sor a különböző érintett infrastruktúrák szempontjából történő hazai helyzetértékelésre, köztük a budapesti csatornahálózat állapotának bemutatására is (*Palkó* 2004).

A változások következményeként az időjárási események szélsőségeinek növekedése (extremizáció) várható, mely a települési vízgazdálkodás szempontjából a csapadékok intenzitásának, illetve a lehullott mennyiségnek a növekedésében nyilvánul meg. Ez mintegy szuperponálódik az egyébként is jelen lévő problémákra (3.2 ábra)⁶. A városi lefolyást

⁵ Budapest térségének vízi infrastrukturális többszörös egymásrataltsága szükségessé teszi összehangolt fejlesztési és rendezési programok kidolgozását és végrehajtását. A térség integrált vízgazdálkodási esettanulmánya (*Öllös* 1994) a felmerülő problémákat kockázati súlyuk szerint mutatja be, értékelve megoldásuk elmaradásának közegészségügyi és gazdasági kockázatát. A tanulmány megállapítása szerint az integrált vízgazdálkodás előrelátó, összehangolt területhasználati döntéseket igényel a régióban. A kockázati tényezők csak nagyvonalúan veszik számba a megoldáshoz szükséges anyagi eszközöket, hiszen azok megközelítik Magyarország 1990. évi bruttó nemzeti össztermékének értékét. Ebből megállapítható, hogy a megoldás több évtizedet és célszerű ütemezést igényel. Tíz évvel az elemzés után ugyanerre a megállapításra juthatunk!

⁶ A változás – hatás – válasz szavakból alkotott VAHAVA betűszó a klímaváltozással foglalkozó kutatócsoport, illetve projekt „márkanéve”. Jelen tanulmányban a települési csapadékkal kapcsolatos, a klímaváltozást is magába foglaló, de a városi területekre korlátozódó, viszont egyéb változásokat is figyelembe vevő értelemben használom a három szót.

kedvezőtlenül befolyásoló hatásokkal szemben a mennyiséget és minőséget egyaránt célzó, integrált szemléletű gazdálkodásra van szükség. A csapadékvíz fenntartható módon történő elhelyezéséhez ma már rendelkezésre állnak az ú.n. „legjobb gyakorlat módszerei”, melyek alkalmazásával az urbanizációt megelőző időszakhoz közelítő állapotok érhetők el. Az ide tartozó eszközök széles skálája olyan szerkezeti és nem-szerkezeti módszereket fog át, melyek Magyarországon kevésbé ismertek, és még kevésbé használják azokat a gyakorlatban. Rendszerbe foglalt bemutatásuk, a csapadékvíz-elhelyezés (beleértve a széles értelemben vett gazdálkodás minden szempontját), mint fennálló probléma belső kezelésének és kapcsolódásainak átfogó elemzése mindez ideig hiányzott a hazai szakirodalomból, jóllehet ez nélkülözhetetlen a települési vízgazdálkodás fenntarthatóságának elérése érdekében.



3.2 ábra. A csapadékvíz elhelyezése a fenntarthatóság szellemében (a VAHAVA kutatási program elvének felhasználásával)

Az értekezés fő részét képező 3-as fejezetben ezért rendszerbe foglalóan áttekintem azokat a lehetőségeket, melyek igénybevételére hazánkban is szükség lesz a települések csapadékvízzel kapcsolatos gazdálkodási feladatainak megoldása során, különös tekintettel az EU Víz Keretirányelvében kitűzött célok megvalósítása, figyelembe véve a klímaváltozás várható hatását is.

3.1 A csapadékvíz mennyisége, figyelembe véve az éghajlatváltozás várható hatását

Az utóbbi években fokozódó figyelmet kap az üvegházhatás kérdése és az üvegházhatású gázok növekvő koncentrációja a légkörben (különösen CO₂), és az ezzel járó klímaváltozás. A Föld átlaghőmérséklete 0,6 C°-kal emelkedett az elmúlt 100 évben. Melegedés volt tapasztalható az 1940-es évek elejéig, enyhe lehűlés az 1970-es évek közepéig, majd ismét emelkedő hőmérsékleteket regisztráltak napjainkig (Environment Canada 2004). Az európai hőmérsékleti növekedés ezt meghaladó mértékű volt, 0,95 és 1,2 C° közötti értékeket említ az Európai Környezetvédelmi Ügynökség (2004). A növekedés mértéke egyre gyorsuló, ezért a XXI. századra ezt meghaladó mértékű növekedést jósolnak. Az antropogén eredetű változás esélye nagymértékben növekedett az elmúlt évtizedekben (Bartholy 2004).

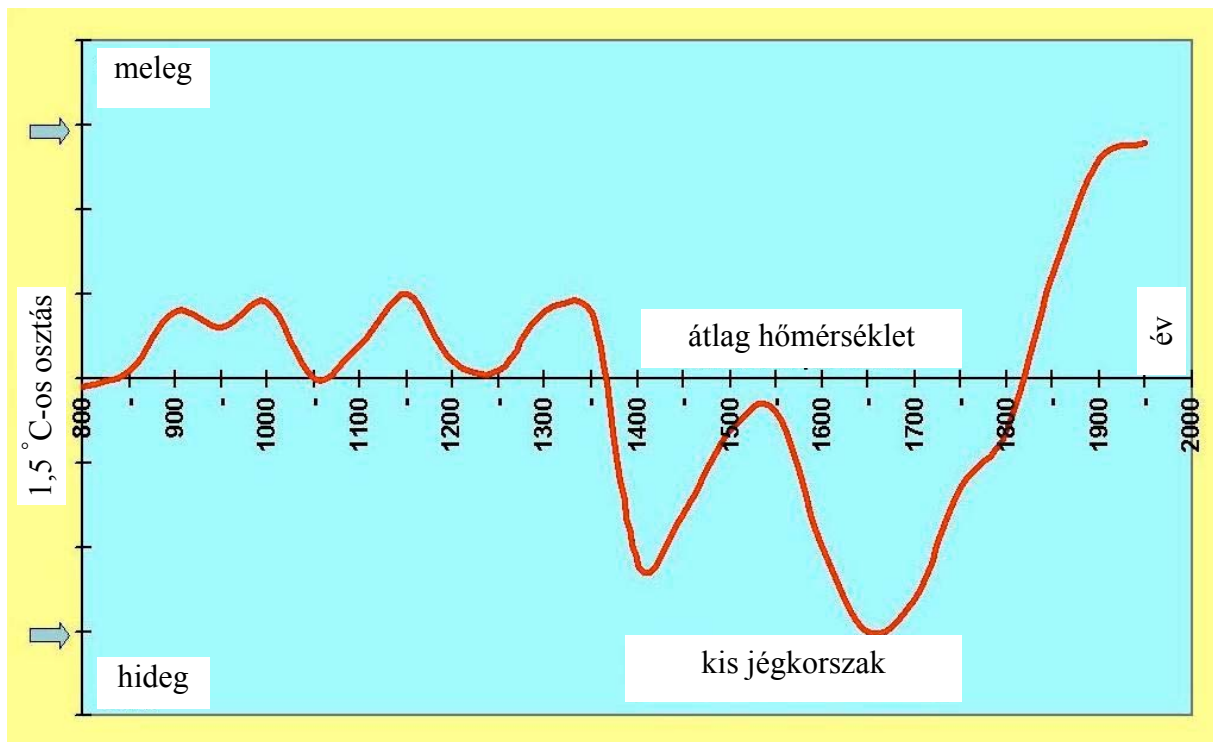
Az éghajlatváltozás következményei közé tartoznak az időjárással kapcsolatos eseményekből, mint például árvizekből, viharokból származó gazdasági veszteségek. Európában ezek a veszteségek jelentősen nőttek az elmúlt 20 év során, miközben a nem időjárással kapcsolatos katasztrófák száma tendenciózusan nem változott. Ugyanakkor, ha jelentősen csökkenne is az üvegház-gázok kibocsátása, az éghajlatrendszer további folyamatos változása várható. Ennek oka, hogy hosszú ideig tart, amíg a kibocsátást csökkentő politikák befolyást gyakorolnak az üvegház gázok kibocsátására és ennek nyomán az éghajlatra. A jelen csökkentési tervek pedig még nagyon kevesek ahhoz, hogy a jelenlegi tendenciákat akár lényegesen lassítsák, nemhogy megállítsák. Ennél fogva a kibocsátások csökkentése mellett, a klímaváltozáshoz való alkalmazkodásra is szükség van (Európai Környezetvédelmi Ügynökség 2004). A stratégiának a „*reduction, adaptation, mitigation*” (csökkenés, adaptálás, enyhítés) hármast kell szem előtt tartania. Mivel a változó klíma a csapadékvízviszonyokra is befolyással van, ennek hatásával tisztában kell lennünk a városi vízgazdálkodás létesítményeinek tervezésénél és üzemeltetésénél.

3.1.1 Az éghajlatváltozás és várható hatása a mértékadó csapadéokra

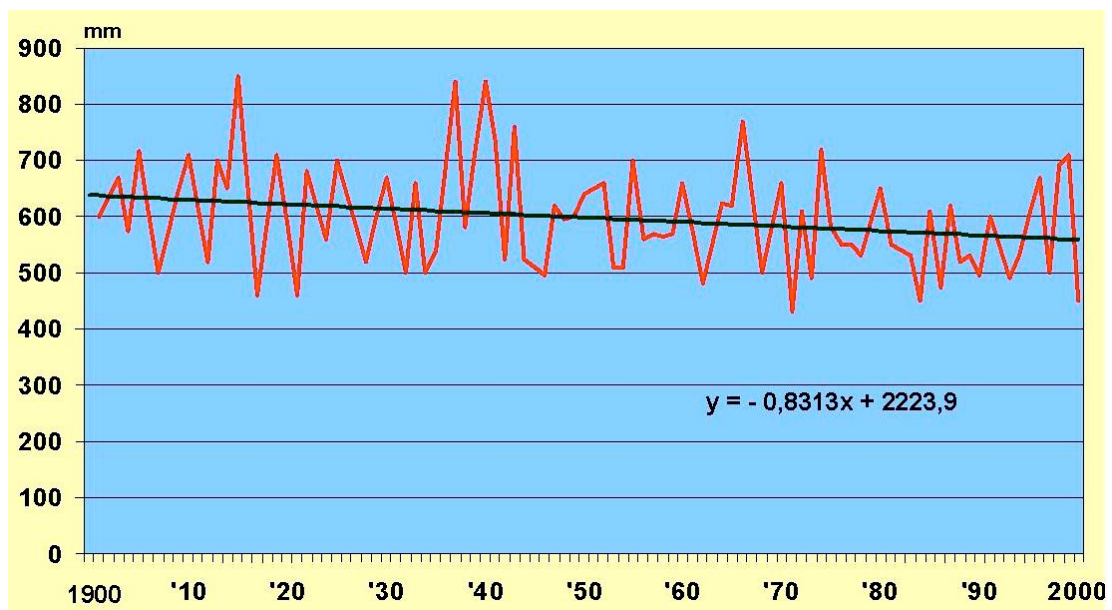
Egyszerű megfontolások alapján belátható, hogy a növekvő léghőmérséklet intenzívebbé teszi a hidrológiai ciklust, s így a globális csapadékmennyiségnek növekednie kellene. Mivel a melegebb légkör több nedvesség hatására válik telítetté, ezért a melegebb levegő több nedvességet képes magába fogadni. Azonban a nem kielégítő mérések és más pontatlanságok miatt nehéz megfelelő pontosságú globális következtetéseket levonni (Houghton et al. 2001).

Térségünk hőmérsékleti változását mutatja a 3.3 ábra az elmúlt évezredben. A kis jégkorszakot követő felmelegedés trendje jól kivehető. A nagyléptékű globális cirkulációs modellek⁷ több °C-os hőmérsékletnövekedést jeleznek előre a világban a következő 50–100 évben, míg a csapadék mennyiségét illetően a szélsőségek fokozódását valószínűsítik (Közép-Európában több téli és kevesebb nyári csapadékkal). Magyarországon az éves csapadék csökkenő tendenciát mutat a XX. században (3.4 ábra), azonban a települési csapadék-elhelyezés kapcsán a nagy intenzitású, rövid idejű (maximum 3 órás) záporok a mérvadóak.

⁷ Újabban globális klíma modelleknek nevezik ezeket, azonban az angol rövidítés mindkét esetben GCM.



3.3 ábra. A hőmérséklet változása Kelet-Európában (Varga-Haszonits 2003, www.vahava.hu)



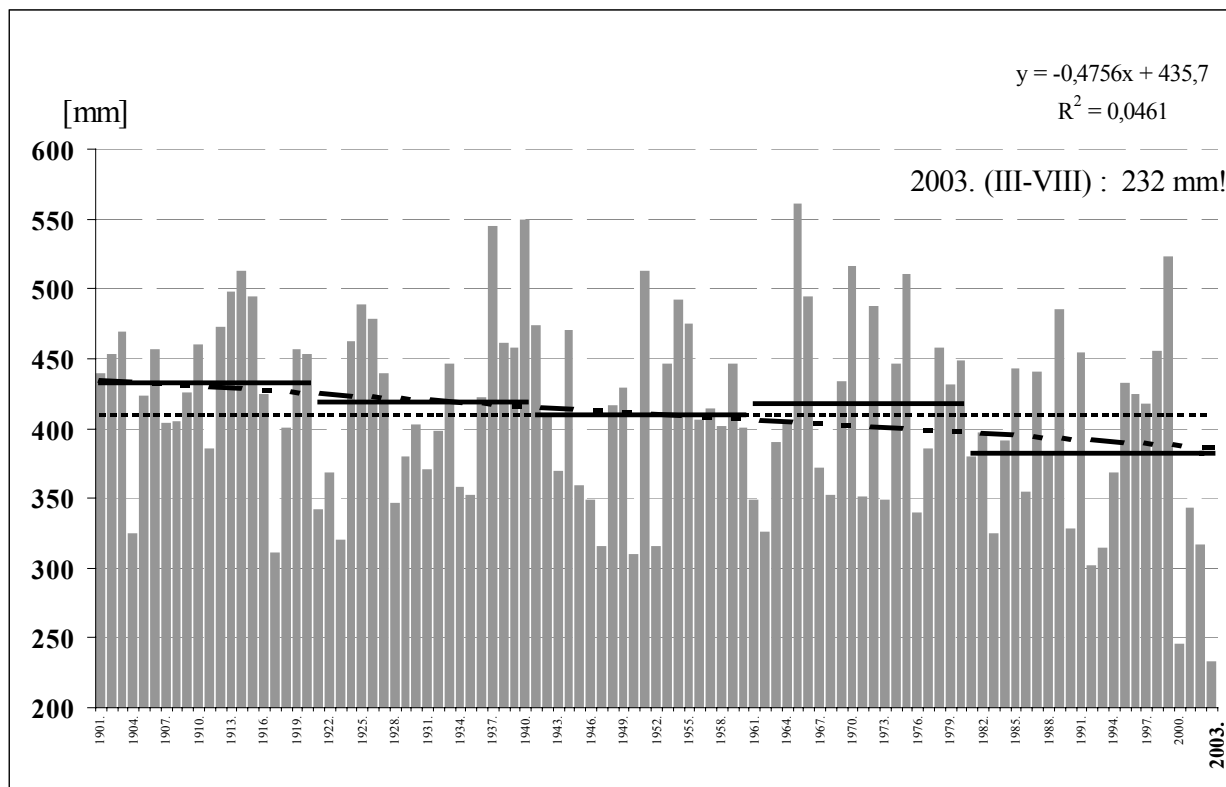
3.4 ábra. A magyarországi éves csapadék változása (Varga-Haszonits 2003, www.vahava.hu)

A nagy intenzitású csapadékok szempontjából kiemelten fontos a nyári időszak. Ezért külön bemutatjuk a márciustól augusztusig terjedő hat hónap csapadékösszegeit 1901 és 2003 között, országos átlagban (10 állomás alapján, 3.5 ábra), továbbá a május és augusztus közötti négy hónap átlaghőmérsékletét ugyanerre az időszakra, országos átlagban (10 állomás alapján 3.6 ábra) (Kalmár et al. 2004). A lineáris trend nem azért szerepel az ábrákon, mert ezek a paraméterek egy egyenes mentén változnak, hanem mert a változás mértékének a becslése így módon egyszerűbb. Így a csapadékokról megállapítható, hogy a 103 év alatt a hathónapos csapadékösszeg esetében a

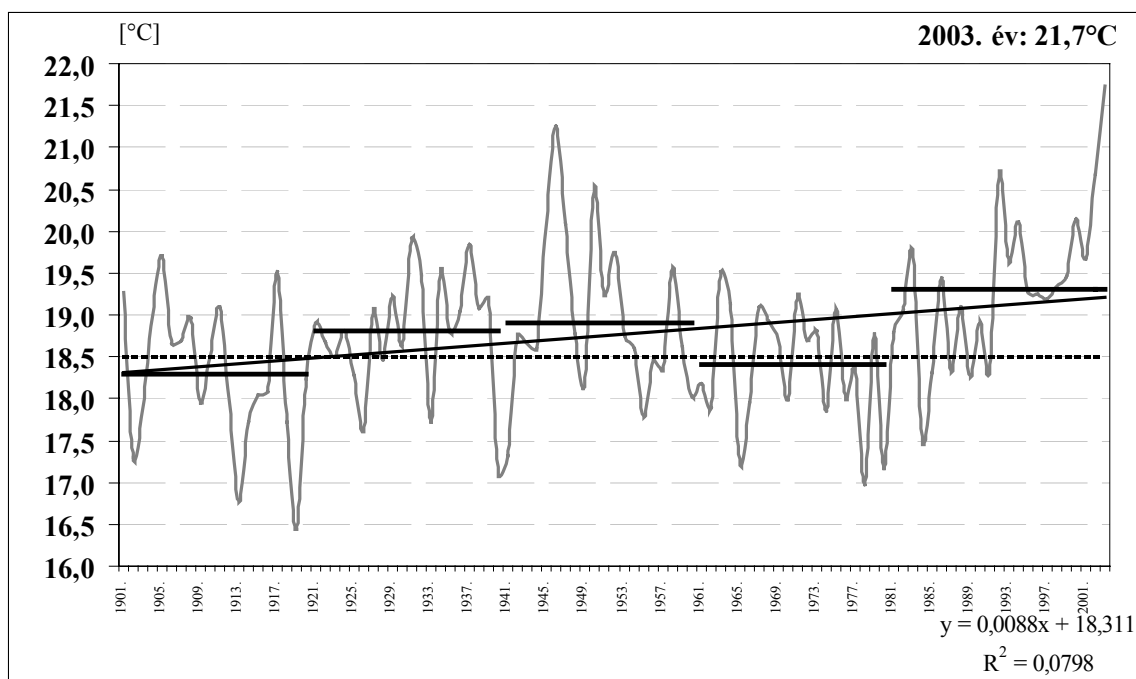
csökkenés mértéke mintegy 48 mm volt, ami lényegében egy havi csapadékot jelent. Megjegyezzük továbbá, hogy az abszolút minimum 2003-ban volt. Ez önmagában nem perdöntő, de az igen, hogy a húszévente meghúzott átlagértékek egy kivételével csökkenő tendenciát mutatnak, (és annak az egy időszaknak a csapadéka is csak kevéssel haladta meg a megelőző periódusét). A hőmérséklet tekintetében a magyarországi értékek az európaiak alatt, de a globális értékek felett helyezkednek el. Az évi átlaghőmérséklet változása a XX. században meghaladta a globálisan meghatározott 0,6°C-os értéket.

A 3.6 ábrán látható, hogy a kibővített nyári időszakban a hazai melegedés mértéke meghaladta az éves szintet, és majdnem 0,9°C-ot ért el. Így az mondható, hogy az elmúlt évszázad alapján hazánkban a hőmérséklet emelkedett, a csapadékmennyiség csökkent, különösen a jelen dolgozatot elsősorban érintő meleg időszakban. Ez a két tendencia nem szükségszerűen alakul így, azaz a hőmérséklet növekedésével nem feltétlenül jár együtt a csapadék csökkenése. Erre jó példa Nyugat- vagy Észak-Európa. Továbbá, a várakozással ellentétben a csökkenő éves vagy meleg időszakra vonatkozó csapadékösszeg nem jár feltétlenül együtt csökkenő intenzitásokkal. Sőt, a globális mérési adatok alapján, még azokon a területeken is előfordul az intenzitás növekedése, ahol a csapadékösszeg csökken. Ezekben a részeken a csapadék egyre nagyobb arányban hullik le intenzív záporok, zivatarok formájában. Ez a felszín vízgazdálkodását rontja, hiszen az összességében kevesebb beérkező nedvességnek még kisebb része hasznosul.

Huszonhat hazai állomás, 1967 és 1990 között észlelt közel 60.000 adatának vizsgálatából (Váradi és Nemes 1992) kiderül, hogy az évi abszolút maximumok május és augusztus között fordulnak elő az 5, 10, 20, 30 60 és 180 perces események bekövetkeztekor. (A záporcsapadékok méretezési szempontból történő tárgyalására a fejezet későbbi részén térünk ki.)



3.5 ábra A márciustól augusztusig terjedő hat hónap csapadékösszegei (mm) 1901 és 2003 között, országos átlagban (10 állomás). A vízszintes szakaszok 20 éves átlagértékek. A pontozott szaggatott vonal a lineáris trendet mutatja.



3.6 ábra A május és augusztus közötti négy hónap átlaghőmérséklete (°C) 1901 és 2003 között, országos átlagban (10 állomás). A vízszintes szakaszok 20 éves átlagértékek. A vékonyabb folyamatos vonal a lineáris trendet mutatja

A csapadék és a hőmérsékleti tendenciáknál még nehezebb a csapadékintenzitás tendenciáit vizsgálni. Ennek oka az, hogy jóval kevesebb adat áll rendelkezésre, még kevésbé pontosak a mérések, és valószínűleg ennek következtében kevesebb irodalom is áll rendelkezésre. Az IPCC⁸ Harmadik Beszámolója szerint az északi félgömb mérsékelt szélességein a XX. század második felében valószínűsíthető, hogy 2-4 %-os növekedés állt be az intenzív csapadékok előfordulási gyakoriságában (Houghton et al. 2001). Egy újabb vizsgálat szerint, az elmúlt néhány évtizedben a csapadékok intenzitása mintegy 20 %-kal nőtt. Úgy tűnik, hogy ez a növekedés jelenleg is tart. Ez azonban nem jelenti azt, hogy a lehetséges éghajlatváltozás eredményeként következik be mindez. Más vizsgálatok szerint ugyanis, amelyek kiterjedtek a XIX. századra is, a csapadék intenzitás gyakoriságának a XIX század végén, a XX. század elején lokális maximuma volt, majd a húszas és harmincas években elérte minimumát, és lényegében véve azóta növekszenek. Így a XX. század elején a csapadékintenzitás gyakorisága majdnem elérte a XX. század végét. Ebben az esetben viszont feltehető, hogy a jelenlegi gyakoriság-növekedéshez a természetes változékonyság jelentősen hozzájárul. A csapadék intenzitás közvetlenül is függ az antropogén tevékenységtől, például a légkörbe kerülő cseppképző magvak számán keresztül.

A csapadék visszatérési idejének változására, illetve a napi maximumok alakulására irányuló kanadai vizsgálatok (Zwiers és Kahrin 1998, Kahrin és Zwiers 2000) szerint a 20 éves visszatérési idejű csapadékok (24 órás) értékeinek 5,5%-os, és 10,5%-os növekedése várható 50, illetve 100 év távlatában. Egy másik megfogalmazás szerint az éghajlatváltozás hatását úgy vehetjük figyelembe, ha a ritka csapadékok visszatérési idejét kettővel osztjuk. Azaz a jelenlegi 20 éves (5%-os valószínűségű) csapadékok a jövőben 10 évenként (10%-os valószínűséggel) fordulnak majd elő. Ez a kanadai Ontario tartományban fennálló viszonyokra 15%-os csapadékmagasság növekedést jelent (Hengeveld 2000, Watt et al 2003). Megjegyzendő, hogy a trendelemzések és a modelleredmények a csapadék napi változását jelzik és ezekből nem érzékelhetők közvetlenül a város vízgyűjtőkre jellemző órás, vagy rövidebb idejű időléptéken belüli változások.

⁸ IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change, a klímaváltozással foglalkozó kormányközi szervezet

Megjegyezzük továbbá, hogy az intenzitás mérésekre hatással vannak a mérőműszereken kívül a hőmérséklet, a szélsébség, a városi hősziget és környezet stb. A további vizsgálatok során ezen tényezők bevonása is szükségessé válik.

A hazánkra ható lehetséges éghajlatváltozással, illetve annak hidrológiai, vízgazdálkodási hatásaival többen foglalkoztak az elmúlt évtizedben (*Starosolszky és Orlóci* 1994; *Mika* 2000 és 2003; *Nováky* 2002; *Varga-Haszonits* 2003; *Alföldi* 2003). Az éghajlat változatlansága (mint egyik eshetőség) mellett négy, változással számoló forgatókönyvet sorol fel *Varga-Haszonits* (2003):

- *Meleg-nedves változat*. Ebben az esetben a hőmérséklet emelkedése mellett mind a levegő, mind pedig a talaj nedvességtartalmának a növekedésével kellene számolni.
- *Meleg-száraz változat*. Ekkor a növekvő hőmérséklet mind a levegőben, mind pedig a talajban csökkenő nedvességtartalommal járna együtt.
- *Hűvös-nedves változat*. E szerint a hőmérséklet csökkenése együtt járna a nedvesség emelkedésével.
- *Hűvös-száraz változat*. Így a hőmérséklet csökkenése mellett még a levegő és a talaj nedvességtartalmának csökkenésével is számolni kellene.

Városi hidrológiai vizsgálatok szempontjából (a vízhozam, illetve a lefolyás meghatározása) a hőmérséklet különbségek általában kevés szerepet játszanak, a folyamat gyors jellege miatt.⁹ Ezért ha az éghajlatváltozás hatását próbáljuk megbecsülni a csapadék mennyiségére (intenzitására) a *meleg* és *hűvös* esetek külön vizsgálata nem szükséges. A csapadékhullás kezdetén gyorsan telítetté vagy majdnem telítetté válik a légkör, a hőmérséklet általában leesik így a párolgás lecsökken. Figyelembe véve a bizonytalanságokat a *nedves*, illetve *száraz* forgatókönyvek esetére a csapadéktöbblet, illetve csapadékhiány nehezen becsülhető. Szerencsére a vízgazdálkodásnak ma már megvannak az eszközei ahhoz, hogy a regionális hatások kezelhetők legyenek, még akkor is, ha az évszakos átrendeződések és a szélsőségek szaporodása netán bonyolítaná a helyzetet (*Alföldi* 2003). Viszont tekintettel kell lenni arra, hogy a vízgazdálkodási beavatkozások időigénye több év, nem is beszélve a vízügyi politika, a bevett tervezési módszerek, eljárások „inerciájáról”, melyek a változtatások ellenében hatnak. Éppen ezért a csapadécsatornázás területén is célszerű áttekinteni a várható változások hatásait és ha szükségesnek látszik megfelelő válaszlépéseket definiálni.

3.1.2 A mértékadó (tervezési) csapadék kérdése

Legyen szó akár a racionális módszerrel végzett méretezésről, egy városi hidrológiai modell alkalmazásáról, vagy valósídejű szabályozásról, a számítások elvégzéséhez a legfontosabb alapadatot (bemenetet) a csapadékadatok jelentik. A csapadékesemények leírását azonban megnehezíti, hogy a jelenség rendkívül összetett. A gyors városi lefolyás szempontjából alkalmas (kis időbeli felbontású) adatok nem állnak megfelelő mennyiségben és minőségben rendelkezésre a gyakorlati alkalmazás szempontjából feldolgozva. *Váradi* és *Nemes* fentebb idézett vizsgálatai sajnálatosan megszakadtak. Másrészt viszont a méretezés szempontjából kevésbé szükséges a csapadék valósághű (meteorológiailag korrekt) leírása, hanem annak hatása, azaz a vízgyűjtő, vagy a csatornahálózat bizonyos pontján fellépő vízhozam (csúcs, vagy idősor) ismerete a lényeges. Ennek a szemléletnek a jegyében született meg a mértékadó (méretezési) csapadék fogalma. Mértékadó csapadékon (*design storm*) gyakran csak az időben változó intenzitású, mesterségesen előállított csapadék-idősort értik, gyakorlati okokból azonban ide soroljuk az állandó intenzitású, „négyyszög alakú” csapadékot valamint az észlelt és a számításokban felhasznált, csapadékok idősorát is. Meg kell azonban jegyezni, hogy a mértékadó csapadék koncepciójának gyakran és

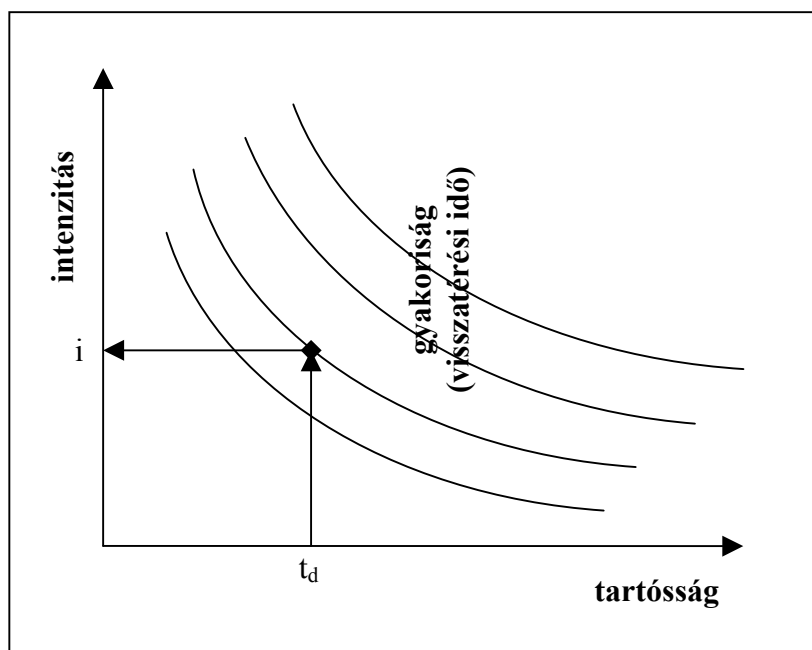
⁹ Más a helyzet, ha nyitott tározók vízborítása a vizsgálat tárgya, mely esetben a párolgásra lehet hatása a hőmérséklet emelkedésének, illetve csökkenésének. Ugyancsak lehet hatása a klímaváltozásnak a hóolvadásra, illetve a hó mennyiségére, ez azonban nem képezi jelen disszertáció tárgyát.

joggal kifogásolt implicit feltételezése, hogy a csapadék visszatérési ideje megegyezik a kialakuló vízhozam visszatérési idejével.

Az alábbiakban áttekintem a méretezési csapadék kérdéskörét és javaslatot fogalmazok meg a tervezésben figyelembe vehető mesterséges intenzitás-idősor meghatározására. Legnagyobb problémát a csapadékhullás legelső pillanatai okozzák, hiszen ekkor még a relatív nedvesség alacsony is lehet, heves zivatartevékenységnél nagy lehet az intenzitás stb. Azonban éppen ekkor a városi csatornarendszer pufferhatása miatt nem kell nagyon nagy időbeli felbontással dolgoznunk. A későbbiekben pedig a csapadékinintenzitás, illetve a meteorológiai paraméterek egy rosszabb időbeli felbontásban is folyamatosnak tekinthetők.

Állandó intenzitású tervezési csapadék

Az állandó intenzitású csapadékot az intenzitás – tartósság – gyakoriság (IDF^{10}) görbékől határozzák meg (3.7 ábra), mely görbék csapadékmérések adatainak frekvencia-elemzéséből nyerhetők. Ennek bemutatásától itt eltekintünk, részletesen az. UNESCO (1987) kiadvány tartalmazza. Csupán azt jegyezzük meg, hogy az egyes IDF görbék meghatározásához a szóban forgó visszatérési idő legalább háromszorosát elérő idejű adatsorra van szükség.



3.7 ábra. Az állandó intenzitású méretezési csapadék meghatározása IDF görbéből

Az IDF görbéket különböző egyenletekkel szokás leírni. Ilyen például a *Talbot* formula (Svájcban, Németországban használatos):

$$i = \frac{a}{t_d + b}$$

¹⁰ Az IDF rövidítés az intenzitás – tartósság – gyakoriság szavak angol megfelelőiből *intensity – duration – frequency* származik.

A *Montanari* képlet (pl. Magyarország, Franciaország):

$$i = a t_d^{-c}$$

Az *Eltinge-Towne* formula (Egyesült Államok):

$$i = \frac{a}{t_d^c + b},$$

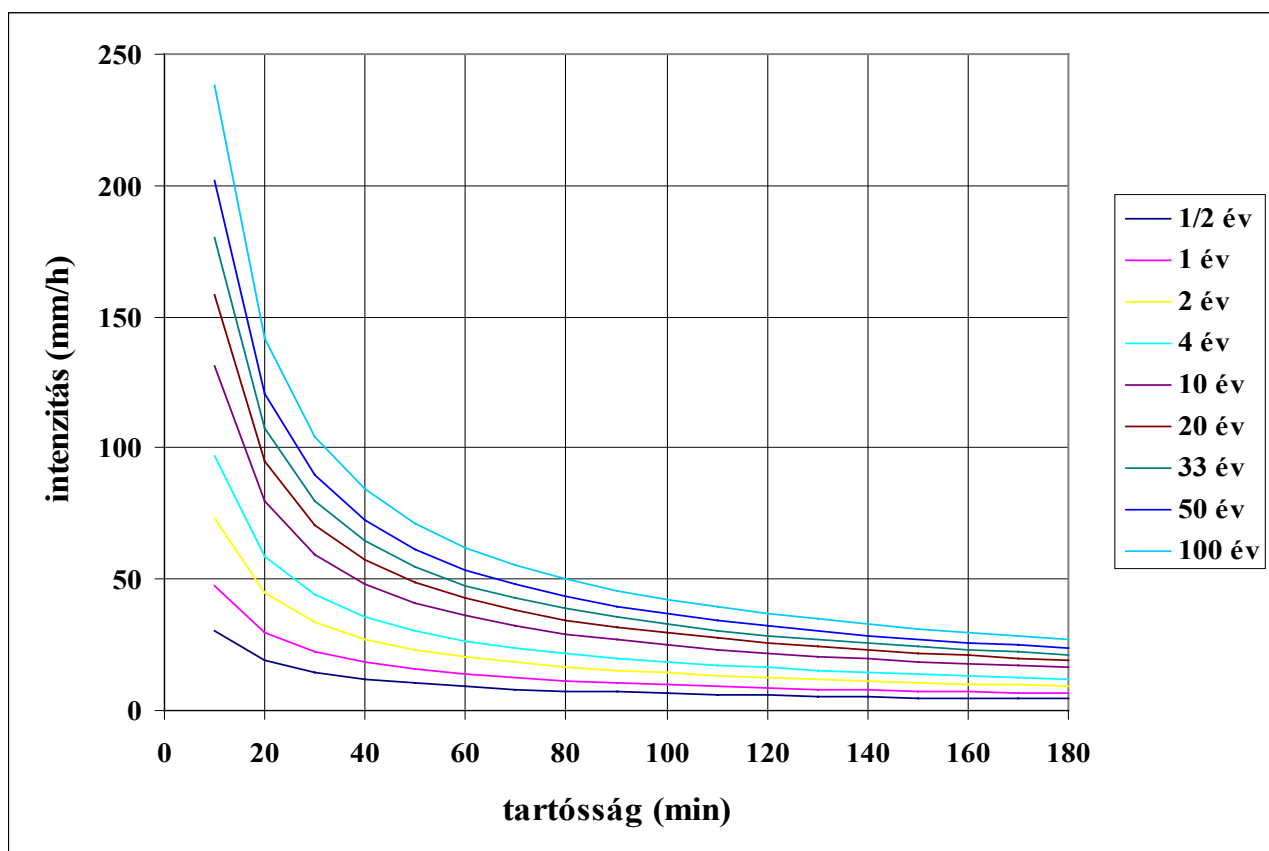
vagy a Svédországban használt változata:

$$i = \frac{a}{t_d + b} + d,$$

ahol:

- i a csapadék intenzitása
- t_d a csapadék tartóssága, 10 min időegységben helyettesítendő
- a, b, c és d a helyi viszonyoktól függő konstans.

A Magyarországon érvényes intenzitás–tartósság–gyakoriság görbesort mutatja a 3.8 ábra. A görbék paramétereit pedig a 3.3 táblázat sorolja fel. Alkalmazását számos helyen leírták (pl. Wisnovszky 1984, Sali 1993).



3.8 ábra. A magyar intenzitás–tartósság–gyakoriság (IDF) görbesor

3.3 táblázat. A magyar csapadéktörvény paraméterei

Visszatérési idő (év)	a (mm/h)	c (-)
1	47,8	0,69
2	73,0	0,71
4	97,0	0,72
10	131,0	0,72
20	158,0	0,73
33	180,0	0,74
50	202,0	0,74
100	238,0	0,75

Időben változó intenzitású tervezési csapadékok

Az IDF görbéből kapott egyenletes intenzitású (négyyszög alakú) csapadék (*block rain*) széles körben használatos a racionális módszer különböző változataiban. Hátránya azonban, hogy nem veszi figyelembe a valós csapadék időben változó jellegét és ezért pontosabb méretezést nem tesz lehetővé. A csapadék-intenzitás mérések terjedése és az adatok részletesebb elemzése az 1950-as 70-es években arra mutatott, hogy a csapadék maximuma a legtöbb esetben $r = 0.31-0.38$ között van, ahol r az maximális intenzitás idejének (t_e) aránya a tartóssághoz (t_d) képest (Keifer és Chu 1957; Sifalda 1973; Wisnovszky 1978; Arnell 1982; Urcikán és Horváth 1984). Huff (1967) vizsgálatából pedig az derül ki, hogy a csapadék jelentős része esik le az esemény tartamának első részében (*first quartile storms*).

Fentiek hatására számos ú.n. szintetikus csapadékot dolgoztak ki, melyek időben változó intenzitást vettek figyelembe és biztosítottak csapadék bemenetet a városi hidrológiai modellek számára¹¹. Legismertebbek a *Chicago tervezési csapadék* (Keifer és Chu 1957), a Sifalda (1973) által javasolt összetett alakú, a Desbordes-féle kettős háromszög alakú (Desbordes 1978) és az egyszerű háromszög forma (Yen és Chow 1980). A Chicago tervezési csapadéokra alapozott idősorokat javasol a VMS/1-77 (1977) $r = 0,35$ feltételezésével. Az eredeti alapkoncepciója ennek a tervezési csapadéknak az, hogy átlagos intenzitása megegyezik az azonos időtartamú, állandó intenzitású csapadékaival, csúcsértékét azonban csak a csapadék kezdete után bizonyos idővel éri el. Mivel IDF görbéket általában már mindenütt meghatároztak, ezért a Chicago tervezési csapadék egyszerűen előállítható ezekből. Ha az IDF görbénk alakja a hazai, *Montanari* típusú, akkor a t_d idő alatt lehullott csapadék magassága:

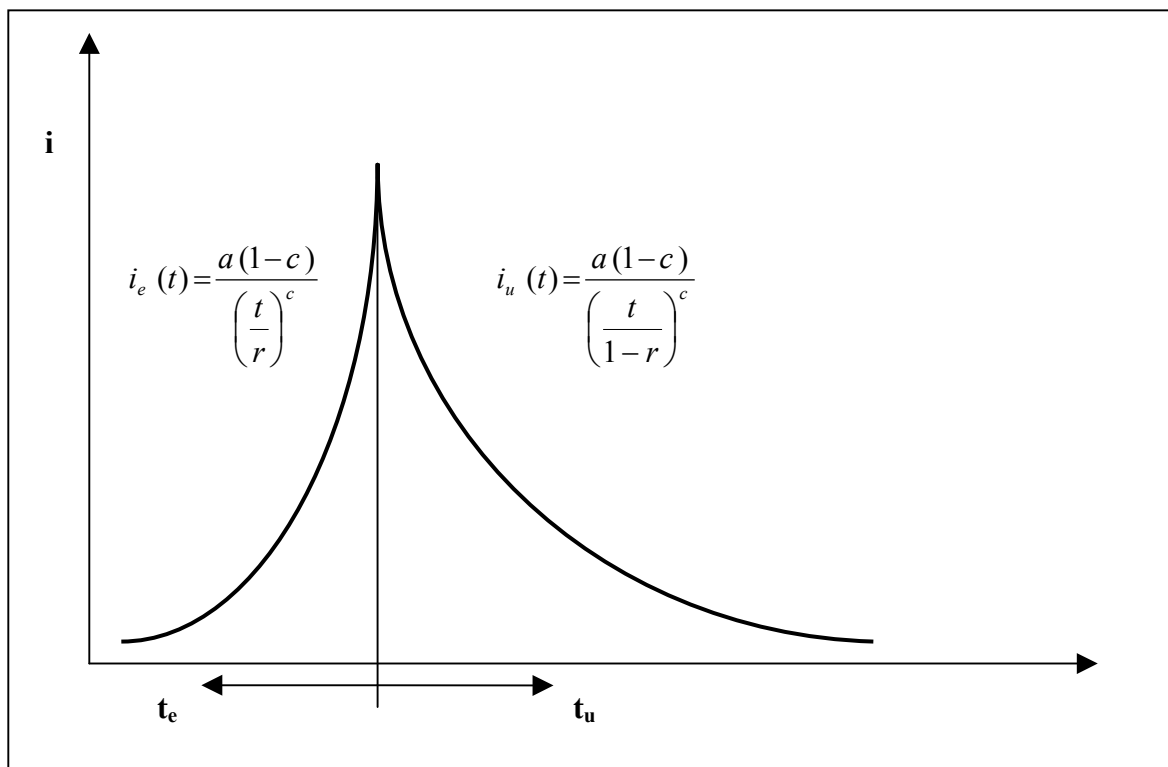
$$P = i t_d = a t_d^{1-c}$$

Innen az idő szerint differenciálva megkapjuk az intenzitás pillanatnyi értékét:

$$i(t) = \frac{dP}{dt} = \frac{a(1-c)}{t^c}$$

¹¹ A modellekben való alkalmazásuk miatt ezeket a mesterségesen előállított idősorokat modelleszapadéknak is nevezik.

Ha a maximális (vagy éppen végtelen) intenzitás helyét a tartósságon belül r -nek megfelelően akarjuk megkapni (és nem a $t = 0$ időpontban) akkor az időben változó intenzitást leíró egyenletben az idő helyére a csúcspont előtt t/r a csúcspont után pedig $t(1-r)$ értéket kell helyettesítenünk. A t időt ily módon a csúcsponthoz képest számítva kapjuk meg a változó intenzitásokat (3.9 ábra).



3.9 ábra. A Chicago tervezési csapadék

Az idősor alakja, azonos visszatérési idő mellett, állandó, ennek megfelelő szakaszát kell kiválasztani a tartósságnak megfelelően. Hátránya, hogy irreálisan magas csúcs-intenzitást eredményez, ami a szimuláción keresztül a lefolyás csúcsában is túlzott értékhez vezet. A túlméretezés elkerülhető, az intenzitásgörbe megfelelő Δt időlépésű diszkrétizálásával, bár erre nehéz szabályt adni, mivel a reális Δt a vízgyűjtő méretétől is függ (Arnell 1984). Megjegyzendő, hogy r megváltoztatásával a csapadék maximális intenzitása nem, csupán annak a tartósságon belüli helye (ideje) változik, és ezzel az idősor alakja is módosul.

Egyszerű háromszög alakú csapadék-idősor állítható elő, ha ismert a csapadék összmenyisége (P) és tartóssága (t_d). Ez esetben a maximális intenzitás:

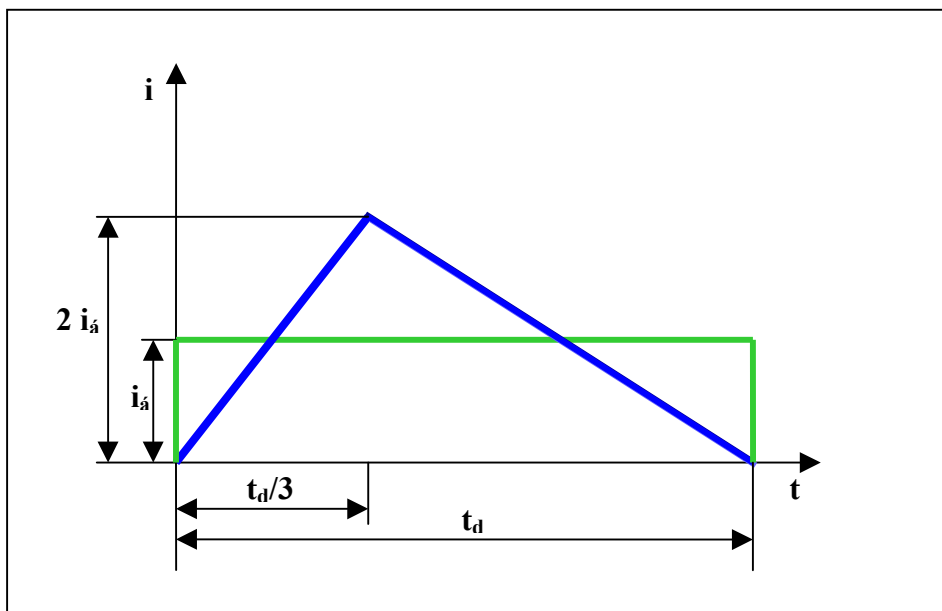
$$i_{\max} = \frac{2P}{t_d} = 2i_d$$

összefüggést mutat. Hasonlóan a korábbiakhoz az előkészítő csapadék aránya:

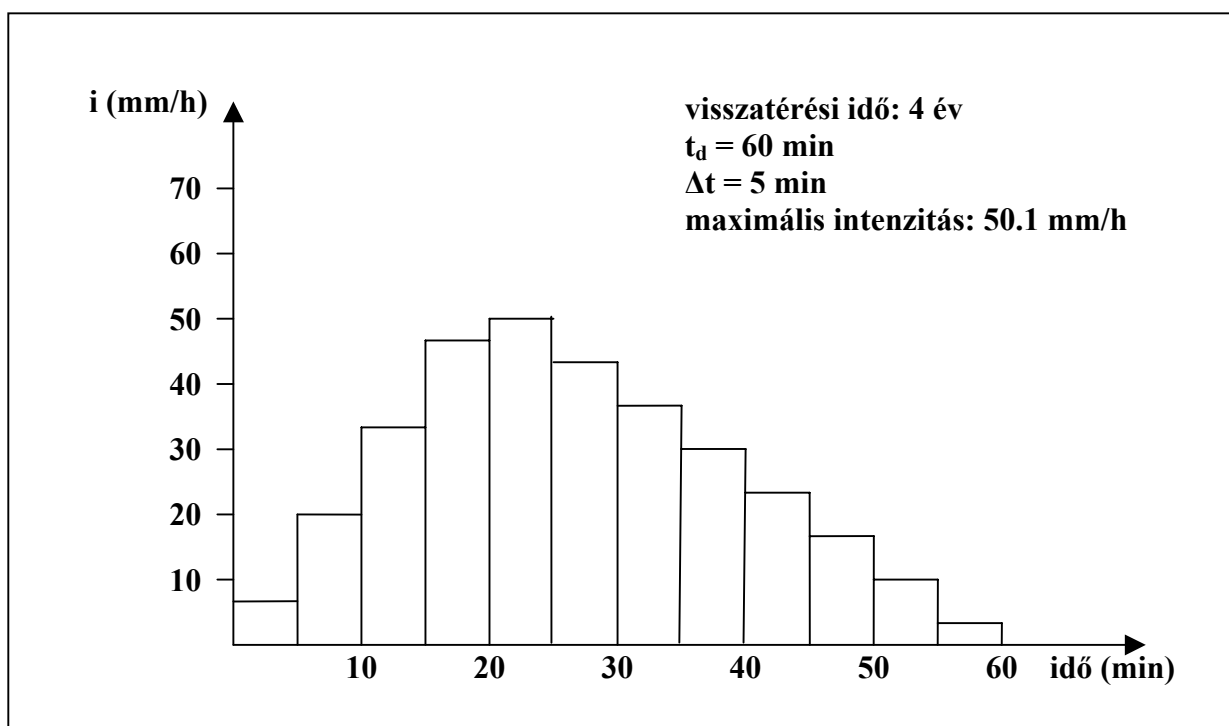
$$r = \frac{t_e}{t_d}$$

Négy helyszínen észlelt közel 10.000 csapadék vizsgálata alapján Yen és Chow (1980) megállapítása szerint a háromszög alakú idősorok a legtöbb nagy intenzitású csapadékra közel azonos alakúak, a tartósságnak csak másodlagos hatása van. Gayer (1986) háromszög alakú

csapadék-idősort (3.10 ábra) javasolt $r = 1/3$ mellett a VITUKI-ban lefolytatott vizsgálatok során a hazai csapadécsatornázási előírások felújításakor és ennek alapján ez került a vonatkozó műszaki irányelvbe (MI-10-455/2 -1988). A „háromszög csapadék” előnye, hogy egyszerűen meghatározható és nem eredményez irreálisan kiugró értékeket még kis időlépések mellett sem. Jó eredményeket adott a budapesti csatornahálózat modellvizsgálatánál, ahol 1 és 4 éves visszatérési idejű input csapadékokat alkalmaztak (Starosolszky és Gayer 1991) $\Delta t = 5$ perces időlépésekkel (3.11 ábra).



3.10 ábra. Háromszög alakú csapadék



3.11 ábra. Háromszög alakú diszkrétizált csapadékinput a magyar csapadéktörvény alapján

3.1.3 A mértékadó csapadék módosítása

A változó intenzitású tervezési csapadékok alapgondolata, hogy létezik egy ún. „előkészítő” csapadék, az ebből származó csapadékmagasság nagyrészt, vagy teljesen fedezi a felszíni tározódást, megindul a beszivárgás a nem burkolt felületeken és ezt követi a csapadék nagyobb része, amely így nem „száraz” felületre hullik és szinte teljes mennyiségében lefolyik. A rövid időtartamú csapadékok vizsgálatai (városi hidrológiai szempontból) azért fontosak, mert választ kaphatunk arra a kérdésre, hogy mekkora az „előkészítő csapadék” aránya, van-e lényegi befolyása a lefolyásra és általában milyen a csapadékintenzitás menete az eseményen belül. A hazai ombrográfus mérések feldolgozásából *Váradi és Nemes (1992)* fentebb idézett vizsgálata meghatározta az 5, 10, 20, 30, 60 és 180 perces országos évi maximumok empirikus eloszlását, átlagát és szórását (3.4 táblázat). A vizsgálatokat minden időtartamban 487 eset alapján végezték.

3.4 táblázat. Rövid időtartamú csapadékhozamok országos évi maximumainak empirikus eloszlása, átlaga és szórása (mm), n = 487 (1967–1990) (forrás: *Váradi és Nemes 1992*)

Előfordulás valószínűsége (%)	Időtartamok (min)					
	5	10	20	30	60	180
Max.	24,7	43,0	57,4	59,0	65,5	90,0
1	20,1	28,3	38,8	45,0	55,9	69,8
5	13,0	20,1	29,0	35,0	42,4	53,1
10	10,8	18,0	24,5	29,1	36,7	45,1
20	9,7	14,3	20,0	24,0	29,6	36,6
40	7,5	11,2	15,7	18,5	22,0	28,0
50	7,0	10,2	14,2	16,5	20,0	25,2
60	6,1	9,5	12,8	14,8	18,0	23,4
80	5,0	7,6	10,0	11,6	14,2	18,9
Min.	2,1	3,6	5,0	6,2	7,6	9,8
Átlag	7,5	11,3	15,6	18,3	22,3	28,5
Szórás	3,23	4,86	6,84	8,23	9,95	12,22

A táblázatból meghatározható az adott értéket elérő, vagy meghaladó maximális csapadékok relatív gyakorisága. Például annak, hogy egy évben 5 perc alatt legalább egy alkalommal 7mm vagy azt meghaladó¹² csapadék hulljon ($i \geq 84$ mm/h), 50% a valószínűsége, azaz két évente fordul elő ilyen intenzitású csapadék.

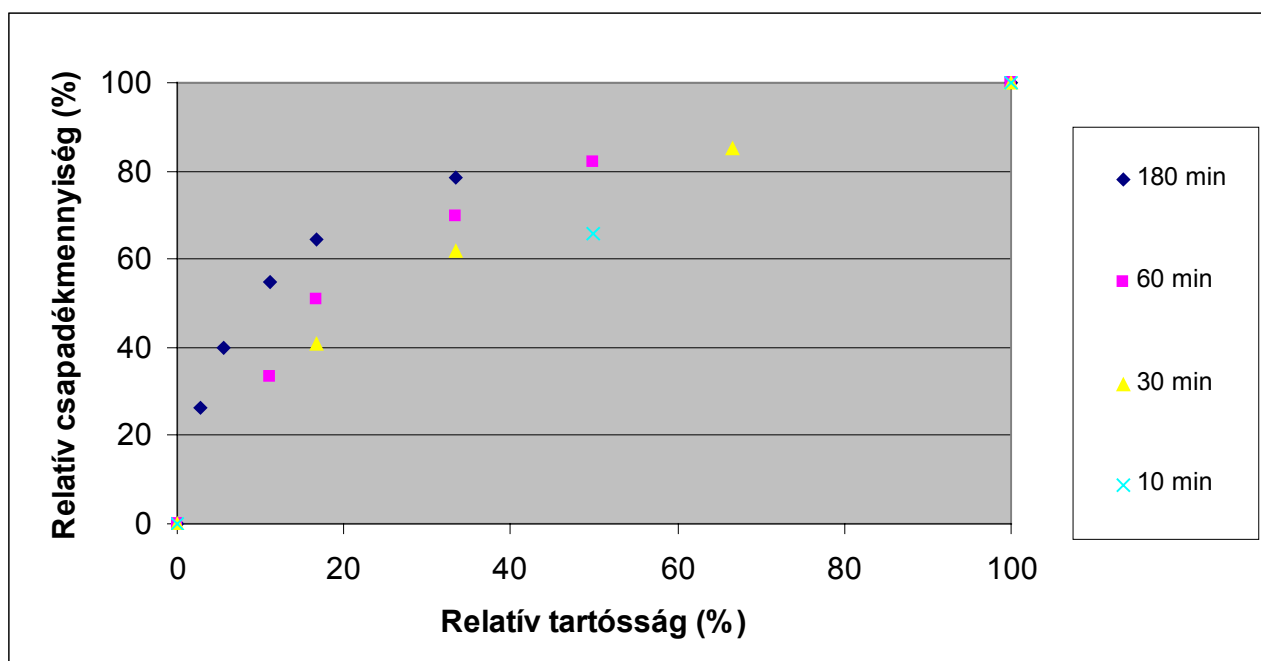
Ha a vizsgálataikban szereplő 180, 60, 30 és 10 perces csapadékmennyiségeket 100%-nak tekintjük és ezekhez viszonyítjuk a rövidebb időtartamokhoz tartozó magasságokat akkor megkapjuk, hogy az átlagos csapadékhozam hány százaléka hullott le rövidebb idő alatt. A csapadékmagasság-részösszegek egymáshoz való arányát a 3.5 táblázat mutatja be százalékban kifejezve.

¹² A „legalább egy alkalommal” megjegyzés nem jelenti azt, hogy többször nem fordulhat elő.

Adataiból kiviláglik, hogy a rövididejű csapadékoknál a csapadékmagasság 60%–70%-a a tartósság egyharmadáig lecsúsz, kb. 70-80 százalékuk pedig t_d feléig már a felszínen található. Minél rövidebb a csapadék annál kiegyenlítettebb az intenzitás (3.12 ábra), azonban még a 10 perces eseményekre is az a jellemző, hogy a tartósság felénél eléri az összmenyiség 66%-át.

3.5 táblázat. Rövididejű csapadékok részösszegeinek aránya (forrás: Váradi és Nemes 1992)

Tartósság (min)	5	10	20	30	60	180
	26,2	39,7	54,7	64,4	78,3	100,0
Lehullott mennyiség (%)	33,5	50,8	69,8	82,2	100,0	
	40,8	61,8	84,9	100,0		
	66,0	100,0				



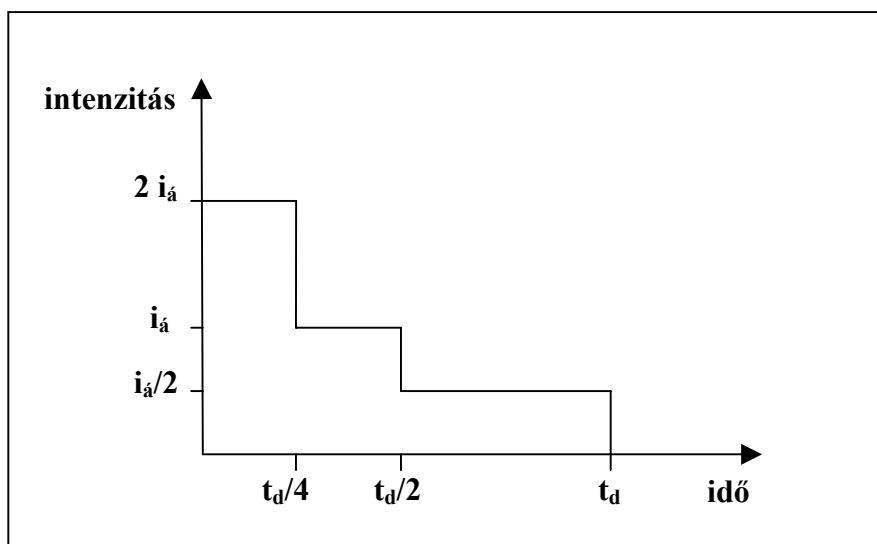
3.12 ábra. A rövididejű csapadékok magasságának aránya a tartósság relatív értékének függvényében

A csapadékprofilnak ez az „előresiető” jellege jó egyezést mutat Huff (1967) fentebb idézett adataival. Ebből következően viszont a jelenlegi hazai gyakorlatban alkalmazott tervezési csapadékok nem fedik jól a csapadék részösszegeinek arányából kapott profilt. Az időben állandó intenzitású csapadék értelemszerűen lineáris összefüggésű ($t = t_d/3$ esetén $h = h_{össz}/3$; $t = t_d/2$ esetén $h = h_{össz}/2$, stb., ahol h a csapadék magassága), míg a háromszög alakú tervezési csapadék esetén $t = t_d/3$ esetén $h = h_{össz}/3$; $t = t_d/2$ esetén $h = 0,625 h_{össz}$. Utóbbi ugyan realisabb értéket ad a tartósság felénél, azonban az esemény első harmadában a csapadékmagasság elmarad az „időarányos” mennyiségtől, így ebben a tartományban ez a szintetikus csapadék nem tükrözi a valós csapadékok előresiető jellegét. Fentiekből következően felmerül a tervezési modellcsapadékok újragondolásának igénye. A nagyobb csatornázási rendszerek esetén javasolt modellezési elvárásokat (MSZ EN 752-4) is figyelembe véve olyan változó intenzitású tervezési csapadék

alkalmazása indokolt, mely a csapadék első részében is jól szimulálja a tényleges események intenzitásait és használatával realisabban méretezhetők a csapadékcatornázás műtárgyai.

A tervezési csapadék intenzitásprofiljának kialakításánál arra kell törekedni, hogy a mesterséges idősből számítható relatív csapadékmennyiség a relatív tartósság függvényében közelítsen a mért adatokból kapott trendhez, azaz „előresiető” jellegű legyen. Ennek eléréséhez a csapadék kezdetén az átlagintenzitást meghaladó kezdeti intenzitást kell feltételezni, mely a későbbiekben „lecseng”. Másrészt az új tervezési csapadéknak egyszerű profilt célszerű adni, melynek előnye a modellezés csapadék-bemenetének egyszerű meghatározása.

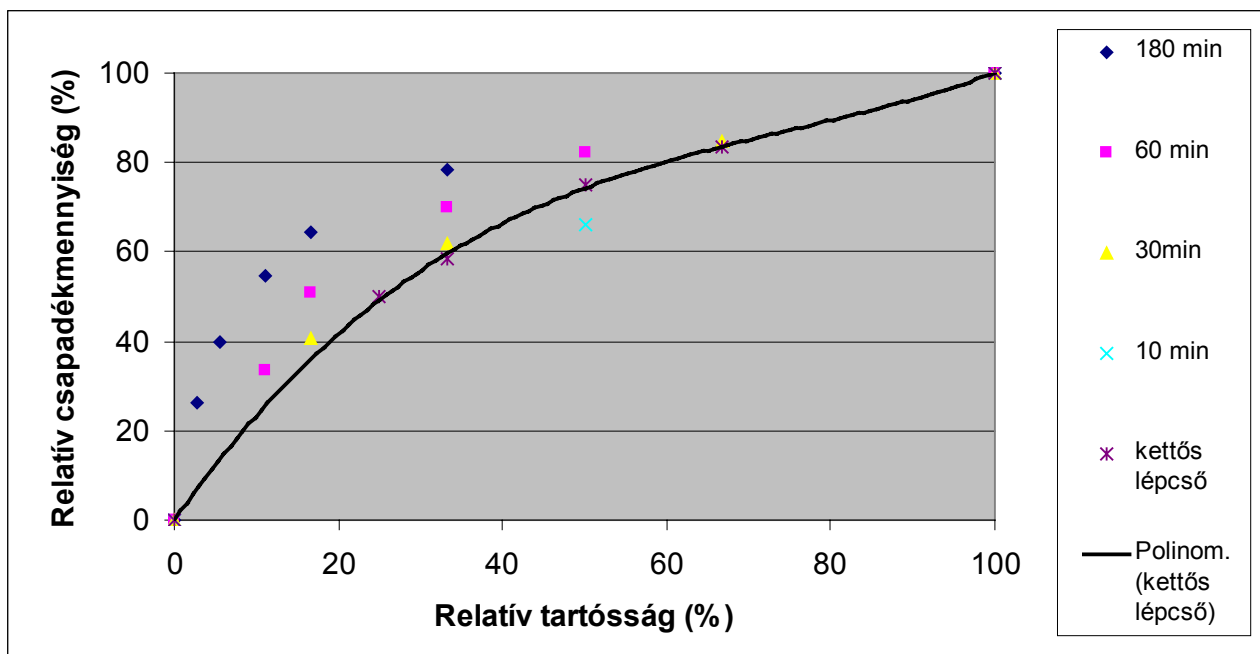
Egy olyan csapadékot, melynek 50%-ot meghaladó része az eső időtartamának harmadáig, és kb. 70%-a a tartósság feléig leesik, egy a 3.13 ábrán látható lépcsős alakú (monoton csökkenő intenzitású) profillal közelíthetünk. Itt i_a a csapadéktörvényből számítható, a t_d tartósságnak megfelelő átlagintenzitás, ennél fogva a csapadékmagasság megegyezik az állandó intenzitású csapadékéval. Ha a kettős lépcsős alakú csapadékprofil kumulatív csapadékmagasságát (harmadfokú polinommal kiegyenlítve) összehasonlítjuk a mért adatokból kapottakkal, igen jó egyezést találunk a 30 perces csapadék estén (3.14 ábra) és egyébként a többi tartósság mellett is jobban közelít ez a görbe, mint a négyszög, vagy háromszög alakú csapadékprofilból kapható.



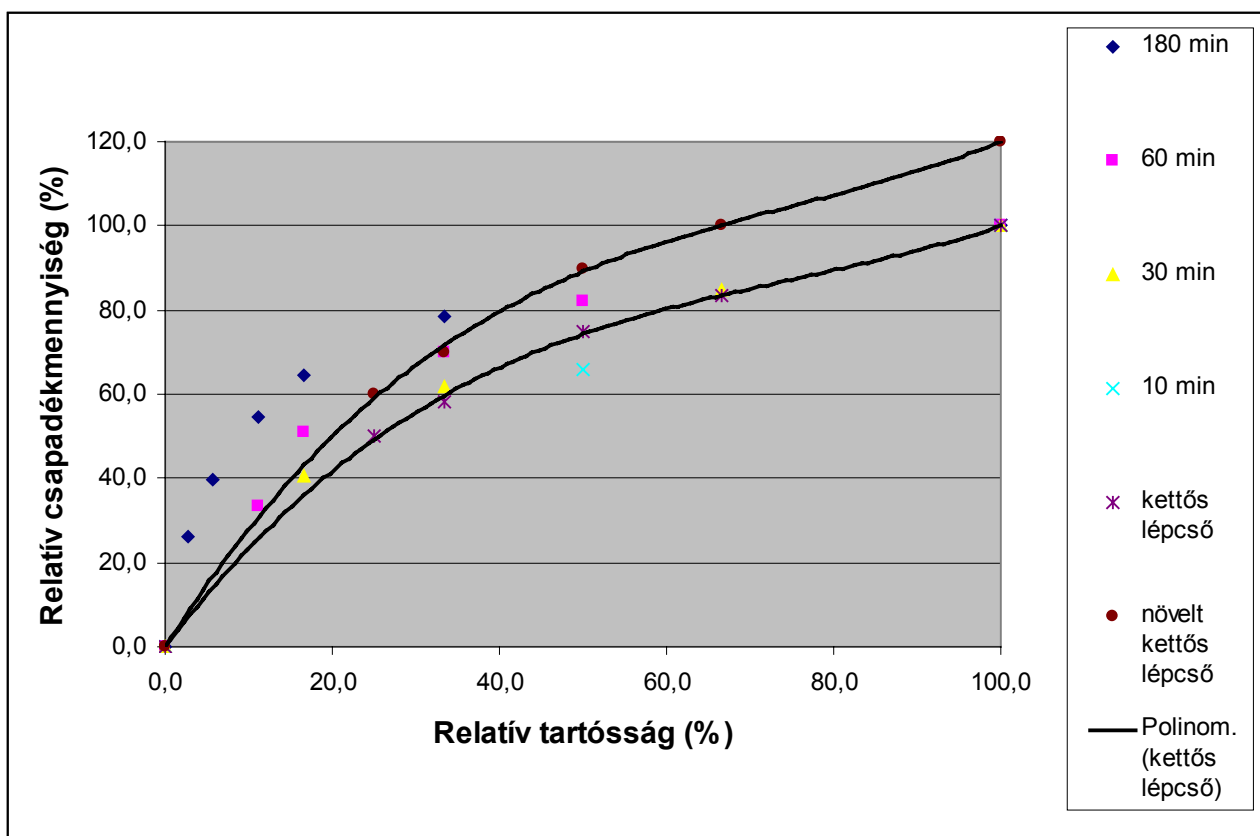
3.13 ábra. Kettős lépcsős alakú csapadékprofil

Egy új méretezési csapadék meghatározása esetén az intenzitásprofil megfelelő kialakítása mellett célszerű figyelembe venni a klímaváltozás következtében beálló (vagy már beállt) változásokat, hiszen a mai méretezés alapján épülő csatornáknak még hosszú évtizedekig ki kell elégíteniük az igényeket. A klímaváltozás tendenciáját korábban taglaltuk, a csapadékintenzitással kapcsolatos hazai és nemzetközi állásfoglalások szerint mintegy 20%-os növekedés várható az extrém események gyakoribbá válása kapcsán (Szalai 2004). A változás számításba vétele már önmagában is módosíthatja a tervezési csapadék alakját, de a két hatás (a csapadék előresiető jellege és a megnövekedett intenzitás) együttes figyelembe vétele, gyakorlati okokból célszerű.

Ha megnöveljük az átlagintenzitást, és ezzel a csapadékmagasság értékét 20%-kal, és így képezzünk kettős lépcsős alakú csapadék-idősort, akkor annak kiegyenlítő görbéje jól illik az egy órás csapadék pontjaira a tartósság feléig, ezt követően értelemszerűen a növelt mennyiség dominanciája miatt fölötte halad és végül 120%-os kumulatív mennyiséggel zár (3.15 ábra).

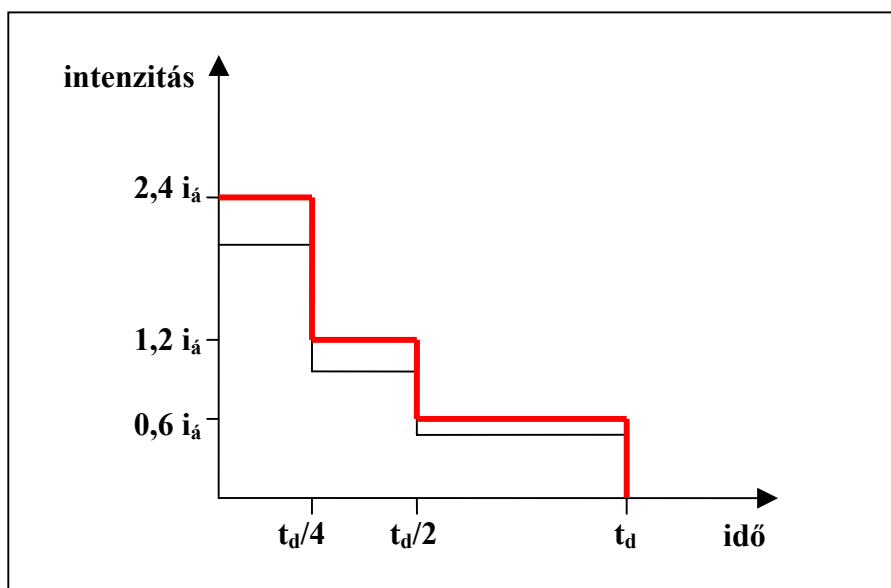


3.14 ábra. Mért csapadékok magasságának aránya a tartósság relatív értékének függvényében összehasonlítva a kettős lépcső alakú tervezési csapadék hasonló értékeivel



3.15 ábra Az egyszerű és a megnövelt kettős lépcső alakú tervezési csapadék összehasonlítása a mért csapadékokkal

A csapadékmérés technikájának fejlődésével¹³ ma már korszerű módszerek léteznek a városi hidrológiai szempontból fontos, rövid idejű csapadékok észlelésére, az intenzitás akár egy-két perces időlépéssel történő rögzítésére és feldolgozására. A feltételezett éghajlatváltozás és a szélsőséges események gyakoriságának ezzel járó növekedése szükségessé teszi a csapadékadatok szisztematikus értékelését és az elöntési biztonság növelése érdekében a méretezési csapadékoknak a valószínű eseményekhez történő igazítását. A modellezés esetén javasolható realisabb csapadékbemenet egyik, a gyakorlat által is egyszerűen használható változata a kettős lépcső alakú csapadékprofil, illetve annak 20%-kal megnövelt intenzitású (és csapadékmagasságú) alakja, mely utóbbi az extrém események esetére is kellő biztonságot ad (3.16 ábra).



3.16 ábra Megnövelt kettős lépcső alakú tervezési csapadék

3.1.4 A változások lehetséges hatásai a csapadécsatornázási infrastruktúrára

Az éghajlatváltozás, mértékétől függően, befolyással lehet a csapadécsatornázási infrastruktúra különböző elemeire (melyeket a későbbiekben részletezünk), mint:

- a csapadékvizet szállító műtárgyakra (folyókák, utcai vízvezető elemek, nyitott és zárt csatornák, áthúzódnó vízfolyások)
- a mennyiséget szabályozó műtárgyakra („száraz” és „nedves” tavak, medencék, átmeneti tározók, beszívárogtató létesítmények, stb.)
- a vízminőséget javító létesítményekre
- záporkiömlő műtárgyak.

A hatások mértéke és jellege, figyelembe vételük lehetősége függ attól is milyen műtárgyról, létesítményről és attól, hogy új, vagy meglévő infrastruktúráról van-e szó.

¹³ Az intenzitásmérő automata állomások több fajtája létezik ma már (billenő-edényes, súlymérésen alapuló, cseppmérő) melyek alkalmazásával a nagymennyiségű adatok feldolgozása sokkal hatékonyabban és jobb felbontással (kisebb időlépéssel) oldható meg, mint a régi ombrográfós mérők esetén ez lehetett volt.

Új infrastruktúrára gyakorolt hatások

A növekvő csapadék a csapadécsatornázási infrastruktúra gyakorlatilag minden elemére méretnövelő hatással van. Tekintettel kell lenni a korábbiakban említett szemléletváltási nehézségekre, melyek lassíthatják újabb tervezési módszerek elterjedését.

Szállító műtárgyak

A csapadékvíz, elvezető műtárgyakat a csőátmérő (zárt csatorna esetén) illetve a fenékszélesség (nyílt csatorna) határozza meg. A méretnövelésre attól függően van szükség, hogy a rendszerbe terveznek-e vízhozam-kiegyenlítő létesítményeket. Ha nem a cső gyártási és a csatornafektetés kivitelezés költségei megnőnek akár állandó, akár változó intenzitású (növelt) méretezési csapadékot veszünk figyelembe. A csőméret (keresztmetszet) nem feltétlenül nő lineárisan a csapadékkal.

Mennyiséget szabályozó műtárgyak

A mennyiségi szabályozás kulcsértéke a hatékony tározó-térfogat, amit közelítően a felszín és a mélység szorzata határoz meg. A tározók célja a kialakuló és elvezetendő vízhozam csökkentése, akár az urbanizációt megelőző szintre is. Hatékony működésükhöz szükséges térfogat-növekedés (nem lineárisan) természetesen nő a csapadék növekedésével, attól is függően, milyen mértékű szabályozást tervezünk.

A vízminőséget javító létesítmények

A mennyiségi szabályozáshoz hasonlóan fontos a hatékony tározó-térfogat (például tározóval kombinált gyökérszűrés rendszer esetén), vagy felület (beszívárogató létesítmények) ami a csapadékkal növekszik, azonban előfordul olyan szabályozás (pl. MOEE 1994) amely az észlelt, hosszú idejű csapadék idősorok alapján írja elő a méretezést. Ez esetben nyilvánvalóan a múltbeli adatok dominálnak.

Záporkiömlő műtárgyak

Záporkiömlő műtárgyak üzemelésére, gyakoriság és térfogat tekintetében egyaránt befolyással van a változó klíma.

Meglévő infrastruktúra fenntartása

A csapadék növekedése a korábbi tervezési alapadatokhoz képest fokozott terhelést eredményez a létesítmények számára és ez fokozódó fenntartási igényt is jelent. Mind mennyiségi, mind minőségi szabályozó műtárgyak esetén szükséges a gyakoribb karbantartás. Adathiány, illetve a kevés tapasztalat okán ennek költségét egyelőre nehéz megbecsülni, de nem valószínű számottevő növekedés.

Meglévő infrastruktúra felújítása

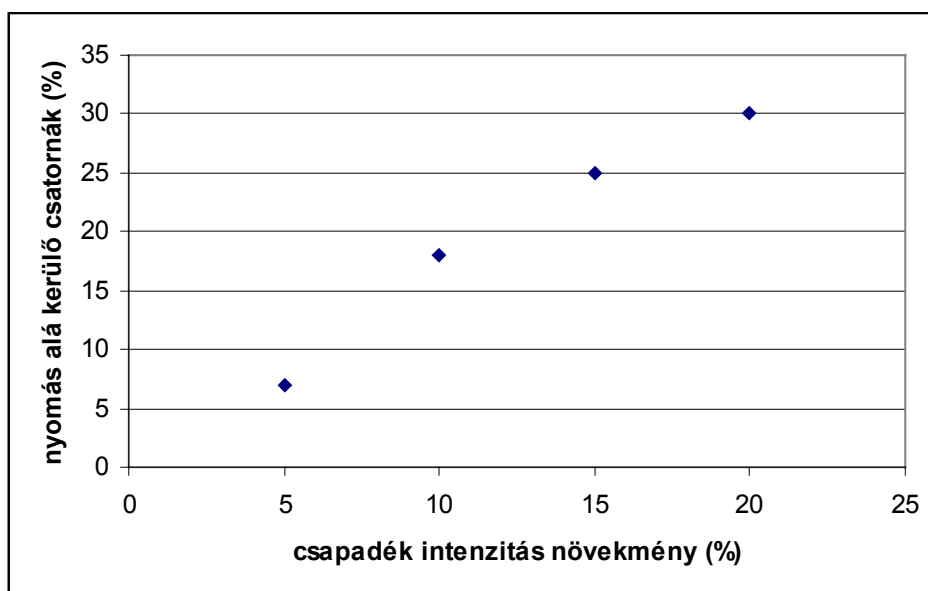
Csupán a klímaváltozás hatását kompenzálni a meglévő infrastruktúra felújításával, átépítésével nem tanácsolható, egyrészt a fennálló bizonytalanságok, másrészt a többnyire felszín alatti csatornák rehabilitációjának rendkívül költséges volta miatt. Amennyiben más okból határoznak a felújítás mellett, akkor a tervezés során célszerű figyelembe venni a várható változásokat, mely

esetben városi hidrológiai modell futtatásával igazolhatjuk az átépítés, méretnövelés szükségességét.

Esettanulmányok eredményei

Waters (2001) a kanadai viszonyokra feltételezett 15%-os csapadékmagasság növekedés hatását modellezte két jól feltárt, városi minta-vízgyűjtőterületen. Vizsgálatai eredménye szerint a 15%-os növekmény esetén a csatornák 25%-a, míg 20%-os növekedés mellett 30%-a kerül nyomás alá az eredetileg szabad felszínű áramlásra tervezett 137 szakaszból¹⁴ (3.17 ábra). Az összefüggés közel lineáris. Az értékek nyilvánvalóan attól is függnek, hogy mekkora biztonsággal tervezték a rendszert, a csőátmérő felkerekítések a következő járatos méretre mekkora pufferhatást eredményeztek. Az, hogy meglehetősen nagy arányban kerülnek a csatornák túlnyomás alá, azt valószínűsíti, hogy „kihegyezett” méretezésről van szó.

A túlnyomás elkerülésére a tanulmányban javasolt csőátmérő növelés kb. 2%-al emeli a kivitelezési költségeket. Számos egyéb, a „legjobb gyakorlatba” sorolt módszert is vizsgált a szerző, melyekkel jelentősen redukálható az elvezetendő mennyiség illetve a kialakuló vízhozam, akár az eredeti szint alá is. (A „legjobb gyakorlat módszereit” a fejezet későbbi részén ismertetjük.)



**3.17 ábra. A csapadék intenzitásának függvényében nyomás alá kerülő csatornák aránya
(forrás: *Watt et al.* 2003)**

¹⁴ Megjegyzendő, hogy a túlnyomásos áramlás, ha a vízszint nem éri el az utcaszintet, még nem okoz elöntést, ezért az európai gyakorlatban kisebb túlnyomás, ami nagyobb vízszállítást is eredményez, megengedett.

3.2 A csapadékvíz minősége

A városok, kialakulásuk óta potenciális szennyeződés-koncentráció jelleget mutatnak. A kis helyre koncentrálódó lakosság szennyezés-kibocsátása a természet öntisztuló képességét meghaladó mértékű terhelést jelent, amennyiben az ember nem avatkozik be a folyamatba. Napjainkban ez a legszembetűnőbb módon a fejlődő világvárosokban jelentkezik, ahol a szegénynegyedekben elképesztő állapotok uralkodnak (3.18 ábra).

A második világháborút követő gyors gazdasági-műszaki fejlődés és városiasodás negatív következményeként az 1960-as évektől kezdődően vízminőségi problémák jelentkeztek a csapadékelvezetés területén. Ekkorra már az ipari és közlekedési eredetű szennyezőanyagok számottevő mértékben jelentek meg a városi területekről származó vizekben (Starosolszky 1990). A vízgyűjtő jellegének megváltozása a talajerózió és a medererózió növekedését is maga után vonta, nagyságrendekkel megnövelve (különösen a városfejlődés építési szakaszában) a lebegtetett hordalék mennyiségét a befogadó vizekben.



3.18 ábra. Egy manilai nyomornegyeden áthúzódó vízfolyás

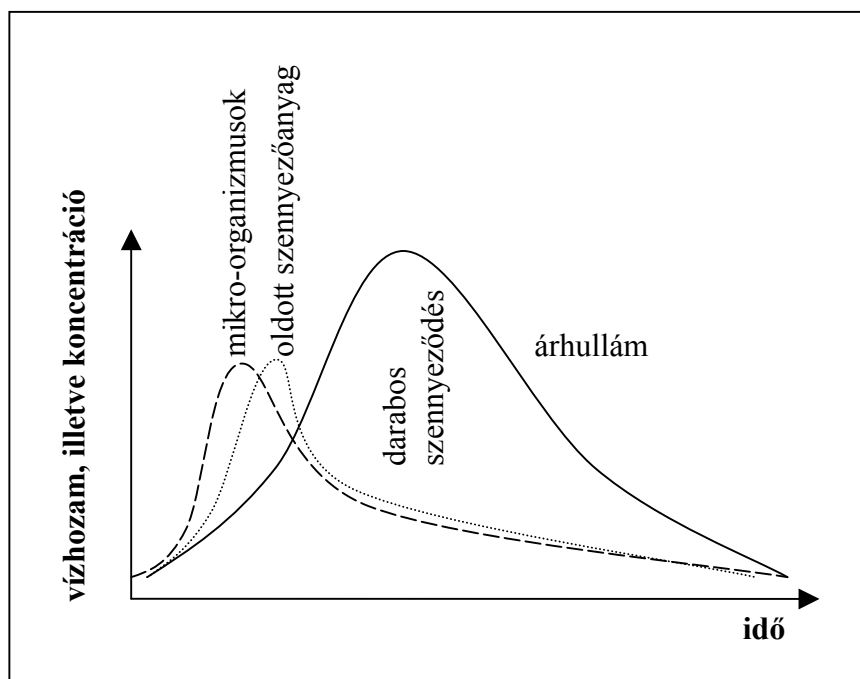
A mindennapi emberi tevékenységgel sajnálatosan együtt jár, hogy a településeken jelentős mennyiségű szennyezőanyag gyűlik össze, amit a megnövekedett lefolyás a befogadóba továbbít. A lebegőanyagon kívül nehézfémek és állati ürülékek képeznek jelentős szennyezőanyag-forrást a városi lefolyásban. További terhelést jelent a befogadóra nézve a ritkább csapadékesemények során bekövetkező, egyesített csatorna-rendszerekből történő átbukás. Ennek időbeli aránya a csapadékos órákra vetítve kb. 8 %, egy átlagos svájci városban végzett mérések szerint (Novotny 1995).

A túlfolyásból eredő szennyezés a nagy mennyiség miatt lökésszerű terhelést jelent a befogadó számára. Az első szennyezéshullám (first flush) koncentrációja nagyban függ attól, hogy a hálózatban mennyi az a korábban leülepedett hordalék, ami a víz által könnyen felvehető. Ha ez nagy mennyiségű, akkor a szennyezőhullám csúcs-koncentrációja időben megelőzi a vízhozam-csúcsot (3.19 ábra). Nagy általánosságban a lefolyás első 40%-a tartalmazza a szennyezés 60%-át (Novotny 1995).

Az egyesített rendszerek túlfolyásából származó szennyezés elkerülésére Németországban eddig már 10.000 záportározó műtárgy épült és további 10.000 építését tervezik.

A felmerülő problémák rendkívül szerteágazók, minden esetben a helyi körülmények függvényei. A lejátszódó folyamatokat számos komplex tényező befolyásolja. A természeti környezet, vagy a

kulturális hagyományok által befolyásolt mindennapi emberi tevékenység nagyban különbözhet, még a szomszédos országok esetén is.



3.19 ábra. Az első szennyezéshullám

A szennyezőanyagok különböző eredetűek és különböző megjelenési formát is öltenek, feldúsulásuk a vízgyűjtő különböző pontjain más és más formában következik be. A feldúsulási, illetve lefolyási szakaszban változáson mennek át, számos, úgyszintén tér- és időfüggő tényező hatására. Következésképpen a városi lefolyásnak a befogadó víz minőségére gyakorolt hatását nehéz pontosan meghatározni, mint ahogy az ellenintézkedések hatékonyságát is nehéz előre jelezni (Starosolszky 1990). A probléma súlyát jelzi, hogy gyakori a toxikus határérték túllépése, különösen a lefolyás kezdeti szakaszában.

A településekről származó lefolyás minőségi problémái a következők:

- a vízi ökoszisztémákkal kapcsolatos problémák; a lefolyás oxigénigénye miatt a befogadóban beálló oxigéntartalom csökkenés; a befogadó eutrofizálódása a lefolyásból származó tápanyagterhelés miatt és a nehézfémek és mérgező szervesanyagok következtében beálló toxicitás,
- a befogadó emberi használatából következő kölcsönhatások.

Ebben a tekintetben a rekreációs és az ivóvíz-ellátási célok játszanak szerepet. A vízi ökoszisztémát veszélyeztető hatások mindkét hasznosítást veszélyeztetik. Az oxigéntartalom csökkenése, vagy az eutrofizáció a horgászati, sportolási célú hasznosítást akadályozza. A tápanyagok és a mérgező anyagok feldúsulása az ivóvíz-tisztításban okoz nehézségeket, elkerülhetetlen vízminőség romlással és a költségek növekedésével jár együtt. A csapadékvízből származó bakteorológiai szennyezés veszélyezteteti vagy teljesen lehetetlenné teszi a fürdést a befogadóban (lásd 1.4.4 pont).

A csapadékok véletlenszerű előfordulása és a városi vízgyűjtőn, valamint a hálózatban felgyülemlett szennyezőanyagok széles skálája következtében a csapadékvíz szennyezettsége széles határok között változik, és nagyban függ a helyi körülményektől. A 3.6 táblázat néhány szennyezőanyag koncentrációit foglalja össze, melyeket iparilag fejlett, európai és észak-amerikai országokban mértek, mind egyesített, mind elválasztott rendszerű csatornában. A mérési módszerek, valamint a mérések céljai különbözőek voltak, de a bemutatott eredmények jelzik

azokat az értékeket, amelyek általában várhatóak a városi lefolyásban. Az mérések különböző évszakokban, eltérő jellegű csapadékesemények során történtek, így a koncentráció-értékek széles határok között változnak.

3.6 táblázat. Egyesített és elválasztó rendszerű csatornában kialakuló szennyezőanyag koncentráció (forrás: UNESCO 1987)

Terület- használat	Lakóterület		Kereskedelmi zóna		Ipari övezet	
Vízminőségi jellemzők	egyesített csatorna mg/l	csapadék csatorna mg/l	egyesített csatorna mg/l	csapadék csatorna mg/l	egyesített csatorna mg/l	csapadék csatorna mg/l
BOI₅	2 – 600 (23 – 114)	1 – 145 (8 – 55)	4 – 600 (46 – 95)	0,5 – 173 (17 – 38)	82 – 685 (86 – 153)	0,5 – 88 (9 – 28)
KOI	33 – 1762 (138 – 209)	4 – 1740 (28 – 213)	41 – 626 (138 – 145)	3 – 610 (46 – 170)		0,7 – 605 (86 – 343)
Ülepedő szilárd	0,1 – 656 (165 – 238)	0,1 – 4500 (50 – 435)		0,1 – 440 (76 – 160)		0,1 – 1270 (151 – 374)
Összes lebegőanyag	24 – 1260 (177 – 271)	1 – 12000 (28 – 736)	20 – 1800 (90 – 391)	1 – 4803 (56 – 275)	124 – 1000 (274 – 637)	1 – 11900 (114 – 1220)

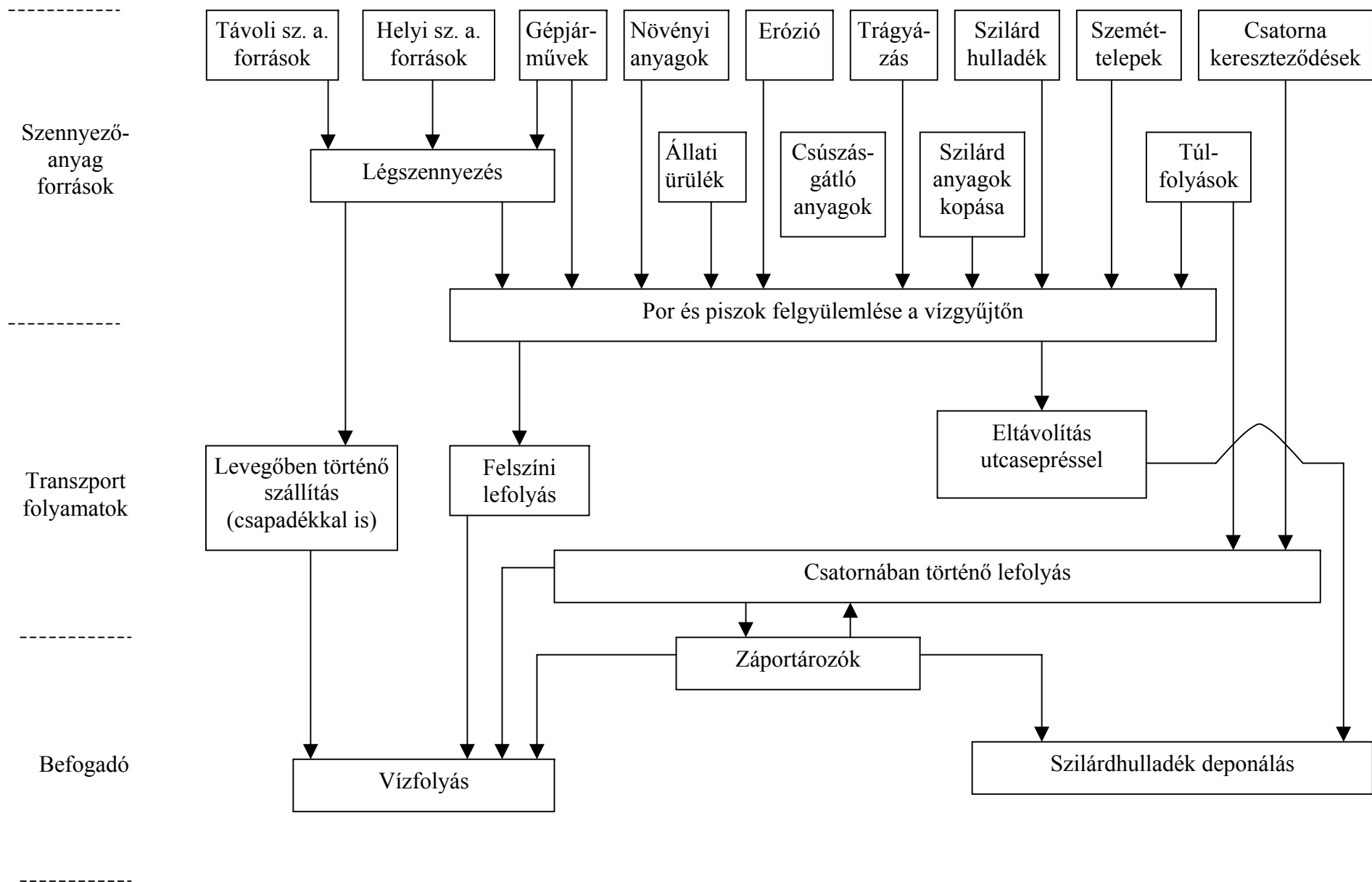
első sor – előforduló minimum és maximum értékek

második sor (zárójelben) – átlagos koncentráció értékek tartománya

Szemben a szennyvízcsatornákon, illetve tisztítótelepeken folytatott rendszeres mérésekkel a csapadékvíz minőségi monitoringja csak alkalmoszerű. Ennek fő oka hogy, a csapadékesemények véletlen jellege miatt a mérések (akár minőségi, akár mennyiségi vonatkozásúak) költségesek és időigényesek. A csapadékvízzel kapcsolatos beavatkozások hatásának értékeléséhez pedig igencsak szükségesek ilyen adatok. Éppen ezért a „Német víz, szennyvíz és hulladék szövetség” egy olyan adatbázis „*ATV-DVWK Datenpool 2001*” létrehozását határozta el, mely az 1968 és 2001 közötti időszakban világszerte mért városi szenny- és csapadékvíz adatok feldolgozásán alapul (*Brombach és Fuchs 2002*). Az összesen harmincnégy észlelt paraméterből fontosságuk miatt húsznak (fizikai paraméterek: összes lebegőanyag, ülepedő anyagok, pH, vezetőképesség; oxigénfogyasztással kapcsolatos paraméterek: KOI, BOI, TOC, DOC; tápanyagok: Összes-P, ammónia, nitrát, Kjeldahl-N, Összes-N; nehézfémek: higany, kadmium, króm, nikkel, ólom, réz, cink) az adatait dolgozták fel (bővebben www.atv.de).

3.2.1 Szennyezőanyag források és útvonalak

A városi környezetben érvényes szennyezőanyag forrásokat és útvonalakat mutatja be a 3.20 ábra. Az ábrából kitűnik, hogy a csapadékvíz minőségére befolyással levő folyamatok meglehetősen összetettek. A szennyezőanyag források száma jelentős és részarányukat nehéz pontosan meghatározni.



3.20 ábra. Szennyezőanyag források és útvonalak (forrás: UNESCO 1987)

Csapadékvízben és egyesített rendszerű csatornahálózatban előforduló tipikus koncentrációértékeket a 3.6 táblázat is tartalmaz. Egy másik módja a lefolyási minőségi adatok megadásának az egységnyi vízgyűjtőterületre jutó éves terhelés megállapítása különböző földhasználat esetén. A 3.7 táblázat tartalmaz ilyen adatokat brit, kanadai és finn forrásokból. Hazai településeinken elsősorban a Balaton terhelésének csökkentése érdekében folytattak vizsgálatokat. Három – jellemzőnek ítélt – jól lehatárolható városi mintaterületen (*Keszthelyen, Balatonszemesen és Balatonakarattyán*) határoztak meg fajlagos szennyezőanyag-terheléseket, melyeket a 3.8 táblázat mutat *Jolánkai* (1985) nyomán. Ugyanő tizenhét balatoni település jellemző becsült bemosódási értékeit is közli, megjegyezve, hogy a tényleges bemosódás térben és időben, számos hidrometeorológiai tényező függvényében változik, ezért az ilyen irányú mérések kiterjesztése szükséges.

3.7 táblázat. Szennyezőanyag terhelés különböző földhasználatok esetén

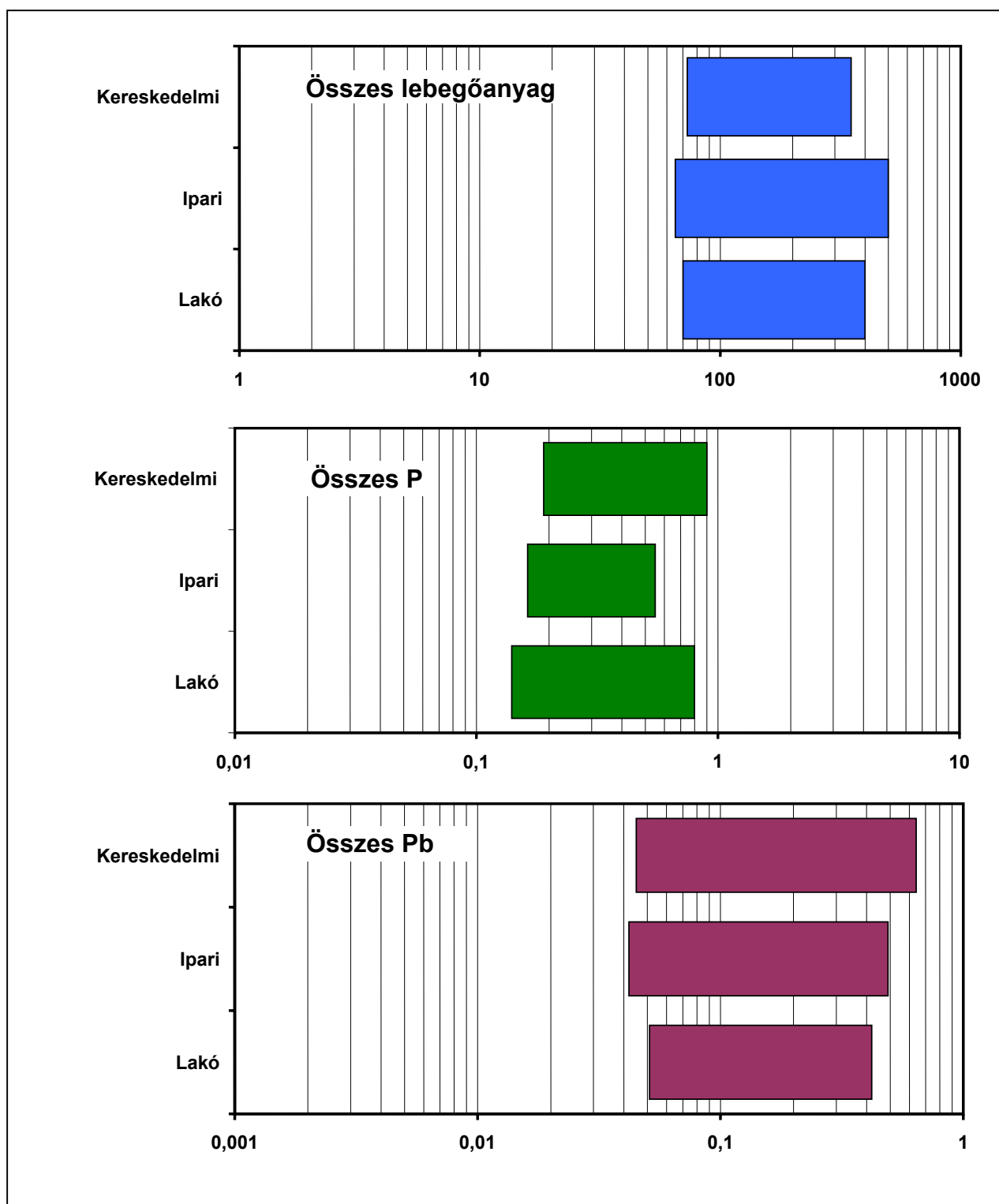
Vízminőségi jellemzők	Összes lebegőanyag	BOI	KOI	Össz –N	Össz-P
Terület-használat, ill. csat. típus	kg/ha/év				
Csapadécsatorna	100 – 6300	5 – 170	20–1000	2 – 12	0,2 – 2,2
Lakóterület	600 – 2300	5 – 100	20– 800	2 – 12	0,2 – 2,2
Kereskedelmi övezet	100 – 800	40 – 90	100–1000	5 – 12	1,2 – 2,2
Ipari övezet	400 – 1700	10 – 90	200–1000	5 – 10	1,0 – 2,1
Autópálya	120 – 6300	90 – 170	180–3900	–	–
Egyesített csatorna kiömlő	1200 – 5000	500 – 1300	500–3300	15 – 40	4 – 8
Forrás: <i>Ellis</i> 1986; <i>Dick és Marsalek</i> 1979; <i>Marsalek</i> 1984; <i>Melanen</i> 1981					

3.8 táblázat. Fajlagos szennyezőanyag terhelési értékek Magyarországon

	Éves szennyezőanyag terhelés kg/ha/év				
	KOI	Lebegőanyag	Összes P	PO ₄ -P	Összes N
Keszthely	478,5	1364,0	6,9	0,8	13,9
Balatonszemes	438,4	909,5	6,3	0,8	12,0
Balatonakarattyá	378,1	1432,2	5,3	0,6	11,4

Forrás: *Jolánkai* 1985

Számos országból gyűjtött adatokat elemezve *Duncan* (1999) megállapítása szerint igen széles tartományban változnak az események átlagkoncentrációinak (EÁK) értékei egy-egy földhasználati kategórián belül és nehéz lényegi különbséget találni a kereskedelmi zóna, ipari övezet és lakókörzet adatai között (3.21 ábra).



3.21 ábra. Esemény átlagkoncentrációk (mg/l) tartománya, különböző földhasználatok szerint (forrás: *Duncan* 1999)

Balatonfüzfő és Örvényes között 2000 és 2003 között végzett hazai országúti mérésekből a lefolyó vizek szennyezettségére mutató adatok az alábbiak (Mándoki 2004):

	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	Kjeldahl-N	szerves-N	Oldott orto-P	össz-P	lebegő-anyag	KOI
	mg/l								
minimum	0,01	0,005	0,07	0,25	0,21	0,02	0,04	0,2	2
átlag	0,44	0,06	3,12	2,50	2,06	0,18	0,65	401,64	79,83
maximum	9,42	0,84	33	18,1	17,4	1,25	13,8	6300	680

Szennyezőanyag források

A városi területekről származó lefolyás jelentős szennyezőanyagokat tartalmaz. Ezek:

- atmoszferikus (nedves és száraz) kiülepedés,
- közlekedés és ezzel kapcsolatos tevékenység,
- mindennapi városi tevékenység,
- erózió,
- növényi eredetű szennyezés.

A víz körforgása során megjelenő anyagok lényegesen módosíthatják annak minőségi állapotát, mely folyamat a felhasználható készletek nagymértékű csökkenését idézheti elő.

Atmoszferikus kiülepedés

A különböző forrásból (pl. ipar, közlekedés) a levegőbe került szennyezőanyagok úgy csapadékos mint száraz időszakban lejuthatnak a föld felszínére, ú.n. nedves, illetve száraz kiülepedés során. Az aeroszolok nagy tömege szennyező, egészségre ártalmas, helyenként toxikus molekula. Budapesten Párkányi 1989-es adatai szerint több mint 410,000 tonna szennyezőanyag kerül a levegőbe évente. A város feletti szennyezett légdómot mutatja a 3.22 ábra összehasonlítva egy szeles időben készült felvétellel.

Mivel a légkörben lévő szennyezőanyagok a csapadék első szakaszában mosódnak ki, az atmoszferikus kiülepedés nagyobb része csapadékos időben következik be (feltéve, hogy a száraz időszak nem nyúlik túlságosan hosszúra). Goettle (1978) és Randall et al. (1978) kimutatták, hogy a szennyezőanyagokat az esőcseppek igen intenzíven mossák ki a légkörből, és ezzel első szennyezőanyag hullámot okozva jelentősen hozzájárulnak a lefolyás kezdeti szakaszán tapasztalható magas koncentráció értékekhez.

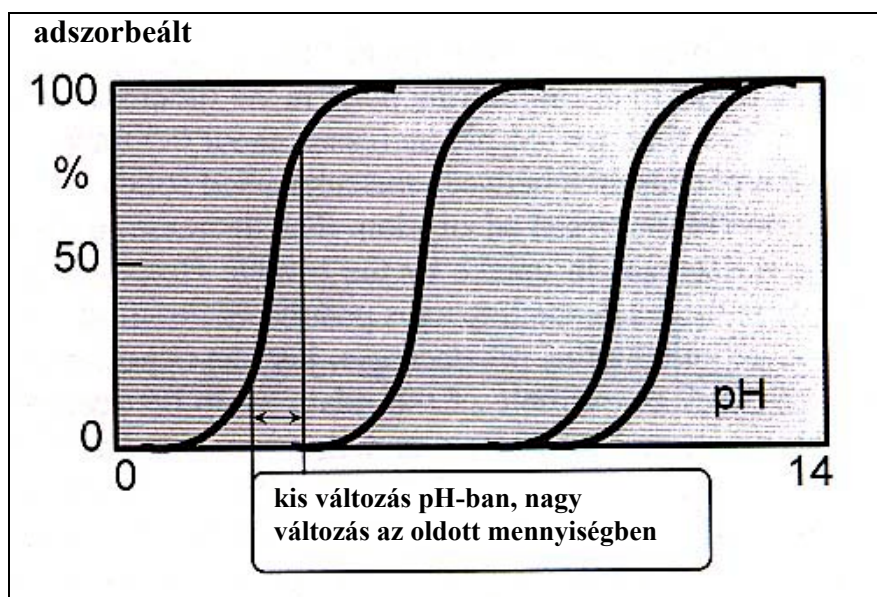


3.22 ábra. Budapest feletti „szennyezett légdóm”, összehasonlítva egy „tisztá” állapottal

A csapadékvíz savassága nagyban függ a helyi körülményektől (ipar, uralkodó széljárás stb.). Városi területen a csapadékvíz pH értékét gyakran csökkentik a kéndioxid és nitrogénoxid kibocsátások, melyek általában, de nem kizárólagosan az energiatermelő ágazatból származnak.

Ugyanakkor a városi felszíni lefolyás hatékony pufferhatást fejt ki a csapadék savasságára. *Novotny és Kincaid* (1982) arról számolt be, hogy a lefolyás mért pH-ja közel volt a semleges 7-es értékhez, vagy kissé meg is haladta azt. A pufferhatást a burkolt felületekről származó kalciumnak és magnéziumnak tulajdonították. Fémek adszorpciója nagyban függ a pH értéktől, nemlineáris jelleggel. Közel nullától, majdnem 100%-os telítettségig jut el egy keskeny (1–2 értéknyi) pH változással (3.23 ábra).

A havazásnak komoly tisztító hatása van, a hópelyhek nagy felülete és a megnövekedett ionerősség következtében. Az olvadt hóléből származó lefolyás fokozott nehézfém eltávolítást eredményez.



3.23 ábra. Fémek adszorpciója szilárd burkolaton a pH hatására (Novotny 1995)

Az atmoszférikus szennyezőanyag terhelések átlagértékeit a 3.9 táblázat foglalja össze.

3.9 táblázat. Atmoszférikus eredetű szennyezőanyag-terhelések városi vízgyűjtőn (Ellis 1986)

Szennyezőanyag	Összes kiülepedés g/m ² /év	Nedves kiülepedés mg/l	Hóolvadás mg/l	A lefolyás arányában %
Lebegőanyag	8,4 – 36,2	5 – 70	263 – 690	10 – 25
KOI	0,44 – 31,6	8 – 27	15 – 25	15 – 30
SO ₄	6,0 – 5,0	4,8 – 46,1		31 – 100
Össz-P	0,021 – 0,204	0,02 – 0,37		17 – 40
NO ₃ -N	1,8 – 8,2	0,5 – 4,4	4,1 – 5,7	30 – 94
Pb	0,04 – 4,0	0,03 – 0,4	0,3 – 0,4	15 – 54
Zn	0,1 – 1,3	0,05 – 0,38	0,35 – 0,41	20 – 62

A száraz kiülepedés kisebb jelentőségű és nagyban függ a helyi éghajlati viszonyoktól és területhasználatától. Sivatag közelében gyakran kell számolni a szél által a városba hordott homokkal, míg ipari övezetekben jelentős korom és más, az alkalmazott technológiáktól függő lerakódás tapasztalható. (Sivatagi homok egyébként nagy magasságban komoly távolságokat is képes megtenni és nedves kicsapódással a földre jutni, mint arra néhány esetben Magyarországon is volt példa, szaharai eredettel).

A porszennyezés forrását általában burkolatlan utak, parkolók, fedetlenül tárolt építőanyagok, építési illetve bontási területek képezik. Ehhez járul még hozzá az ipari és a háztartási hulladékokból ill. biológiai forrásokból (pollen, spóra) származó porszerű szennyezés. A helyi körülményektől függően széles skálán mozog az éves porterhelés. Az USA-ban a legtöbb nagyváros terhelése az 1,7 – 3,2 t/ha/év tartományba esik, de szélső esetben 0,1 ill. 130 t/ha/év értéket is elérheti. A korábban idézett magyar adat (Párkányi 1989) 7,8 t/ha/év-nek felel meg.

A teljes terhelés 99%-át általában a 30µm-nél kisebb részecskék teszik ki. „Szűz” hóban mért szennyezőanyag koncentrációkról számol be *Malmquist* (1978) illetve *Hogland* (1979), melyeket két svéd város parkjaiban (illetve egy esetben közvetlenül a város határában fekvő mezőgazdasági területen) vett mintákból határoztak meg (3.10 táblázat). A koncentrációértékek egyébként a hó korával növekednek, a hó akkumulációs kapacitása miatt.

3.10 táblázat. Hóban mért szennyezőanyag koncentrációk (*Malmquist* 1978, *Hogland* 1979)

Város	Laksűrűség fő/ha	szennyezőanyag koncentráció mg/l				
		SO ₄	Össz-P	Cu	Zn	Pb
Göteborg	250	<5	0,41	0,05	0,36	0,25
Göteborg	115	<5	0,11	0,01	0,05	0,04
Göteborg	22	<5	0,09	0,01	0,06	0,04
Lund	110	8,8	0,07	0,05	0,14	0,20
Lund	32	5,9	0,05	0,10	0,07	0,15
Lund	*	5,3	0,02	0,23	0,06	0,04

* Mezőgazdasági terület közvetlenül a város határában

Általánosságban megállapítható, hogy a légszennyezettségi értékek növekedése a csapadékvíz minőségi paramétereinek romlását vonja maga után.

Közlekedés

A közlekedéssel kapcsolatos szennyezőanyag kibocsátást a kipufogógázok, üzem- és kenőanyag veszteségek, a járművekről és az útestről leváló részecskék és az utakon használt csúszásgátló anyagok jelentik.

A járművekről történő közvetlen kibocsátás feltehetően jelentősen csökkent a motorok korszerűsítése nyomán az 1970-es években tapasztalt kb. 200 mg/km értékről (*Anon* 1977). Frissebb adatok pillanatnyilag nem állnak rendelkezésre, Buzás és *Somlyódy* (1997) feldolgozása is az 1970-es évek amerikai adatain alapul.

A gépkocsipark korszerűsödésével, és az ólommentes benzin használatának terjedésével a közlekedési eredetű ólomterhelés jelentősen csökkent az elmúlt években. A gumiabroncskopás, ami kadmium és cink kibocsátást eredményez, járművenként 120 mg/km értékkel jellemezhető (*Brunner* 1975).

A kibocsátott szennyezőanyagok, a gázokat kivéve, az úttesten felgyülemlett részecskékhez kötődnek. Ebből a szempontból a részecske-méretetek ismerete lényeges, mert minél kisebb a részecske, annál nagyobb a fajlagos felülete, és így módon a hozzá tapadó szennyezőanyag mennyisége. Ezen túlmenően a kisebb részecskék lemosása is könnyebb, és így csapadék-lefolyás eredményként könnyebben is jutnak a csatornába (*Buzás és Somlyódy* 1997).

A csúszásgátló anyagok összetétele és az alkalmazás mértéke nagyban függ az időjárási viszonyoktól és a jogszabályi előírásoktól. Az egyszerű konyhasó adagolását átmenetileg kiszorította a homok és zúzalék alkalmazása, de mivel az úttesten maradó, illetve a csatornahálózatba kerülő szilárd részecskék is problémát okoznak, valamint mivel ónos esőre kevésbé hatékony módszer a zúzalék kiszórása, a NaCl használata időnként mégis előtérbe kerül.

Mindennapi városi tevékenységek

Ebbe a kategóriába tartozik a szemetelés, vegyszerek alkalmazása, építkezés és balesetek következtében a városi lefolyásba kerülő szennyezőanyagok, valamint állati ürülék és tetemek következtében előálló vízszennyezés.

A szemetelés során csomagoló anyagok, papír, üveg, műanyag darabok, építőanyag, dohánymaradék, növényi anyagok, ételmaradékok a leggyakrabban előforduló hulladékok. A szemetelés egyben esztétikai problémát is okoz a városok számára a higiéniai gondokon túlmenően. Az Egyesült Államokban mindössze 1,8 kg/fő/év „szemetelési rátát” találtak (*Protkor és Redfern* 1981), ami rendkívül fegyelmezett lakosságot tételez fel. Hazai adatok hiányában csak becsülhetjük, hogy ennek a többszöröse fordulhat elő Magyarországon. A szemetet alkotó tárgyak viszonylag nagy méretük miatt csak kis összetevőjét adják a városi lefolyás szennyezőanyag terhelésének.

Azokban az országokban, ahol a kereskedelmi tevékenység hagyományos színtere az utca, jelentős mennyiségű szervesanyag terhelés keletkezik ez által. A hulladék elszállítás hiányosságai miatt ennek jelentős befolyása van a csapadékvíz minőségére.

Az utcán megjelenő állati ürülék gyakran jelent komoly nehézséget, esztétikai és vízminőségi problémát olyan városokban, ahol sok a kedvtelésből tartott állat. Parkok közelében kevésbé, de sűrű beépítettségű belvárosi részeken a kedvencek az aszfalton hagyják „terméküket”, ami így előbb utóbb a befogadóban köt ki, bakteorológiai szennyezést és csökkenő oxigéntartalmat eredményezve. Előbbi esetben pedig a talajvíz szennyeződik. Hollandiában 1,5 millió kutya 22,5 millió kg ürüléket hagy hátra évente (Uunk 1983). Arra vonatkozóan nincs adat, hogy ennek hányad része kerül a lefolyásba. Elhullott állatok tetemei is gyakran előfordulnak városi vízgyűjtőn hasonló jellegű terhelést okozva.

Kemikáliák, mint pl. gépkocsi-sampon, más mosószer, műtrágya, rovarirtó és gyomirtó is jelentős helyi szennyezőanyag forrás lehet könnyű oldhatóságuk miatt.

Fejlett ipari országokban a városi burkolatlan felületek általában növényzettel fedettek, így az erózióknak jóval kevésbé vannak kitéve, mint a hasonló vidéki területek. Másrészt viszont az építési területek, a burkolatlan utak és az elhanyagolt telkek azok, ahol a védő növénytakaró hiányzik, így jelentős forrásai lehetnek a lefolyó víz lebegőanyag terhelésének (3.24 ábra).



3.24 ábra. Építési terület, mint szennyező forrás

A *Dallaire* (1976) által becsült eróziós ráta megbolygatott városi területen 28 tonna/ha/év, míg jól karbantartott, stabil területen mindössze 0,2 tonna/ha/év. A talajveszteség értéke nagyban függ az terepviszonyoktól *Novotny* (1995) például 100 tonna/ha/év-et is meghaladó értékről számol be építési területeken. Ha a városi vízgyűjtőnek csak néhány százalékán folyik építkezés az már jelentős mértékben hozzájárulhat az áthúzódó vízfolyás hordalékhozamához. A fejlesztésbe vont területet, csak egy évvel az építkezés befejezése után tekinthetjük kialakultnak.

Növényi eredetű szennyezés

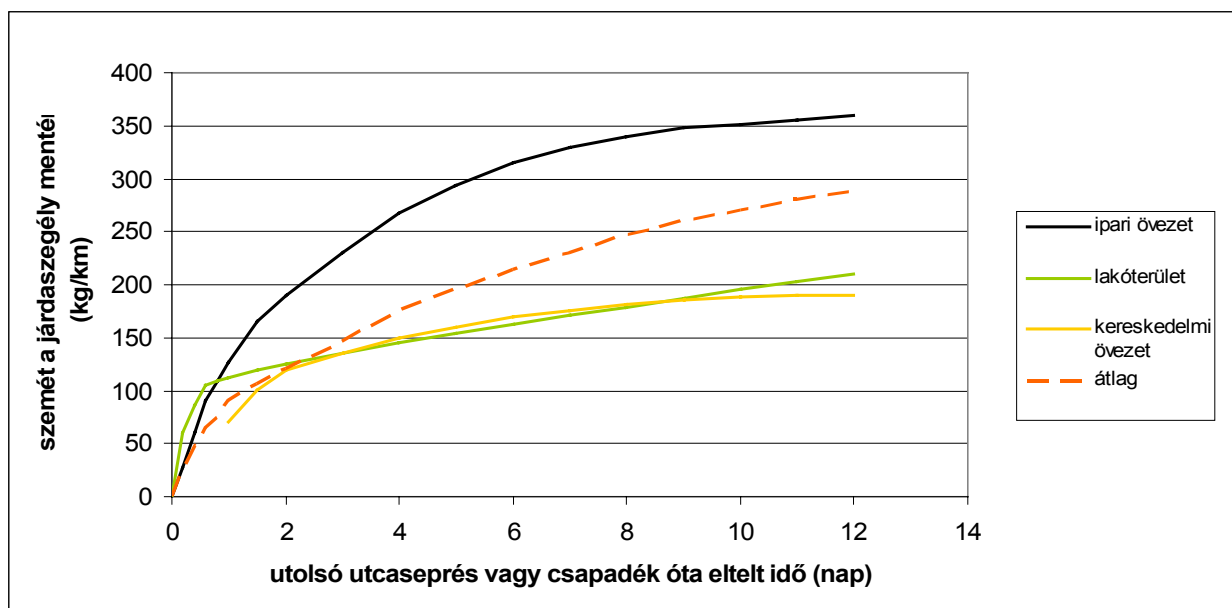
Növényi eredetű hulladékot főleg a lombhullató fák eredményeznek, jelentős szervesanyag- és tápanyagterhelést jelentve a befogadó számára. Természetesen ez is függvénye a területhasználatnak illetve a növényzet sűrűségének. Egy kifejlett fa minden ősszel 25–35 kg levelet hullat le, de még a fa lombozatán átszűrődő csapadékvíz is dúsul szervesanyag és tápanyag tekintetében.

3.2.2 A szennyezőanyagok mennyiségi változásai

A szennyezőanyagok mennyiségi változásán csapadékmentes időszakban a felhalmozódás és csökkenés eredményét értjük. A forrásokat fentebb tárgyaltuk, míg a szárazideji eltávolítás utcasöprés, szélerózió, vagy az útburkolat mosásának eredménye lehet általában.

A szennyezőanyagok felhalmozódása

A felhalmozódást gyakran egyszerűsítve lineáris összefüggéssel közelítik, noha nyilvánvaló annak aszimptotikus jellege az utolsó utcaseprés, vagy csapadékesemény óta eltelt idő függvényében. Ezt mérések is igazolják, mint a sokat idézett *Sartor* és *Boyd* (1972) kísérlet eredménye is ezt mutatja. (3.25 ábra).



3.25 ábra. Szennyezőanyagok felhalmozódása különböző földhasználat esetén (forrás: *Sartor* és *Boyd* 1972)

A felhalmozódási egyenletek az alábbi négy csoportba sorolhatók (Ammon 1979):

lineáris $M = a t$

hatványfüggvény $M = a t^b$

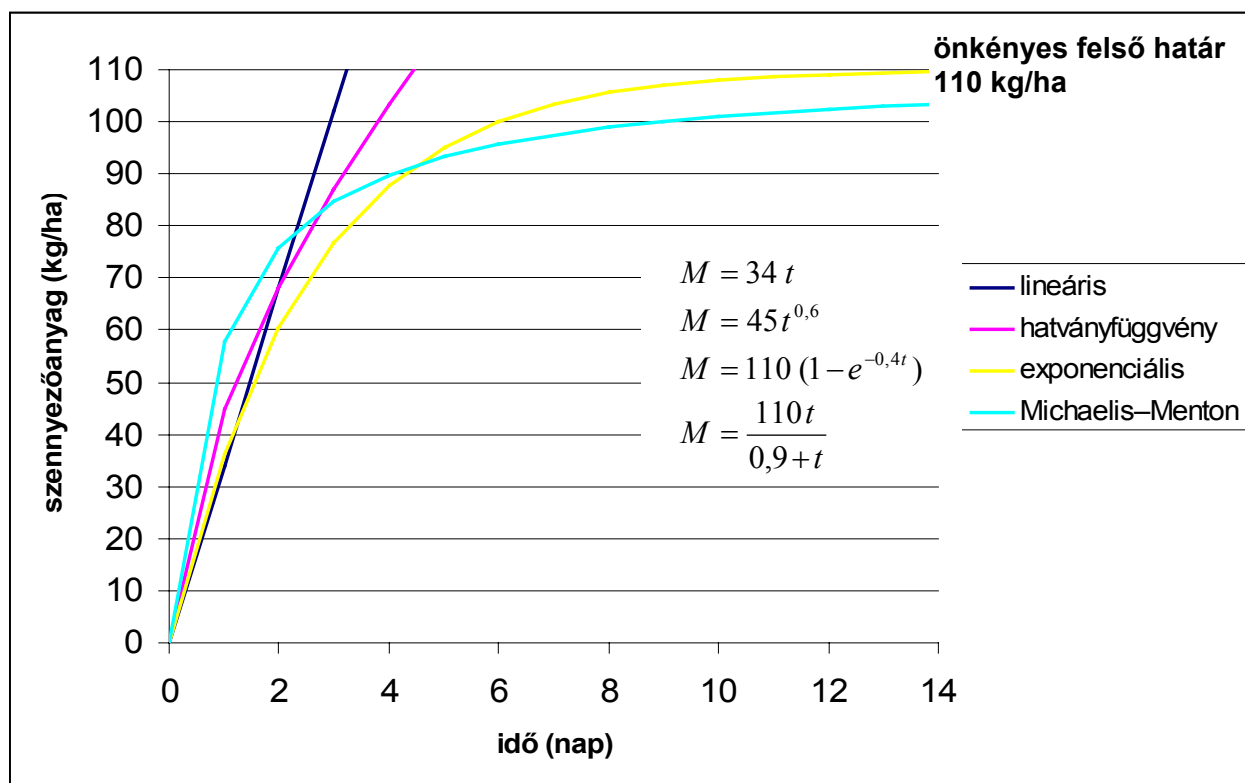
exponenciális $M = M_L (1 - e^{-bt})$

ú.n. Michaelis – Menton $M = \frac{M_L t}{a + t}$

ahol

- | | | |
|-------|---|--|
| M | – | a felületen lévő szennyezőanyag tömege (kg) |
| M_L | – | korlátozó (aszimptotikus) felületi szennyezőanyag érték (kg) |
| t | – | az utolsó söprés vagy csapadék óta eltelt idő (nap) |
| a, b | – | paraméterek. |

A négy szennyezőanyag felhalmozódási egyenletet a 3.26 ábra mutatja be (Huber 1986) nyomán, önkényesen felvett paraméterekkel. Jóllehet a lineáris és a hatványfüggvény nem korlátos, ésszerűen felvehető egy felső határérték. Hazai adatok hiányában *chicagai* vízgyűjtőterületekre érvényes átlagos szennyezőanyag felhalmozódási értékeket mutat be a 3.11 táblázat.

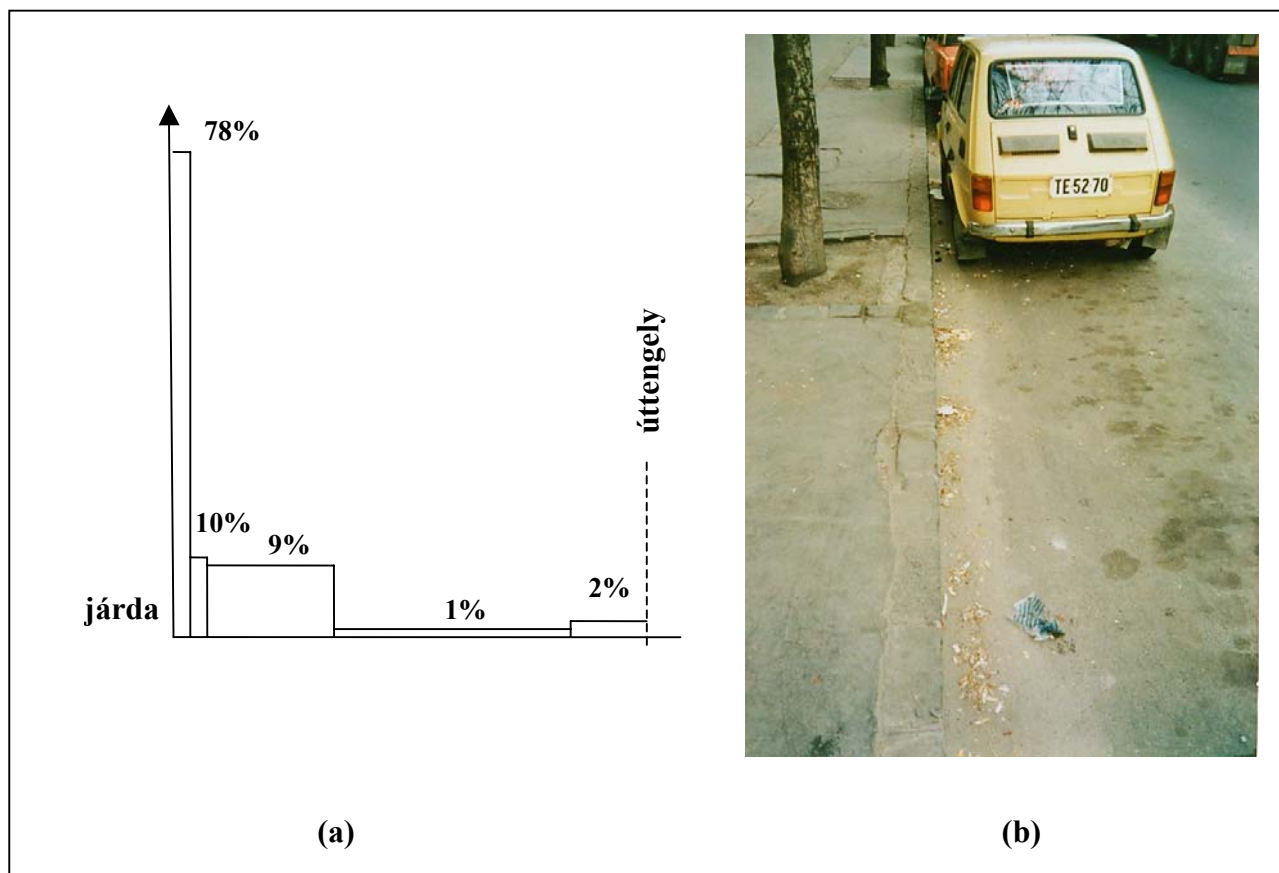


3.26 ábra. Szennyezőanyag felhalmozódási egyenletek grafikus megjelenése

3.11 táblázat. Szennyezőanyag akkumuláció por és piszok-ban (PP) (American Public Works Association 1969)

Terület- használat	PP akkumuláció kg/nap/ járda-szegély km	összes lebegő- anyag	BOI ₅	KOI	PO ₄	N	Koli
		mg/g a PP-re vonatkoztatva					
családi házas beépítés	10,4	1000	5,0	40	0,05	0,48	1,3
társasház beépítés	34,2	1000	3,6	40	0,05	0,61	2,7
kereskedelmi övezet	49,1	1000	7,7	39	0,07	0,41	1,7
ipari övezet	68,5	1000	3,0	40	0,03	0,43	1,0

A legtöbb szemét a járda- és szegély közelében halmozódik fel (Buzás és Somlyódy 1997, lásd 3.27 ábra). A járda (vagy támfal) magassága csak kb. 50 cm-ig befolyásolja a felhalmozódást (Shaheen 1975), e fölött a szemét mennyisége gyakorlatilag nem változik. Átlagos értékeit a 3.12 táblázat mutatja.



3.27 ábra Hulladékok akkumulációja az úttesten (a) keresztmetszeti eloszlás, (b) egy budapesti példa

3.12 táblázat. Átlagos esetben jelenlevő por és piszok a járdaszegély mentén (Sartor és Boyd 1972)

Hely	PP kg/járdaszegély km
Lakóövezet	
• kisforgalmú, régi családi házas	240
• kisforgalmú, régi társasház	150
• átlagos forgalmú, új családi házas	120
• átlagos forgalmú, régi társasház	390
Kereskedelmi övezet	80

A városi csapadékvíz szennyezőanyag terhelését a meghatározó tényezők (földhasználat, laksűrűség, utcaseprés óta eltelt idő, csapadék) függvényében Heaney és munkatársai (1975) adják meg, az alábbiak szerint:

Elválasztott rendszerben $M_{elv} = \alpha (i,j) P F(d) \gamma$

Egyesített rendszerben $M_{egy} = \beta (i,j) P F(d) \gamma$

ahol

M	a j-edik szennyezőanyag terhelése az i-edik területhasználat esetén (kg/ha/év)
P	az éves csapadék (mm/év)
d	népsűrűség (fő/ha)
γ	az utcaseprési hatékonyság, definíciószerűen
	$\gamma = T_{us}/20$, ha $0 < T_{us} \leq 20$ nap $\gamma = 1,0$, ha $T_{us} \geq 20$ nap

ahol

T_{us}	a söprések között eltelt idő (nap)
F(d)	laksűrűségi függvény a területhasználat szerint
• lakóterület	$F(d) = 0,142 + 0,143 d^{0,54}$
• ipari és kereskedelmi	$F(d) = 1,0$
• egyéb	$F(d) = 0,142$.

Az $\alpha (i,j)$ és $\beta (i,j)$ paraméterek értékeit a 3.13 táblázat mutatja, a területhasználat függvényében.

3.13 táblázat. Szennyezőanyag terhelési tényezők a területhasználat függvényében

Paraméter	Terület- használat (i)	Szennyezőanyag (j)				
		BOI ₅	összes leb. anyag	illékony anyag	összes PO ₄	összes N
α (elválasztott rendszer)	lakóterület	0,0353	0,721	0,417	0,00149	0,00579
	kereskedelmi	0,141	0,981	0,617	0,00335	0,0131
	ipari	0,0535	1,29	0,631	0,00312	0,0122
	egyéb	0,0050	0,119	0,115	0,00044	0,00267
β (egyesített rendszer)	lakóterület	0,145	2,97	1,72	0,00614	0,0239
	kereskedelmi	0,583	4,06	2,55	0,00138	0,0539
	ipari	0,221	5,30	2,61	0,0129	0,0504
	egyéb	0,0206	0,491	0,476	0,00182	0,0111

Szárazideji eltávolítás

Az utcasöpítés mint a por és piszkok elsődleges eltávolítási módszere a városokban elsősorban esztétikai célokat szolgál és csak ritkán történik a csatornahálózat eldugulásának megakadályozására.

A gépi söprés eredményessége függ a söprés gyakoriságától, az egy alkalommal végzett ismételt átvonulások számától, a berendezés sebességétől, típusától, az úttest állapotától, akadályok (pl. parkoló gépkocsik) jelenlététől stb. Az eltávolítás mértéke hagyományos utcasöpítő-gép esetén nagyban függ a szennyeződés méretétől (3.14 táblázat).

3.14 táblázat. Utcasöpítő-gép hatékonysága a szemcseméret függvényében (Sartor és Boyd 1972)

Részecskeméret (μ)	Eltávolítás (%)
> 2000	79
840 – 2000	66
246 – 840	60
104 – 246	48
43 – 104	20
< 43	15
Átlagos	50

A viszonylag drágább porszívós berendezések jó eltávolítási hatásfokkal rendelkeznek a teljes részecske-tartományban és 95%-ot is elérnek a finom frakcióban. Az eltávolítást leíró egyenlet:

$$M = M^* + (M_0 - M^*)e^{-kE}$$

ahol

M az utcán maradó szemét (g/m²)
M* a nem eltávolítható szemét (g/m²)

M_0	az eredetileg meglévő szemét (g/m^2)
k	a berendezéstől függő empirikus állandó
E	söprési ráfordítás (min/m^2)

Az egyenlet kalibrációját egy betonfelületet 2,4 m szélességben megtisztító, kb. 10 km/h sebességgel haladó gép esetén 104 μm -nél nagyobb részecskék eltávolítására *Sartor és Boyd* (1972) végezték el:

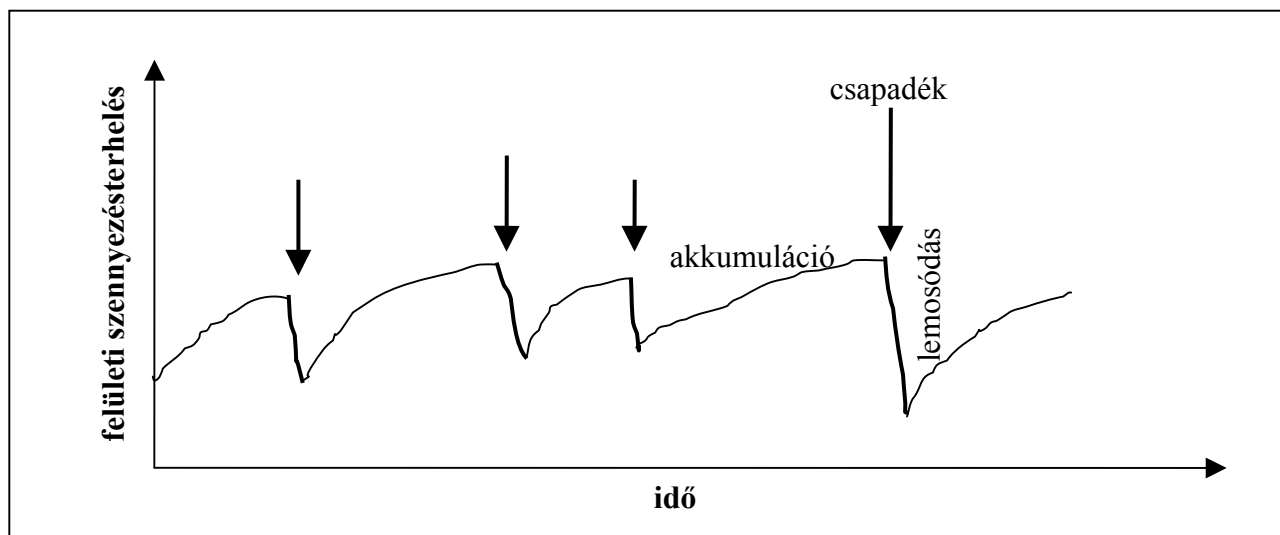
- $M^* = 1,5 \text{ g/m}^2$
- $M_0 = 78,1 \text{ g/m}^2$,
- $k = 300$,
- $E = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ min/m}^2$

eredménnyel.

Az utcaseprésnek a vízminőségre gyakorolt hatása erősen vitatott (*Novotny* 1995). Csak igen gyakori (napi egy-két alkalommal végzett) söprésnek van számottevő eredménye. Ekkor a szilárdanyag és nehézfém eltávolítás elérheti az 50%-ot, de a tipikusnak tekinthető havi egy-két söprés esetén ez csak 5%. Hasonló megállapításra jut, maximum 10%-os eltávolítást jelezve, *Pitt* (1985). Szervesanyag és tápanyag eltávolítás, pedig még napi utcasöpréssel sem távolítható el még 10%-ot elérően sem, mivel ezek nem az utcáról kerülnek a lefolyásba.

Lemosódás

A lemosódás a vízgyűjtő felületén lévő részecskék eróziója vagy oldatba jutása a lefolyás során (3.28 ábra).



3.28 ábra. A szennyezőanyagok lemosódása a városi vízgyűjtőről

A szennyezőanyagoknak a vízzáró felületről a csapadék által történő lemosását alapvetően az alábbi tényezők befolyásolhatják:

- a felület típusa és állapota. Több szennyezőanyag mosódik le sima (azaz egyenletesen kopott) felületről, mint új, érdes aszfaltról
- a csapadék mennyisége és intenzitása. Az esőcseppek becsapódásának elragadó ereje, illetve a felszíni lefolyással szembeni súrlódás képezik a folyamatot kormányzó tényezőket. A

küszöbérték magasabb a rosszabb állapotú felületeken. Alacsony intenzitásérték és mennyiség esetén a szárazanyagnak csak az oldható része mosódik le.

- szennyezőanyag részecskeméret. Meglepően kis különbség van a különböző szemcseméretekre jellemző lemosódási értékekben. Ezt a nagyobb részecskék „könnyű”, szerves tulajdonsága magyarázza, szemben a kis, agyagszemcsék „nehéz”, tehetetlen jellegével (Ellis et al. 1982).
- a csapadék savassága. A kezdeti alacsony pH érték a nehézfémek beoldódását segíti, de ez a felületek puffer-kapacitásától is függ.

A lemosódást annak figyelembe vételével lehet modellezni, hogy a lemosott szennyezőanyag mennyisége a felületen lévő szennyezőanyag tömegével arányos:

$$M - M_0 = M_0 (1 - e^{-krt})$$

ahol

$M - M_0$	a lemosott anyag tömege (kg)
M_0	a szennyezőanyag kezdeti tömege (kg)
t	eltelt idő (h)
k	csökkenési állandó
r	a lefolyás hozama (mm/h).

Ilyen összefüggést számos modell használ. A k állandót, ami a lefolyástól, illetve a lefolyást okozó csapadéktól függ Wanielista (1978) annak feltételezésével határozta meg, hogy egy egyenletes 13 mm/h intenzitású csapadék egy óra alatt a kezdeti szennyezőanyag 90%-át mossa le. Ebből:

- vízzáró felületre $k_{\text{vízzáró}} = 0,181$
- vízáteresztő felületre $k_{\text{vízáteresztő}} = 0,0551$

adódott.

A lemosódási egyenlet fő hiányossága, hogy csak állandó hozamú lefolyás esetén alkalmazható, így olyan Δt időlépésenkénti diszkretizálás szükséges, melyekre állandó hozam tételezhető fel.

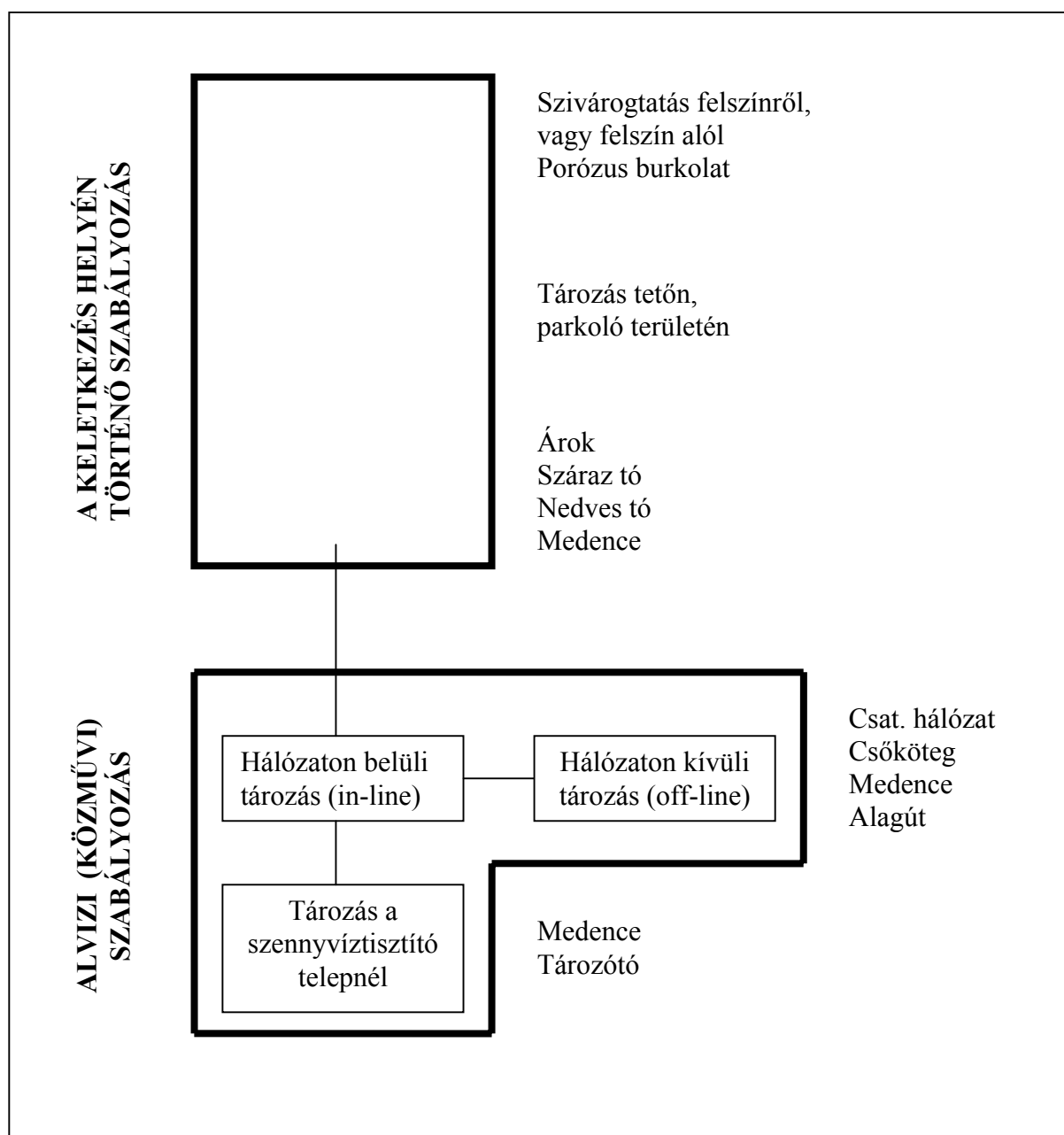
3.3 A városi lefolyás integrált kezelése

Az 1970-es évekig még a fejlett ipari országokban is a fő célnak azt tekintették a városi csapadécsatornázás területén, hogy a keletkezett csapadékvizet minél hamarabb a befogadóba juttassák. Ennek a szemléletnek a következtében a csapadécsatorna rendszerek és műtárgyak már-már gigantikus méreteket kezdtek öltetni. A költségek csökkentésére olyan alternatív megoldásokat kezdtek keresni, melyek a csúcs-vízhozamok és a vízmennyiségek csökkentése révén gazdaságosabb beruházási és üzemeltetési feltételeket biztosítanak. Ennek a törekvésnek a célja az, hogy a tipikus meredek fel- és lefutású csapadék árhullámot a természetes vízgyűjtőről lefolyó árhullám irányába „szelídítse”, vagyis egyrészt a lefolyó mennyiséget, másrészt és főleg a kialakuló csúcs-vízhozamot csökkentse (Gayer 1989). Ennek jegyében az elmúlt két évtizedben egyre több figyelmet szentelnek a víznek a keletkezés helyén (vagy annak közelében) történő elhelyezésére, a lefolyás csökkentésére, vagy késleltetésére. Megváltozott a csapadékvíz (mennyiségi) kezelésének szempontja, a „szabaduljunk meg tőle minél gyorsabban” szemléletét felváltotta az „amilyen lassan csak lehet” nézet, természetesen az elöntési problémák elkerülésével (Vaes és Berlamont 2004). Ezzel egyidejűleg egyre inkább felértékelődött a csapadékvíz, mint készlet, és felhasználása helyi,

nem-ivóvíz minőséget igénylő célokra ma már terjedőben van. Másrészt a belvárosi területeken a burkolt felületekről a csapadékvíz túlzott elvezetése következtében a csökkenő talajvíztükör miatt is célszerű volt megoldást találni a talajvízpótlásra, és lehetővé tenni a csapadékvíznek a korábbinál nagyobb arányú beszivárgását.

Ezt követte a városi lefolyó vizek szennyezettségének felismerése, és olyan módszerek kidolgozása, melyek mind mennyiségi, mind minőségi szempontból javulást hoztak. Az ide sorolható eljárásokat az Egyesült Államokban „a legjobb gyakorlat módszerének” (*best management practice, BMP*), Európában fenntartható csapadécsatornázásnak nevezik.

A városi lefolyás csökkentésére és késleltetésére alkalmazott módszerek alapvetően két csoportba sorolhatók (Gayer 1989), úgymint (1) a keletkezés helyén történő (vagy közmű előtti szabályozás), illetve (2) alvízi (vagy közművi szabályozás) a csatornahálózat valamely pontján 3.29 ábra).



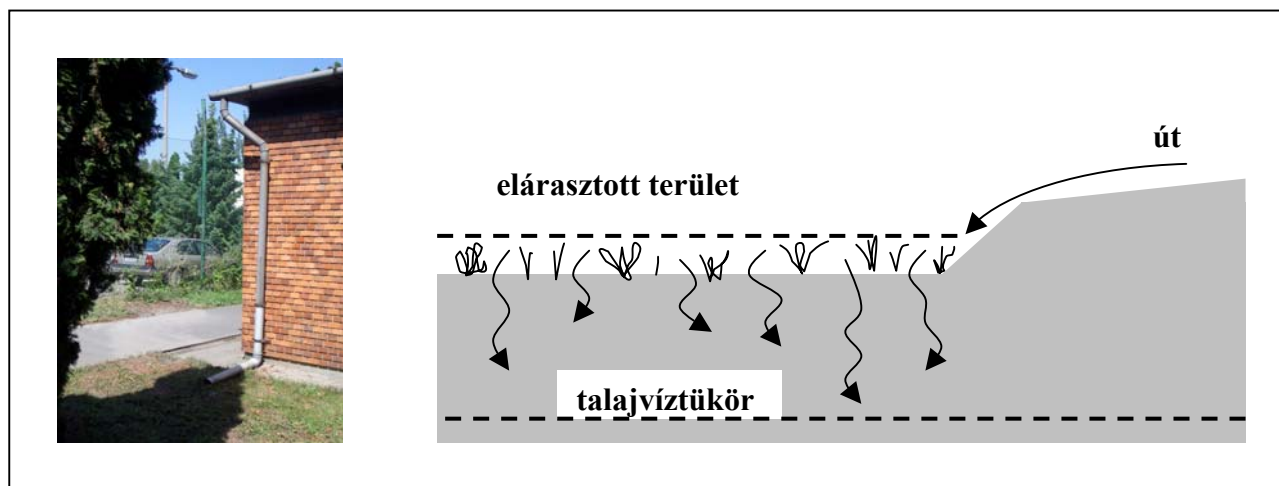
3.29 ábra. A keletkezés helyén és a közműben történő szabályozás (forrás: Stahre 1984)

3.3.1 A keletkezés helyén történő szabályozás

A csapadékvíznek a keletkezés helyén illetve a felszíni lefolyás szakaszában történő szabályozása egyfajta eszköz a természeti készletek fenntartható használata szempontjából, mert mérsékli a csatornahálózat és a szennyvíztisztító telep terhelését, továbbá lehetővé teszi az ivóvíz felhasználás csökkentését, ezáltal beruházási és fenntartási költségcsökkenést eredményez. Számos fejlett európai országban támogatják, vagy éppen kötelezően előírják alkalmazását, Hollandiában például a 2004-ben életbe lépő flamand csapadékcatornázási irányelv főleg a helyi megoldásokat helyezi előtérbe (*Vaes és Berlamont 2004*). Ez a mennyiségi és minőségi szempontokat figyelembe vevő szabályozás a természetes lefolyást igyekszik közelíteni. Forrásszabályozásnak is nevezik (source control) a keletkezés eredetének közelében történő alkalmazása miatt.

A keletkezés helyén történő szabályozás lehet végleges elhelyezés, illetve lefolyás-késleltetés. Az elhelyezés többnyire beszivárogtatást jelent. Feltéve, hogy a talaj megfelelő és a vízminőség is jó, a beszivárogtatás talajvízdúsítást eredményez és a településen áthúzódó vízfolyások alapvízhozamának fenntartásához is hozzájárul, ugyanakkor azok árvízi kockázatát csökkenti, ill. vízminőségét javítja. A keletkezés helyén történő csapadékvíz elhelyezés a vízi élőhelyek megőrzésében, vagy újak kialakításában is szerepet játszik. Az alkalmazott módszereket a „legjobb gazdálkodási gyakorlat” eszközrendszerébe sorolják. A talajvíz dúsítás lehetőségei:

- *Beszivárogtatás gyepes, bokros területen*, ahol a víz a gyökérzet által is segítve szivárog a talajba. Ha a talaj beszivárgási kapacitása nem elég nagy, homok hozzáadásával segítenek rajta. Tetőkről, utakról lefolyó vizeket szikkasztanak ily módon általában (3.30 ábra).
- *Beszivárogtatás nyílt árokban*, fentiekhez hasonló módon. 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. Egy-egy szivárogtató árok maximum 2 ha-os vízgyűjtőt szolgál ki.



3.30 ábra. Beszivárogtatás gyepes, bokros területen

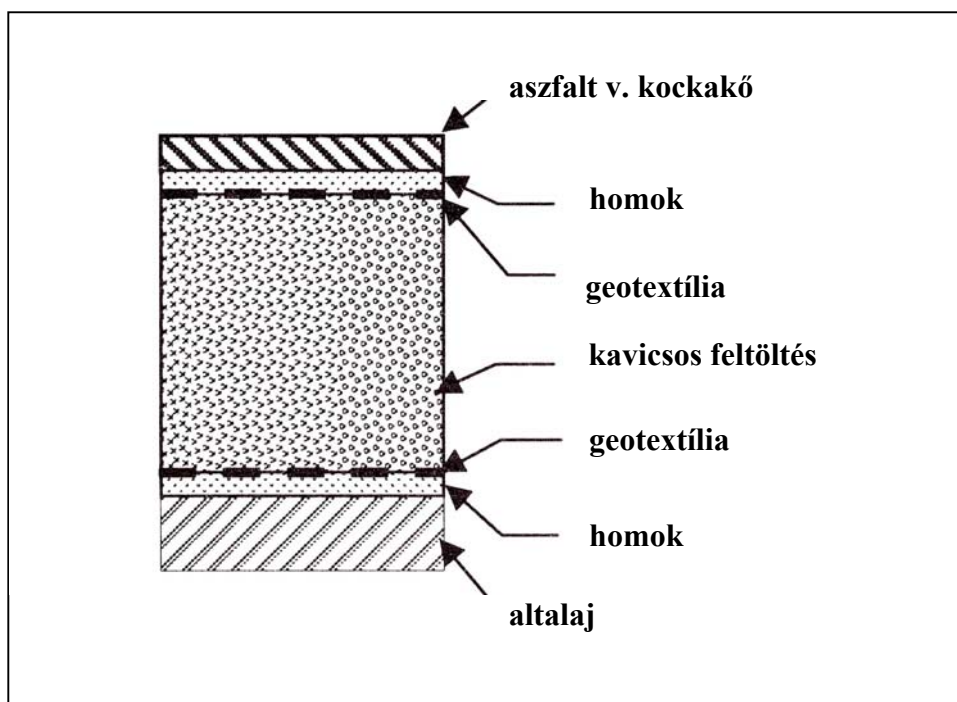
- *Bioszűrő vápák*. Fűvel, vízinövényekkel beültetett mélyedések kiválóan alkalmasak a szennyezőanyagok kiszűrésére. Ezek a sekély csatornák, minimális, vagy éppen nulla fenékszélességgel kiváló biofilterek, és a gyökérzetnek is köszönhetően beszivárogtató hatásuk is van, ezért mennyiségi és minőségi szabályozást is jelentenek (3.31 ábra). Mérsékelt égövi fejlett országokban használatuk terjedőben van. Hatásmechanizmusuk hármas: a növényzet felveszi a szennyezőanyagok egy részét, kiüledés következik be az alacsony sebesség következtében, illetve a csapadékvíz beszivárog a talajba. Lebegőanyagot és az ahhoz kötődő szennyezőanyagot (pl. foszfort) jobb hatásfokkal távolítanak el mint oldott anyagot (*Schueler et al. 1992*).



3.31 ábra. Bioszűrő vápa

- *Beszivárogtató tó.* A tófenék vízáteresztő kell legyen. A vízszint veszélyes méretű megemelkedését a csatornahálózatra csatlakozó vészkiömlő akadályozza meg. Lényeges a tófenék rendszeres kotrása, az üledék eltávolítása céljából. Általában 5 ha-nyi a vízgyűjtő felső határa ennek alkalmazásánál.
- *Felszín alatti szivárogtató tározás.* Nagy hézagterefogatú anyaggal (pl. zúzott kővel) kitöltött, föld alatti tározótér. A vízzáró felületekről ide vezetik a lefolyó vizet, ahol az tározódik, majd lassan elszivárog a talajvíz felé. A tározótér utak alépítményében is kialakítható. Nagy porozitású talaj esetén a lefolyó vizek tározótér kiépítése nélkül, közvetlenül vezethetők a talajba.
- *Porózus, vízáteresztő burkolat.* Főleg fejlett infrastruktúrájú országokban alkalmazzák, ahol a nagy csatornasűrűség miatt a talajvíztükör lesüllyedt a városok alatt. Talajvízdúsításon kívül vízminőség-védelmi szerepe is lehet, megfelelő szerkezeti kiépítés esetén. A fagyveszély miatt gondos kiépítést igényel (3.32 ábra). Fennáll az eltömődés veszélye, ezzel kapcsolatban fenntartási feladatok jelentkeznek.

A keletkezés helyén (decentralizáltan) történő beszivárogtatás tervezésénél nagy gondot kell fordítani a talajvízvédelmi követelményekre. Különösen a közlekedési pályákról lefolyó csapadékvíz szennyezettsége miatt, a talajvíz károsodása is előfordulhat (Grau és Harms 1986). További problémák lehetnek az esetleg káros mértékben megemelkedő, talajvízszinttel járóan az alapozások vizesedése, illetve pinceszinti, alagsori elöntések. Eltömődés esetén a rendszer nem működik, így az érintett terület ki van téve elöntésnek. Összességében azonban a beszivárogtatás kisebb lakóterületeken, ahol a talajvíz-szennyezés kockázata csekély, és ahol a talaj szivárgási tulajdonságai megfelelőek, illetve ahol a talajvíz elég mélyen van jó alternatívát nyújt (Marsalek és Chocat 2002).



3.32 ábra. Porózus burkolat keresztmetszete (forrás: EPA NSW 1997)

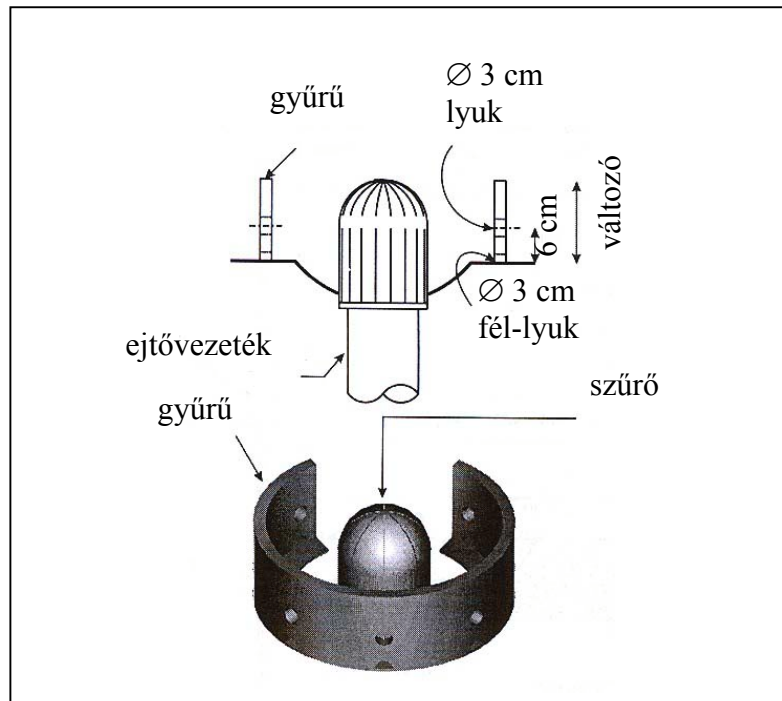
A növényzetnek, mint köztudott, fontos szerepe van a hidrológiai ciklusban az interceptió és az evapotranszspiráció révén. Olyan növények, melyek egyaránt tűrik a szárazságot és az elöntést, különösen hasznosak lehetnek a csapadékvíz kezelésében. A jó gyökérszerkezet javítja a talaj permeabilitását és ezáltal segíti a beszivárgást. A nagy gyökérszettel rendelkező növények biomasszájának jelentős része a talajban van, így stabilizálják azt és csökkentik az eróziót, illetve jobban átvészelik a száraz periódusokat. Szárazság- és elöntéstűrő növényeket, közönséges fákat, bokrokat, virágos növényeket és pázsitfűféléket azonosítottak *Girling et al. (2000)*, melyek mennyiségi és minőségi szempontjából megfelelőek a csapadékvíz kezelésére (3.15 táblázat).

3.15 táblázat. Szárazságot és elöntést tűró növények (*Girling et al. 2000*)

Növény	Nemzetség
Fák	Juhar, kőris, nyír, fűz
Bokrok	Veresgyűrűs som, berkenye, fűz, vadrózsa, gyöngyvessző
Virágos növények	Nőszirm, bohócvirág, boglárka, nyílfű
Pázsitfűfélék	Csomós lengefű, szittyó, sás, csenkesz

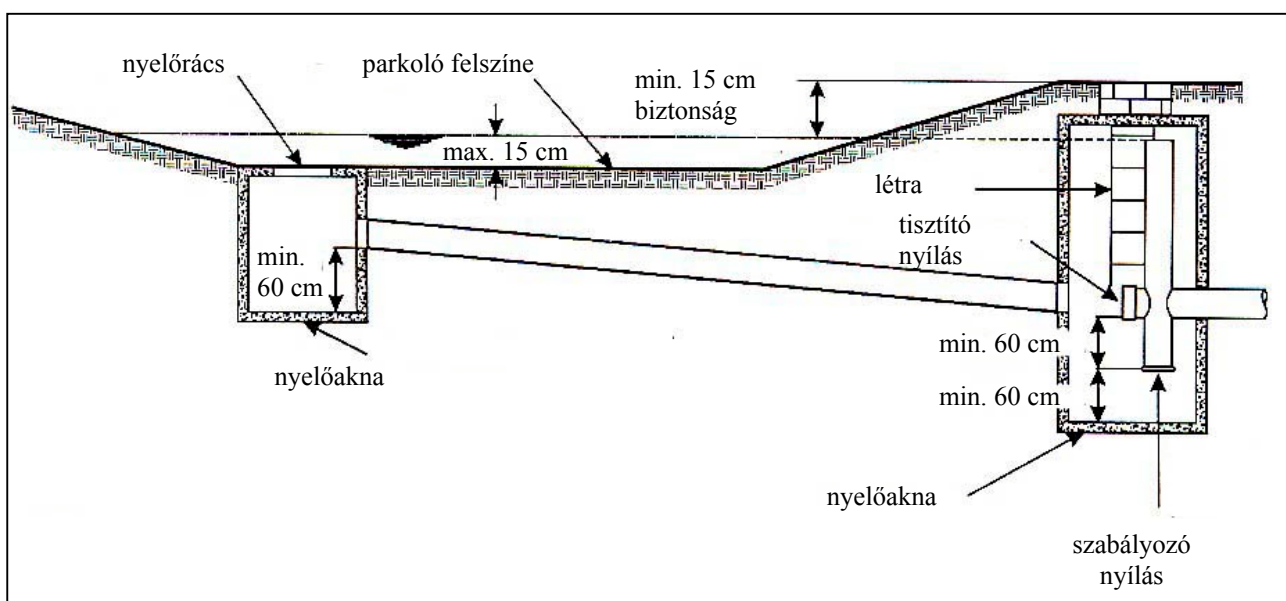
A nyelő, vagy csatlakozó műtárgy szabályozása (szűkítése) révén a csapadékvizet tárolhatjuk olyan vízzáró burkolatú felületeken, ahol a tócsásodás nem okoz kellemetlenséget. Így például:

- Lapostetős épületeken néhány centiméteres tározás érhető el az ejtőcső szűrőkosara köré ültetett korlátozott átbocsátású gyűrű segítségével (3.33 ábra). Természetesen a tető megfelelő szigetelése szükséges ehhez. Kockázatos megoldás és viszonylag kis hatékonyságú.



3.33 ábra. Tetőtározás érdekében használt szűrő

- Gépkocsi parkolók tározásra történő igénybevétele is szóba jöhet megfelelő áramlásszűkítő beépítése és a terület kialakítása révén (Andjelkovic 2001) bár ez a gépkocsik megközelítését nehezíti a tározás ideje alatt (3.34 ábra).
- A tetőről lefolyó csapadékvíz ciszternában történő összegyűjtése (és szűrése) után jól felhasználható (bővebben „A csapadékvíz, mint alternatív vízforrás” c. fejezetben). A gyakorlat a vízszegény arid országokban terjed jobban, mint pl. Jordánia, India egyes részei, Irán, az „esővíz betakarítása” (rainwater harvesting) néven (GHK International 2003), de német és magyar példákat is említ Dulovicsné (2003), ill. Horváthné és Wisnovszky (2003).

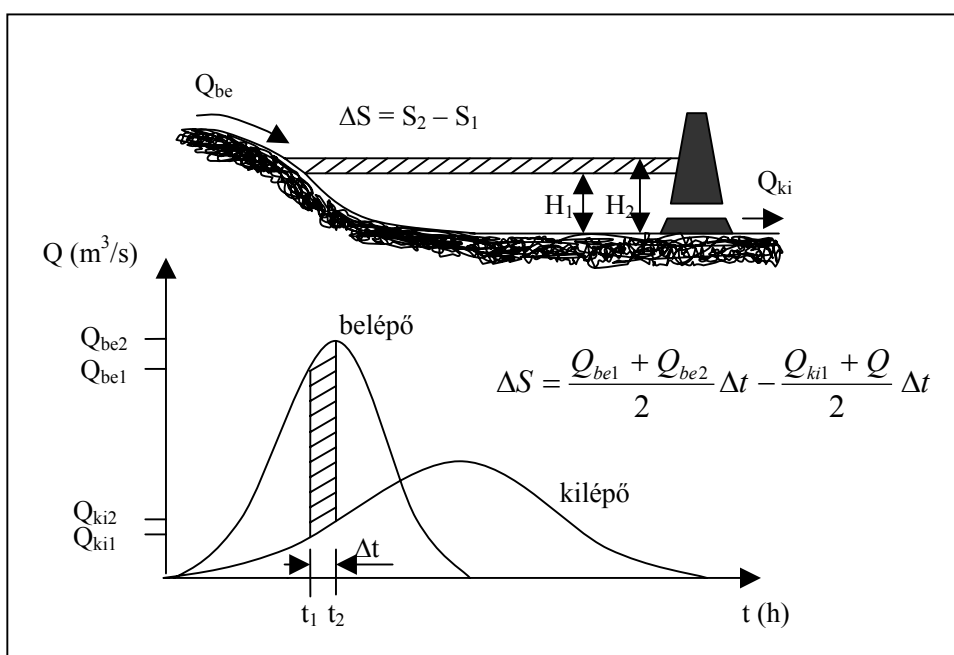


3.34 ábra. Tározás gépkocsi parkolóban

A felszíni lefolyás kiegyenlítése lehetséges az összegyülekezési idő megnövelésével. Ennek egyik módja a felszíni lefolyás érdességének növelése, kockakő, vagy kőlap burkolat alkalmazása aszfalt helyett. A megoldás másodlagos előnye a beszivárgás növekedése. Hegy- és dombvidéki területeken további lehetőség a tereplejtés megnövelése teraszok kialakításával. A tócsásodás megelőzésére általában 0,5–1,0%-os lejtés már elegendő.

Záportározó tavak / medencék lényege, hogy a belépő csatornák vízzállító képessége nagyobb a kilépőkénél (3.35 ábra). Itt:

Q_{be}	belépő vízhozam
Q_{ki}	kilépő vízhozam
ΔS	a tározás megváltozása
Δt	időlépcső



3.35 ábra. Záportározó elve

A tározók növekvő népszerűségnek örvendenek Európában, Észak-Amerikában és más iparilag fejlett országokban. Céljuk általában többszörös, úgymint:

- Mennyiségi szabályozás (a csúcs-vízhozam csökkentése)
- Hordalékfogás
- Oldott szennyezőanyag eltávolítása növényzet segítségével

A tározók lehetnek a vízgyűjtő felső részén, a csapadékvíz felszíni lefolyási szakaszához közel, viszonylag kis részvízgyűjtőről (maximum 5 hektár) lefolyó vizeket befogadva, illetve a közmű részeként. Utóbbi esetben lehetséges a hálózaton belüli, illetve azon kívüli tározás (részletesen később).

Tározásra épp úgy alkalmaznak zárt szerkezeteket (medencéket), mint nyitott, a fenéken burkolt, vagy burkolatlan tavakat. A tározás jellege szerint megkülönböztetünk:

- átmeneti tározást, ami „száraz” tározóban valósul meg. Ez lehet medence, de nyílt, mélyen fekvő terület is parkok, szabadidőközpontok megfelelő részein, amelyeket általában legalább

25 éves visszatérési idejű csapadék esetén bekövetkező lefolyás fogadására alakítanak ki (3.36 ábra),

- vízvisszatartást, amelynek létesítménye a „nedves” tározó. Ebben állandóan van víz, és gyakran szolgál rekreációs célra is, és igen esztétikus tud lenni, ha jól illeszkedik a városképbe. Franciaországban a legsűrűbben lakott *Ile-de-France* régióban több száz, a lakosság által nagyra tartott, néhány hektáros, a csapadékvíz befogadására tervezett tó van (Tassin et al. 2004). Jó példát találunk Győrött és Kecskeméten is (3.37 ábra), ahol a többcélú hasznosítás szempontja szerint tervezték ezeket a tavakat. Terelőfalak alkalmazásával a tavakban elkerülhető a hidraulikai rövidzár és így módon az eltávolítási hatásfok növelhető. A tavak rendszeres karbantartást igényelnek beleértve az üledék eltávolítását is.



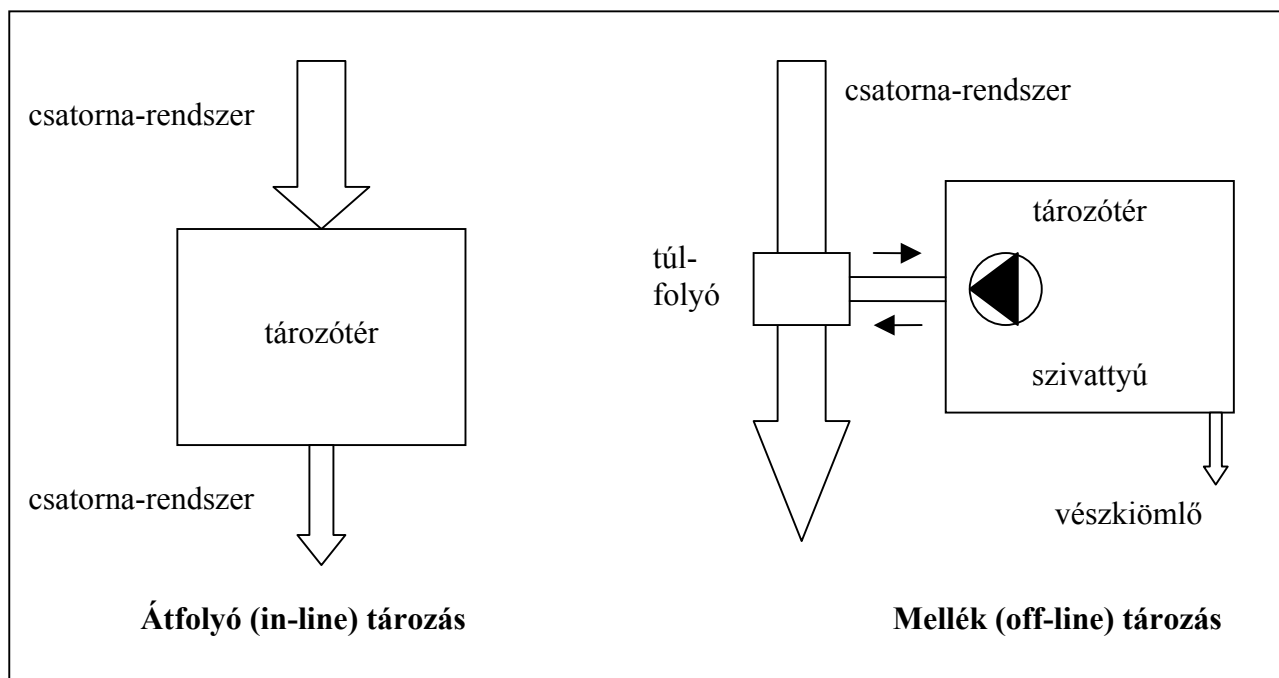
3.36 ábra. Száras tározó és beömlő műtárgya Kanadában



3.37 ábra. A kecskeméti többcélú záportározó részletei

3.3.2 A közművi szabályozás

A közművi szabályozás műtárgya kialakítható a csatornarendszer mentén vagy a kifolyási szelvény közelében. A csatornarendszer mentén átfolyó (in-line) és mellék (off-line) tározómedencék alkalmazása szokásos (3.38 ábra). Átfolyó tározás esetében általában beton műtárgy épül, mely alkalmas az árhullám tetőzésekor bizonyos mennyiségű csapadékvíz átmeneti tározására. Az átfolyó tározó hatásfokát az áramlást fékező elem (csiga, dob alakú vízfék) beépítése javíthatja.



3.38 ábra. Az in-line és az off-line tározás elve

Mellék tározás esetén a csatornarendszerből túlfolyón távozó vizet fogadják egy megfelelően kialakított tározótérben ahonnan később visszaszivattyúzzák a csatornába. A víz szükség esetén vészkiömlőn távozik.

A kifolyási szelvélynél, (ami a szennyvíztisztító telepnél is lehet) in-line vagy off-line módon van lehetőség tározó kialakítására. Utóbbira mutat példát a 3.39 ábra, mely a Dél-Pesti Szennyvíztelep 3600 m³-es záportározóját mutatja. A három egység egymást követően, a képen balról jobbra töltődik fel, illetve teljes teltség esetén a víz átbukik a jobb oldali bukókon. A csapadékeseményt követően a tározott vizet a telep belépő oldalára vezetik és így az első szennyezőhullámban (first flush) érkező víz kezelésre kerül.

Rendkívül sűrű beépítés esetén, más rendelkezésre álló hely hiányában, a befogadó medrében nyerhető off-line tározótérfogat (például egy öböl lehatárolásával).

Tározók méretezése, a belépő árhullám ismeretében, sorozatos közelítéssel szokásos a tározási egyenlet alapján (3.35 ábra). Méretezési nomogramokat Buzás (1978) közöl.

Tározómedencék vízminőségre gyakorolt hatása nagyban függ két ellentétes tényezőtől. A hosszabb visszatartási idő jobb eltávolítási hatásfokot eredményez, másrészt ugyanabban a medencében rövidebb visszatartási idővel nagyobb vízmennyiség kezelhető, de gyengébb hatásfokkal. A két tényező megfelelő kombinációja eredményezheti hosszú távon a legjobb szennyezőanyag eltávolítást. A tározók hatása, mind árvízcsökkentő, mind szennyezőanyag eltávolítási szempontból általában széles határok között változik. Tervezésükkor ezért figyelembe kell venni a helyi

hidrológiai viszonyokat és azok hatását a lefolyásra. Jelentős megtakarítás érhető el a túlméretezés elkerülésével, ha a helyi körülményeket figyelembe veszik (Urbanas et al. 1996). Mivel a szennyezőanyagok nagy része a lebegtetett hordalékhoz kötődik a vízgyűjtő felszínének szemeloszlása fontos ismeret a medence kialakításakor, melynek kettős funkciót kell betöltenie (szennyezőanyag eltávolítás és tározás).



3.39 ábra. A Dél-Pesti Szennyvíztelep záportározója

A tározók hatékonyságával kapcsolatban bizonyos kritikákat fogalmaznak meg egyes szerzők (pl. GHK International 2003).

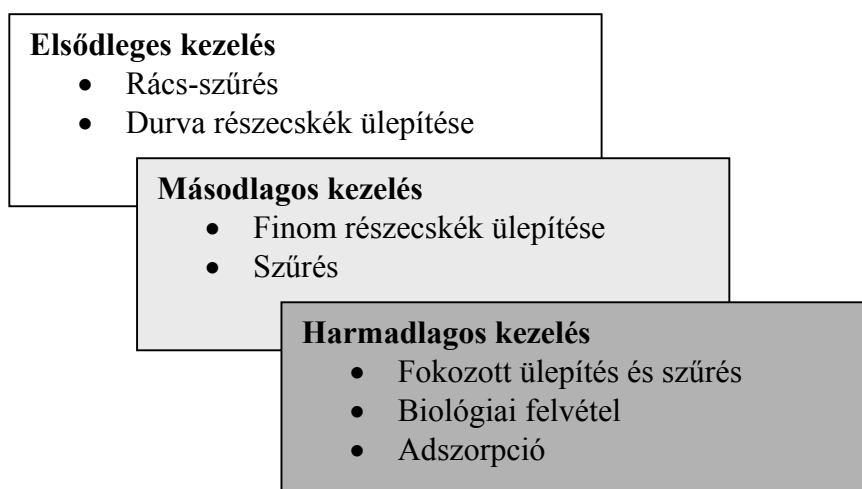
- Hatékonyságuk elmarad a várakozástól és az idővel romlik, különösen, ha fedett létesítményekről van szó. Ez a fenntartás elmaradására vezethető vissza, amit a nehéz megközelítés, vagy egyszerű emberi hanyagság (pl. a kezelőszemélyzet változása kapcsán) okoz.
- Beruházásuk költséges, a fedettek az építési költségek, a nyitottaké a nagyobb területigény miatt, de a beépített műtárgyak, szabályozó berendezések miatt is,
- A városi környezetbe illesztésüket másodlagosnak tekintik, még akkor is, ha hosszú távon takarékos megoldást jelentenek.

Ugyanakkor a nyitott, többcélú, átmeneti vízvisszatartást biztosító felületek alkalmazásának jó példáját mutatják be sűrűn lakott területeken Piel et al. (1999) parkolóban és más városi környezetben. Ezek kialakítása nagyobb szakmai előkészítést, vizsgálatok lefolytatását, és figyelmesebb kivitelezést igényel. Kiépítésük után azonban nem igényelnek speciális karbantartást, vagy berendezést és hosszú távon csökkentik az üzemelési költségeket.

3.3.3 A csapadékvíz minőségi kezelése

A csapadékvíz minőségi kezelésére számos fizikai, kémiai és biológiai eljárás létezik, melyek egy részéről a fenti pontokban, a mennyiségi szabályozás kapcsán már szó esett. Célszerű azonban rendszerezve áttekinteni a módszereket, melyek a csapadékvíz elhelyezése kapcsán, a környezet védelme érdekében alkalmazhatók.

A különböző szennyezőanyagok eltávolítására különböző hatékonysággal más-más módszerek alkalmasak, ezért meg kell találni az adott esetre optimális megoldást. A lebegőanyag, vagy a lebegőanyaghoz kötődő szennyezés esetén a fizikai ülepítés, vagy szűrés, mint elsődleges kezelési módszer hatásos. Más, a csapadékvízben oldott szennyezőanyag kémiai adszorpció, vagy biológiai felvétel útján távolítható el. A csapadékvíz kezelés hierarchiáját a 3.40 ábra mutatja:



3.40 ábra. A csapadékvíz kezelés különböző szintjei

Az első fokozatban a domináns folyamat a darabos szennyezés fizikai szűrése, illetve a gyors ülepítés. Ez eltávolítja beérkező szemetet és durva hordalékot. A második fokozatban az ülepítés és a szűrés dominál. Ez javítja a lebegőanyag eltávolítását és bizonyos mennyiségű tápanyagot és fémeket is eltávolít. A harmadik fokozat uralkodó folyamata az intenzív ülepítés és szűrés biológiai felvétel és adszorpció. Ekkor a tápanyagok és fémek további eltávolítására kerül sor. Az osztályozás nagyjából megfelel a szennyvíztisztítási módszereknek alkalmazottnak. A legtöbb esetben a különböző módszerek kombinációja szükséges az eredmény elérése érdekében.

Az alkalmazandó eljárás kiválasztását segíti a 3.16 táblázat, melyben a különböző szennyezőanyagok potenciális eltávolítási mértékei találhatók. Hangsúlyozni kell, hogy az adatok optimális tervezési feltételek esetén érvényesek, és az eltávolítás hatásfoka csökken, ha ezek nem érvényesülnek. Mivel a létesítmények monitoringja és értékelése még nem teljes körű, a sötét mezővel jelölt esetekben becslésekre szorítkozunk. Sok esetben többlépcsős tisztítást célszerű alkalmazni több, sorba kapcsolt (első-, másod-, harmadfokú tisztítási eljárás) kiépítésével.

3.16 táblázat. Csapadékvíz kezelési módszerek összehasonlítása (forrás: EPA NSW 1997)

Csapadékvíz kezelési módszer	Szennyezőanyag								A szennyezőanyag újra-mobilizációjának veszélye
	Szemét és nagyméretű szennyeződés	Durva hordalék > 2mm	Lebegtetett hordalék	Össz- P	Össz- N	Oxigénfelvontást igénylő szennyezőanyag	Olaj, zsiradék	Baktérium	
Szemétfogó kosár	●	○	⊗	⊗	⊗	○	⊗	⊗	A
Szemétfogó rács/gereb	○	○	⊗	⊗	⊗	○	⊗	⊗	K
Hordalékfogó	⊗	●	○	⊗	⊗	○	⊗	⊗	K
Hordalékfogó ráccsal	●	●	○	⊗	⊗	○	⊗	⊗	K
Úszó merülőfal	○	⊗	⊗	⊗	⊗	○	⊗	⊗	A
Hordalékfogó akna	○	●	○	⊗	⊗	○	⊗	⊗	M
Olajleválasztó	○	●	○	⊗	⊗	○	○	⊗	M
Szűrőszív	●	●	●	●	●	○	○	●	A
Gyepes vápa	●	●	●	●	●	○	●	●	A
Tározómedence*	⊗	●	●	○	○	○	○	●	K
Homokszűrő*	⊗	⊗	●	●	●	●	●	●	A
Szikkasztóárók*	⊗	⊗	●	●	●	●	○	●	A
Szikkasztó medence/tó*	⊗	⊗	●	●	●	●	○	●	A
Porózus burkolat	⊗	⊗	●	●	○	●	●	●	A
Gyökérzónás rendszer*	○	●	●	●	○	○	○	●	K

Jelmagyarázat

⊗	0–10%-os eltávolítás	●	(75–100%-os eltávolítás)	A	Alacsony
○	10–50%-os eltávolítás	*	Előkezelés szükséges (hordalék/szemét)	K	Közepes
●	50–75%-os eltávolítás		Becsült (adathiány miatt)	M	Magas

Néhány módszer előkezelést igényel (főleg a durva hordalék eltávolítására), annak érdekében, hogy optimális teljesítmény legyen elérhető. Ezt az igényt szintén jelzi a táblázat. Úgyiszt érzékelteti a szennyezőanyag újra-mobilizációjának veszélyét, mely az eltávolítást követően áll fenn, a már leülepedett hordalék felkavarodása, vagy deszorpciója révén.

Fenti előkezelést általában az *elsődleges módszerek / műtárgyak* biztosítják, nevüknek megfelelően. Céljuk a durva szennyezés, szemét, uszadék, illetve az ezekre tapadt szennyezőanyagok eltávolítása. Beszerzésük, kiépítésük többnyire csak kisebb beruházással jár, de

rendszeres karbantartásuk viszonylag költséges az élőmunka igény miatt. Hatékonyságuk fenntartásához, megfelelő működésükhöz viszont szükség van a csapadékesemények utáni tisztításukra. Ennek elmaradása hidraulikai veszteséget okoz, és ez problémákat jelenthet a csatornarendszer működésében. Hatásuk nem csupán a vízminőségre, de a városi vízfolyás, vagy nyílt csapadék levezető árok esztétikai megjelenésére is pozitív. Alkalmazásuk egyre népszerűbb az iparilag fejlett országokban és ez megmutatkozik a fejlesztésükre fordított növekvő figyelemben is. Az ide sorolt berendezések az alábbiak:

- Szemétfogó kosár,
- Szemétfogó rács / gereb,
- Hordalékfogó,
- Hordalékfogó ráccsal / gerebvel kiegészítve,
- Úszó merülőfal,
- Hordalékfogó akna,
- Olajleválasztó.

Az elsődleges csapadékvíz tisztító eljárások összefoglalóját a 3.17 táblázat adja meg, ahol a beruházás költsége, illetve a viszonylagos fenntartási költség mértéke jelzésszerűen szintén szerepel.

A másodlagos csapadékvíz tisztító eljárások alapvetően a lebegtetett hordalék, valamint bizonyos mennyiségű tápanyag és baktérium eltávolítására szolgálnak. Az alábbi módszerek / műtárgyak tartoznak ide:

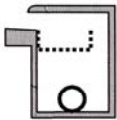
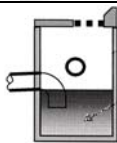
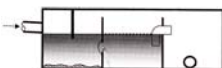
- Szűrősáv,
- Gyepes vápa,
- Tározómedence,
- Homokszűrő,
- Szikkasztóárok,
- Szikkasztó medence / tó,
- Porózus burkolat.

Közülük a legelterjedtebb a szűrősáv (pufferzóna) illetve a gyepes vápa. A szikkasztóárok, -medence és a porózus burkolattal kapcsolatban dokumentált problémák miatt, ezek alkalmazása különös körülményt igényel (EPA NSW 1997). Többségüket a keletkezés helyén történő szabályozás kapcsán fentebb már tárgyaltam, összefoglaló adataikat a 3.18 táblázat mutatja.

Autópályáról levezetett csapadékvíz tisztításának technológiáját vizsgálta Szamosvári (2000), egy tározóból és adszorpciós egységből álló kezelőtelep kapcsán. A laboratóriumi vizsgálat egy hosszú élettartamú, adszorbensként használható anyag meghatározására irányult. Eredményeként a természetes opoka¹⁵ és zeolit 50 v%–50 v% keverékét találta a legmegfelelőbbnek.

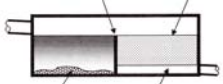
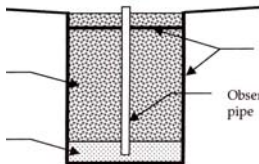
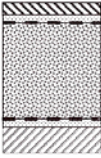
¹⁵ Az opoka egy jura vagy kréta kori mészkő módosulat. Fellelhető Lengyelországban és a balti államokban.

3.17 táblázat. Elsődleges csapadékvíz kezelési módszerek

Módszer	Vázlat	Eltávolítási hatékonyság						beruházási költség	fenntartási költség
		Szemét	oxigén elvonást igénylő szennyezőanyagok	hordalék	olaj, zsíradék	tápanyag	baktérium		
Aknába helyezett, fém vagy műanyag szemétfogó kosár, ami a burkolt felület lefolyását szűri meg		K–M	K	A	E	E	E	A	M
Szemétfogó rács (gereb), függőleges fémrudakból, a csatornára merőleges elhelyezéssel.		A	A	A	E	E	E	K	M
Hordalékfogó műtárgy a durva hordalék eltávolítására. Lehet szabályos medence vagy kisebb tó is.		E	A	M	E	E	E	K	K
Hordalékfogó ráccsal, kiegészítve mely utóbbi általában az alvízi oldalon nyer elhelyezést.		A	A	K–M	E	A	A	M	M
Úszó merülőfal az úszóra függesztett háló, a felszínen (annak közelében) úszó hordalék megfogására.		K	E	E	A	E	E	A	M
Hordalékfogó akna, melynek fenéke mélyre kerül, és állandó vízborítás van az elfolyó cső szintje alatt.		A	A	A–K	A	E	E	A	M
Olajleválasztó, általában három kamrából álló, felszín alatti műtárgy, durva hordalék és szénhidrogén leválasztására.		A–K	A	K	K	A	A	K	M

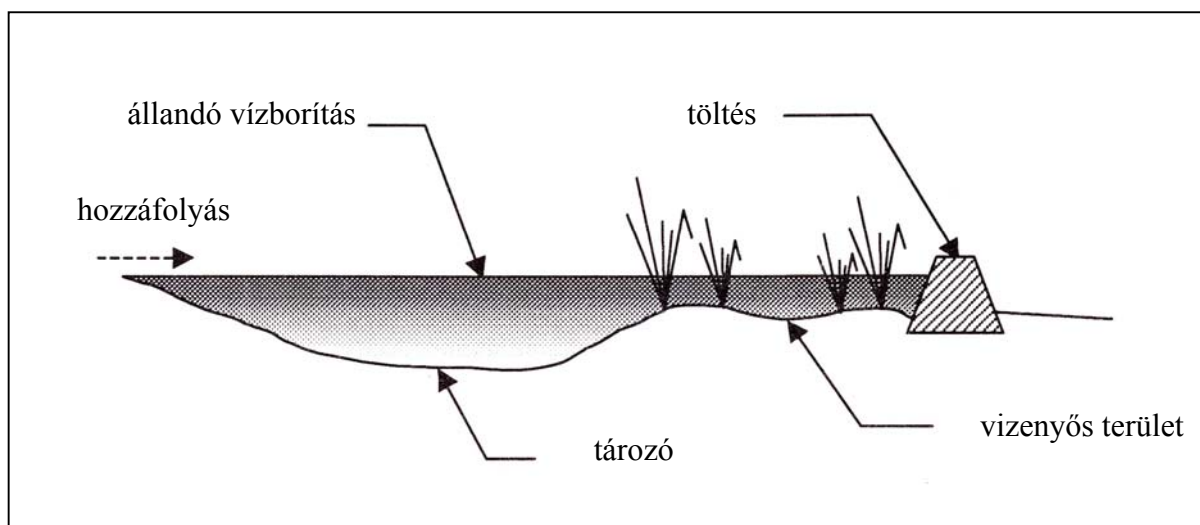
Jelmagyarázat: E – elhanyagolható; A – alacsony; K – közepes; M – magas

3.18 táblázat. Másodlagos csapadékvíz kezelési módszerek

Módszer	Vázlat	Eltávolítási hatékonyság						beruházási költség	fenntartási költség
		Szemét	oxigén elvonást igénylő szennyezőanyagok	hordalék	olaj, zsíradék	tápanyag	baktérium		
Szűrősáv (puffer zóna) gyepes, ill. növényzettel fedett sáv a felszíni lefolyás tisztítására, gyakran vízfolyások oldalánál.		K	A	M	M	K	A	A	A
Gyepes vápa gyepesített csatorna, utak és más burkolt felületekről lefolyó víz elvezetésére.		K	A	M	M	K	M	A	A
Tározómedence* egy-két napos tározást biztosító, csapadékesemények között alapvetően száraz medence.		A	A	K	A	A	M	K	A
Homokszűrő* egy homokágyat tartalmazó műtárgy, melyből alagcső (drén) vezet el a vizet.		A	K	K	K	K	M	K	K
Szikkasztóárók* egy sekély, ástott árok, kavicssal töltve, amiből a csapadékvíz az altalajba szivárog.		E	M	M	A	K	M	K	K
Szikkasztó medence/tó* nyitott tározó, melynek fenekén keresztül szivárog el a csapadékvíz.		A	K	M	A	K	M	K	K
Porózus burkolat vízáteresztő szerkezetű beton vagy aszfalt, ill. betonkocka, mely lehetővé teszi a víz közvetlen beszivárgását az altalajba.		E	A-K	K	E	K	A-K	M	K

Jelmagyarázat: E – elhanyagolható; A – alacsony; K – közepes; M – magas; * – előkezelést igényel

Harmadlagos kezelési eljárásnak a gyökérzónás tisztítási rendszert nevezik. Ez kialakítását tekintve általában legalább két egységből áll. Egy mélyebb felvízi tározótóból, ahol legfeljebb a parti sávban található vízinövény és egy sekélyebb alvízi vizenyős területből, ahova vízi, mocsári növényeket telepítenek. Ez a tulajdonképpeni „épített gyökérzóna”, vagy makrofita zóna (3.41 ábra).



3.41 ábra. Gyökérzónás tisztítási rendszer (forrás: EPA NSW 1997)

A gyökérzónás tisztítási rendszer elsődleges célja a finom hordalék és a tápanyag eltávolítása. Előnye, hogy viszonylag jó eltávolítási hatásfokkal működik a csapadékesemények széles tartományában. Élőhelyet, rekreációs lehetőséget és esztétikai értéket egyaránt képvisel, így a többszemponútú tervezés egyik eszköze lehet. Ez a többcélúság egyben növeli a környékbeli terület értékét, ami egyben a csatornarendszer költség-haszon arányát is javítja. Lényeges ezért a környékbeliek és általában az érintettek bevonása a tervezésbe. Meg kell jegyezni, hogy ez a többcélúság ellentmondásba kerülhet az eredeti cél (vízminőség javítás) teljesítésével. Az egyének preferenciái eltérőek lévén az eredetileg maximális eltávolítási hatékonyságra tervezett létesítmény teljesítménye a kompromisszumos megoldás miatt csökkenhet. Ugyanakkor az egyéb igények (rekreációs, esztétikai kívánalmak) teljesítése növeli a projekt elfogadottságát a társadalom részéről. Ezeket a tényezőket a tervezés előkészítő fázisában kell mérlegelni.

A rendszer csökkenti a lefolyás mennyiségét, és csúcs-vízhozamát a tisztítási célon túl. Általában 5–10 hektárnál nagyobb vízgyűjtőterületek esetén alkalmazható (EPA NSW 1997). Eltávolítási hatékonysága az alábbiak szerint alakul:

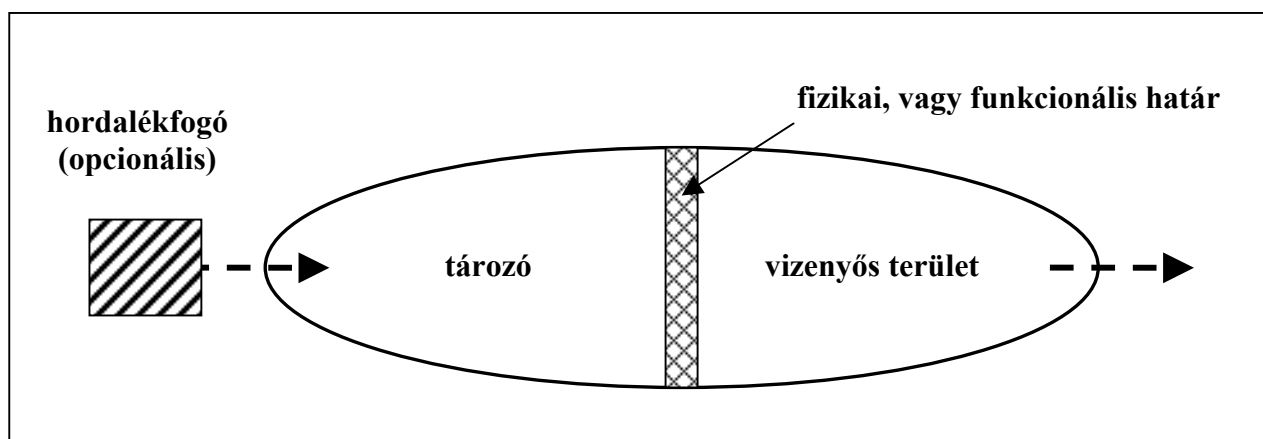
- szemétre alacsony,
- hordalékra közepes-magas,
- tápanyagra közepes-magas,
- oxigén elvonást igénylő szennyezőanyagra közepes-magas,
- olaj és zsíradékra közepes,
- baktériumra közepes.

A rendszer megfelelő működéséhez a durva hordalék eltávolítása szükséges (pl. előkezelés elsődleges módszerrel). Ugyancsak előnyös, ha a szervesanyag bevitelt korlátozzák, hogy csökkenthető legyen a szennyezőanyagok deszorpciója az anaerob hordalékról. Ez leginkább „forráskontrol” megoldásokkal érhető el, pl. a gyepesített felvízi csatornák elkerülésével, (amelyek

fűnyírással járnak). Ha ez nem oldható meg a vízenyős terület méretét kell növelni, a szervesanyag felületi terhelésének csökkentése érdekében.

A stabil vízborítás fenntartásához „megbízható” hozzáfolyás kell, illetve a talajvíz megfelelő magassága biztosíthatja, hogy ne száradjon ki a rendszer. Ez egyben a talajvízzel való kölcsönhatást is jelzi. Ugyanakkor fennáll „szúnyogveszély”, aminek közegészségügyi kockázata is lehet. További hátrány a viszonylagos nagy területigény.

A gyökérzónás csapadékvíz tisztító rendszer két része (esetleg kiegészülve a hordalékfogóval) tisztítási láncot képez (3.42 ábra). A két rész eltérő feladatot tölt be, bár bizonyos tekintetben azonos funkciójuk is van.



3.42 ábra. A gyökérzónás tisztítási rendszer funkcionális vázlata

A tározó feladata, hogy:

- kiülepítse a gyors leülepedésre hajlamos részecskéket és az ezekhez kötődő szennyezőanyagot,
- egy általános szennyezőanyag-nyelőt képezzen,
- szabályozza az üledék oxidáció / redukció folyamatát,
- mennyiségileg szabályozza a lefolyást,
- felületet biztosítson az UV sugárzásnak (baktérium elhalás érdekében),
- a parti sáv makrofita növényei levegőztessék az üledéket, az áramlás lassításával segítsék a leülepedést és csökkentsék a parti eróziót.

A vízenyős terület funkciója:

- az oldott szennyezőanyag adszorpciója és biofilm képződés a makrofita növényzeten,
- biztosítani a finom lebegőanyagok folytatódó leülepedését,
- szabályozni az üledék oxidáció / redukció folyamatát,
- a szerves anyagok átalakítása (labilisról stabil formába),
- alapot biztosítani a biofilm növekedésnek,
- a makrofíták maradványainak akkumulációja,
- további felületet biztosítani az UV sugárzásnak (baktérium elhalás érdekében),
- a vízi állatok életterének biztosítása.

Az épített gyökérzóna egy alkalmazási példáját mutatja a 3.43 ábra (osztrák autópálya menti pihenő vizesblokkjából elfolyó szennyvíz kezelésére).



3.43 ábra. Épített gyökérzóna (fotó : Ligetvári)

A gyökérzónás kezelést nem csupán csapadékvíz, de kommunális szennyvizek tisztítására is alkalmazzák. A növényi ágyak élettartamát, bár 25 évre jelzik, *Juhász* (2003/a) rámutat, hogy azokból a szűrőanyagot 6–8 évenként ki kell termelni, és a vegetációval együtt újra kell telepíteni. Az ágyakból kitermelt anyagot az illetékes szakhatóság könnyen veszélyes hulladéknak minősítheti, melynek kezelése és főleg elhelyezése jelentős költségeken von maga után. A rendszer alkalmazásának felső terhelési határáról németországi tapasztalatok alapján *Bucksteeg* (2003) számolt be. Ennek alapján az mondható, hogy 100 LEÉ-ig minden különösebb fenntartás nélkül, 100 és 1000 LEÉ között a csak részletes vizsgálatok támogatása mellett és ezen érték fölött nem ajánlott a növényágyas szennyvíztisztítás alkalmazása.

3.3.4 Igazgatási–intézményi (nem–szerkezeti) megoldások

A csapadékvíz kártételei (előntés, vízminőség romlás) elleni védekezésnek számos intézményi, jogi, a tervezéshez, karbantartáshoz kötődő stb. módszere létezik, melyek nem igényelnek műtárgyakat, építményeket, azaz szerkezeteket, vagy csak kis mértékben játszanak benne szerepet mérnöki létesítmények. Ezeket a megoldásokat nem-szerkezeti módszereknek, vagy alacsony szerkezeti tartalommal bíró módszereknek nevezik az angol nyelvű irodalomban (non-structural methods, low-structural methods) és növekvő fontosságúnak bizonyulnak napjainkban. Jórészt megelőző jellegűek és ennek folytán igen költség-hatékonyak. Magyarul nem alakult ki még általánosan elfogadott elnevezésük. Mivel a nem-szerkezeti kifejezés némileg bizonytalan, vagy nem egyértelmű az *igazgatási-intézményi módszerek* kifejezést javaslom használni az alább bemutatott esetekben.

Az igazgatási-intézményi módszerek sorába tartozó (*hosszú távú*) tervezés során arra kell törekedni, hogy a vízgyűjtő eredeti jellemzői a lehető legkisebb mértékben változzanak meg a városfejlesztés kapcsán, a természetes hidrológiai és hidraulikai egyensúlyt minél kevésbé zavarják meg. Az előrelátó tervezés figyelembe veszi a természetes vízvezető rendszereket, nem növeli feleslegesen a lefolyás mennyiségét, megőrzi a talajvízdúsítás lehetőségét. A vízgyűjtő minél nagyobb részét tartja meg természetes állapotban, elkerülve a meredek lejtőket és a kiterjedt vízzáró felületeket, minél több vizet irányítva vízáteresztő felületekre, vagy szivárgókba. Ugyanakkor nem von fejlesztésbe olyan területeket, amelyek előntésre érzékenyek, vagy előrelátóan gondoskodik megfelelő védelemről.

Számítógépes modellek gondos használatával megállapíthatók a vízgyűjtő lehetséges válaszai a városfejlesztés különböző változataira. Erre a célra számos alkalmas modell áll rendelkezésre, melyek lefolyás idősorokat és szennyezőanyag árhullámokat egyaránt képesek szimulálni.

Az erózió elleni védelem (növényi és gépi egyaránt) lényeges befolyást gyakorol a befogadó szennyezőanyag terhelésére. A megoldások lehetnek talajtakarás, füvesítés, gyeptéglázás, hordalékfogók alkalmazása, teraszozás, padka kialakítása.

A városi vízgyűjtők felszínének és csatornahálózatának megfelelő karbantartása és tisztítása javíthatja a lefolyás és a befogadó vizek minőségét.

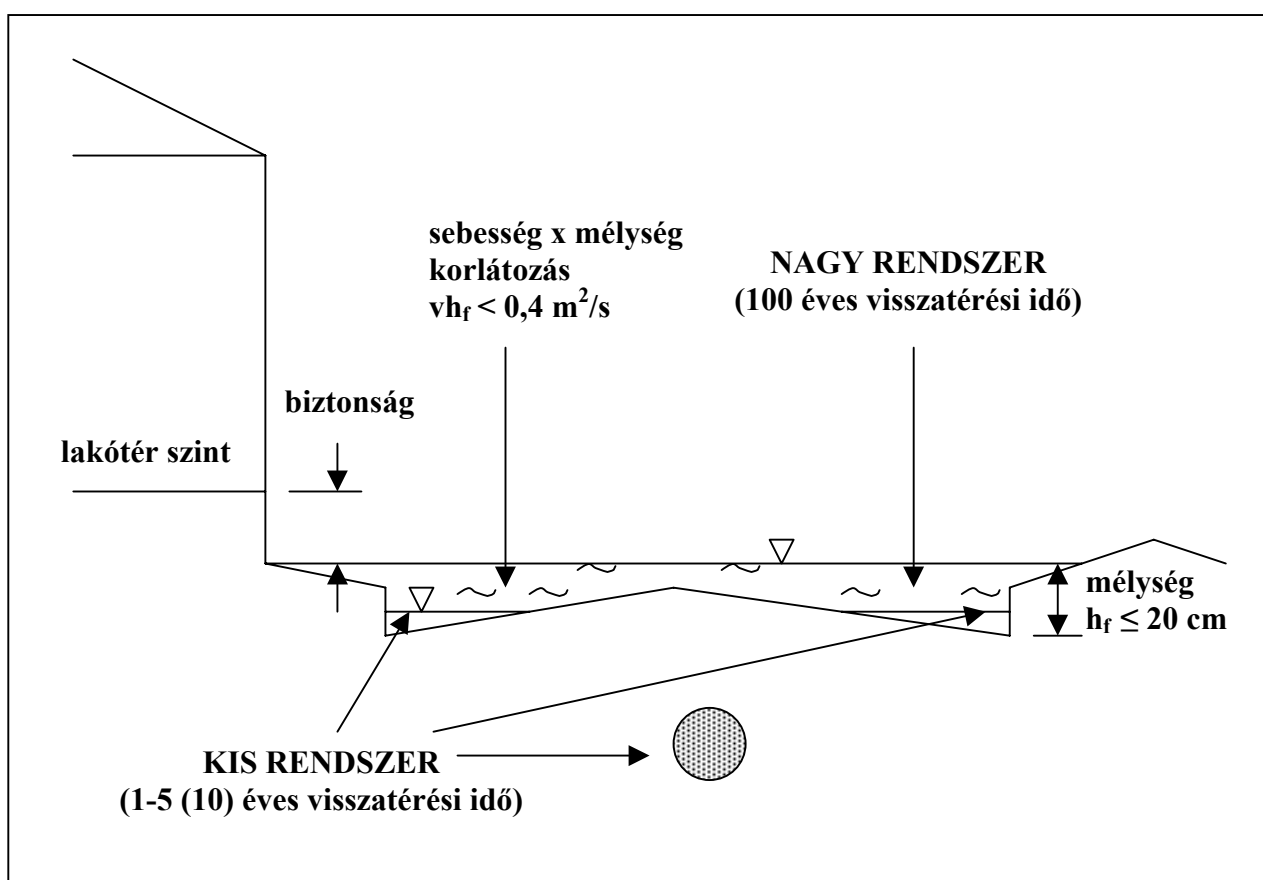
- A szemetelés problémát jelenthet mind fejlett, mind fejlődő országok nagyvárosaiban, csökkentése, csak kisebb mértékben javít a vízminőségen. A szemetelés rossz szokásán környezeti nevelés, szemétyűjtők megfelelő helyre történő kihelyezése és a közvélemény figyelmének felhívása segíthet. Hasonló a helyzet az állati (főleg kutya) ürülékekkel is, melynek eltakarításában a „gazdik” nem szívesen vesznek részt. Jogi eszközök, illetve kihelyezett speciális gyűjtők segíthetnek ennek rendezésében.
- A vegyszerek (csúszásgátló anyagok, gyom- és rovarirtók, műtrágya, olaj stb.) túlzott mértékű és esetenként nem megfelelő alkalmazása felesleges mértékű terhelést okoz. Ezt elkerülendő a használati utasítás fel kell hogy hívja a figyelmet a szer veszélyességére is.
- Az utcasöprés hatékonyságát a 3.2.2 pontban tárgyaltuk. Annak ellenére, hogy az eltávolítás mértéke irodalmi adatok szerint szóródik, hatékony megelőző módszernek tekinthető. A söprés gyakoriságát költség / hatékonyság elemzés alapján határozhatjuk meg. Utcai locsolóautók „bevetése” kiegészítő módszer, bár ez csak ott engedhető meg ahol az így lefolyó vizet kezelik (Buzás és Somlyódy 1997). Budapesten pl. évi 350–750 ezer m³ vizet használnak erre a célra, ami az egy napi lakossági vízfogyasztás nagyságrendje.
- Az úttest karbantartása azért fontos, mert a burkolatról lekopott / levált részecskék egy idő után a lefolyásban jelentkeznek terhelésként.
- A csatornahálózat elemeinek karbantartása. Hordalékfogó akna, ha nem tisztítják ki eső után, jelentős terhelést eredményezhet a következő csapadékesemény során, mert a rothadásban levő iszapot a víz bemossa a csatornába. Az aknatisztításnak ezért különösen nyári időszakban fontos szerepe van. A csatornatisztítás, (különösen kis fenékesés esetén) javítja a csatorna vízvezető képességét és ezáltal csökkenti az előntés-veszélyt és a túlfolyások számát is. A hálózat karbantartása általában csökkenti az első szennyezéshullám káros hatását.

3.3.5 A kettős csapadék–csatornázás

Települések csapadékelvezetésének tulajdonképpen két rendszere létezik. A hagyományosan csatornázásnak tekintett, egy bizonyos visszatérési időre tervezett felszín alatti hálózat, felszíni kiépített csatorna, árok, átereszt stb., illetve az azok kapacitását meghaladó, extrém csapadékesemények lefolyását elvezetni képes felszíni vízvezető elemek. Ezek megfelelő kialakítás

esetén csökkenteni képesek az elöntési károkat azzal, hogy a vizet parkokba, vagy gyéren lakott területekre vezetik. A közterületek ilyen jellegű kialakításához a várostervező és a vízgazdálkodási szakemberek együttműködése szükséges a hosszú távú várostervezés, illetve jelentősebb rekonstrukciós munkák esetén.

Ez az úgy nevezett „kettős csapadék-csatornázás” gondolata, mely Észak-Amerikában már évtizedekkel ezelőtt felvetődött (*Wright-Mc Laughlin* 1968). A koncepció abból indul ki, hogy hagyományos csatornahálózat, a *kis* vagy *kényelmi rendszer* feladata a közlekedés biztonságos körülményeinek biztosítása, maximum 10 év visszatérési idejű csapadékok vizeinek levezetésével, míg a *nagy rendszer* hivatott a 25–100 éves záporsemenyek esetén a vizet levezetni. Ez azt feltételezi, hogy a közlekedési útpályák funkciója kibővül, és a forgalom biztosítása mellett, hangsúlyozottan extrém esetekben, ezek részt vesznek a csapadékvíz elvezetésében (3.44 ábra).



3.44 ábra. A kettős csatornázás koncepciója

A módszer létjogosultságot nyert, főleg gazdasági megfontolásokból és több regionális és városi közigazgatási szervezet előírásaiban szerepel.

A „nagy” rendszer kialakításán (megfelelő kereszt- és hosszirányú lejtések biztosításán) túlmenően fontos, hogy a „kis” rendszer ne kerüljön túlnyomás alá, mert a visszahatások, légzsákok kialakulása miatt romolhat az egész rendszer hatásfoka. Ennek érdekében a nyelők kapacitását a „ritka” események során korlátozni kell. Ez elérhető a rácsozat megfelelő kialakításával, vagy külön korlátozóelemek beépítésével, karbantartási szempontokat is figyelembe véve (*Townsend et al.* 1980). Megállapítást nyert, hogy a rombusz alakú szűkítőelem felel meg a legjobban erre a célra és azóta a kanadai Ontario tartományban ennek a használata terjedt el. Mivel a korábban készített városi hidrológiai-hidraulikai modelleket mind azzal a feltételezéssel fejlesztették ki, hogy a lefolyás csak a kis csatornarendszeren keresztül alakul ki, *Wisner* és *Kassem* (1982) kidolgozták a

kettős csatornázást figyelembe vevő *OTTSWMM* modellt. Ebben a kettős tározás elvét is alkalmazták.

A kettős csatornázás előnyei az alábbiak:

- Védelem a pincék, alagsorok elöntése ellen,
- Pufferhatás a méretezési vízhozam hibás meghatározása esetén,
- Gazdasági haszon a méretek csökkenésén keresztül,
- A kettős záportározás megfelelő alkalmazásával a csúcsvízhozam még a pre-urbanizációs időszak csúcsvízhozama alá is csökkenthető; ez a túlszabályozás a vízgyűjtő alsó részén később kialakítandó városrészek számára lehet hasznos, ugyanakkor a befogadó szempontjából is potenciális hasznot jelenthet,
- A többletköltség minimális, csak a gondosabb tervezés / modellezés pluszköltségét jelenti.

3.3.6 Valós idejű szabályozás

Elsősorban a meglévő (hidraulikai és szennyvíztisztítási) kapacitások jobb kihasználása iránti igény vezetett el a legfejlettebb országokban ahhoz a felismeréshez, hogy a csatornarendszerek hagyományos passzív szerepét, megfelelő körülmények között, felválthatja az aktív, vízkormányzással kiegészített csapadékvíz elvezetés.

Helyi szabályozás esetén fix vagy állítható kapacitású műtárgyat alkalmaznak (mozgatható bukók, zsilipek, szivattyúk). A központi szabályozás az egész rendszerben mért és feldolgozott adatok (szintek, vízhozamok, a szabályozók helyzete, a lehullott csapadék és a pillanatnyi intenzitás stb.) valamint a fizikai törvényszerűségek figyelembe vételével, meglehetősen bonyolult algoritmusú modell alapján, távirányítással működik. Kiegészülhet csapadékradarral és előrejelző almodellel is.

A vízkormányzó műtárgyak és a tározók összehangolt működtetésével elérhető, hogy csökken a befogadóba jutó szennyezőanyag tömege egyrészt a csökkenő kevertvíz kiömlés, másrészt a kiegyenlítettebb szennyvíztelep terhelés eredményeként, csökken továbbá az energiaigény, az emberi beavatkozások szükségessége és az elöntések gyakorisága.

Gyakran az automatikus helyi szabályozás is megfelelő eredményt ad, azonban a teljes rendszer optimális működtetése csak központi, valós idejű szabályozással (real time control, RTC) valósítható meg. Ez képezi jelenleg az üzemeltetési technika csúcsát. Ilyen irányú fejlesztések több világvárosban folynak jelenleg. A berlini hatóságok szigorú előírásokat fogalmaztak meg a két, érzékeny városi befogadó (*Spree* és *Havel* folyók) védelmében, mely szerint 2020-ra az átbukások mennyisége a csapadékból származó lefolyás 25%-a, és a BOI₅, KOI és összes lebegőanyag terhelés az éves csapadékvíz terhelés 20%-a lehet (*Schroeder et al. 2004*). Mivel a város (mintegy 9000 km-es) csatornahálózata egy korábbi tanulmány szerint alkalmas a valós idejű szabályozásra (*ATV 1995*) a megkezdődött nagyszabású rekonstrukció keretében ezt a szabályozást építik ki. Ennek, három részvízgyűjtőn szerzett előzetes tapasztalatai arra mutatnak, hogy, más lehetőségek mellett, a kis fenékesés miatti nagytérű csatornák tározó kapacitását jobban kihasználva a befogadók terhelésének csökkentése érhető el.

Tokióban hasonló eredményeket értek el egy 2100 hektáros, kisesésű vízgyűjtőn kiépített RTC rendszerrel. A túlbukások mértéke 30%-al, míg a BOI 45%-al csökkent (*Masahiro et al. 2004*). Mivel a csatorna-tározás magasabb vízszinteket jelent, az elöntési kockázat csak megbízható üzemelés mellett csökkenthető. A túlbukások még jelentősebb (70%-os) csökkenéséről számol be *Schütze et al. (2004)* egy 2,6 millió dolláros RTC fejlesztésnek köszönhetően, mely a számítások szerint egyébként csak egy 15,5 millió dollár költségű tározóval lehetett volna elérni.

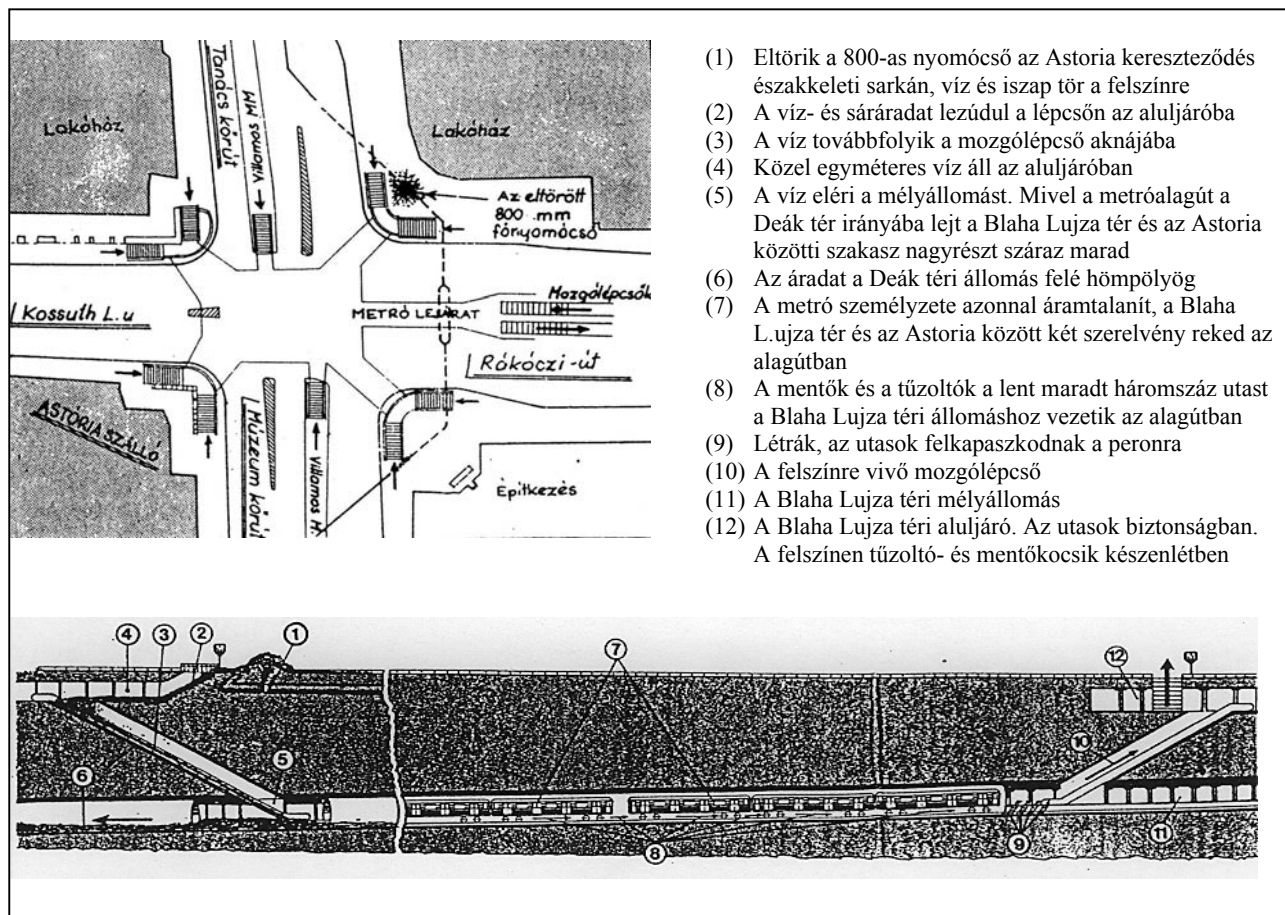
A valós idejű szabályozás alkalmazásával az EU Víz Keretirányelv célkitűzése – a vizek, így a befogadók jó állapotának elérése – is könnyebben teljesíthető, a városi szennyezőanyag terhelések csökkentése révén.

4. A VÍZIKÖZMŰVEK VÁROSTERVEZÉSI, VÁROSGAZDÁLKODÁSI ÖSSZEFÜGGÉSEI

4.1 A városi infrastruktúra veszélyhelyzetei

A városiasodás, a lakosság számának, a népsűrűségnek a növekedése és az emberi tevékenység koncentrációja olyan korábban nem létező veszélyhelyzeteket idéz elő, melynek következményeivel nagyvárosokban számolni kell. Az infrastruktúra különböző elemeinek mérete, sűrűsége és ezeknek a mindennapi élethez való kötődése ma már olyan mértékű, hogy a városi élet elképzelhetetlen nélkülük. Ugyanakkor viszont ezek az elemek (pl. ivóvízhálózat, csatornázás, utak és más közlekedési pályák) potenciális veszélyforrást is jelentenek, melyek létével és hatásaival, beleértve az esetleges katasztrófahelyzeteket is számolni kell.

A városi területeken bekövetkező, tipikusan civilizációs jellegű balesetek, katasztrófahelyzetek jellegzetesen különböznek a természeti katasztrófáktól. Bekövetkezésük tipikusan kötődik valamilyen közmű létesítményhez, és noha térbeli hatásuk általában korlátozott, a nagy népsűrűség miatt a lakosság jelentékeny csoportját érinthetik.



4.1 ábra. Az Astoria csőtörés és a mentés története (forrás: Taraszovits et al. 1992)

Sokak előtt emlékeztet a budapesti Astoria kereszteződésnél 1990. február 1-jén, 11 óra 40-kor bekövetkezett csőtörés. Ennek során egy 800 mm-es nyomócső tört el és a kiömlő nagymennyiségű víz közel 1m-es mélységben elöntötte az aluljárót, ahonnan a metró mélyállomása felé hömpölygött a mozgólépcsőkön. Innen a metróalagút lejtése szerint a víz a Deák tér irányába folyt. Két

szerelvény, háromszáz utassal, az alagútban rekedt az Astoria és a Blaha Lujza tér között. A Belváros közlekedése pillanatok alatt megbénult, nehezítve a mentésre, beavatkozásra a helyszínre irányított brigádok odajutását is. Közvetlen életveszély alakult ki a metróban és közvetett az elárasztott épületekben. A veszélyhelyzeten csak nagy erők összefogásával (tűzoltóság, mentők, rendőrség, vízművek, csatornázási művek, polgári védelem stb.) sikerült úrrá lenni (4.1 ábra). A véletlenek szerencsés összejátszásának köszönhetően személyi sérülés nem történt.

Kevésbé ismert, de tragikusabb baleset történt (az akkori nevén) Lenin körúton 1989-ben. Ekkor a nagykörúti 1200 mm-es nyomócső tört el robbanás-szerűen és olyan kezelhetetlen mennyiségű víz ömlött az utcákra és a környező épületek pincéibe, ami a közlekedés veszélyeztetésén túl két személy halálát is okozta egy pincehelységben. Még súlyosabb tragédia fordult elő a nagykörúti főgyűjtő csatornában az 1960-as években. Egy azóta megszűnt benzinkútról jutott benzin a csatornába, ahol begyulladt, és négy, a közelben dolgozó csatornamunkás halálát okozta.

A nagyátmérőjű csövek töréséből kialakult veszélyhelyzetek a rombolás és az elárasztás következményei. A cső palástján nagy felületű (több m^2 -es) nyílás keletkezhet, melynek következtében a nyomás alatti vezetékből kiömlő vízhozam elérheti az $1\text{--}5 \text{ m}^3/\text{s}$ -ot is. Az elzárás nehézségei miatt (a helyszínre jutás, a nyomáshullám miatti viszonylag lassú zárás, ami a további csőtörés elkerülését szolgálja) ez hosszú ideig fennáll, és nagymennyiségű víz ömlik ki a vezetékből. A tipikus városi monolit-burkolat alatt kezdetben a talaj is nyomás alá kerül, és amikor felszakad komoly romboló hatást fejt ki a környezetében, megrongálódnak a közművezetékek és a felszíni közlekedési eszközök. Egyidejűleg áll fenn robbanásveszély, áramütésveszély, közúti balesetveszély. A talaj kimosása folytán a környező épületek állékonysága is veszélybe kerül. A kiömlő víz elárasztja a mélyen fekvő létesítményeket, mivel ilyen vízhozamot a csatornaszemek nem képesek elnyelni. (Az Astorián kívül a Boráros téri aluljárót is öntötte már el a víz csőtörés miatt.) Közvetlen életveszély alakulhat ki, és nagymértékű károk keletkeznek az ottani létesítményekben (Taraszovits et al. 1992).

A Budapesten 1981 és 1991 között tapasztalt nagyátmérőjű (500 mm vagy nagyobb) csőtörések száma 292 volt, melyből tizenháromat minősítettek katasztrófa-szerűnek (Taraszovits et al. 1992). Ezek kivizsgálása kapcsán levont következtetések szerint:

- Az elhasználódási folyamat előrehaladását a csőtörések gyakoriságának növekedése jelzi. Ennek alakulása a vezeték sajátosságaitól (anyag, csökötések, fektetés stb.) a környező talaj minőségtől, valamint az üzemi körülményektől (nyomás, nyomásingadozás, útburkolat, forgalom stb.) függ;
- A csőtörési statisztikák felhasználásával csőtörés előrejelző modellek készíthetők, de ezek csak a csőtörés valószínűségét képesek előre jelezni, a helyét nem;
- A lemezgrafitos öntöttvas nyomócsövek hajlamosak a robbanás-szerű törésre, melynek során nagy palástfelület nyílik meg, előidézve a rombolással, elárasztással járó állapotot. Kiváltásuk gömbgrafitos öntöttvassal, mely törés esetén is csak repedésszerű kiskeresztmetszetű, tehát fenti veszélyhelyzettel nem járó felülettel nyílik ki, lehetséges. (A nagykörúti 1200 mm-es főnyomó-vezeték, és néhány más, nagyátmérőjű vezeték cseréje azóta meg is történt.);
- Mivel a teljes rekonstrukció (csőcsere) anyagi okokból nem lehetséges rövid időn belül, az elsősorban veszélyeztetett helyekre kell a forrásokat összpontosítani (tizenöt ilyen helyet azonosítottak a Fővárosban, elsősorban olyan aluljárók körzetét, ahol nagyátmérőjű nyomóvezeték húzódik);
- Automata biztonsági zárszerkezetek (mechanikus vagy elektromos) alkalmazása a veszélyeztetett helyek közelében minimalizálhatja a károkozást.

A közelmúlt csőtörései ismételten rávilágítottak a közművek kockázati sajátosságaira és az újabb lendületet vett vizsgálatok a jelenlegi rekonstrukció felülvizsgálatát célozzák. Ennek keretében egy a rekonstrukciós stratégia kialakítását támogató modell kifejlesztésére került sor (Laky et al. 2004).

Miután a kockázat definíciószerűen az esemény bekövetkezésének valószínűsége és az okozott károk szorzata a döntéstámogató modell az ivóvízhálózat vezetékeit egy ennek megfelelően képzett kockázati érték szerint rangsorolja. A vezetékek állapotának értékeléséhez a modell az építési év és a vezetékek anyaga mellett a terhelési viszonyokat, a talajjellemzőket, a korábbi csőtörések tényét és az állapotfelmérések eredményeit veszi figyelembe.

Az okozott károk tekintetében az épített környezet károsítására és az emberélet veszélyeztetésére helyeződik a hangsúly. A környezet veszélyeztetése mellett a víz nélkül maradt fogyasztók száma (és kulcsfontosságú fogyasztók jelenléte), az elfolyt víz mennyisége és a helyreállítás költsége is beépül az „okozott károk” mérőszámába. Harmadik szempont a rendszer hidraulikája, mert adott esetben elképzelhető, hogy felújítás helyett a vezetékek felhagyása a célravezető.

A felújítandó vezetékszakaszok rangsorolása különböző szempontok szerint történhet:

- a kiszámított kockázati értékek szerint,
- a kockázat csökkentés mértéke alapján, amely esetben azon vezetékszakaszok kerülnek előtérbe, ahol az eredeti kockázat és a felújítás utáni kockázat közötti különbség a legnagyobb, és
- a költség hatékonyság szerint, amikor elsőbbséget képez azoknak a vezetékszakaszoknak a felújítása, ahol egységnyi költség ráfordítással a legjelentősebb kockázat csökkentés érhető el.

4.2 A közművek üzemeltetésének helyzete

A vízellátás-csatornázás (V-Cs) kétségkívül az infrastruktúra leginkább létfontosságú eleme. Hiánya súlyos közegészségügyi problémák forrása lehet, ezért a megfelelő szolgáltatás biztosítása a kormányok felelőssége. Ugyanakkor a V-Cs szolgáltatás rendkívül tökeigényes. A hálózat, víztornyok, tározók, tisztítótelepek és a vizes infrastruktúra egyéb elemeinek a kiépítése rendkívül komoly beruházást igényel, melyek azután sok-sok évtizedig kell, hogy működjenek. A nagy beruházási összegekből fakadóan az költségek jelentős része fix és csak kisebb része kötődik a ténylegesen szolgáltatott víz, illetve az elvezetett szennyvíz mennyiségéhez. Ennek ellenére a szolgáltatók bevétele többnyire csak ez utóbbival arányos.

Ugyanakkor a vízellátás-csatornázás szolgáltatása természetes monopólium és a készletek illetve az infrastruktúra tulajdonához kapcsolódik (Hukka és Katko 2003). Ezeknek a javaknak a tulajdonosa akár a közösség, akár magánszemély, monopolisztikus helyzetben van. Emiatt, valamint az egészségi, környezeti és társadalmi vonatkozások miatt, a V-Cs szolgáltatás szabályozása és ellenőrzése feltétlenül szükséges. A szabályozás általában kiterjed a szolgáltatott és az elfolyó víz minőségére, a vízkészletekkel való gazdálkodásra, környezetvédelemre, fogyasztói jogokra, földhasználati kérdésekre. A megfelelő intézményi rendszer feltétele, hogy az ellenőrzési és szolgáltatási funkció szétváljon egymástól.

A városi vízellátás-csatornázás különleges helyzete miatt sokat vitatott kérdés a privatizáció. Támogatói szerint a közszférában nincs verseny, így nincs ösztönzés a takarékos gazdálkodásra sem, ezért az árak irreálisan magasak. A művek privatizációjára az angol modell a legismertebb példa 1989 óta, Margaret Thatcher miniszterelnökhöz kötődően. Tény, hogy a privatizációt követően javult a szolgáltatások színvonala, azonban ez csak az 1989-et közvetlenül megelőző időszakkal összehasonlítva igaz. Korábban, mielőtt a kormány szándékosan nehezítette a gazdálkodási feltételeket, a köztulajdonban lévő művek kielégítő színvonalon dolgoztak (Hukka és Katko 2003). A privatizáció kritizálói szerint a versenyhelyzet csak a koncesszió megszerzéséig tart,

majd ezt követően a magánvállalatok fő célja a profit növelése, a tulajdonosok érdekében. Ha a célokat világosan meghatározzák, egy köz-monopólium hatékonyabban működik, mint egy szabályozott magán-monopólium.

A V-Cs szolgáltatások biztosítására egy másik megoldás a köz- és a magánszféra partnerkapcsolata (az angol elnevezés szerint *Public Private Partnership, PPP*). Erre a példa Franciaország, ahol ezt a gyakorlatot a XIX. század közepe óta követik, és amely hazánkban is teret nyert a rendszerváltást követően. Lényegi különbség a privatizációval szemben, hogy a PPP esetén a vagyoni (nagyobb része) köztulajdonban van. A partnerség egy hosszú távú együttműködést feltételez a város és a magánvállalat között, kölcsönös előnyök és bizalom alapján. A rendszer előnyei az alábbiak szerint foglalhatók össze (Letondot 2002):

- kisebb kockázatokkal járó, magasabb szolgáltatási színvonal, a magáncég globális méreténél fogva elérhető know-how,
- világos felelősség- és feladatmegosztás, (a szerződéses kapcsolat egyszerűsíti a problémákat és az elszámolás ellenőrzését),
- kötelező fenntartási és hatékonysági program,
- a tervezett rekonstrukció lehetősége, új beruházás finanszírozása, a legalacsonyabb vízdíjak elérése.

Franciaországon kívül Spanyolországban az 1990-es évek elejétől hódít teret fokozatosan a PPP, Németországban is vannak rá példák, Olaszországban pedig a közelmúltban történt váltás és gyors PPP fejlődés várható. Magyarországon hat PPP működik a piac több mint 40%-át lefedve. A számos kritika, mely a hazai tevékenységüket illeti, felhívja a figyelmet a szerződéskötéssel kapcsolatos hibákra.

A harmadik ismert modell a finn (vagy finn-skandináv-holland), melyben a tulajdon az önkormányzaté, az üzemeltetést önkormányzati tulajdonú vállalat végzi, és csak az ún. nem törzstevékenységet bízák magáncégekkel. Ez megteremti a versenyt a szolgáltatók és beszállítók között és ezáltal kedvező hatással van az árakra. Valójában ez mutatkozik a leginkább versenyorientált megoldásnak a privatizáció látszatversenyével szemben (Hukka és Katko 2003). Megjegyzendő, hogy a modell sikeréhez valószínűen a finn társadalom kulturális, történeti hagyományai is hozzájárultak, hiszen Finnországot tartják a legkevésbé korrupt országnak (*Transparency International* 2001). Bízónak tűnik, hogy a négy visegrádi ország fővárosa közül Budapest harcol a leghatékonyabban a korrupció ellen – egy nemzetközi felmérés megállapítása szerint, amelyet a cseh GfK és a *Transparency International* közvélemény-kutató intézetek készítettek közösen (Népszabadság online 2004).

Ma már hazánkban is van több éves tapasztalat a magáncégek bevonásának terén a V-Cs szolgáltatásokba. Célszerű lenne összevetni a korábbi célokat és ígéreteket a mai helyzettel.

Az üzemeltető szervezetek szétaprózódása, mely az önkormányzati vagyonátadást követően indult meg nagyságrendi változást hozott a szolgáltatók számában (4.1 táblázat). Ezzel együtt az üzemeltetői struktúra szétaprózódott, a hatékonyság mellett az üzemeltetés szakszerűsége és az ellátás biztonsága is sok esetben veszélybe került. Jellemző, hogy a szervezetek fele csak egyetlen településen szolgált (Somlyódy et al. 2002). Az új üzemeltető szervezetek a cégbíróság bejegyzésével jönnek létre, melynek nem feltétele a feladat ellátására való alkalmasság bizonyítása. Az üzemeltetés biztonságát, főként a kis szolgáltatóknál a szakismeret hiánya mellett az alacsony tőkeellátottság is veszélyezteti. Az ilyen üzemeltetők kritikus helyzetűnek tekinthetők, akiknél bármikor csődhelyzet állhat elő. Ennek áthidalására az ugyancsak rossz anyagi helyzetben lévő, tulajdonos önkormányzatok nem minden esetben lesznek képesek (Somlyódy et al. 2002).

A szolgáltatás biztonságának fenntartása érdekében meggondolandó az üzemeltető szervezetekkel szembeni követelmények szigorítása, figyelembe véve a *Public Private Partnership*, vagy a finn modell lehetőségeit is.

4.1 táblázat. Vízi közművet üzemeltető szervezetek Magyarországon 2002-ben (forrás: OSAP)

Típus	db
Csak vízművet üzemeltető	125
Csak csatornázási művet üzemeltető	50
Víz- és csatornázási művet üzemeltető	194
Összesen	369

5. EREDMÉNYEK

A városiasodás folyamata – minden előnyével és hátrányával – megállíthatatlannak látszik a világban. Az a pusztán tény, hogy ma gyakorlatilag minden második ember városlakó a Földön (ez az arány a fejlett országokban még nagyobb, illetőleg a fejlődőkben meredeken emelkedik), olyan vízgazdálkodási következményekkel jár, melyek kezelése a hagyományostól eltérő felkészültséget, módszereket és szemléletet igényel. A koncentrált vízigények, a kibocsátott szennyvíz, a városi vízgyűjtő gyors válasza a csapadéokra, a felszíni lefolyás szennyezettségének speciális jellege és mértéke, a nagy népsűrűség, a kis területen felhalmozott társadalmi vagyoni értéke, a vizes és más infrastruktúra nagy koncentráltága különleges körülményeket jelent, melyeket a városok vízgazdálkodásával foglalkozó szakembereknek figyelembe kell venniük. A városi vízgazdálkodás összetettségét az adja, hogy nem csupán a vízellátás-csatornázás infrastruktúrájával kell törődni, de a szennyezés csökkentésével, a készletek fenntartható használatával, a felszíni vízmozgással, árvízvédelemmel, a különböző ágazatok közötti koordinálással stb.

Értekezésem célja a városi hidrológia és csatornázás területén lefolytatott kutatási eredményeimre alapozva a bel- és külföldön rendelkezésre álló ismeretek, tapasztalatok, szakirodalom és egyéb tudásanyag rendszerszemléletű összefoglalása és az integrált vízgazdálkodás szellemiségét tükröző bemutatása.

A kutatásban alkalmazott módszer egyrészt a városiasodással együtt járó vízgazdálkodási problémák, azok kapcsolódásai és a jövőben várható változások feltárása, másrészt a megoldásként javasolt eszközök felsorakoztatása volt. Ez magába foglalta a hazánkban nagyobb mértékben még nem alkalmazott technikák számbavételén túl a csapadékvíz mennyiségi és minőségi kezelését egyaránt célzó eljárások rendszerezését, azok kritikai elemzését és gyakorlati felhasználási körének meghatározását. Mivel a bemutatott módszerek elterjedésének egyik gátja a hagyományos döntéshozási és tervezési eljárások „inerciája”, dolgozatomban igyekeztem az érintettek kíváncsiságát szemléletváltást is elősegíteni.

Hazánkban a városias területek kiterjedésének mértéke az agglomerációs gyűrű fejlődésével, a zöldmezős beruházásokkal, bevásárlóközpontok kialakításával, az emberek elővárosokba költözésével növekszik. A javuló komfort újabb problémát jelent a vízgyűjtő eredeti jellemzőinek megváltoztatása miatt. Az önkormányzatok, érthető okokból, nincsenek mindenütt felkészülve a komplex szakmai feladatok ellátására. Ugyanakkor az EU követelményeknek való megfelelés további terheket ró a közösségekre. A hatalmas összegeket felemésztő csatornázási program, melynek véghezvitele a jelen és a közeljövő feladata, számos lehetőséget rejt a csapadékvíz gazdálkodás fenntartható módon történő megvalósítására.

A csapadékvíz elhelyezésével és az azzal való gazdálkodással kapcsolatos problémakör ma már nem csupán a „klasszikus” urbanizációs hatások kompenzálását jelenti. Figyelembe kell venni az éghajlatváltozás, ma kikerülhetetlennek látszó tendenciáját (függetlenül attól, hogy ez természetes, vagy antropogén hatások eredménye). A változások következményeként az időjárási események szélsőségeinek növekedése (extremizáció) várható, mely a települési vízgazdálkodás szempontjából a csapadékok intenzitásának, illetve a lehullott mennyiségnek a növekedésében nyilvánul meg. Ez mintegy szuperponálódik az egyébként is jelen lévő problémákra.

A városi lefolyást kedvezőtlenül befolyásoló hatásokkal szemben a mennyiséget és minőséget egyaránt célzó, integrált szemléletű gazdálkodásra van szükség. A csapadékvíz fenntartható módon történő elhelyezéséhez ma már rendelkezésre állnak az ún. „legjobb gyakorlat módszerei”, melyek alkalmazásával az urbanizációt megelőző időszakhoz közelítő állapotok érhetők el. Az ide tartozó eszközök széles skálája olyan szerkezeti és nem-szerkezeti módszereket fog át, melyek Magyarországon kevéssé ismertek, és még kevésbé használják azokat a gyakorlatban. Rendszerbe foglalt bemutatásuk, a csapadékvíz-elhelyezés (beleértve a széles értelemben vett gazdálkodás minden szempontját), mint fennálló probléma belső kezelésének és kapcsolódásainak átfogó

elemzése mindez ideig hiányzott a hazai szakirodalomból, jóllehet ez nélkülözhetetlen a települési vízgazdálkodás fenntarthatóságának elérése érdekében.

A települési vízgazdálkodás a város komplex gazdálkodási rendszerének része, mely összetettségénél fogva hatásában túlnyúlhat az adott vízgyűjtőn is. A városgazdálkodás különböző elemei kölcsönhatásban vannak egymással, így a vízellátás és a csatornázás hálózatainak és egész rendszerének illeszkednie kell a település szerkezetéhez, adottságaihoz, más infrastruktúrák által meghatározott feltételekhez. A vízellátás-csatornázás hálózata az utakhoz, épületekhez igazodik, a „kettős csatornázás” pedig kifejezetten az útpályák megfelelő kiépítését igényli. Az „élhető város” fogalmához ugyanakkor hozzátartozik a jól működő vizes infrastruktúrán kívül a víz által nyújtott rekreációs és esztétikai érték is. A városi zöldterületi ellátottság számításához meghatározott korrekciós értékek között a vízparti és a vízfelületi faktor magas értéke a rekreációs funkció mellett, a jelentős kondicionáló hatást, a biológiailag aktív felület értékét mutatja. A víz a kultúra része is, és ezen keresztül főleg a településekhez kötődik. A fürdővárosok fogalma, melynek Magyarországon különös jelentősége van, tradicionális kapocs a víz, a rekreáció és az épített környezet között. A zöldfelület gazdálkodás elképzelhetetlen megfelelő vízellátás nélkül. A városgazdálkodás fontos eleme a szemétyűjtés és a hulladékgazdálkodás, különösen a közterületek tisztítása, karban tartása. Ennek a tevékenységnek közvetlen hatása van a felszíni lefolyás, és így a befogadó vízminőségére.

A települési vízgazdálkodás a vízgyűjtő gazdálkodás egyik fontos összetevője, hiszen, a városok koncentrált vízigénye és szennyvízkibocsátása alapvetően befolyásolja az adott vízgyűjtő állapotát. A jövőbeli intézkedési terveknek behatóan kell majd foglalkozniuk a városiasodással összefüggő negatív hatások kompenzálásával.

A kutatás eredményeként egy olyan stratégiai jellegű dokumentum készült, mely segít választ adni a települési vízgazdálkodás előtt álló kihívásokra, különös tekintettel a csapadékvíz elhelyezésének kérdésére, a korunkban tapasztalt éghajlatváltozás következményeinek figyelembe vételével is, és hozzájárulhat a készletek fenntartható használatának eléréséhez. Segítségével a hazai gyakorlatban is megvalósíthatók a

A klímaváltozással összefüggésben meghatározásra került egy olyan tervezési csapadék is, melynek használatával realisabb kép kapható a természetben előforduló csapadékok által kiváltott hatásokról (felszíni és a csatornában történő lefolyás) és így hosszú távon megbízhatóbban működő csatornarendszerek építhetők.

A kutatás eredményeként számos javaslat fogalmazódott meg, melyek úgy a gyakorlat számára, mint a további kutatások irányára vonatkozóan tartalmaznak lényegi elemeket.

5.1 A kutatás eredményeként megállapított új összefüggések és felismerések (tézisek)

1. tézis

Megállapítottam, hogy hazánkban sürgető feladatként jelentkezik a települési csapadékvíz elhelyezésének, kezelésének korszerűsítése, egyrészt mert a korábbi vízi közmű fejlesztések aránytalanságokat eredményeztek, másrészt mert a lakosság életszínvonalának növekedése következtében számos újonnan urbanizált területről kell megoldani a vizek összegyűjtését. A csapadékvíz elhelyezése csak a korábbiaknál sokkal komplexebb szemléletű műszaki irányelveken, adott esetben vizsgálatokon is alapuló tervezéssel hozható összhangba a fenntartható fejlődéssel. Javaslom, hogy a szakterületen hazánkénál több tapasztalattal rendelkező országok elterjedt méretezési módszerei (pl. Haestad, MOUSE, CANOE) minél hamarabb kerüljenek bevezetésre. A megoldást jól szolgálják a fejlett információ-technológiai megoldások, amelyek lehetőséget adnak a korábbinál lényegesen pontosabb döntések előkészítéséhez. Ennek során az analízis, a tervezés, a megjelenítés, a megrendelővel történő megegyezés, de ugyanígy a megvalósítás közös akarat szerint történhessen.

2. tézis

A szélsőséges időjárási jelenségek fokozódására, azok hatásának kezelésére a települési csapadékvíz elvezetésével, illetve elhelyezésével kapcsolatban is fel kell készülni. A méretezés alapjául olyan mértékadó csapadékot szükséges használni, mely az intenzitás időbeli változásának figyelembe vételével realisabban közelíti a valós csapadékokat, és így hosszú távon megbízhatóbban működő csatornarendszerek valósíthatók meg. A települési vízgazdálkodás témakörébe tartozó publikációk elemzése alapján megállapítottam, hogy a lefolyás a különböző városi tevékenységek következtében olyan mértékű terhelésnek van kitéve, amelyek következményeként szennyezettsége meghaladhatja a kommunális szennyvizékét. Mindez a korábbihoz képest módosított megközelítést tesz szükségessé, amely magába foglalja a légkörből kiváló, a felszínen akumulálódó, ill. az elvezető rendszerben felgyülemelő szennyező anyagok figyelembe vételével a csapadékvíz mennyiségi és minőségi kezelését. A városi eredetű környezetterhelés növekvő tendenciája csak összehangolt intézkedésekkel lehet visszafordítható.

3. tézis

A városi lefolyást kedvezőtlenül befolyásoló hatásokkal szemben a mennyiségi és minőségi követelményeket egyaránt kielégítő, integrált szemléletű gazdálkodásra van szükség. A csapadékvíz fenntartható módon történő elhelyezéséhez ma már rendelkezésre állnak az ú.n. „legjobb gyakorlat módszerei”, melyek alkalmazásával az urbanizációt megelőző időszakhoz közelítő lefolyási állapotok érhetők el. Az ide tartozó eszközök széles skálája olyan szerkezeti és nem-szerkezeti módszereket fog át, melyek Magyarországon kevésbé ismertek, és még kevésbé használják azokat a gyakorlatban. Használatukat elősegítendő, rendszerbe foglaltam azokat a megoldásokat, melyek igénybevételére hazánkban is szükség lesz a települések csapadékvízzel kapcsolatos gazdálkodási feladatainak elvégzése során, különös tekintettel az EU Víz Keretirányelvében kitűzött célok megvalósítására, figyelembe véve a klímaváltozás várható hatását is.

4. tézis

Megerősítést nyert, illetve igazoltta vált, hogy az urbanizáció következtében az emberekben egyre inkább jelentkezik a komfort érzetet növelő városi kondicionáló felületek iránti igény, amely növényzettel és vízfelületekkel teremthető meg. Ez utóbbi közvetlenül záportározók létesítésével, míg az előbbiek fenntartása a vizek újrahasznosításával érhető el. Mindkét esetben a műszaki szempontok mellett környezetesztétikai értékek is felmerülnek. A vizek különböző megjelenései közvetve, illetve közvetlenül részévé válnak az „élhető város” szerkezetének, illetve a nemzetközileg elfogadott „legjobb gyakorlat” alkalmazásával eszközei lehetnek a környezeti terhelések csökkentésének. A városi környezet alakításában, a tájépítészeti fejlesztésekben az urbánus és rurális szempontok találkozása, ill. figyelembe vétele helyi és helyközi kapcsolatok megteremtését teszi lehetővé.

5. tézis

Igazoltta vált és megerősítést nyert, hogy a tudományos és korszerű szakmai eredmények következetes kommunikációjával a vízgazdálkodás újszerű értelmezése a lakosság körében egyre inkább elfogadottá válhat. Ennek előfeltétele a kölcsönös bizalom megteremtése. A döntéshozók elhatározásait/ajánlásait az érdekeltek ellenőrzési lehetőségei, az átláthatóság körütekintőbbé, illetve megalapozottabbá teszik. Ez a folyamat akkor igazán eredményes, ha az alulról és felülről jövő kezdeményezések találkoznak és erősítik egymást. Kihatása a csapadékvíz mennyiségi kezelésének megoldásán túl annak minőségi javulásán keresztül is érzékelhetővé válik és hatása hosszú távon érvényesül.

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kutatás eredményeként megfogalmazott új eredmények úgy a gyakorlat számára, mint a további kutatások irányára vonatkozóan mutatják be a fontosnak minősíthető következtetéseket és javaslatokat.

(1) A települési csapadékvíz elhelyezésének, kezelésének kérdésköre, mely jelentőségének megfelelően az iparilag fejlett országokban már több évtizede előtérbe került, a jelenleginél lényegesen több hazai döntéshozói és szakmai figyelmet érdemel, mivel a problémakör mind mennyiségi mind minőségi szempontból fennáll.

A második világháborút követő európai és észak-amerikai fellendülésnek a városiasodásra gyakorolt egyik hatása a csatornák, műtárgyak és egyéb kiegészítő berendezések növekvő méretében jelentkezett. Mivel ezek növekvő költségekkel is jártak, a tervezésben elkövetett hibák, vagy a kisebb pontatlanságok is, jelentős többletköltséget jelenthettek a megvalósítás során. Ráadásul a hagyományos módszerekkel történő méretezés nem volt képes a megváltozott körülmények, például a csatornák tározóképségének figyelembe vételére. Az 1970-es évekre az is kezdett nyilvánvalóvá válni, hogy többek között a motorizáció következtében, a korábban tisztának tekintett felszíni lefolyás szennyezetté vált. A felismerés eredményeként számos kutatás kezdődött, melyek célja a gazdaságos, de mégis biztonságos méretek pontosabb meghatározása, másrészt a szennyezés forrásainak és terjedésének lehatárolása volt. A kétszempon্তু (mennyiségi és minőségi) megközelítés hatására a hidrológiában, a hidraulikában és a vízminőség szabályozásban érintett szakemberek kezdeményezésére 1978-ban konferenciát rendeztek Southamptonban, „Városi csapadékcatornázás” címmel. A siker alapján a fenti szakterületek képviselői elhatározták a korábbi angol-amerikai együttműködés kibővítését és mintegy 20 országra kiterjedő, a városi csapadékcatornázással foglalkozó levelező-hálózat jött létre. Másrészt megfogalmazódott a háromévenként rendezendő, speciálisan ennek a szakterületnek szentelt konferencia-sorozat létrehozása. A sorozat sikerét az a felismerés adta, hogy a korábban elkülönülten dolgozó specialisták számos közös érdeklődésre számot tartó témát találtak. Ennek hatására a két nemzetközi szakmai szervezet (akkori nevükön) Nemzetközi Hidraulikai Kutatási Szövetség (IAHR) és Nemzetközi Vízminőség Védelmi Szervezet (IAWPRC) egy közös bizottságot hozott létre, mely azóta is felügyeli ezeket a növekvő népszerűségű konferenciákat (listájukat az 1.3 alfejezet tartalmazza). A közös bizottság támogatásával más specifikus szakmai események is rendszeresek, melyek növekvő számú résztvevői illetve publikációi arra mutatnak, hogy a szakterület iránt fokozódó érdeklődés nyilvánul meg, elsősorban az iparilag fejlett országokban, de az utóbbi években a fejlődő világból is egyre több cikk érkezik ezekre a rendezvényekre. Ezek közül kiemelendő az 1992 óta rendezett NOVATECH konferencia, ahol 2001-ben és 2004-ben külön szekciót tartottak a fejlődő országok speciális problémáiról. Az utóbbi eseményen, melyen 600 résztvevő regisztrált, a kiadvány terjedelme már elérte az 1700 oldalt. A magyar részvétel, de különösen a hazai eredmények publikálása igen kevés, tükrözve a szakterület háttérbe szorulását. (A tizennégy eseményen megjelent négy dolgozat: Wisnovszky 1978; Gayer 1984; Wisnovszky és Bakonyi 1987 ; Csobod 2001). Ugyancsak kevés a hazai publikáció.

A kutatások és az eredmények alkalmazásának gazdasági haszna és hosszú távú környezeti kihatása a csatornázás jelenlegi fejlesztési üteme mellett nyilvánvaló. A hatalmas összegű beruházásokhoz képest a kutatás-fejlesztés anyagi igényei elhanyagolhatók, ugyanakkor az a megbízhatóbb tervezés és méretezés, a különböző alternatívák tekintetbe vétele jelentős anyagi megtakarítást és a fenntarthatóhoz közelítő megoldásokat képes eredményezni. Utóbbinak a közvetlen haszna nem minden esetben mérhető, de a környezeti elemek védelme, adott esetben rehabilitációja ugyancsak közügy. A külföldi eredmények átvétele, bár számos esetben hasznos, nem mindig eredményes, az eltérő körülmények miatt, vagyis az adaptációt körültekintően kell végezni.

(2) A települési csapadékvíz-kezelés a vízgazdálkodás integrált része, és egyben a városgazdálkodás egyik olyan eleme, mely a település szerkezetét, az ott lakók életminőségét és a mindennapi életvitelt is érinti, így módon a várostervezés fontos tényezőjévé kell váljon Magyarországon is.

A vízgyűjtő, mint a vízgazdálkodásban elfogadott egység, illetve a vízgyűjtő szemlélet mint az integrált vízgazdálkodás alapja, általánosan elfogadott nézetek és az EU Víz Keretirányelvének (VKI) is kiindulópontját képezik. A vízgyűjtő természetes határai általában jelentősen túlnyúlnak az érintett település határain, ugyanakkor a település hatása, mennyiségi és minőségi értelemben egyaránt markánsan jelentkezik a vízgyűjtőn belül, (vagy akár azon túl is, a befogadó tengerben). Ezért a városi vízgazdálkodás szerves részét kell képezze a vízgyűjtő gazdálkodásnak, aminek végső célja az említett irányelv szerint, a vizek jó mennyiségi és minőségi állapotának elérése. A városi hatások figyelembe vétele nélkül mindez nem képzelhető el. Erre utal az a kombinált módszer is, amit a VKI szerint alkalmazni kell a pontszerű és nem-pontszerű szennyezők csökkentésére (kibocsátási határértékek a szennyező-forrásnál ill. vízminőségi célok a víztestekre).

A városgazdálkodás a döntéshozatali cselekvések olyan összetett sorozata, amely magában foglalja a városlakók életfeltételeinek biztosításán keresztül a vízellátás, a szenny- és csapadékvíz csatornázás, a szennyvíztisztítás, vagyis a városi vizes infrastruktúra összes elemét. Ugyanakkor sok más szempontból a vízgyűjtőn kívüli térséghez kötődik. A két gazdálkodási egység, a város érdekszférája és a vízgyűjtőterület metszéspontjában áll a települési vízgazdálkodás, mely mindkét egység szempontjainak meg kell feleljen. Ez csak úgy képzelhető el, ha a várostervezés folyamatába szervesen beilleszkedik a városi vízgazdálkodás, a várostervező a vízgazdálkodási szakemberrel együtt dolgozik a hosszú távú tervek kialakításán. A városképre, a felszín kialakítására pedig a vizes infrastruktúrán belül a csapadékvíz elhelyezésének, illetve elvezetésének van a legnagyobb hatása (nyílt árokrendszer, kettős csatornázás, tározótavak stb.).

A csapadékvíz megfelelő (mennyiségi és minőségi) kezelésének a mindennapi életvitelre gyakorolt hatása az elöntések, a tócsásodás megakadályozása, a higiénikus körülmények és a közlekedés feltételeinek kialakítása, vagyis alapvető hozzájárulás a biztonságos és egészséges életkörülményekhez. Ugyanakkor a csapadékvíz elhelyezésének a fenntarthatóság elveit követő megoldásai esztétikai élményt, rekreációs, kulturális és egyéb lehetőséget is nyújthatnak, vagy éppen riaszthatnak a környéktől, rossz tervezés, kivitelezés, vagy üzemeltetés miatt. A XXI. század „élhető város” fogalmához hozzátartozik a komfortérzet megteremtése is.

(3) A városi vízhasználatok részére rendelkezésre álló készletek fogalmát át kell értékelni, a csapadékvizet és esetenként a szennyvizet is be kell vonni a hasznosítás-újrahasznosítás folyamatába, mely lehetőséget teremt a vízhez kötődő anyagforgalom zártabbá tételére.

A hasznosítható vízkészletek csökkenése világszerte tapasztalható tendencia. A feltételezett éghajlatváltozás várható kedvezőtlen hatása az időjárási szélsőségek gyakoribb előfordulását eredményezheti, mely ugyancsak negatív hatással lesz a készletek elérhetőségére. Ezen túlmenően az ivóvíz ára számos tényező miatt emelkedik, illetve ezzel egy időben a háztartási komfort javulása vízigény növekedését idézi elő. Mindezen tényezők – még a gazdaságilag fejlett országokban is – előtérbe hozták a telken belül lehulló esővíz hasznosításának gondolatát. A csapadékvíz, mely ellentétben a felszín alatti vízzel, nem köztulajdon, alkalmas különböző háztartási és ház körüli vízigény kielégítésére, és mivel kezelése nem igényel különleges képzettséget, alternatív vízkészletet jelenthet az ingatlan tulajdonosa számára. Ennek egyszerűbb esete (öntözés) már tapasztalható, a házon belüli felhasználás technikája pedig kialakulóban van. Megvalósításához elengedhetetlen bizonyos szemléletváltás és technológiai fegyver, tehát a lakosság tájékoztatása, ill. tudatformálás. A hasznosítás mellékhatása a csatornahálózat és a szennyvíztisztító telep tehermentesítése. Az ivóvíz minőségű víz igénybevétele számos esetben (pl. mint szállítóeszköz) nem indokolt, ezért a csapadékvíz helyben történő hasznosítása komoly tartalékokat jelent.

A szennyvíz mint készlet, elsősorban mezőgazdasági hasznosítási lehetőségeket rejt magában, ami a csapadékvíz hasznosításhoz képest jelentősebb szemléletváltás, a lakosság megnyerése révén lehetséges. A szükséges technológia már létezik, illetve fejlődik, viszont beruházás igénye jelentős ezért egyelőre kevés támogatást élvez. A szennyvíz hasznosításával csökkenthető a vízi környezetbe más forrásból bekerülő tápanyag mennyisége, ami elsősorban a foszfor esetében fontos megtakarítást is eredményezhet és csökkentheti a felszíni vizek eutrofizációját, valamint a felszín alatti vizek nitrát szennyezését.

(4) Napjaink technológiai fejlettsége és anyagi forrásai gyakorlatilag nem korlátozzák a klasszikus megoldások alkalmazását, melyből fakadó hátrány, hogy a legjobb gyakorlat módszereinek alkalmazása, melyek hatása nehezen, vagy egyáltalán nem számszerűsíthető, kevés támogatást élvez. Szükséges ezért a fenntartható csapadék-elhelyezés technikájának elterjesztése, az ezzel kapcsolatos rendszerelvű gondolkodás és szemléletváltás.

A tudományos-technikai fejlődés eredményeként a városi vizes infrastruktúra hagyományosan felmerülő kérdéseinek megválaszolására a szakterület művelőinek rendelkezésére áll a megoldások széles választéka. Ezek magas színvonalon, de sok műtárggyal, azaz nagy szerkezeti tartalommal képesek megoldani a csapadékvíz elvezetését a legsűrűbben lakott városrészekből is. Az anyagi lehetőségek, különböző forrásokból, gyakorlatilag szintén rendelkezésre állnak az agglomerációk számára, melyek élnek is a lehetőségekkel. Éppen ezért a természetközeli, nagyobb előrelátást és a tártárcákkal való magasabb szintű együttműködést igénylő megoldások, a csapadékvíz gyors eltávolítása helyett az azzal való racionális gazdálkodás módszerei, nem élveznek prioritást. A gyorsan kimutatható és látványos eredmények elterelik a figyelmet a hosszútávon is fenntartható, ám nem könnyen számszerűsíthető, úgynevezett legjobb gyakorlat módszereinek alkalmazásáról.

A döntéshozók figyelmét rá kell irányítani az elhatározások, ill. a változások hosszú távú következményire és a rövid távú, sokszor csak látszólagos előnyökről történő lemondásra. A szakma felelőssége ennek a lépésnek a megtétele, a fenntartható fejlődéshez való közelítés érdekében.

(5) A városi környezet alakításában, a tájépítészeti fejlesztésekben nagyobb szerepet kell adni a csapadékvíznek, annak elhelyezése, kezelése a városkép alakításában, az esztétikai értékek megjelenítésében speciális szerepet jelenthet.

A városfejlődés negatív hatásai, a zsúfolt, természetidegen betonsivatagok megjelenése még a nagyváros egyéb előnyeit élvező és azokat kedvelő urbánus szemléletű emberek számára is terhesekké válnak. A Budapestről történő kiköltözések is mutatják, hogy az emberek szemléletváltozása komoly kritika a városépítészet számára, mely kevés, vagy legalább is nem elegendő figyelmet szentelt az élhető, emberléptékű város kialakítására, mely képes naponta nyújtani olyan esztétikai, rekreációs élményeket, melyek az emberek fizikai és lelki megújulását segítik. Az élhető város fogalmához a közszolgáltatások biztosításán túl hozzátartozik sok olyan, pénzben alig, vagy egyáltalán nem kifejezhető, de fizikailag megjelenő elem, melyek közül számos kötődik a vízhez. Sok település vízközei, parti elhelyezkedése eleve determinálja a víz kapcsolatát (a vizek városa címért többen is versenyeznek), de ezek távolabbi részei, illetve a felszíni víz közelségével, mint adottsággal nem rendelkező települések is joggal formálhatnak igényt a víz, mint elem megjelenésére, közvetlen, vagy legalább közvetett módon.

A vízfelületek közvetlen megjelenésére lehetőséget kínál a csapadékvíznek a keletkezéshez közeli elhelyezése, esztétikusan kialakított, rekreációs lehetőséget és élőhelyet is biztosító kialakítással. Ez egyben segít a várost – a sokak által elvárt formára – az élő szervezet mintájára kialakítani, melyben a víz, az éltető elem szerepét kapja.

A víz közvetett módon történő megjelenítésére a városi parkok, ligetek szolgálnak, melyek nagy vízfogyasztók, és amelyek vízellátását a száraz időszakban takarékos módon lehet biztosítani csapadékvíz tárolókra alapozva. A készletekkel való ésszerű gazdálkodás egyik kiváló lehetősége a városi környezetben, tehát nagyterjedésű, vízzáró területek közelében, vagy éppen közepén elterülő parkok öntözése, környezetbarát módon megtisztított csapadékvízzel.

Mindkét megoldás alapfeltétele a tájépítészek, a várostervezők és a vízgazdálkodási szakemberek együttműködése. Eredménye pedig a városi és természeti környezet harmonikus kapcsolatának megvalósítása lehet a városlakók érdekében.

(6) A csapadékvíz szennyezettsége esetenként jelentősebb mértékű lehet, mint a kommunális szennyvízé, véletlenszerű előfordulása, stressz-szerű hatással járhat a befogadóra nézve, ezért kezelése mennyiségi és minőségi szempontból egyaránt szükséges.

A városi felszíni lefolyási terület a mindennapi városi tevékenység, építkezések, közlekedés, személtelés stb. következtében szennyezett. Ennek mértéke a megelőző csapadék, illetve az utcák gépi, vagy kézi takarítása óta eltelt idő függvénye, túl azon, hogy a szennyezőanyag források milyen intenzitásúak. Ezért a csapadékvíz a lefolyás első hullámában a felszínről felszedett anyagoktól terhelt szennyezett lehet, különösen hosszabb száraz időszakot követően. Ehhez járul még a csatornában korábban leülepedett anyagok felkeverődése, továbbá a csapadék által átöblített atmoszféra nedves kiülepedéséből származó szennyezés. Az összehatás a lefolyás első időszakában azt eredményezi, hogy a tisztának hitt csapadékvíz a háztartási szennyvíz mértékét meghaladóan szennyezett. Ennek terhelése stressz-szerűen érheti a csak kisebb hígítást biztosítani képes befogadót, ezért a csapadékvíz kezelése minőségi szempontból szükséges. A mennyiségi szempontból történő kezelés, illetve gazdálkodás (tározás) jól kiegészítheti a minőségi jellegű beavatkozást.

(7) A városüzemeltetésben fontos tényezőként kell kezelni a közművek kockázati sajátosságait. Bár a balesetek száma nem közelíti meg pl. a közlekedését, de kockázata nem hagyható figyelmen kívül.

Bár a balesetek be

A települések infrastruktúrája, mely eredendően az ott élők kényelmét hivatott szolgálni, kockázati tényezőt is jelent számukra, melynek tényével kevesen számolnak. A vizes infrastruktúra láthatatlanul behálózza a várost, és ezzel magában hordozza a felette tartózkodók veszélyeztetésének lehetőségét. A vízellátást végző nyomóvezetékek a víz potenciális energiája, a csőtörés esetén adódó romboló hatás révén jelentenek kockázatot. A csatornahálózat pedig kiterjedése miatt akár nagy távolságba is képest egy másutt kialakult veszélyhelyzetet transzportálni. Ezek tudatosítása általánosságban szükséges, míg az egyéneknek az épített környezettel kapcsolatos magatartása több körültekintést igényel. A kockázatok csökkentése pedig a – felelősséggel dolgozó – városüzemeltetés feladata. Ennek során komplex szemlélettel, a városszerkezet figyelembe vételével – a városlakók szempontjaiból kiindulva – kell eljárni.

(8) A települési csapadékvízzel való fenntartható gazdálkodás megvalósítása sokoldalú szemléletváltást igényel, úgy a tervezés-engedélyezés, mint az oktatás-tájékoztatás terén. A megoldandó problémák zömét a megelőző tevékenységek, a társadalom bevonása a döntésekbe és a társadalmi-gazdasági elvárásoknak való megfelelés képezik.

A vízkészletek fenntartható használata fokozott figyelmet igényel a beavatkozók részéről. A döntéshozók mellett a létesítmények tervezői, kivitelezői, az üzemeltetők, a felhasználók a különböző szinteken, az illetékes hatóságok egyaránt érdekeltek abban, hogy a víz, mint véges és sérülékeny elem védelmet kapjon úgy mennyiségét, mint minőségét illetően. Ésszerű használata és

nem elhasználása, a készletek megbecsülése és óvása, a használt víznek a hidrológiai ciklus természetes szakaszába való ártalommentes visszavezetése mindenki érdeke. Ennek a felfogásnak az érvényesítése a települési vízgazdálkodásban, az ott élők nagy száma, és ennek folytán jelentős hatása, befolyása miatt, különösen fontos. Szemléletváltásra van szükség azon túlmenően is, hogy az emelkedő vízdíjak takarékosagra ösztönöznek. A készletek felhasználása, a szennyvíz, illetve a szennyezett csapadékvíz elhelyezése kapcsán. meg kell tanulnunk a víz folytonos áramát, körforgását tekintetbe véve gondolkodni, túl azon a ponton is, amikor a szenny- vagy csapadékvíz eltűnik a lefolyóban/nyelőben. Döntéshozói és tervezői szinten tudatosítani kell a „legjobb gyakorlat” módszereinek hasznát, hosszú távú előnyeit. A szemléletváltáshoz a társadalom megfelelő tájékoztatása, a fiatalok oktatása, képzése szükséges. A víz ügyét úgy kell képviselni, hogy a fenntarthatósággal kapcsolatos ismeretek „átmenjenek a köztudatba”.

A múltban nem volt gyakorlat az állampolgárok bevonása a döntésekbe, még kevésbé az aktív szerepvállalásuk elősegítése. Ennek következtében a felülről jövő kezdeményezések kevés társadalmi támogatást kaptak, még akkor is ha egyébként megfelelték a fenntarthatóság kritériumának. Ugyanakkor a társadalom tagjainak mindennapi életére befolyással van a vizes infrastruktúra kialakítása, az egyes létesítmények telepítése, a megoldási módok, azok karbantartási gyakorlata stb. Ezért joggal várják el, hogy beleszólhassanak a döntésekbe, melyek nem csupán életvitelükre vannak hatással, de adófizetők lévén a finanszírozásban is érintettek. A felelős és érdemleges beleszóláshoz viszont szükséges, hogy tájékozottak legyenek, és megbízható információval rendelkezzenek az adott kérdéskört illetően.

Az a döntés, melynek meghozatalában a társadalom tagjai közreműködtek és véleményük visszatükröződik, az elfogadottá válik és megvalósítása sokkal sikeresebbnek fog bizonyulni, sőt lehetséges, hogy olcsóbb is lesz, mint egy kényszer szülte megoldás.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az urbanizáció elterjedésével a településeken belüli közműhálózatok felértékelődése áll elő. Ez olyan vízgazdálkodási következményekkel jár, melyek kezelése a hagyományostól eltérő felkészültséget, módszereket és szemléletet igényel. A nagy népsűrűség következtében jelentkező koncentrált vízigények, a kibocsátott szennyvíz, a városi vízgyűjtő gyors válasza a csapadékra, a felszíni lefolyás szennyezettségének mértéke, a kis területen felhalmozott társadalmi vagyoni értéke, az infrastruktúra nagy koncentrálttsága olyan mértékű változásokat jelentenek, hogy a települések a vízgyűjtő-gazdálkodás meghatározó tényezőivé váltak.

Az önkormányzatok, érthető okokból, nincsenek mindenütt felkészülve a komplex szakmai feladatok ellátására, ugyanakkor az EU követelményeknek való megfelelés további terheket ró a közösségekre. A hatalmas összegeket felemésztő csatornázási program, melynek véghezvitele a jelen és a közeljövő feladata, számos lehetőséget rejt a csapadékvíz gazdálkodás fenntartható módon történő megvalósítására.

Ezért vált szükségessé a városi hidrológia és csatornázás területén lefolytatott kutatási eredményekre alapozva a bel- és külföldön rendelkezésre álló ismeretek, tapasztalatok, szakirodalom és egyéb tudásanyag rendszerszemléletű összefoglalása és az integrált vízgazdálkodás szellemiségét tükröző bemutatása. Eredményeként olyan stratégiai dokumentum készült, mely segít választ adni a vízgazdálkodás települési vonatkozású kihívásaira, különös tekintettel a csapadékvíz elhelyezésének kérdésére a korunkban tapasztalt éghajlatváltozás következményeinek figyelembe vételével, és amely hozzájárulhat a készletek fenntartható használatának eléréséhez.

A városi lefolyást kedvezőtlenül befolyásoló hatásokkal szemben a mennyiséget és minőséget egyaránt célzó, integrált szemléletű gazdálkodásra van szükség. A csapadékvíz fenntartható módon történő elhelyezéséhez ma már rendelkezésre állnak az ú.n. „legjobb gyakorlat módszerei”, melyek alkalmazásával az urbanizációt megelőző időszakhoz közelítő állapotok érhetők el. Az ide tartozó szerkezeti és nem-szerkezeti módszerek Magyarországon kevésbé ismertek, és még kevésbé használják azokat a gyakorlatban. Rendszerbe foglalt bemutatásuk, a csapadékvíz-elhelyezés (beleértve a széles értelemben vett gazdálkodás minden szempontját), mint megoldásra váró feladat kezelésének és kapcsolódásainak átfogó elemzése mindez ideig hiányzott a hazai szakirodalomból, jóllehet ez nélkülözhetetlen a települési vízgazdálkodás fenntarthatóságának elérése érdekében.

A kutatásban alkalmazott módszer segítségével egyrészt a városiasodással együtt járó vízgazdálkodási problémák, azok kapcsolódásai és a jövőben várható változások feltárása, másrészt a megoldásként javasolt eszközök kauzalitási szempontú értékelése került kidolgozásra. Ez magába foglalta a hazánkban nagyjából még nem alkalmazott technikák számbavételén túl a csapadékvíz mennyiségi és minőségi kezelését egyaránt célzó eljárások rendszerezését, azok kritikai elemzését és gyakorlati felhasználási körének meghatározását. Mivel a bemutatott módszerek elterjedésének egyik gátja a hagyományos döntéshozási és tervezési eljárások „inerciája”, ezért igyekeztem az érintettek kíváncsiságát is elősegíteni.

A klímaváltozással összefüggésben meghatározásra került egy olyan, a csapadék valószínűségét fokozottan alkalmazó méretezési módszer, melynek használatával reálisabb kép kapható a természetben előforduló csapadékok által kiváltott hatásokról és így hosszú távon megbízhatóbban működő csatornarendszerek valószínűsíthetők meg.

A kutatás eredményeként további javaslatok is megfogalmazódtak, melyek a környezetpolitika és a gyakorlat számára, valamint a jövőbeli kutatások irányára vonatkozóan tartalmaznak lényegi elemeket a várostervezés, az esztétika, a készletgazdálkodás, a közművek kockázatai, a tájékoztatás és a társadalom bevonása terén.

SUMMARY

With the increasing urbanization the public utilities get revalued. This results in certain implications related to water management, which require non-conventional knowledge, methods and attitudes to deal with. The concentrated water demand and discharged wastewater due to the high population density, the fast response of the urban catchment to the rainfall, the pollution of the surface runoff, the value of assets and social properties accumulated in small areas, the concentration of the infrastructure represent such important changes that the settlements have become decisive factors of river basin management.

The municipalities, for understandable reasons, are not always prepared for the complex, professional tasks, although meeting the EU requirements imposes further burdens to the communities. The countrywide sanitation programme consuming huge financial resources, is a major task for the present and the near future. It offers numerous possibilities to put sustainable rainwater management into practice.

Therefore, on the basis of the achievements and findings of previous research in the field of urban hydrology and drainage, it has become necessary to systematically assess knowledge, expertise, literature and other types of information available in Hungary and abroad and present them in the spirit of integrated water resources management. As a result a strategic document has been worked out aiming to help address the challenges of urban water management, with special regard to the issue of rainwater disposition, considering also the consequences of the climate change experienced in our era. The document would hopefully contribute to the sustainable use of natural resources.

To compensate for the unfavourable effects on urban runoff, an integrated management, taking into account both quantity and quality aspects, is needed. For the sustainable disposal of rainwater the so-called Best Management Practice (BMP) is nowadays available, with the use of which pre-development conditions can be nearly reached. The structural and non-structural methods belonging to BMP are little known in Hungary and utilised even more rarely in practice. The Hungarian technical literature has so far lacked the comprehensive presentation of these methods as well as the overall analysis of handling rainwater disposal and management (in the widest context) with all linkages and the problems to solve, although this is fundamental in reaching sustainable urban water management.

The methods applied in the study included the review of water management problems associated with urbanization, their interconnections and the changes expected in the future on the one hand, and the evaluation of the recommended tools from causative point of view on the other. The study encompassed the setting-up of an inventory of techniques mostly not applied in Hungary, the systematization of rainwater treatment methods considering both quantity and quality, their critical analysis and the determination of the practical scope of application. Since there is a great deal of “inertia” in the traditional decision making and planning procedures hindering the propagation of the methods presented in the dissertation, the study touches upon the required attitude change of relevant stakeholders.

In connection with climate change a synthetic design storm has been developed, which more realistically mimics advanced rainfall patterns and with the use of which a more correct picture can be achieved of the rainfall-runoff process occurring in nature, therefore drainage systems, more reliably performing in the long term, can be constructed.

As an additional result of the study several recommendations have been formulated for the environmental policy-making, the practice and the direction of further research. They concern city planning, aesthetics, resource management, risks of utilities, information and public involvement.

MELLÉKLETEK

M1 melléklet

Hivatkozások

- 2000/60/EK (2000) A vízügyi politikáról szóló keretirányelv (Víz Keretirányelv, VKI)
- 91/271/EGK (1991) Irányelv települési szennyvízelvezetés és -tisztítás fejlesztéséről
- COM (2002) 581 final Directive of the European Union and of the Council concerning the quality of bathing water 2002/0254
- 98/83/EGK (1998) Irányelv az emberi fogyasztásra szolgáló víz minőségéről
- Alföldi, L. (2003) Gondolatok az éghajlatváltozás hidrológiai, vízgazdálkodási vonatkozásairól. „Agro-21” Füzetek Klímaváltozás-Hatások-Válaszok, 32. szám.
- Ammon, D.C. (1979) Urban Stormwater Pollutant Buildup and Washoff Relationships. Master of Engineering Thesis, University of Florida, Dept of Environmental Engineering Sciences, Gainesville
- Andjelkovic, I. (2001) Guidelines on non-structural measures in urban flood management. Series Technical Documents in Hydrology Serial Number 50. Project IHP-V Project 7. IHP-V Technical Documents in Hydrology No. 45. UNESCO
- Anon, (1977) Control of Reintrained Dust from Paved Streets EPA 907/9-77-007 US EPA Kansas City, Mo.
- Apman, R.P. (1974) The Influence of Urbanization on Stream Channel Behaviour. *Proceedings, National Symposium on Urban Rainfall and Runoff and Sediment Control*, University of Kentucky, July 29-31, 1974.
- APWA (American Public Works Association) (1969) Water Pollution Aspects of Urban Runoff. 11030 DNSO1/69 Environmental Protection Agency.
- Arnell, V. (1982) Rainfall data for the design of sewer pipe systems. Chalmers University of Technology, Dept. of Hydraulics, Report, Series A.8. Göteborg
- Arnell, V. (1984) Rainfall data for the design of detention basins. In: Harremoës, P. (szerk.) *Rainfall as the basis for urban run-off design and analysis*. Pergamon Press
- ATV (1995) Untersuchung zum Steuerungspotenzial von Kanalnetzen. 5. Arbeitsbericht der ATV-Arbeitsgruppe 1.2.4 „Abflusssteuerung in Kanalnetzen“. Korrespondenz Abwasser, 42, No 1, 103-108.
- Argue J.R. (1995). Towards a universal stormwater management practice for arid zone residential developments. *Wat. Sci. Tech.*, **32**(1), 1-6.
- Bartenbach, A. (2001) A Promotional Scheme for Rainwater Utilisation by the Local Authority in Pleidelsheim In: König, K.W.: *The Rainwater Technology Handbook*. Wilo-Brain kiadó, Dortmund
- Bartholy, J. (2004) Az éghajlat változása – bizonyosságok és bizonytalanságok. A Mindentudás Egyetemén elhangzott előadás. 2004. szeptember 13.
- BB-Innovation <http://www.dubbletten.nu/dubblett-systemet/dubblett-systemet.htm>
- Brix, H. (1994) Use of constructed wetlands in water pollution control. *Water Science and Technology*. Vol 30, No 8 pp 209-223

- Brombach, H. és Fuchs, S. (2002) Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen von Trocken- und Regenwetterabflüssen in Misch- und Trennkanalisationen. Abschlussbericht des ATV-DVWK Forschungsfond-Vorhaben 1/01, ATV-DVWK, Hennef.
- Brunner, P.G. (1975) Die Verschmutzung des Regenwasserabflusses im Trennverfahren. Dissertationen. München
- Bucksteeg, K. (2003) Kistelepülések szennyvíztisztításának követelményei Németországban. Előadás IV. Német-Magyar Konferencia, Siófok, 2003. április 1-2.
- Budapest Főváros Általános Rendezési Terve (1993)
- Butler, D. és Maksimovic, M. (1999) Urban water management – challenges for the third millenium. *Progress in Environmental Science* **1** (3), p. 213-235
- Buzás, K. (1978) Tározó műtárgyak térfogatának meghatározása egyesített rendszerű és csapadécsatorna-hálózatokban. *Hidrológiai Közlöny* 8/1978
- Buzás, K. és Somlyódy, L. (1997) Impacts of road traffic on water quality *Periodica Polytechnica Ser. Civil Eng.* Vol. 41, No. 2 pp. 95-106
- Campana, N.A. and Tucci C.E.M. (2001). Predicting floods from urban development scenarios: Porto Alegre. In “*Urban drainage in the humid tropics*”. Tucci (Ed.) UNESCO International Hydrology Programme (IHP-V) Technical Documents in Hydrology, No. 40, Vol. 1, UNESCO, Paris 2001. pp. 186-194.
- Centre d’information sur l’eau (1998) Les usages de l’eau en chiffres. Paris
- Chambers, P.A., Allard, M., Walker, S.L., Marsalek, J., Lawrence, J., Servos, M. Busnarda, J., Munger, K.S., Adare, K., Jefferson, C., Kent, R.A. és Wong, M.P. (1997) Impacts of Municipal Wastewater Effluents on Canadian Waters: a Review. *Wat. Qual. Res. J. Canada*, **32**, 659-713.
- Chocat, B., Krebs, P., Marsalek, J., Rauch, W. és Schilling, W. (2001). "Urban drainage redefined: from stormwater removal to integrated management. *Water Science and Technology* **43**(5): 61-68.
- Chocat B., Ashley, R., Marsalek J., Matos M.R., Rauch W., Schilling W. és Urbonas B. (2004) Urban Drainage - Out-of-sight-out-of-mind? IWA/IAHR Joint Committee on Urban Drainage. NOVATECH 2004 Konferencia kiadványa, Lyon
- COM (2002) 581 final: Directive of the European Parliament and of the Council concerning the quality of the bathing water 2002/0254 (COD)
- Cosgrove, W.C. és Rijsberman, R. (2000) World Water Vision – Making Water Everybody’s Business, *A II. Víz Világforum, Hága*, 2000. március 17-22.
- Csemez, A. (1996) Tájtervezés – tájrendezés, Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Csobod, É. (2001) Innovative technology in environmental education. Innovative Technologies in Urban Drainage – NOVATECH 2001 konferencia kiadványa, Lyon, pp. 451-457.
- Dallaire, G. (1976) Controlling erosion and sedimentation at construction sites. *Civil Engineering* (New York), v 47, n 10, p 73-77, October 1976
- Daughton, C.G. és Ternes, T.A. (1999) Pharmateutical and Personal Care Products in the Environment: Agents of Subtle Change? *Environmental Health Perspectives*, **107**, Suppl. 6, 907.
- Desbordes, M. (1978) Urban Runoff and Design Storm Modelling. In: Helliwell, P.R. (szerk.) *Urban Storm Drainage* PENTECH PRESS London : Plymouth

- Dick, T.M.M. és Marsalek, J. (1979) Importance des charges unitaires de polluants dans le ruissellement urbain d'eaux pluviales Eau du Quebec, Vol. 12, No. 4, p.262-267.
- Dulovics, D., Dulovicsné Dombi, M., és Öllös, G. (1978) A csatornázás korszerű rendszere és kialakításuk szempontjai. Hidrológiai Közöny 8/1978
- Dulovicsné, D.M. (2002) A csatornázás irányzatai. MaSzeSz Hírcsatorna 2002. július-augusztus.
- Dulovicsné, D.M. (2003) Csapadékvízgazdálkodás a környezetterhelés csökkentésének egyik eszköze. MaSzeSz Hírcsatorna 2003. november-december.
- Duncan, H.P. (1999) Urban Stormwater Quality: A Statistical Overview. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Melbourne, Australia, Report 99/3
- Ellis, J.B., Hamilton, R.S. és Roberts, A.H.: (1982) Sedimentary Characteristics of Suspensions in London Stormwater. Sediment Geol., 33, p. 147-154.
- Ellis, J.B: (1986) Pollutional aspects of urban runoff. In: Torno, H.C., Marsalek, J. és Desbordes, M. (szerk.) Urban Runoff Pollution. Heidelberg, FRG, Springer Verlag, NATO ASI series G, Vol. 10. p 1-38.
- Ellis J.B. (1995) Integrated approaches for achieving sustainable development of urban storm drainage. *Water Science and Technology* **32**(1) pp. 1-6.
- Environment Canada (2004) http://www.ec.gc.ca/climate/overview_trends-e.html
- EPA (1994) National water quality inventory. EPA jelentés 841-F-94-002, US EPA, Washington DC, USA
- EPA NSW (1997) Treatment Techniques Managing Urban Stormwater. Environment Protection Authority, New South Wales, Australia
- Európai Környezetvédelmi Ügynökség (2204) www.eea.eu.int
- Falkenmark M. et al.: Water a reflection of land use, Swedish Natural Science Research Council, UNESCO-IHP, 1999
- Fehér F., Horváth J. és Ondruss L. (1986) Területi vízrendezés, Műszaki Könyvkiadó
- FAO (1995) Country Tables – basic data on the agricultural sector, Revo, Roma
- FTV (Földmérés és Talajvizsgáló Vállalat) (1988) Budapest Építéshidrológiai Atlasza Budapest.
- Fujita S. (1998) Towards “zero emissions” in urban drainage works. Innovative Technologies in Urban Storm Drainage – Novatech'98 konferencia kiadványa, Lyon, pp. 209-215.
- Garami, T., Göbel, J. és Páray, Z. (1972) Budapest csatornázása, Pest város 1847. évi csatornázási szabályrendeletének 125 éves évfordulójára. Mezőgazdasági Könyvkiadó
- Gayer, J.A. (1984) On the hydraulic role of manholes in urban storm drainage systems. In: Balmér, P., Malmqvist, P-A. és Sjöberg, A. (szerk.) Urban Storm Drainage. Proceedings of the Third International Conference on Urban Storm Drainage. Göteborg.
- Gayer, J. (1986) Belterületi vízrendezés. VITUKI Témajelentés, Tsz: 7611/2/50
- Gayer J. (1989) A korszerű csapadékcatornázásról Hidrológiai Közöny 3. szám. pp. 133-142.
- Gayer, J. (1990) Főváros kerületek volumetrikus lefolyási tényezőjének meghatározása. VITUKI témabeszámoló. Tsz. 7612/2/1686
- Gayer, J. (1997): A városi csapadékcatornázás jelenlegi helyzetének és várható trendjének áttekintése az iparilag fejlett országok legújabb eredményei alapján. VITUKI Témajelentés 711/2-3439
- Gayer, J., Jolánkai, G., Vermes, L., Rast, W. és Thornton, J.A. (1999) Measurement of nonpoint source pollution (Nempontszerű szennyezés mérése), In: Thornton, J.A., Rast, W., Holland,

- M.M., Jolánkai, G. és Ryding, S.O. (szerk.) Assessment and control of nonpoint source pollution of aquatic ecosystems, a practical approach, Man and the biosphere series, UNESCO
- Geiger, W.F., Marsalek, J., Rawls, W.J. és Zuidema F.C. (szerk.) (1987) Manual on Drainage in Urbanized Areas. Volume I: Planning and Design of Drainage Systems. UNESCO, Paris
- Geiger, W.F. és Hofius, K. (1995) Integrated water management in urban and surrounding areas. In: Niemczynowicz, J. (szerk.) Integrated water management in urban areas. Transtec Publications, UNESCO-IHP
- Girling, C., Kellett, R., Rochefort, J. és Roe, C. (2000) Planning and design guidelines for air, water and urban forest quality green neighbourhoods. Center for Housing Innovation, University of Oregon
- GHK International (2003) Sustainable urban drainage in low-income countries – a scoping study. DFID Engineering Knowledge and Research Project (R8168)
- Gleick, P.H. (1998) *The World's Water 1998-99. The biennial report on Freshwater Resources*. Island Press, ISBN 1-55963-592-4, Washington DC.
- Gleick, P.H., Haas, D., Henges-Jeck, C., Srinivasan, C., Wolff, G, Cushing, K.K. és Mann, A. (2003) Waste Not, Want Not: The Potential of Urban Water Conservation in California. Pacific Institute
- Goettle, A. (1978) Atmospheric contaminants, fallout and their effects on stormwater quality. Prog. Water Tech., 10:455-467
- Grau, A. és Harms, R.W. (1986) Die dezentrale Versickerung von Niederschlagabflüssen. gwf – Wasser/ Abwasser, Heft 7.
- GWP (2000) Integrated Water Resources Management. TAC Background papers no. 4
- Harremoës, P. (1988) Stochastic Models for Estimation of Extreme Pollution from Urban Stormwater Runoff. *Water Research*, **22**, 1017-1026.
- Harremoës, P. (1997) Integrated water and waste management. *Wat. Sci. Tech.* Vol. 35 No. 9. pp. 11-20. Elsevier Science Ltd.
- Hartig, J.H. és Vallentyne, J.R. (1989) Use of an Ecosystem Approach to Restore Degraded Areas of the Great Lakes. *Ambio*, XVIII, 423-428.
- Heaney, J.P. et al. (1975) Urban Stormwater Management Modelling and Decision Making. EPA 670/2-75-022 US Environmental Protection Agency
- Heaney, J.P., Pitt, R., Field, R. és Chi-Yuan Fan (1999) Innovative urban wet-weather flow management systems. National risk management research laboratory office of research and development. U.S. EPA. Cincinnati, OH 45268. EPA 600/R-99/029
- Hengeveld, H.G. (2000) Projections for Canada's climate future: A discussion of recent simulations with the Canadian global climate model. *Climate Change Digest 00-01* Meteorological Service of Canada, Environment Canada, Downsview, Ontario, pp. 53-63.
- Hogland, W. (1979) Snö och snöhantering i Lund vintern 1978-79 Institutionen för teknisk vattenversurslära. Lunds Universitet, Rapport nr. 3025 Lund
- Hogland, W. (szerk.) (1984) SWMM for the selection of stormwater management methods in semi-arid climate. A Lund Egyetemen 1983. június 17-én tartott szeminárium kiadványa
- Horváth L.-né és Wisnovszky I. (2003) A háztetőre hulló csapadékvíz hasznosítása településeken. *Vízügyi Közlemények* 2003. 1. füzet
- Horváth, Zs., Buzás, K. és Jász-Suba, L. (2002) Az Európai Unió környezetvédelmi politikája és annak önkormányzati hatásai. Municipium Magyarország Alapítvány. Budapest

- Houghton, J.Z., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M. van der Lindem, P.J., Da, X., Maskell, K. és Johnson, C.A. (szerk.) (2001) *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*
- Huber, W. (1986) Deterministic Modeling of Urban Runoff Quality. In: Torno, H.C., Marsalek, J. és Desbordes, M. (szerk.) *Urban Runoff Pollution*. Heidelberg, FRG, Springer Verlag, NATO ASI series G, Vol. 10. p. 167-242.
- Huff, F.A. (1967) Time distribution of rainfall in heavy storms. *Water Resources Research*. Vol. 3. No. 4, pp. 1007-1019.
- Hukka, J.J és Katko, T.S. (2003) *Water Privatisation Revisited*, IRC International Water and Sanitation Centre, Delft, The Netherlands
- Hvitved-Jakobsen, T. (1982) The Impact of Combined Sewer Overflows on the Dissolved Oxygen Concentration of a River. *Water Research*, **16**, 1099-1105.
- Ijjas, I. (1997) A mosószeres foszfortartalmának csökkentése a Duna vízgyűjtőterületén. *Vízügyi Közlemények*, LXXIX. évfolyam. 3. füzet.
- Ijjas, I. (1999) Az Európai Unió Vízgazdálkodása (előadásanyag) VITUKI tanfolyam.
- Jolánkai, G. (1985) A Balaton tápanyagterhelésének mérése és vizsgálata, mérlege és modellezése. Zárójelentés. VITUKI témabeszámoló 7612/3
- Juhász E. (1995) Magyarország csatornázási, szennyvíztisztítási, iszapkezelési és elhelyezési keretterve. ÖKO Rt. Munkaszám 212/94.
- Juhász E. (2003/a) Hol és hogyan tisztítsuk a kistelepülések szennyvizeit? MaSzeSz hírsatorna. 2003. szeptember-október
- Juhász E. (2003/b) Magyarország vízi közmű ellátása. *Vízügyi Közlemények* 2003. évi 2. füzet
- Kahrin, V.V. és Zwiers, F.W. (2000) Changes in the extremes in an ensemble of transient climate simulations with a coupled atmosphere-ocean GCM. *Journal of Climate*, **13**, p. 3760-3788.
- Kalmár Györgyné, Mika, J., Schirokné Kriston, I., Schlanger, V., Szentimrey, T. és Wantuchné Dobi, I. (2004) A 2003. év időjárása a XX. század hazai tendenciáinak tükrében. *Vízügyi Közlemények* 2004. 1. szám (sajtó alatt).
- Keifer, C.J. és Chu, H.H. (1957) Synthetic storm pattern for drainage design. *Journals of the Hydraulics Division ASCE*. Vol. 83. No. HY 4.
- König, K.W. (1999) Rainwater in cities: A Note on Ecology and Practice. 11. fejezet a *Cities and the Environment (New Approaches for Eco-Societies)* UN University Japan.
- König, K.W. (2002) *Regenwassernutzung von A-Z*. Mallbeton GmbH Donaueschingen
- Köszegfalvi, Gy. (1997) Településrendszerünk fejlődésének tendenciái. *Tér és Társadalom* 1997/4 pp. 120-132
- Köszegfalvi, Gy. és Loydl, T. (2001) *Településfejlesztés*. ELTE Eötvös Kiadó. p.196.
- Kuichling E. (1898) The relation between the rainfall and the discharge in sewers in populous districts. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, **20**, pp. 1-60.
- Laky, N., Darabos, P., Honti, M. és Somlyódy, L. (2004) A Fővárosi Vízművek részére kifejlesztett kockázatelemző modell bemutatása. A Magyar Hidrológiai Társaság XXII. Vándorgyűlésének kiadványa. Keszthely
- Láng, I., Harnos, Zs. és Jolánkai, M. (2004) Alkalmazkodási stratégiák klímaváltozás esetére: nemzetközi tapasztalatok – hazai lehetőségek. „*Agro-21*” *Füzetek Klímaváltozás-Hatások-Válaszok*, **35. szám**, pp.70-77.

- Latham, B. (1990) *Water Distribution*. Institution of Water and Environmental Management, London
- Lawrence, A.I., Ellis J.B., Marsalek J. Urbonas B. és Phillips B.C . (1999) Total urban water cycle based management. In Joliffe I.B és Ball J.E. (szerk.) *Proceedings of the 8th International Conference on Urban Storm Drainage*, Sydney, pp. 1142-1149.
- Letondot, J. (2002) 'PPP'; Water tariffing & water quality. In: Gayer, J. (szerk.) *Summary Report of the EU Hitachi Science & Technology Forum 25-26 May 2002 Budapest*, "Water Issues and their Impact on European Society"
- Ligetvári, F. (1995) Streamflow protection form ecological point of view. In: Húska, D. (szerk.) *Systems and technologies of environmental improvement and protection*. TEMPUS Joint European Project JEP. No. 4988-94/3
- Ligetvári, F. (1997) Utilization of waste materials in agriculture. Pollution and water resources. Columbia University Seminar Preceedings. *Environmental Protection in Agriculture of the Carpathian Basin*. Vol. XXIX. 1995-97. 169-188 p. Pannon Agricultural University. Faculty of Mosonmagyaróvár and Hungarian Academy of Sciences Agricultural Science Section, Budapest
- Ligetvári, F. (2003) Víz a kertben. In : Csemez, A. (szerk.) *Száz éve született Ormos Imre*. Szent István Egyetem Tájépítészeti, -Védelmi és -Fejlesztési Kar. Budapest
- Lijklema, L., Tyson, J.M. és Lesouf, A. (1993) Interactions between Sewers, Treatment Plants and Receiving Waters in Urban Areas: a Summary of the INTERURBA'92 Workshop Conclusions. *Water Science and Technology*, **27** (12), 1-29
- Lloyd-Davies, D.E.(1906) The elimination of storm water from sewerage systems. *Minutes of Proceedings, Institution of Civil Engineers, London*, 164, pp.41-67.
- Maksimovic, C. és Tejada-Guibert, J.A. (szerk.) (2001): *Frontiers in Urban Water Management, Deadlock or Hope*. UNESCO Paris, IWA Publishing London
- Malmqvst, P.A. (1978) Atmospheric Fallout and Street Cleaning Effects on Urban Storm-water and Snow. *Prag Wat Techn*. 1978. Vol. 10. Nos 5/6 pp 480-505 Pergamon Press, London
- Mándoki, M. (2004) Mándoki Mónika szóbeli közlése a Jolánkai, G. (2003) *A Balaton tápanyagterhelésének mérlege, mérése és modellezése* c. kutatási téma kapcsán végzett, de nem publikált mérésről *VITUKI témabeszámoló 713/3/605301*
- Maneglier H. (1991). *Histoire de l'eau, du mythe à la pollution*. F. Bourin, Párizs.
- Marsalek, J. (1984) Caractérisation du ruissellement de surface d'une zone urbaine commerciale. *Science et Techniques de l'Eau*, Vol. 17, No.2, p.163.167
- Marsalek, J. (1988) Integrated water management in urban areas. In: *Proc. Int. Symp. on Hydrological processes and water management in urban areas*, Invited papers Volume, Duisburg, 1988. április 24-29.
- Marsalek J. & Chocat B. (2001). *International report on stormwater management (SWM) 2nd IWA congress (Berlin)*, 16pp.
- Marsalek, J. és Chocat, B. (2002) *International Report: Stormwater management*. *Water Science & Technology* Vol. 46. No 6-7 pp 1-17 IWA Publishing
- Marsalek, J., Quintin, R. és Savic, D. (2001) Urban water as part of integrated catchment management. In: Maksimovic, C. és Tejada-Guibert, J.A. (szerk.) (2001): *Frontiers in Urban Water Management, Deadlock or Hope (A városi vízgazdálkodás határai, holtpont vagy remény)* UNESCO Paris, IWA Publishing London

- Marshall, R.J. (1980) The estimation and distribution of storm movement and storm structure, using a correlation analysis technique and raingauge data. *Journal of Hydrology*, 48, p. 19-39
- Mashahiro, M., Hiroshi, M. és Kazumasa, I. (2004) Development of the Real-Time Control (TRC) System for Tokyo sewage system. NOVATECH 2004 Konferencia kiadványa, Lyon
- Melanen, M. (1981) Quality of runoff water in urban areas. Helsinki Water Research Institute, National Board of Waters (Publication No. 42.) p.123-190
- MI-10-455/2 (1988) Belterületi vízrendezés. Csapadékvíz elvezető hálózat hidraulikai méretezése. Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Minisztérium Műszaki Irányelvek.
- Mika, J. (2000) Hazai éghajlati forgatókönyvek. In: III. Erdő és Klíma Konferencia Debrecen 2000. június 7-9. p. 9-23.
- Mika, J. (2003) Regionális éghajlati forgatókönyvek: Tények és kétségek. „*Agro-21*” Füzetek *Klímaváltozás-Hatások-Válaszok*, 32. szám.
- Ministry of Construction, Japan (1996) Guideline for the investigation of a basin-wide sewage works
- MOEE (1994) Stormwater Management Practices Planning and Design Manual. Ontario Ministry of Environment and Energy, Environmental Sciences and Standards Division. June 1994
- MSZ EN 752-4 (2000) Települések vízelvezető rendszerei 4. rész: Hidraulikai méretezés és környezetvédelmi szempontok
- Mulvaney T.J. (1851) On the use of self-registering rain and flood gauges in making observations of the relation of rainfall and flood discharges in a given catchment. *Proceedings of the Institute of Civil Engineering of Ireland*, 4, 18-31
- Németh, M. (szerk.) (1996) Magyarország vízgazdálkodása az ezredfordulón KHVM – OVF – VITUKI. Budapest
- Népszabadság on line (2004) V4: Budapest az élen a korrupció leküzdésében (június 30. 17:07) www.nepszabadsag.hu
- Niemczynowicz, J. (1987) Storm Tracking Using Rain Gauge Data. *Journal of Hydrology*, 83, p 135-132.
- Niemczynowicz, J. (1988) Moving Storms as an Areal Input to Runoff Simulation Models. *Proceedings of International Symposium on Urban Hydrology and Municipal Engineering*, Markham, Canada
- Nováky, B. (2002) Az éghajlatváltozás vízgazdálkodási hatásai. In: Somlyódy L. (szerk.) *A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest
- Novotny, V. (1995) Nonpoint pollution and urban stormwater management. Water Quality Management Library Volume 9, TECHNOMIC Publishing Inc.
- Novotny, V. és Kincaid, G.W. (1982) Acidity of urban precipitation and its buffering during overland flow. In : Yen, B.C. (szerk.) *Urban stormwater quality. Management and planning* Water Resources Publications, Littleton, Colorado
- OECD (1999) The Price of Water – Trends in OECD Countries
- Ormos, I. (2000) A kerttervezés elmélete és gyakorlata. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
- Orr, P., Craig, G.R. és Nutt, S.G. (1992) *Evaluation of Acute and Chronic Toxicity of Ontario Sewage Treatment Plant Effluents*. Prepared for MISA Municipal Section, Ontario Ministry of the Environment, Toronto.
- OSAP 1376. elrendelési számú adatlap: A közműves vízellátási és csatornázási tevékenységek főbb műszaki-gazdasági adatai

- Otterpohl, R., Grottker M., Lange J. (1997). Sustainable water and waste management in urban areas. *Wat. Sci. Tech.*, **35**(9), 121-133.
- ÖKO Rt (2001) Az ivóvízminőség-javító program megvalósítása finanszírozási rendszerének kidolgozása (Rákosi, J., Hartwig, L-né és Nádasdy, G.) készült a KöViM megbízásából.
- Öllös, G. (1994) (szerk.) Budapest és térségének integrált vízgazdálkodása (Esettanulmány). BME Vízellátási és csatornázási Tanszék
- Öllös, G. (2000) Csatornázás és szennyvíztisztítás I., K+F eredmények, AQUA Kiadó, Budapest
- Öllös, G. (2003) A vízellátás-csatornázás értelmező szótára, Vízügyi Múzeum, Levéltár és Könyvgyűjtemény, Budapest
- Palkó, Gy. (2004) A Fővárosi Csatornázási Művek Részvénytársaság üzemeltetési területén a szélsőséges időjárási események okozta helyzetek értékelése. „Agro-21” Füzetek *Klíma-változás-Hatások-Válaszok*, 35. szám, pp. 42-44.
- Párkányi, I. (1989) Új utakon a hazai zöldfelületgazdálkodás. Magyar Vízgazdálkodás 89/8.
- Passavant-Roediger cég honlapja: <http://pubs.acs.org/subscribe/journals/esthag-a/35/special/larsen/09larsen.html>
- Pearce, D.W. és Warford, J.J. (1993) *World Without End: Economics, Environment, and Sustainable Development*. Oxford University Press, New York, N.Y.
- Piel, C., Perez, I., és Maytraud, T. (1999) Three examples of temporary stormwater catchments in dense urban areas *Water Science and Technology* Vol. 39 No 2, p. 25-32. IWA Publishing, London
- Pitt, R. (1985) Characterizing and Controlling Urban Runoff through Street and Sewerage Cleaning. EPA 600/2-85/038 (NTIS PB85-186500) Environment Protection Agency, Cincinnati, OH.
- Pratt, C.J. (1999) Use of Permeable, Reservoir Pavement Constructions for Stormwater Treatment and Storage for Re-Use. *Wat. Sci. Tech.*, **39** (5), p. 145-151
- Proctor and Redfern Limited (1981) Stormwater management guidelines. Ministry of Natural Resources. Ontario
- Probáld, F. (1974) Budapest városklímája, Akadémiai Kiadó, Budapest
- Rákosi, J. (2003) AZ EU víz- és csatornaművekre vonatkozó normái és teljesítésük gazdasági kérdései. BME-OMIKK Környezetvédelmi füzetek, Azonosító: 2111
- Rauch, W., Aalderink H., Krebs P., Schilling W., Vanrolleghem P. (1998). Requirements for integrated wastewater models driven by receiving water objectives. *Wat. Sci. Tech.*, **38**(11), 97-104.
- Randall, C.W., Helsel, D.R., Grizzard, T.J., Hoehn, R.C. (1978) The impact of atmospheric contaminants, on stormwater quality in an urban area. *Prog. Water Tech.*, 10:417-431
- Reich, Gy. és Simonffy, Z. (2002) Az integrált vízgazdálkodást támogató magyarországi intézményrendszer. *Vízügyi Közlemények*, LXXXIV. évfolyam 4. szám
- Roche, P-A., Valiron, F., Coulomb, R. és Villessot, D. (2001) Infrastructure integration issues. In: Maksimovic, C. és Tejada-Guibert, J.A. (szerk.) (2001): *Frontiers in Urban Water Management, Deadlock or Hope* UNESCO Paris, IWA Publishing London
- Rochfort, Q., Anderson, B.C., Crowder, A.A., Marsalek, J. és Watt, W.E. (1997) Field Scale Studies of Subsurface Flow Constructed Wetlands for Stormwater Quality Enhancement. *Water Qual. res, J. Canada* **32**, 101-117.
- Sali, E. (1993) Csatornázás. Tervezési segédlet. BME

- Sartor, J.D. és Boyd, G.B. (1972) Water Pollution Aspects of Street Surface Contaminants EPA-R2-72-081 Environmental Protection Agency. Washington D.C.
- Schroeder, K., Pawlowsky-Reusing, E., Gommerly, L. és Phan, L. (2004) Integrated Sewage Management – Development of a global Real Time Control for three interconnected Subcatchments of the Berlin Drainage System. NOVATECH 2004 Konferencia kiadványa, Lyon
- Schueler, T.R., Kumble, P.A. és Heraty, M.A. (1992) A current assessment of urban best management practices, techniques for reducing non-point source pollution in the Coastal Zone. Anacostia Restoration Team, Department of Environmental Program, Metropolitan Washington Council of Governments, Washington D.C.
- Schütze, M., Campisano, A., Colas, H., Schilling, W. és Vanrolleghem, P.A. (2004) Real time control of urban wastewater systems – where do we stand today? *Journal of Hydrology* (megjelenés alatt).
- SEPA (1995) What is the content of sewage from households? Swedish Environment Protection Agency, report no: 4425
- Shaheen, D.G. (1975) Contribution of Urban Roadway Usage to Water Pollution. EPA-600/2-75-004 Environmental Protection Agency. Washington D.C.
- Sifalda, V. (1973) Entwicklung eines Berechnungsregens für die Bemessung von Kanalnetzen. *GWV_Wasser/Abwasser*, 114, H9
- Simonffy, Z. (2002) Vízigények és Vízkészletek. In: Somlyódy L. (szerk.) *A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest
- Somlyódy, L. (1995) Water quality management: can we improve integration to face future problems? *Water Science and Technology*, Vol 31, No 8.
- Somlyódy, L. (2002/a) A hazai vízgazdálkodás és stratégiai kérdései. In: Somlyódy L. (szerk.) *A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest
- Somlyódy L. (2002/b) A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései: összefoglaló. In: Somlyódy L. (szerk.) *A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest
- Somlyódy, L., Buzás K., Clement A. és Licskó I. (2002) Települési vízgazdálkodás. In: Somlyódy L. (szerk.) *A hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései*. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest
- Somlyódy, L. (2003) Az értől az óceánig – a víz a jövő kihívása. *Vízügyi Közlemények* LXXXV. évfolyam 1. szám
- Stahre, P. (1984) Flow equalisation in the sewer system. In: Hogland, W. (szerk.) *SWMM for the Selection of Stormwater Management Methods in Semi-arid Climate*. Proceedings of the Seminar at the University of Lund, Sweden June 17, 1983. Report no 3082 Lund.
- Starosolszky, Ö. (1990) Városi hidrológia és hidraulika. VITUKI témajelentés T.sz.: 6831-2/359
- Starosolszky, Ö. és Gayer J. (1991) Városi csatornahálózatok fejlesztésének stratégiája. VITUKI témajelentés. Tsz. 6831-4/2/1389
- Starosolszky, Ö. és Orlóci, I. (1994) A klímaváltozás hatása a hidrológiai és vízminőségi paraméterekre. VITUKI 59. OTKA tsz. 716/90
- Szamosvári, I. (2000) Removal of heavy metals from urban runoff. Diplomaterv Mälardalens Högskola Västerås, Svédország
- Szalai, S. (2004) szóbeli közlés

- Szilágyi, K. (2003) A zöldterülettől a zöldfelületi és szabadter rendszerig. In : *Csemez, A. (szerk.) Száz éve született -Imre.* Szent István Egyetem Tájépítészeti, -Védelmi és -Fejlesztési Kar. Budapest
- Szlávik, I. és Vermes, L. (1980) A szennyvíziszapok mezőgazdasági elhelyezése céljából beállított kísérletek programja Magyarországon. In : Vermes, L. Es Zurek, J. (szerk.) *Hígrágya, szennyvíz és szennívíziszap mezőgazdasági és erdőgazdasági hasznosítása.* VITUKI Közlemények 26
- Takács, Á., Berke, B. és Gayer, J. (1991): Hungarian experiences of an automatic rain gauge network. *Atmospheric Research*, 27 (1991) Elsevier Science Publishers B.V. Amsterdam
- Tanácsi Végzés (1847) Helyhatósági Szabály a' szabad királyi Pest Város kebelében építendő földalatti csatornák iránt. 1847-ik évi szt. Mihály hó 20-án 16751 sz. a. tanácsi Végzés mellett kiadatott
- Taraszovits, A., Homonnai, A-né, Józsa, I., Gyulafi, Gy. Es Becker, K. (1992) A városi katasztrófhelyzetek vízügyi vonatkozásainak feltárása (Vízellátás), kézirat
- Tassin, B., Mouchel, L.M. és Aires, N. (2004) A posteriori analysis of the design and the maintenance of retention ponds in the Ile-de-France region. NOVATECH 2004 Konferencia kiadványa, Lyon
- Ternes, T.A., Stumpf, M., Mueller, J. Haberer, K., Wilken, R-D. és Servos, M. (1999) Behaviour and Occurrence of Estrogens in Municipal Sewage Treatment Plants – I. Investigations in Germany, Canada and Brazil. *Sci. Total. Environ.* **225**, 81-90.
- Transparency International (2001) Year 2000 Corruption Perceptions Index
- Townsend, D.R., Wisner, P.E., Moss, D.J. (1980) Inlet Control Devices of Stormwater Catchbasins: A Laboratory Study. Canadian Hydrology Symposium 80, Toronto.
- Tucci, C.E.M. (2001). Urban drainage management. In “*Urban drainage in the humid tropics*”. Tucci (Ed.) UNESCO International Hydrology Programme (IHP-V) Technical Documents in Hydrology, No. 40, Vol. 1, UNESCO, Paris 2001. pp.157-176
- UN (1977) Report of the United Nations Water Conference. Mar del Plata, March 14-25, 1977, United Nations Publication E.77.IIA.12, New York
- UN (2002) World Urbanization Prospects: The 2001 Revision. Data Tables and Highlights. New York Population Division, UN Secretariat, Department of Economic and Social Affairs
- UN (2003) Water for People Water for Life, The United Nations World Water Development Report UNESCO Publishing, Berghen Books.
- UNCHS (2001) The State of the World's Cities Report
- UNESCO (1995) Integrated Water Resources Management in Urban and Surrounding Areas UNESCO, Paris
- UNESCO (1987) Manual on drainage in urbanized areas Paris, UNESCO Press (studies and reports in hydrology No. 43)
- Urbonas, B.R., Roesner, L.A. és Guo, C.Y. (1996) Hydrology for optimal sizing of urban runoff treatment control systems *Water Quality International*, 1, 30
- Urcikan, P. és Horvath, J. (1984) Synthetic design storm and its relation to intensity – duration – frequency curves. In: Harremoës, P. (szerk.) *Rainfall as the basis for urban run-off design and analysis.* Pergamon Press

- Uunk, E.J.B. (1983) Pollution in urban runoff. In : Jolánkai, J. és Roberts, G. (szerk.) *Land use impacts on aquatic systems* Proceedings of Project 5 Workshop. Programme on Man and Biosphere, UNESCO-IHP
- Yen, B.C. és Chow, V.T. (1969) A Laboratory Study of Surface Runoff due to Moving Rainstorms. *Water Resources Research*, 5(5) pp. 989-1006.
- Vaes, G. és Berlamont, J. (2004) New Flemish design guidelines for source control. NOVATECH 2004 Konferencia kiadványa, Lyon
- Van der Hoek, J.P. Dijkman, B.J., Terpstra, G.J., Uitzinger, M.J. és van Dillen, M.R.B. (1999) Selection and Evaluation of a New Concept of Water Supply for « Ijburg » Amsterdam. *Wat. Sci. Tech.*, 39 (5), p. 33-40.
- Váradi, F. és Nemes, Cs. (1992) Rövid időtartamú csapadékmaximumok gyakorisága Magyarországon. *Léggör XXXVII. évfolyam* 3. szám. pp 8-13.
- Varga-Haszonits Z. (2003) Az éghajlatváltozás mezőgazdasági hatásának elemzése, éghajlati scenáriók. „Agro-21” *Füzetek Klimaváltozás-Hatások-Válaszok*, 31. szám, p. 9-21.
- Varis O. és Somlyódy L. (1997) Global Urbanization and Urban Water: Can sustainability Be Affordable? *Water Science and Technology*, Vol 35, No 2.
- Vermes, L. (1982) Szennyvíz- és szennyvíziszap hasznosítás I. Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar, Gödöllő
- Vermes, L. (szerk.) (2000) Hogyan dolgozzuk ki az aszály csökkentési stratégiát. ICID útmutató. ICID Magyar Nemzeti Bizottság, Európai Regionális Aszály Munkacsoport.
- VMS 201/1-77 (1977) Vízügyi Műszaki Segédlet. Rövididejű (10–180 perces) csapadékok meghatározása. G 70.
- Wanielista, M.P. (1978) Stormwater Management Quantity and Quality. Ann Arbor Science Publishers Inc., Ann Arbor, Mich.
- Waters, D. (2001) Impact of climate change on urban stormwater infrastructure: Two case studies. M.Sc Thesis, Department of Civil Engineering, Queens University, Kingston, Ontario
- Watt, W.E., Waters, D. és McLean, R. (2003) Climate change and Urban Stormwater Infrastructure in Canada: Context and Case Studies. Toronto-Niagara region Study Report and Working Paper Series, Report 2003-1. Meteorological Service for Canada, Waterloo, Ontario.
- WEHAB Working Group (2002) A Framework for Action on Water and Sanitation Fenntartható Fejlődés Csúcstalálkozó, Johannesburg
- WHO (2001) *Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report* http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/globalassess/en/
- Wisnovszky, I. (1975) A települések csatornahálózatának hidrológiai vizsgálata. Vízügyi Közlemények 1/1975
- Wisnovszky, I. (1978) Results of Investigation for Urban Hydrology in Hungary. In: Helliwell, P.R. (szerk.) *Urban Storm Drainage* PENTECH PRESS London : Plymouth
- Wisnovszky, I. (1984) Belterületi (települési) vízrendezés műveinek hidrológiai és hidraulikai méretezése. VMGT 146. Vízgazdálkodási Intézet, Budapest
- Wisnovszky, I. és Bakonyi, P. (1987) On the error of initial part of stormwater simulation. In : Yen, B.C. (szerk.) *Urban Drainage Hydraulics and Hydrology*. Proceedings of IV Int. Conference in Urban Storm Drainage. Lausanne.
- Wisnovszky, I. (1979) Városi csapadék és lefolyás mérése és értékelése Miskolcon. VITUKI témajelentés

- Wisnovszky, I. (1994) Mérnöki meteorológia. Kézirat
- Wisner, P.E. és Kassem A.M. (1982) Analysis of Dual Drainage System by OTTSWMM. I. Nemzetközi Szeminárium a városi csatornázási rendszerekről, Southampton.
- Wolfe, P. (2000). History of wastewater. World of Water 2000, Supplement to PennWell Magazine, 24-36.
- Wong, T., Breen, P.F., Somes, N.L.G. és Lloyd, S. (2000) Water sensitive road design – design options for improving stormwater quality of road runoff. Co-operative Research Centre for Catchment Hydrology. Technical Report 00/1 Monash University, Australia
- WM-Ekologen <http://www.it.slu.se/ecosan/dubbletten.htm>
- Wright-McLaughlin Engineers (1968) Urban Storm Drainage Criteria Manual. Denver, Regional Council of Governments.
- Zwiers, F.W. és Kahrin, V.V. (1998) Changes in the extremes of the climate simulated by CCC GCM2 under CO₂ doubling. *Journal of Climate*, 11 (9), p. 2200-2222.

M2 melléklet

Példák a víz megjelenésére a városokban

A víz megjelenése a városi köztereken (vagy látogatható muzeális értéket képviselő létesítményekben) rendkívül változatos formát ölthet. Az eltűnőben lévő közutaktól a látványos szökőkutakig az ember kötődését jelzik ehhez az őselemhez és egyben sokat elárulnak az adott település kultúrájáról és persze anyagi helyzetéről is. Mondhatjuk azt, hogy az esztétikai értéket az építmény jelenti, de feltalálták volna a szökőkutat víz nélkül? A leeresztett vízű, egyébként művészi medence is siralmas látványt nyújt amint a száraz falevelet kavargja az alján a szél.

A köznapi ember felüdüléséhez hozzátartozik a víz látványa. Ezt gyakran a csapadék megjelenéséhez kapcsolja. A víz mesterséges megjelenítésével a természetet utánozó formák keletkeznek a körengetegben. Az áramlás képéből a vízelvezető hálózatra asszociálunk.

A következő oldalakon, a teljesség igénye nélkül néhány példát mutatok be, különböző városok eltérő léptékű és jellegű vizes helyszíneiről. A közös bennük nem csupán a H₂O megjelenése, de az emberi szellem jelenléte is. Bízom benne, hogy a képek önmagukért beszélnek.

Budapest: a Gellért téri ivókút

Budapest : a Millenáris park részlete

Brüsszel: szökőkút a Warande park közelében

Lyon: belvárosi szökőkút

Amszterdam: csatorna részlet

Győr: esztétikus záportározó

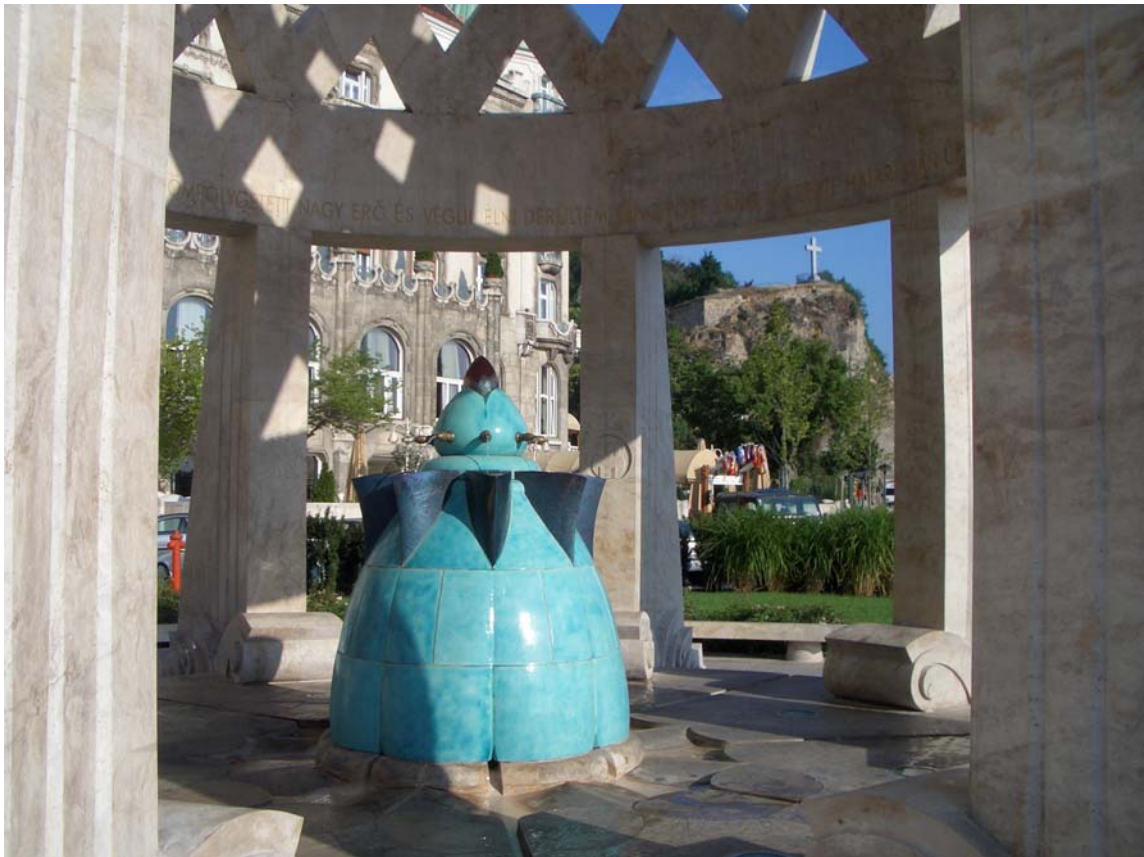
Teherán: az olvadó hólet elvezető nyílt betoncsatorna

Rovaniemi: a víznek a sarkkörön jellemző formája a jég

Kiotó: az Arany pavilon

Stockholm: az óváros a városháza tornyából nézve

A fotókat a szerző készítette.



Budapest



Budapest



Brüsszel



Lyon



Amszterdam



Győr



Teherán



Rovaniemi



Kiotó



Stockholm

M3 melléklet

Köszönetnyilvánítás

Városi csapadécsatornázással, az ezzel kapcsolatos hidrológiával és hidraulikával tulajdonképpen egy véletlennek köszönhetően kezdtem foglalkozni 1981-ben. Az első zökkenők után megfogott a téma sokszínűsége, a kutatással járó változatosság, a munkák jellege és helyszíne tekintetében. Laboratóriumi és helyszíni mérések, íróasztal-tevékenység, megmérettetés hazai és nemzetközi fórumokon, legyen az témavita vagy konferencia, az akkoriban felgyorsuló számítástechnika alkalmazásának lehetőségei, mindezek összessége azt éreztették velem, hogy szerencsés munkatárs vagyok a VITUKI Hidraulikai Intézetének. Nagy lökést adott a szakmai fejlődésben az 1985-ben kapott francia ösztöndíj és az 1986-os kanadai tanulmányút, melyek tapasztalatait talán sikerült a későbbi munkák során a hazai gyakorlat számára is kamatoztatnom.

Ekkoriban számos tapasztaltabb kollégámtól kaptam segítséget itthon is, a különböző, a gyakran több éven át folytatódó kutatások során, elméleti és gyakorlati téren egyaránt, ma már, félek, nem tudnám maradéktalanul felsorolni mindegyikük nevét. Egy kolléga, akkori főnök, talán mondhatom atyai barát támogatását azonban szeretném kiemelni. Starosolszky Ödön – akivel az 1980-as és 1990-es években dolgoztunk együtt, városi vízgazdálkodással összefüggő, de más témákon is – segítsége alapvetően meghatározta szakmai fejlődésemet. Tanácsai, útmutatásai alapvetőnek bizonyultak a kutatások irányának meghatározásánál, melyért rendkívül hálás vagyok. Végtelenül sajnálom, hogy nem láthatja azokat az eredményeket, melyek eléréséhez oly sokkal járult hozzá.

A későbbiek során olyan területen tevékenykedtem, ahol konkrétan a csapadécsatornázással kapcsolatban kevesebb, de az integrált vízgazdálkodást általában érintően bőséggel láthattam jó és rossz példákat. Arra, hogy ezeket a tapasztalatokat a korábban elértekkel ötvözve doktori dolgozatot készítsék, Ligetvári Ferenc bátorítása és segítő támogatása ösztönzött. Témavezetőm támogatása annál is inkább fontos volt, mert „túl az emberöltő útjának felén” nehezen szántam rá magam az újabb iskolai jellegű kihívások vállalására. Nem bántam meg, és hogy ez így alakult abban neki oroszlánrésze volt. Bízom benne, hogy nem voltam túlságosan terhére az elmúlt években és remélem ő is talált örömet a közös munkában.