



LIFE  
**Városi Eső**  
A VÁROSI ESŐ ARANYAT ÉR.

## Tetővíztározók méretezése

Segédlet a tetőfelületekről összegyűjtött  
csapadékvíz hasznosítására szolgáló tározók  
méretezésére

C.3 akció – Városi csapadékvíz lefolyás modellezése  
D.C3.2 Demonstrációs tevékenységek koncepciójának  
kidolgozása, a paraméterek meghatározása

Felelős partner | Trinity Enviro Kft.

Dátum | 2022 március



Az Európai Unió  
társfinanszírozásával

A PROJEKT A MAGYAR ÁLLAM  
TÁRSFINANSZÍROZÁSÁVAL VALÓSUL MEG.

AZ ANYAGBAN LEÍRT VÉLEMÉNYEK KIZÁRÓLAG A LIFE VÁROSI ESŐ PROJEKT PARTNERSÉGÉNEK FELELŐSSÉGI KÖRÉBE TARTOZIK. A MEGÁLLAPÍTÁSOK NEM SZÜKSÉGSZERŰEN TÜKRÖZIK A FINANSZÍROZÓ SZERVEZETEK ÁLLÁSPONTJÁT. A FINANSZÍROZÓK NEM TEHETŐEK FELELŐSSÉ AZ ITT KÖZÖLT TARTALMAK BÁRMILYEN FELHASZNÁLÁSÁÉRT.

## SUMMARY

In the present study (Guide to optimal sizing of storage tanks and cisterns for rooftop rainwater harvesting), a generally applicable volume sizing method for roof water reservoirs for irrigation purposes has been developed. The guide can be used to determine the volume of the reservoir as a function of the available roof and irrigation surfaces at a given site. An important consideration in determining the volume is the efficiency of the reservoir, which is given by the amount of water demand that can be met at a given volume. A large number of dynamic water balance calculations were performed assuming different roof sizes and different water demands (mainly irrigation water) and the reservoir efficiency was analysed for each scenario. Based on the results, an easy-to-use relationship was developed to estimate the optimal storage volume for water retention given the roof area and water demand. The calculations in this guide are made for Budapest and can therefore be used to determine reservoir sizes in this area.

Future expected changes in the efficiency of reservoirs meeting irrigation water demand were also estimated in the light of expected climate changes. Efficiency changes were determined for the Budapest area using climate coefficients calculated for two time horizons (~2030-2050 and ~2050-2070).

## TARTALOMJEGYZÉK

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | JOGNYILATKOZAT .....  | 4  |
| 2     | BEVEZETÉS .....   | 4  |
| 3     | ÖSSZEFOGLALÁS .....   | 4  |
| 4     | A SEGÉDLET ÁLTALÁNOS BEMUTATÁSA .....   | 10 |
| 4.1   | A SEGÉDLET CÉLJA, EREDMÉNYEI .....  | 10 |
| 4.2   | A SEGÉDLETBEN BEMUTATOTT MÉRETEZÉSI MÓDSZEREK ALKALMAZHATÓSÁGA .....  | 10 |
| 5     | A TÁROZÁSRÓL ÁLTALÁBAN .....  | 10 |
| 6     | A TÁROZÓKRÓL ÁLTALÁBAN.....   | 11 |
| 6.1   | A TÁROZÓ, MINT SZERKEZET.....   | 11 |
| 6.2   | A TALAJ, MINT TÁROZÓTÉR .....   | 11 |
| 7     | A TÁROZÓ MÉRETÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK .....   | 12 |
| 7.1   | A TÁROZÓ HIDRAULIKAI TERHELÉSE .....  | 12 |
| 7.2   | A TÁROLT VÍZ HASZNOSÍTÁSA .....   | 12 |
| 8     | ÖNTÖZÉSI VÍZIGÉNYT KISZOLGÁLÓ TETŐVÍZTÁROZÓK MÉRETEZÉSE.....  | 14 |
| 8.1   | MÓDSZER 1: ÖNTÖZÉSI VÍZIGÉNYT KISZOLGÁLÓ TETŐVÍZTÁROZÓK MÉRETEZÉSE ISMERT VÍZIGÉNYEK ESETÉN<br>14                       |    |
| 8.1.1 | A MÓDSZER ALKALMAZÁSI TERÜLETÉNEK RÖVID LEÍRÁSA .....   | 14 |
| 8.1.2 | A MÉRETEZÉSI GÖRBÉK MEGHATÁROZÁSÁNAK MÓDSZERTANA .....  | 14 |
| 8.1.3 | AZ ÉV MINDEN NAPJÁN KIVEENDŐ (HASZNOSÍTANDÓ) VÍZIGÉNY .....   | 16 |
| 8.1.4 | A VEGETÁCIÓS IDŐSZAKBAN KIVEENDŐ (HASZNOSÍTANDÓ) VÍZIGÉNY .....   | 16 |
| 8.1.5 | A SZÁMÍTÁSOK ALKALMAZHATÓSÁGI TARTOMÁNY .....   | 18 |
| 8.2   | MÓDSZER 2: VÁROSI ZÖLDFELÜLETEK ÖNTÖZŐVÍZIGÉNY KIELÉGÍTÉSÉRE SZOLGÁLÓ TETŐVÍZTÁROZÓK<br>MÉRETEZÉSE .....                | 18 |
| 8.2.1 | A MÓDSZER ALKALMAZÁSI TERÜLETÉNEK RÖVID LEÍRÁSA .....   | 18 |
| 8.2.2 | A SZÁMÍTÁS KIINDULÓ ADATAI .....  | 18 |
| 8.2.3 | A SZÁMÍTÁS MÓDSZERTANÁNAK LEÍRÁSA.....  | 19 |
| 8.2.4 | A TÁROZÓ TÉRFOGATÁNAK MEGHATÁROZÁSA .....   | 21 |
| 8.2.5 | MINTAPÉLDA A TÁROZÓ TÉRFOGATÁNAK MEGHATÁROZÁSÁRA.....   | 22 |
| 9     | AZ ÉGHAJLTAVÁLTOZÁS HATÁSÁNAK BECSLÉSE AZ ÖNTÖZŐVÍZIGÉNY KIELÉGÍTÉSÉRE SZOLGÁLÓ TÁROZÓK<br>HATÉKONYSÁG VÁLTOZÁSÁRA..... | 23 |
| 9.1   | A FELADAT HÁTTERE ÉS CÉLJA .....  | 23 |
| 9.2   | MÓDSZERTAN / FELADATOK .....  | 23 |
| 9.2.1 | KLÍMASZORZÓ SZÁMÍTÁSI MÓDSZERTANA.....  | 23 |
| 9.2.2 | KLÍMASZORZÓK MEGHATÁROZÁSÁRA KÉT TÁVLATI IDŐTÁVRA (~2030-2050 és ~2050-2070) .....                                      | 24 |
| 9.3   | EREDMÉNYEK .....  | 24 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 10   | HIVATKOZÁSOK.....   | 24 |
| 11   | SEGÉDTÁBLÁZATOK.....  | 26 |
| 11.1 | MÉRT IDŐSOROKBÓL A JELEN IDŐSZAKRA (~2001-2021) MEGHATÁROZOTT TÁROLÓ HATÉKONYSÁG TÁBLÁZATOK.....                                      | 26 |
| 11.2 | TÁROLÓ HATÉKONYSÁG VÁLTOZÁS SZÁMÍTÁSÁHOZ SZÜKSÉGES SZORZÓKAT TARTALMAZÓ TÁBLÁZATOK - JELEN ÉS JÖVŐ KÖZÖTT (~2001-2021~2030-2050)..... | 30 |
| 11.3 | TÁROLÓ HATÉKONYSÁG VÁLTOZÁS SZÁMÍTÁSÁHOZ SZÜKSÉGES SZORZÓKAT TARTALMAZÓ TÁBLÁZATOK - JELEN ÉS JÖVŐ KÖZÖTT (~2001-2021~2050-2070)..... | 34 |

## ÁBRAJEGYZÉK

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1. | ÁBRA – A TÁROZÓ TÉRFOGATÁT MEGHATÁROZÓ VÍZFORGALMI TÉNYEZŐK.....   | 13 |
| 2. | ÁBRA – TÁROZÁSI GÖRBÉK EGY 200 M <sup>2</sup> -ES TETŐFELÜLET ESETÉN, AZ ÉV MINDEN NAPJÁN TÖRTÉNŐ VÍZHASZNÁLAT ESETÉN..... | 15 |

## TÁBLÁZATJEGYZÉK

|     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.  | TÁBLÁZAT – 44121 ÁLLOMÁS ESETÉRE SZÁMOLT TÁROLÓ HATÉKONYSÁG ÉRTÉKEK [%] – TÉNYLEGES JELEN HATÉKONYSÁG.....  | 26 |
| 2.  | TÁBLÁZAT – 44165 ÁLLOMÁS ESETÉRE SZÁMOLT TÁROLÓ HATÉKONYSÁG ÉRTÉKEK [%] – TÉNYLEGES JELEN HATÉKONYSÁG.....  | 27 |
| 3.  | TÁBLÁZAT – 44505 ÁLLOMÁS ESETÉRE SZÁMOLT TÁROLÓ HATÉKONYSÁG ÉRTÉKEK [%] – TÉNYLEGES JELEN HATÉKONYSÁG.....  | 28 |
| 4.  | TÁBLÁZAT – 44527 ÁLLOMÁS ESETÉRE SZÁMOLT TÁROLÓ HATÉKONYSÁG ÉRTÉKEK [%] – TÉNYLEGES JELEN HATÉKONYSÁG.....  | 29 |
| 5.  | TÁBLÁZAT – 44121 ÁLLOMÁS ESETÉRE SZÁMOLT TÁROLÓ HATÉKONYSÁG VÁLTOZÁSOK – $K_{\text{HATÉKONYSÁGVÁLTOZÁS}}$ SZORZÓ ÉRTÉKEI (REGIONÁLIS KLÍMAMODELL EREDMÉNYEK 5. PERCENTILISE)..... | 30 |
| 6.  | TÁBLÁZAT – 44165 ÁLLOMÁS ESETÉRE SZÁMOLT TÁROLÓ HATÉKONYSÁG VÁLTOZÁSOK – $K_{\text{HATÉKONYSÁGVÁLTOZÁS}}$ SZORZÓ ÉRTÉKEI (REGIONÁLIS KLÍMAMODELL EREDMÉNYEK 5. PERCENTILISE)..... | 31 |
| 7.  | TÁBLÁZAT – 44505 ÁLLOMÁS ESETÉRE SZÁMOLT TÁROLÓ HATÉKONYSÁG VÁLTOZÁSOK – $K_{\text{HATÉKONYSÁGVÁLTOZÁS}}$ SZORZÓ ÉRTÉKEI (REGIONÁLIS KLÍMAMODELL EREDMÉNYEK 5. PERCENTILISE)..... | 32 |
| 8.  | TÁBLÁZAT – 44527 ÁLLOMÁS ESETÉRE SZÁMOLT TÁROLÓ HATÉKONYSÁG VÁLTOZÁSOK – $K_{\text{HATÉKONYSÁGVÁLTOZÁS}}$ SZORZÓ ÉRTÉKEI (REGIONÁLIS KLÍMAMODELL EREDMÉNYEK 5. PERCENTILISE)..... | 33 |
| 9.  | TÁBLÁZAT – 44121 ÁLLOMÁS ESETÉRE SZÁMOLT TÁROLÓ HATÉKONYSÁG VÁLTOZÁSOK – $K_{\text{HATÉKONYSÁGVÁLTOZÁS}}$ SZORZÓ ÉRTÉKEI (REGIONÁLIS KLÍMAMODELL EREDMÉNYEK 5. PERCENTILISE)..... | 34 |
| 10. | TÁBLÁZAT – 44165 ÁLLOMÁS ESETÉRE SZÁMOLT TÁROLÓ HATÉKONYSÁG VÁLTOZÁSOK – $K_{\text{HATÉKONYSÁGVÁLTOZÁS}}$ SZORZÓ ÉRTÉKEI (REGIONÁLIS KLÍMAMODELL EREDMÉNYEK 5. PERCENTILISE)..... | 35 |
| 11. | TÁBLÁZAT – 44505 ÁLLOMÁS ESETÉRE SZÁMOLT TÁROLÓ HATÉKONYSÁG VÁLTOZÁSOK – $K_{\text{HATÉKONYSÁGVÁLTOZÁS}}$ SZORZÓ ÉRTÉKEI (REGIONÁLIS KLÍMAMODELL EREDMÉNYEK 5. PERCENTILISE)..... | 36 |
| 12. | TÁBLÁZAT – 44527 ÁLLOMÁS ESETÉRE SZÁMOLT TÁROLÓ HATÉKONYSÁG VÁLTOZÁSOK – $K_{\text{HATÉKONYSÁGVÁLTOZÁS}}$ SZORZÓ ÉRTÉKEI (REGIONÁLIS KLÍMAMODELL EREDMÉNYEK 5. PERCENTILISE)..... | 37 |

## 1 JOGNYILATKOZAT

Jelen dokumentum az EU 2021–2027 LIFE programja, valamint a Magyar Állam támogatásával megvalósuló „LIFE20 CCA/HU/001774 LIFE in Runoff – VárosiEső” projekt Támogatási Megállapodásában megfogalmazottak szerint és alapján készült a Trinity Enviro Kft. által. A készítő határozottan kijelenti, hogy jelen munka a Támogatási Megállapodásban meghatározott célok elérésének érdekében és szellemében, valamint a projektben résztvevő partnerekkel tartott rendszeres értekezleteken jelzett szempontok figyelembevételével készült.

## 2 BEVEZETÉS

Ez a dokumentum a LIFE20 CCA/HU/001774 LIFE in Runoff – VárosiEső projekt „C.3 Városi csapadékvíz lefolyás modellezése” akciójának keretében előállítandó, „D.C.3.2 Demonstrációs tevékenységek koncepciójának kidolgozása, a paraméterek meghatározása” megnevezésű eredménytermék (deliverable) részét képezi.

## 3 ÖSSZEFOGLALÁS

### 3.1 HÁTTÉR

A csapadékvíz-gazdálkodás, benne a települési csapadékvíz-gazdálkodás egyik hatékony eszköze a tározás. A tározást a csapadékokból keletkező lefolyások módosítására alkalmazzuk. Az alkalmazás két időléptékben szokásos: (i) rövid, városi környezetben legfeljebb néhány órás időléptékben az egyes csapadékesemények alatt, és (ii) hosszú időléptékben, többnyire hetes, hónapos léptékben, amikor a hosszú, csapadékmentes időszakok során keletkező vízigényeket kívánjuk kielégíteni a visszatartott csapadékvízből.

A tározók térfogatának megválasztása több szempont szerint történhet: a tározó funkciója mentén értelmezett működési hatékonyság (például az éven belül jelentkező öntözési vízigény hány százalékát tudja biztosítani vagy a lefolyó vízmennyiségek milyen mértékben csökkenti), a rendelkezésre álló terület, a létesítés/fenntartás költségei, stb.

A tározó működési hatékonyságának értékeléséhez részletes, hosszú idősorokkal (csapadék, párolgás) meghajtott számításokra van szükség, amelyek megadják adott helyszínen különböző tározóméretek alkalmazásával elérhető hatékonyságok értékét.

A lakosság körében leggyakrabban alkalmazott kék-zöld infrastruktúra (KZI) megoldások egyike a tetővizek befogására szolgáló csapadékvízgyűjtő-tartály. A tárolók vizét általában a környező zöldfelületek öntözésére hasznosítják, ezért ebben az esetben az optimális térfogat a tározó átlagos kihasználtsága függvényében határozható meg. A tározók optimális térfogatának megválasztását méretezési segédletek készítésével támogathatjuk.

### 3.2 CÉLOK

A feladat célja egy olyan segédlet készítése volt, amely az öntözési célt kielégítő tetővíztározók méretezését teszi lehetővé. A segédlet alapján adott helyszínen rendelkezésre álló tető- és öntözendő felületek nagyságának függvényében határozható meg a tározó térfogata. A térfogat

meghatározásánál fontos szempont a tározó hatékonysága, melyet az adott térfogat mellett kielégíthető vízigény mennyiségek figyelembevételével adtuk meg. A hatékonyság mértékét célszerű összevetni a létesítés és a hosszútávú fenntartás költségeivel is a végleges méret megadásához.

A tározók méretének megválasztásához két különböző módszert mutatunk be.

- Az első módszer (Módszer 1) esetén ismert a tervezett vízkivételek nagysága, így az átlagos napi vízkivételek függvényében határozható meg a szükséges tározótérfogat.
- A második esetben (Módszer 2) a zöldfelület növényzetének becsült öntözési vízigényének függvényében adunk ajánlást a tározó méretére.

A Módszer 1 alkalmazását olyan területeken ajánljuk, ahol jól becsülhető a tározóból felhasználandó vízfogyasztások nagysága. A Módszer 2 alkalmas tipikus városi zöldfelületek (főként fűvel, fával borított parkok, magánkertek) öntözési vízigényét kielégítő tározók méretének meghatározásához.

A segédletben lévő számítások Budapest területére készültek, ezért csak a fővárosban történő tározóméret meghatározására alkalmazhatók.

### 3.3 Módszertan / feladatok

A számítási módszertanok részletes leírása a munkarész I. Mellékletében található.

#### 3.3.1 Releváns paraméterek meghatározása

A két módszertan szempontjából meghatároztuk a releváns számítási paramétereket. Az öntözővíz tározók legfontosabb rendszertulajdonsága a működési hatékonyság, más néven ezen típusú tározóknál a kihasználási határfok, amely hosszú távon a tározóból kielégíthető öntözési vízigények nagyságát mutatja.

A hatékonyság számításához a tervezési helyszínen megadandó paraméterek:

- A rendelkezésre álló vízgyűjtőterület (jelen esetben jellemzően tetőnagyság);
- Az átlagos napi vízkivételek nagysága (Módszer 1-hez) vagy az öntözendő terület nagyságának függvényében becsült vízigények (Módszer 1-hez);
- A jövőben várható hatékonyságváltozást leíró klímaszorozók.

#### 3.3.2 Csapadékvíz tárolók dinamikus vízmérleg modellje

##### 3.3.2.1 Módszer 1: Öntözési vízigényt kiszolgáló tetővíztározók méretezése ismert vízigények esetén

###### 3.3.2.1.1 A módszer alkalmazási területének rövid leírása

Az alábbiakban bemutatott méretezési módszertan alkalmazását két esetben ajánljuk:

- ha (i) a tetőfelület és a kívánt vízkivétel ismeretében a szükséges tározótérfogatra van szükségünk, illetve
- (ii) ha egy meglévő tárolóedényünk térfogata és a tetőfelület ismerete alapján a naponta átlagosan kivehető vízmennyiségre vagyunk kíváncsiak.

###### 3.3.2.1.2 A számítás módszertanának leírása

A számítások alapját dinamikus lefolyás számító modellel végzett szimulációk adják. Hosszú, finom időbeli felbontású csapadékidősor alkalmazása mellett különböző tetőfelület-nagyságoknál keletkező

lefolyásokat generáltunk egy egyszerű SWMM-ben (EPA Storm Water Management Model) felépített modellben. A lefolyásokat fogadó tározóból naponta meghatározott mennyiségű vizet vettünk ki, és rögzítettük, hogy hány napon volt lehetséges a vízkivétel. Lényeges, hogy a részleges vízkivételeket, amikor volt víz a tározóban, de kevesebb mint amire szükség lett volna, is figyelembe vettük, azaz felhasználtuk.

Ily módon évente meghatározhatóvá vált az aktuális tározótérfogathoz tartozó kihasználási határfok. A határfokot az évente szükségesnek ítélt vízmennyiséghez viszonyítottuk: a kivett víz mennyisége hány százaléka a kívántnak.

A szimulációk eredményei alapján összefüggéseket határoztunk meg (i) a tetőfelület és a kívánt vízkivétel ismeretében a szükséges tározótérfogat, illetve (ii) ha egy meglévő tárolóedényünk térfogata és a tetőfelület ismerete alapján a naponta átlagosan kivehető vízmennyiség számítására.

### 3.3.2.2 Módszer 2: Városi zöldfelületek öntözővízigény kielégítésére szolgáló tetővíztározók méretezése

#### 3.3.2.2.1 A módszer alkalmazási területének rövid leírása

A Módszer 2 alkalmazását azokban az esetekben ajánljuk, ha a tározó méretét nem előre meghatározott, közel állandó napi vízkivételek függvényében akarjuk meghatározni, hanem az öntözendő felületek ténylegesen, a helyi meteorológiai kondíciók következtében jelentkező vízigényei alapján. Kifejezetten alkalmas a módszertan városi zöldfelületek öntözési vízigényét kielégítő tározók méretezésére.

Az öntözővízigényt tipikus városi zöldfelületek (jellemzően fűborítás) esetére határoztuk meg, egyéb mezőgazdasági haszonnövények esetén módosításra lehet szükség.

#### 3.3.2.2.2 A számítás módszertanának leírása

A számítás alapja egy idősor-alapú (csapadék, párolgás) vízmérleg számítás, amely során minden időlépésnél az idősorok mentén kiszámoltuk a tároló vízforgalmát előre meghatározott térfogatok figyelembevételével, majd értékeltük a teljes idősor mentén a tározó működési hatékonyságát. A tározó hatékonyságát a zöldfelületekre becsült vízigények és a tározóban rendelkezésre álló vízmennyiségek összehasonlításával adtuk meg.

A számításban napi időlépést alkalmaztunk, mivel a csapadékvíz-hasznosító tározók esetén a vízfogyasztás napon belüli eloszlása nehezen becsülhető, jellemzően naponta/pár naponta egyszer történik locsolás, változó időpontokban.

Az idősoros számításokból minden évben kihagytuk a hidegebb hónapokat (november-február), mivel ezen időszak alatt nincs szükség öntözésre, és feltételeztük, hogy ekkor leürítik a tárolót.

A tározó hatékonyságát (kihasználási határfok) a kielégített öntözési vízigény alapján határoztuk meg a teljes idősor hosszát véve alapul:

$$\text{Hatékonyság} = 100 - \left( \frac{\text{Öntözővíz hiány}}{\text{Öntözővíz igény}} \right) * 100 \text{ [\%]} \quad (1)$$

ahol

- Hatékonyság – A vizsgált időszak alatt hány százalékában tudjuk az öntözési vízigényeket kielégíteni [%]
- Öntözővíz hiány – Az az öntözési vízigény, melyet a tárolótérből nem tudtunk biztosítani [m<sup>3</sup>]

- Öntözővíz igény – A vizsgált időszak alatt jelentkező összes öntözési vízigény [m<sup>3</sup>]

### 3.4 Eredmények

Az eredmények részletes bemutatása a munkarész I. Mellékletében található.

### 3.5 Szimulációk eredményei és a meghatározott kapcsolati függvények

#### 3.5.1 Módszer 1: Öntözési vízigényt kiszolgáló tetővíztározók méretezése ismert vízigények esetén

A szimulációs modellezések eredményei alapján kétváltozós lineáris regressziós összefüggéseket határoztunk meg arra az alkalmazásra, ha (i) a tetőfelület és a kívánt vízkivétel ismeretében a szükséges tározótérfogatra van szükségünk, illetve (ii) ha egy meglévő tárolóedényünk térfogata és a tetőfelület ismerete alapján a naponta átlagosan kivehető vízmennyiségre vagyunk kíváncsiak.

##### 3.5.1.1 Az év minden napján kiveendő (hasznosítandó) vízigény

#### **A naponta kivehető vízmennyiség meghatározása**

A regressziós kapcsolat és annak a statisztikai jellemzői az alábbiak:

$$V_{ki} = 0.004643 * T_{tározó} + 0.042981 * F_{tető} \quad (1)$$

ahol

- $V_{ki}$  - a naponta kivehető víz mennyisége [liter],
- $T_{tározó}$  - a tetővíz tározó térfogata [liter], és
- $F_{tető}$  - a lefolyásával a tározót tápláló tetőfelület [m<sup>2</sup>]

Az (1) regressziós kapcsolat tehát abban a helyzetben alkalmazható, amikor rendelkezünk egy ismert térfogatú tárolótartállyal, és kíváncsiak vagyunk, hogy naponta mennyi vizet hasznosíthatunk. Például 100 m<sup>2</sup> tetőfelület és egy 500 literes tároló napi 7 liter víz hasznosítását teszi lehetővé. A kapott érték átlagosan 95-98%-os kihasználhatósági szinthez tartozik.

#### **A szükséges tározótérfogat meghatározása**

Ha ismert a kiveendő napi vízmennyiség és a tározóhoz tartozó tetőfelület, a tározótérfogatot a (2) regressziós kapcsolattal számíthatjuk.

$$T_{tározó} = 210.806 * V_{ki} - 9.38415 * F_{tető} \quad (2)$$

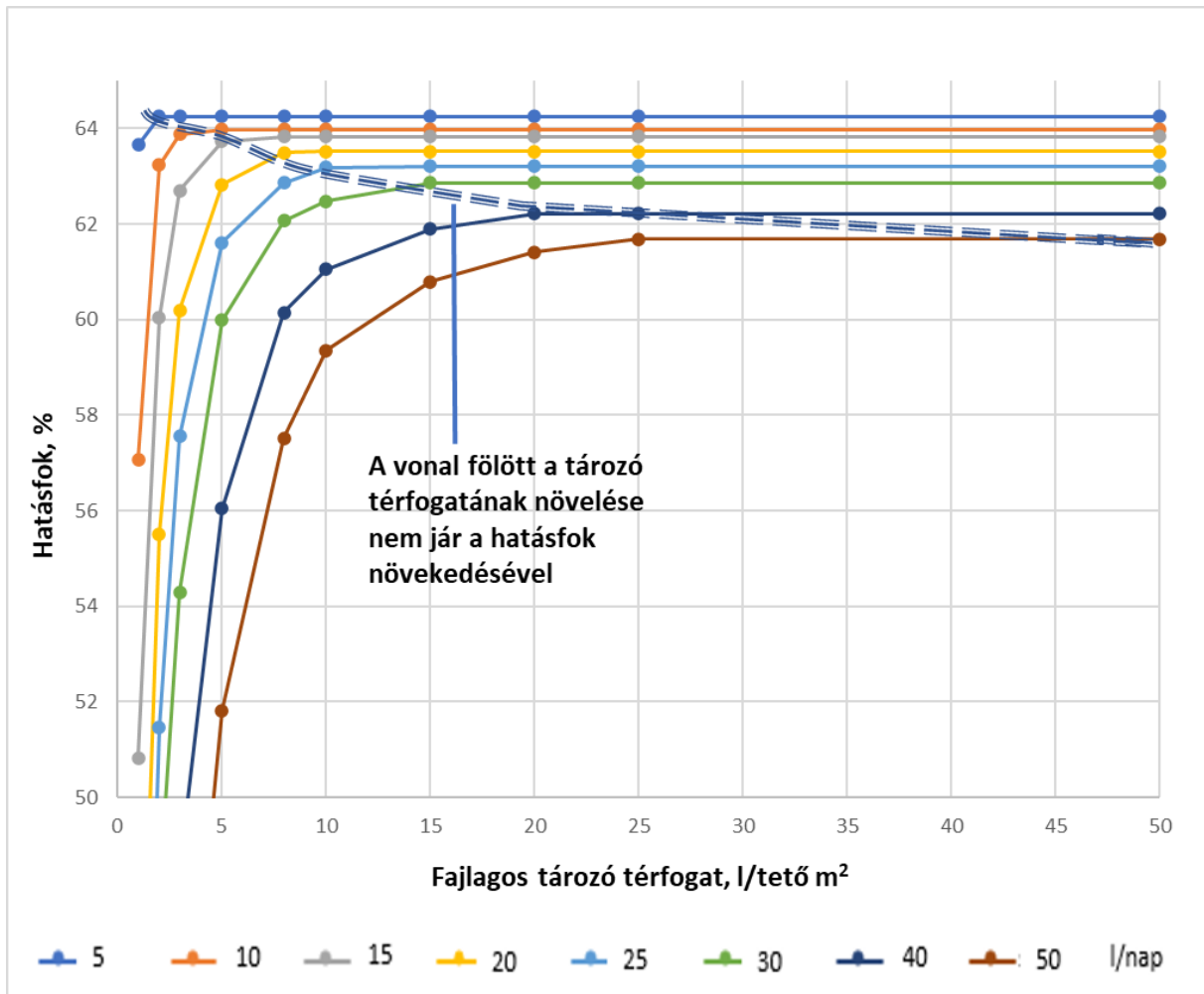
ahol

- $T_{tározó}$  - a tetővíz tározó térfogata [liter],
- $V_{ki}$  - a naponta kivehető víz mennyisége [liter], és
- $F_{tető}$  - a lefolyásával a tározót tápláló tetőfelület [m<sup>2</sup>]

Az összefüggés például 200 m<sup>2</sup> tetőfelület és napi 15 liter vízigény esetén 1.61 m<sup>3</sup>-es tározó beszerzését javasolja. A kapott érték átlagosan 95-98%-os kihasználhatósági szinthez tartozik. Az éghajlatváltozás következtében a tározó hatékonyságának átlagosan 10-15%-os csökkenése várható középtávon (2030-2050), és 15-20%-os hosszabb távon (2050-2070).

### 3.5.1.2 A vegetációs időszakban kiveendő (hasznosítandó) vízigény

Vegetációs időszaknak az április – szeptember közötti 6 hónapot tekintettük. A 20 éves periódus észlelési értékeit a teljes évekéhez hasonlóan értékeltük ki. Példaként itt is egy 200 m<sup>2</sup>-es tetőfelülethez tartozó tározási görbesereget mutatunk be az 1. ábrán. Összevetve a teljes évek tározási görbével kitűnik, hogy az elérhető hatások nem haladja meg a 65%-ot.



1. ábra – Tározási görbék egy 200 m<sup>2</sup>-es tetőfelület esetén, vízhasználat csak a vegetációs időszakban

### 3.5.1.3 A naponta kivehető vízmennyiség meghatározása

#### **A naponta kivehető vízmennyiség meghatározása**

A regressziós kapcsolat és annak a statisztikai jellemzői az alábbiak:

$$V_{ki} = 0.005913 \cdot T_{tározó} + 0.048773 \cdot F_{tető} \quad (3)$$

ahol

- $V_{ki}$  - a naponta kivehető víz mennyisége [liter],

- $T_{\text{tározó}}$  - a tetővíz tározó térfogata [liter], és
- $F_{\text{tető}}$  - a lefolyásával a tározót tápláló tetőfelület [ $\text{m}^2$ ]

A (3) regressziós kapcsolat tehát abban a helyzetben alkalmazható, amikor rendelkezünk egy ismert térfogatú tárolótartállyal, és kíváncsiak vagyunk, hogy naponta mennyi vizet hasznosíthatunk. Például  $100 \text{ m}^2$  tetőfelület és egy 1000 literes tároló napi 10.8 liter víz hasznosítását teszi lehetővé.

A számítható értékek átlagosan 58-64%-os kihasználhatósági szinthez tartoznak. Amint az a 3. ábrán látható, a hatékonyság nem növelhető, azt a vegetációs időszak csapadékviszonyai korlátozzák.

### **A szükséges tározótérfogat meghatározása**

Ha ismert a kiveendő napi vízmennyiség és a tározóhoz tartozó tetőfelület, a tározótérfogatot a (4) regressziós kapcsolattal számíthatjuk.

$$T_{\text{tározó}} = 148.3056 * V_{\text{ki}} - 5.0327 * F_{\text{tető}} \quad (4)$$

ahol

- $T_{\text{tározó}}$  - a tetővíz tározó térfogata [liter],
- $V_{\text{ki}}$  - a naponta kivehető víz mennyisége [liter], és
- $F_{\text{tető}}$  - a lefolyásával a tározót tápláló tetőfelület [ $\text{m}^2$ ]

A (4) összefüggés például  $100 \text{ m}^2$  tetőfelület és napi 10 liter vízigény esetén  $0.98 \text{ m}^3$ -es tározó beszerzését javasolja.

A számítható értékek átlagosan 58-64%-os kihasználhatósági szinthez (hatékonysághoz) tartoznak, ami a nyári félév csapadékviszonyai mellett az elérhető maximum. Az éghajlatváltozás következtében a tározó hatékonyságának átlagosan 10-15%-os csökkenése várható középtávon (2030-2050), és 15-20%-os hosszabb távon (2050-2070).

#### 3.5.2 A számítások alkalmazhatósági tartomány

A bemutatott regressziós kapcsolatok nem a hagyományos értelemben vehető egyenletek. A meghatározásuk mögötti módszertanból következően alkalmazhatósági tartományuk korlátozott, azaz nem extrapolálhatók tetszőleges mértékben.

A tározótérfogat számításánál a tetőfelület ( $\text{m}^2$ ) és a napi vízkivétel (liter) hányadosa ne haladja meg a 25-öt. Ha ilyen konfiguráció állna elő egy ingatlan esetében, a szükséges tározótérfogatot a tetőfelület/25 értéknek megfelelő vízkivétellel vegyük figyelembe a (2) és a (4) összefüggésekben!

#### 3.5.3 Módszer 2: Városi zöldfelületek öntözővízigény kielégítésére szolgáló tetővíztározók méretezése

A vízmérleg-számítások végeredményei hatékonyság táblázatok, amelyek különböző vízgyűjtőt terület-tárolótérfogat kombinációk esetére adja meg a tározó hatékonyság értékeket a vizsgált budapesti helyszínek esetén.

## 4 A SEGÉDLET ÁLTALÁNOS BEMUTATÁSA

### 4.1 A SEGÉDLET CÉLJA, EREDMÉNYEI

A segédlet öntözési célt kielégítő tetővíztározók méretezésére szolgál. Az adott helyszínen rendelkezésre álló tető- és öntözendő felületek nagyságának függvényében választható meg a tározó térfogata. A térfogat meghatározásánál fontos szempont a tározó hatékonysága, melyet az adott térfogat mellett kielégíthető vízigény mennyiségek figyelembevételével adtunk meg. A hatékonyság mértékét célszerű összevetni a létesítés és a hosszútávú fenntartás költségeivel is a végleges méret megadásához.

### 4.2 A SEGÉDLETBEN BEMUTATOTT MÉRETEZÉSI MÓDSZEREK ALKALMAZHATÓSÁGA

A tározók méretének megválasztásához két különböző módszert mutatunk be. Az első módszer (Módszer 1) esetén ismert a tervezett vízkivételek nagysága, így az átlagos napi vízkivételek függvényében határozható meg a szükséges tározóérfogat. A második esetben (Módszer 2) a zöldfelület növényzetének becsült öntözési vízigényének függvényében adunk ajánlást a tározó méretére.

A Módszer 1 alkalmazását olyan területeken ajánljuk, ahol jól becsülhető a tározóból felhasználandó vízfogyasztások nagysága. A Módszer2 alkalmas tipikus városi zöldfelületek (főként fűvel, fával borított parkok, magánkertek) öntözési vízigényét kielégítő tározók méretének meghatározásához.

Jelen számítások Budapest területére készültek, ezért csak a fővárosban történő tározóméretek meghatározására alkalmazhatók.

## 5 A TÁROZÁSRÓL ÁLTALÁBAN

A csapadékvíz gazdálkodás, benne a települési csapadékvíz gazdálkodás egyik hatékony eszköze a tározás. A tározást a csapadékokból keletkező lefolyások módosítására alkalmazzuk. Az alkalmazás két időléptékben szokásos: (i) rövid, városi környezetben legfeljebb néhány órás időléptékben az egyes csapadékesemények alatt, és (ii) hosszú időléptékben, többnyire hetes, hónapos léptékben, amikor a hosszú, csapadékmentes időszakok során keletkező vízigényeket kívánjuk kielégíteni a visszatartott esővízből.

Az első esetben a fő cél a lefolyó árhullám csillapítása, az árhullámcsúcs mérséklése, esetenként akár vízhasználat nélkül. Ekkor a befogadó csatorna (vízfolyás) hidraulikai terhelését (l/s, m<sup>3</sup>/s) kívánjuk korlátozni a kiöntések elkerülése érdekében. A másodiknál a tározott víz felhasználásán van a hangsúly, tehát a lefolyt víztömeget (m<sup>3</sup>) csökkentjük. A kétféle tározási cél eltérő méretezési módszert igényel, és ugyanazon csapadékvizonyoknál eltérő térfogatot eredményez, továbbá különbözik a tározó vízforgalma is. Értelemszerűen, a tározó létesítése előtt rögzíteni kell a fő célt.

Egyre gyakoribb igény városi környezetben a felszíni lefolyás szennyezettségének csökkentése is, amelyben a tározás önmagában is fontos szerepet játszik a leülepedhető, felúsztatható szennyezők leválasztásával, és lehetővé teszi tisztítási technológiák alkalmazását azok hidraulikai terhelésének kiegyenlítésével. Ez újabb szempontok bevonásával jár a méretezésben és a tározók kialakításában egyaránt. Tekintettel arra, hogy az itt bemutatandó méretezés a tetővizek tárolására korlátozódik, amik a legkevésbé szennyezettek a városi lefolyások közül, a továbbiakban a szennyezettség problémáját a méretezési eljárás ismertetésében nem tárgyaljuk.

## 6 A TÁROZÓKRÓL ÁLTALÁBAN

### 6.1 A TÁROZÓ, MINT SZERKEZET

A tározó, mint szerkezet különféle anyagokból készülhet: műanyag, beton, égetett agyag, fém, esetleg agyag (szigetelő rétegnek alkalmazva). Elhelyezése történhet a felszínen és a felszín alatt, nyitott felszínnel vagy zártan. Fala lehet vízzáró vagy vízáteresztő. A kiválasztásnál a költség, az élettartam, a rendelkezésre álló hely, az üzemeltethetőség és az elhelyezés esztétikai vonzatai játszanak szerepet. A szükséges térfogat számításánál csak a nyílt vízfelszín és a vízáteresztő fal léte vagy nem léte játszik szerepet.

### 6.2 A TALAJ, MINT TÁROZÓTÉR

A felszín alatti porózus talajréteg képezi a legnagyobb kihasználható tározóteret a városok számára, ha a tetőről lefolyó vizeket bele tudjuk juttatni. A tárolás lehetséges mértéke a talaj talajvíz feletti rétegvastagságától és annak pórustérfogatától függ. Felszínközeli mértékadó talajvízszint esetén a tárolókapacitás kisebb, mint mélyebb talajvízállásnál. Az elszívárogatással megemelt talajvíz szintje városok esetében korlátozott a felszín alatti létesítmények (pincék, mélygarázsok egyes közművek) védelme miatt. Fontos észben tartani, hogy tetők esetében, azok viszonylag csekély területe miatt, a beszívárogatott csapadék többnyire el sem éri a talajvizet, hanem csak a talajnedvesség növelésére fordítódik, hozzáférhetővé téve azt a városi növényzet számára. Dombvidéki-hegyvidéki területeken további erős korlátok is felléphetnek: csúszó réteg kialakulása az elnedvesedés miatt, vagy védett barlangok jelenléte. Ilyen esetekben mindig gondos feltárómunkákra van szükség.

A csapadékvíz talajban való elhelyezése a visszatartás költséghatékony módja, amit azonban a bejuttatás (beszívárogatás) lehetősége korlátoz. Ennek mérőszáma a talaj beszívárogatási képessége, amit felületegységre vonatkoztatva például mm/óra, mm/nap stb. értékekkel, az ún. /be/szívárgási tényezővel jellemezhetünk. Minden olyan csapadék, amelynek az intenzitása meghaladja a beszívárgási tényező értékét, el fog folyni a felületről. A beszívárgás mértéke valójában időben változik aszerint, ahogy a talaj aktuális nedvességtartalma változik. A száraz, kétfázisú (talaj-levegő) állapot víznyelésétől az ugyancsak kétfázisú (talaj-víz) állapotig. Utóbbit nevezzük telített talajnak. A tározók méretezésénél a telített talajhoz tartozó beszívárgást tekintjük mértékadónak. A beszívárgási tényező értéke nem szabályozható, az a helyi viszonyok szerinti adottság. Az évente lehulló csapadékok nem elhanyagolható hányadának intenzitása meghaladja a beszívárgás intenzitását. A vízzáró tetőfelületekről a zöld felületekre vezetett többlet vízmennyiség ezt a hányadot nagymértékben növeli. Ha ezeket a (tető)vizeket is helyben akarjuk tartani, csak két lehetőségünk van: növelni kell a beszívárgási felületet (zöld felület) és/vagy növelni kell a beszívárgási időt, ami alapesetben felszíni tározással lehetséges. Előbbi városi környezetben sok esetben korlátozott. Utóbbinak egy speciális lehetősége a talajfelszín lejtésének csökkentése, a tereprendezés. Ekkor nincs felszíni tározó. A beszívárgási idő növelése a kisebb lejtéshez tartozó alacsonyabb lefolyási sebesség miatt kialakuló hosszabb lefolyási (és ezzel beszívárgási) idő formájában jelentkezik.

A talaj, mint tározó felhasználása tehát a bemeneti oldalon szabályozott. Ezért ilyen esetekben a tározóméretezésnek része a talajkörnyezet feltárása.

## 7 A TÁROZÓ MÉRETÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

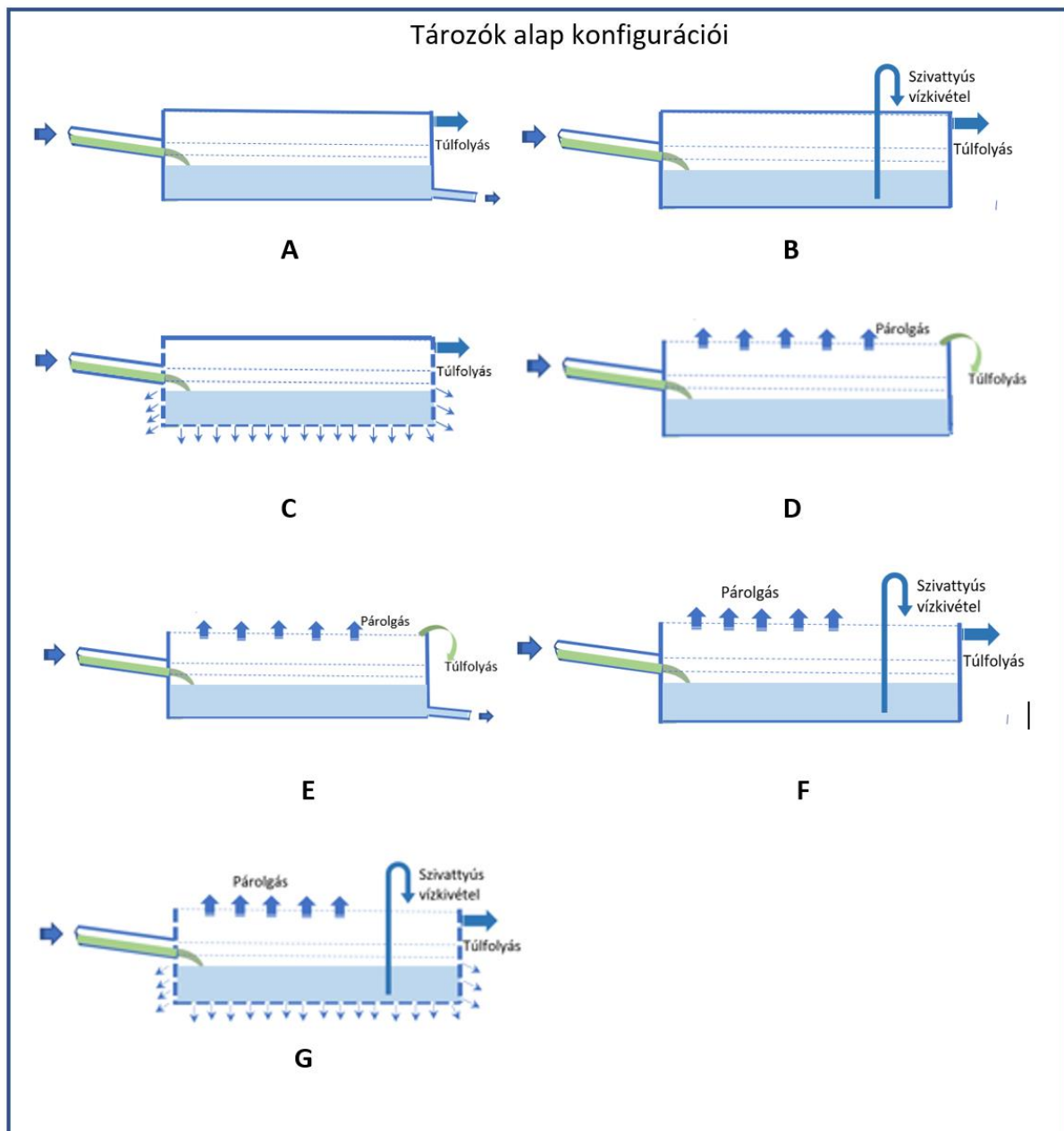
### 7.1 A TÁROZÓ HIDRAULIKAI TERHELÉSE

Tározás (tározódás) akkor következik be, ha a lefolyó víz útjában olyan helyzetet alakítunk ki, hogy a továbbvezetés szállítóképessége kisebb (szélső esetben ez lehet nulla is), mint a beérkező vízhozam. A mindenkor különbség a befolyás és kifolyás között a tározóteret tölti, vagy üríti. A tározott vízmennyiség tehát időben változik.

A beérkező vízhozam a csapadék és a tetőfelület függvénye. A csapadék miatt a hidraulikai terhelés valószínűségi változó. Ez azonban egy éven belül, illetve éveként egészen eltérő lehet. Ezért nagyon kevés információt nyújtana a tározótér valós megfelelőségéről, ha csak egy valamilyen szempontból kiválasztott csapadékra, vagy akár évre végeznénk el a méretezést. Ugyancsak elégtelen az éves (különösen az átlagos éves) csapadékmagasság alapján térfogatot számolni (ahogyan azt az esővíztározókat forgalmazó kereskedők ajánlják), hiszen év közben jelentősen eltérően alakulnak a csapadékos és száraz napok előfordulásai, és ezen belül az egyes csapadékok által szállított vízmennyiségek, amikről az éves csapadékmagasság semmilyen információt nem szolgáltat. Legalább a napi csapadékok idősorára van szükségünk, de megbízhatóbban használhatjuk az óránkénti adatokat. Az egyes évek közötti különbségeket a sokéves mérési adatsorok figyelembevételével kezelhetjük, ha minden évre elvégezzük a számításokat, majd az eredményeket átlagoljuk. Minél több évet vonunk be a számításba, annál reálisabb lesz a végeredmény. A hidrológiában általában legalább 30 éves adatokat célszerű figyelembe venni, de a 20 év is már elfogadható. Méretezési segédletünk elkészítéséhez ez utóbbi állt rendelkezésre.

### 7.2 A TÁROLT VÍZ HASZNOSÍTÁSA

Valamely helyszínnél, ahol a figyelembe vehető tetőfelület mellett a csapadékviszonyok is adottak, a tározó térfogatára a legnagyobb hatással a benne található víz hasznosításának módja és a hasznosítandó víz mennyisége van. Nem mindegy, hogy milyen gyakran és alkalmanként mennyi vizet akarunk felhasználni, kivenni a tározóból. Kiemeljük, hogy hasznosításnak tekintjük a tetővíz talajba juttatását is beszívárogtatással. Sőt, hasznosítási forma az ingatlanról kivezetett víz hozamának betartatása is (lásd az 1. pontot). Általánosságban: a hasznosítást a tározással elérendő cél meghatározással vehetjük azonosnak. A tározási céltól függően a tározók kialakításának az 1. ábrán vázolt konfigurációi jöhetnek szóba.



1. ábra – A tározó térfogatát meghatározó vízforgalmi tényezők

Az ábra értelmezéséhez a következő magyarázatot adjuk:

- (1) Valamennyi konfigurációnak része a **Túlfolyó**. Erre azért van szükség, mert bármekkora tározóméret esetében lehetséges, hogy az aktuális feltöltöttségi állapot mellett rendelkezésre álló szabad térfogat nem elegendő a befolyóvizek fogadására. A túlfolyó vizek nem tartoznak a hasznosított kategóriába.
- (2) Az **A**, **B** és **C** változatok zárt tározókat jelölnek. **A** és **B** a felszínen és a felszín alatt egyaránt elhelyezhető, **C** elsősorban felszín alatti elhelyezésű.
- (3) **A**-ból és **C**-ből a vízkivétel nem állandó. **A**-nál az a mindenkorai tározóbeli vízszinttől függ, **C**-nél emellett a talaj telítettségi állapotától is (beszivárgás = talajnedvesség/talajvíz pótlás). **B**-nél a vízkivétel állandó, pontosabban a szivattyúzási menetrendtől függő, arra nincs hatása a tározóbeli vízszintnek.
- (4) A **D** tározóból nincs vízkivétel, a víztérfogatot csak a párolgás, illetve az esetleges túlfolyások változtatják. A gyakorlati megvalósításnál ez megfelel az állandó, vagy változó vízborítású

tavaknak, illetve az ideiglenes előntésre szolgáló területek vízforgalmának. Ha a medret nem vízzáró burkolat alkotja, beszivárgást is figyelembe kell venni, ami viszont hasznosításnak tekintendő.

- (5) Az **E** és **F** változat az **A** és **B** nyílt vízfelszínű kialakítása, melyeknél a vízforgalmat a párolgás is alakítja.
- (6) A **G** változatnál valamennyi vízforgalmi elem jelen van, azaz a vízkivétel, a beszivárgás és a párolgás is.

További részletezés nélkül megállapítjuk, hogy a tetővíz tározási igény esetén a felhasználónak el kell döntenie, hogy vízforgalom szempontjából milyen típusú tározóra van szüksége, mivel az a tározó térfogatát jelentős mértékben befolyásolja.

## 8 ÖNTÖZÉSI VÍZIGÉNYT KISZOLGÁLÓ TETŐVÍZTÁROZÓK MÉRETEZÉSE

### 8.1 MÓDSZER 1: ÖNTÖZÉSI VÍZIGÉNYT KISZOLGÁLÓ TETŐVÍZTÁROZÓK MÉRETEZÉSE ISMERT VÍZIGÉNYEK ESETÉN

#### 8.1.1 A MÓDSZER ALKALMAZÁSI TERÜLETÉNEK RÖVID LEÍRÁSA

Az alábbiakban bemutatott méretezési módszertan alkalmazását két esetben ajánljuk:

- ha (i) a tetőfelület és a kívánt vízkivétel ismeretében a szükséges tározótérfogatra van szükségünk, illetve
- (ii) ha egy meglévő tárolóedényünk térfogata és a tetőfelület ismerete alapján a naponta átlagosan kivethető vízmennyiségre vagyunk kíváncsiak.

A számított eredmények Budapest területére érvényesek. Az eredmények kiegészíthetők a klímaváltozás hatását is figyelembe vevő szorzókkal, így távlati időszakokra is elvégezhető a méretezés.

#### 8.1.2 A MÉRETEZÉSI GÖRBÉK MEGHATÁROZÁSÁNAK MÓDSZERTANA

Ebben a tanulmányban a tetővíz tározó méretezési görbéi az **1B** (1. ábra) konfigurációra készültek, a napi vízkivételi igény ismeretének feltételezésével. A napi vízkivételek széles tartományban mozognak (5-50, illetve nagyobb /l/nap/). Technikai értelemben nem feltétlenül szivattyús a vízkivétel, a kisebb mennyiségeknél kézi kivétel is lehet. A lényeg, hogy egy-egy változatnál kötött és állandó a napi mennyiség. A feltételezés szerint egész évben, minden nap szükség van a vízkivételre. Az értékelt tározótérfogatot 100-5000 l tartományban 100 literenként változtattuk.

A csapadék idősorok az OMSZ Kitaibel Pál utcai állomásán mért órai csapadékok a 2002-2021 közötti 20 év során. A csapadékokból különböző tetőfelület nagyságoknál keletkező lefolyásokat generáltunk, egy egyszerű SWMM (EPA Storm Water Management Model) modell segítségével, amelyenél a depressziós tározódást 1 mm-re vettük fel.

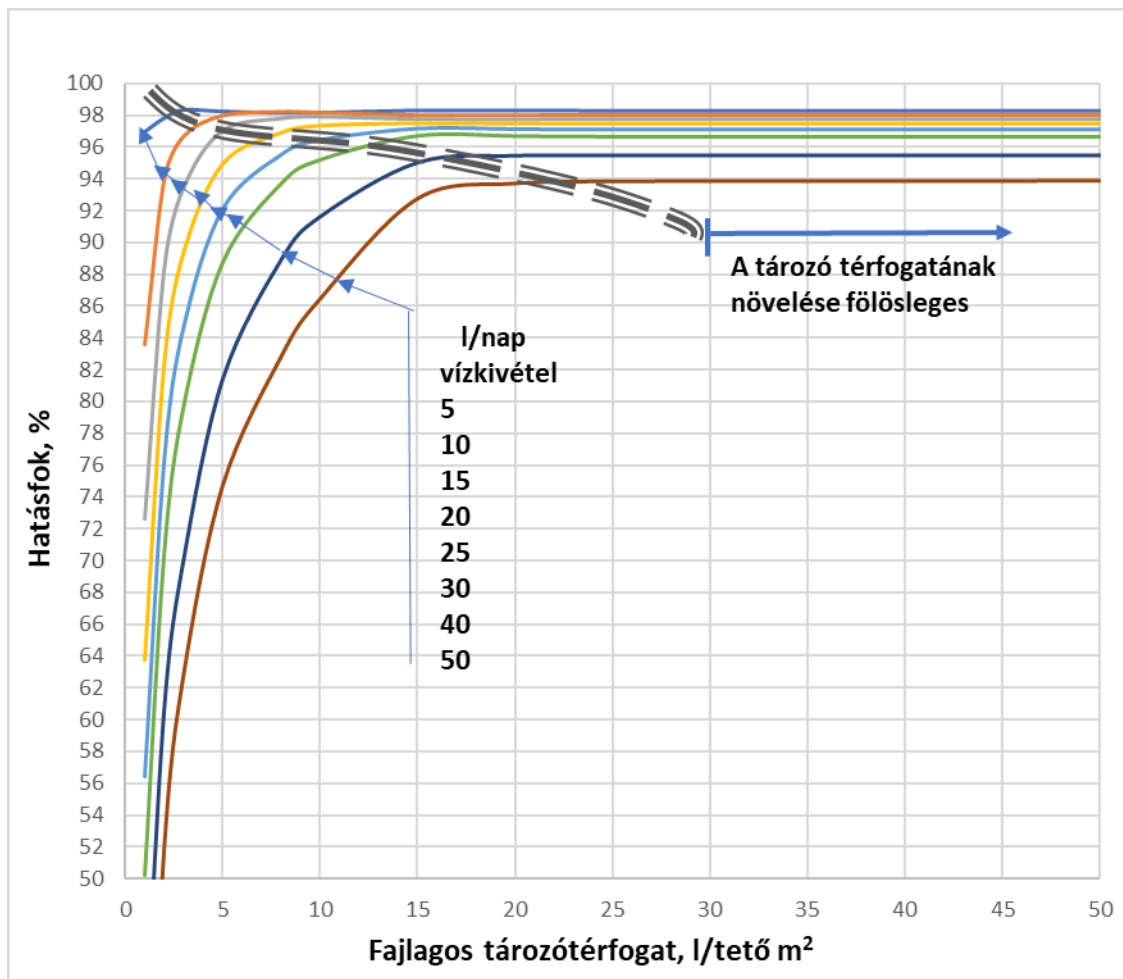
A vízkivétel időpontját minden nap önkényesen reggel 8 órában vettük fel. Az elemzések azt mutatták, hogy a kivétel napon belüli időpontjának nincs érdemleges hatása a tározó teljesítményére. A számítások évente, üres kezdeti tározó feltételezésével történtek, rögzítve, hogy hány napon volt lehetséges a vízkivétel. Lényeges, hogy a részleges vízkivételeket, amikor volt víz a tározóban, de kevesebb mint amire szükség lett volna, is figyelembe vettük, azaz felhasználtuk.

Ily módon évente meghatározhatóvá vált az aktuális tározótérfogathoz tartozó kihasználási határfok. A határfokot az évente szükségesnek ítélt vízmennyiséghez viszonyítottuk: a kivett víz mennyisége hány százaléka a kívántnak. Az időtartamnak, amire a határfokot értelmezzük nagy jelentősége van. Az

éves időtartamnál kapott hatások egyes rövidebb időszakokra vonatkozóan nem lesz érvényes, amint azt a későbbiekben a vegetációs félévre elvégzett számítások is mutatják. A számításokban órai vízmérlegeket határoztunk meg évente, különböző konfigurációkhoz. Egy konfigurációt a tározó térfogata és a hozzá rendelt vízkivétel alkot.

Négy tetőfelület (50, 100, 150 és 200 m<sup>2</sup>) figyelembevételével 80-80 konfigurációt értékeltünk (5, 10, 15, 20, 25, 30, 40 és 50 l/nap vízkivétel, illetve 1, 2, 3, 5, 8, 10, 15, 20, 25 és 50 l/tető m<sup>2</sup> fajlagos tározótérfogat érték). Így minden évre 320, a teljes időtartamra pedig 6400 hatásfok értékhez jutottunk. Ezt követően egy-egy tetőfelülethez a 20 év konfigurációnkénti hatásfok értékeit átlagoltuk és a 2. ábrán példaként bemutatotthoz hasonló, összesen 4 tetőfelülethez tartozó tározási görbesereghez jutottunk.

Az elemzésekből kiderült, hogy a tetőfelületnek is hatása van a szükséges tározótérfogat értékére. Ez a hatás annál jelentősebb, minél nagyobb a naponta kivenni kívánt víz mennyisége. A vízkivétel mértéke pedig az elérhető hatásfokot befolyásolja. Minél több vizet kívánunk felhasználni, annál jobban csökken a hatásfok (2. ábra).



2. ábra – Tározási görbék egy 200 m<sup>2</sup>-es tetőfelület esetén, az év minden napján történő vízhasználat esetén

Az összetartozó **Tetőfelület-Vízkivétel-Tározótérfogat** érték az a legkisebb érték a 2. ábra szerint, aminél a tározó térfogatának növelése már nem, vagy csak jelentéktelen mértékben javítja a tározási hatásfokot.

A fenti módon értelmezett összetartozó értékekhez kétváltozós lineáris regressziós összefüggést határoztunk meg arra az alkalmazásra, ha (i) a tetőfelület és a kívánt vízkivétel ismeretében a szükséges tározótérfogatra van szükségünk, illetve (ii) ha egy meglévő tárolóedényünk térfogata és a tetőfelület ismerete alapján a naponta átlagosan kivehető vízmennyiségre vagyunk kíváncsiak.

### 8.1.3 AZ ÉV MINDEN NAPJÁN KIVEENDŐ (HASZNOSÍTANDÓ) VÍZIGÉNY

#### 8.1.3.1 A NAPONTA KIVEHETŐ VÍZMENNYISÉG MEGHATÁROZÁSA

A regressziós kapcsolat és annak a statisztikai jellemzői az alábbiak:

$$V_{ki} = 0.004643 * T_{tározó} + 0.042981 * F_{tető} \quad (1)$$

ahol

- $V_{ki}$  - a naponta kivehető víz mennyisége [liter],
- $T_{tározó}$  - a tetővíz tározó térfogata [liter], és
- $F_{tető}$  - a lefolyásával a tározót tápláló tetőfelület [ $m^2$ ]

Az (1) regressziós kapcsolat tehát abban a helyzetben alkalmazható, amikor rendelkezünk egy ismert térfogatú tárolótartállyal, és kíváncsiak vagyunk, hogy naponta mennyi vizet hasznosíthatunk. Például 100  $m^2$  tetőfelület és egy 500 literes tároló napi 7 liter víz hasznosítását teszi lehetővé. A kapott érték átlagosan 95-98%-os kihasználhatósági szinthez tartozik.

#### 8.1.3.2 A SZÜKSÉGES TÁROZÓTÉRFOGAT MEGHATÁROZÁSA

Ha ismert a kiveendő napi vízmennyiség és a tározóhoz tartozó tetőfelület, a tározótérfogatot a (2) regressziós kapcsolattal számíthatjuk.

$$T_{tározó} = 210.806 * V_{ki} - 9.38415 * F_{tető} \quad (2)$$

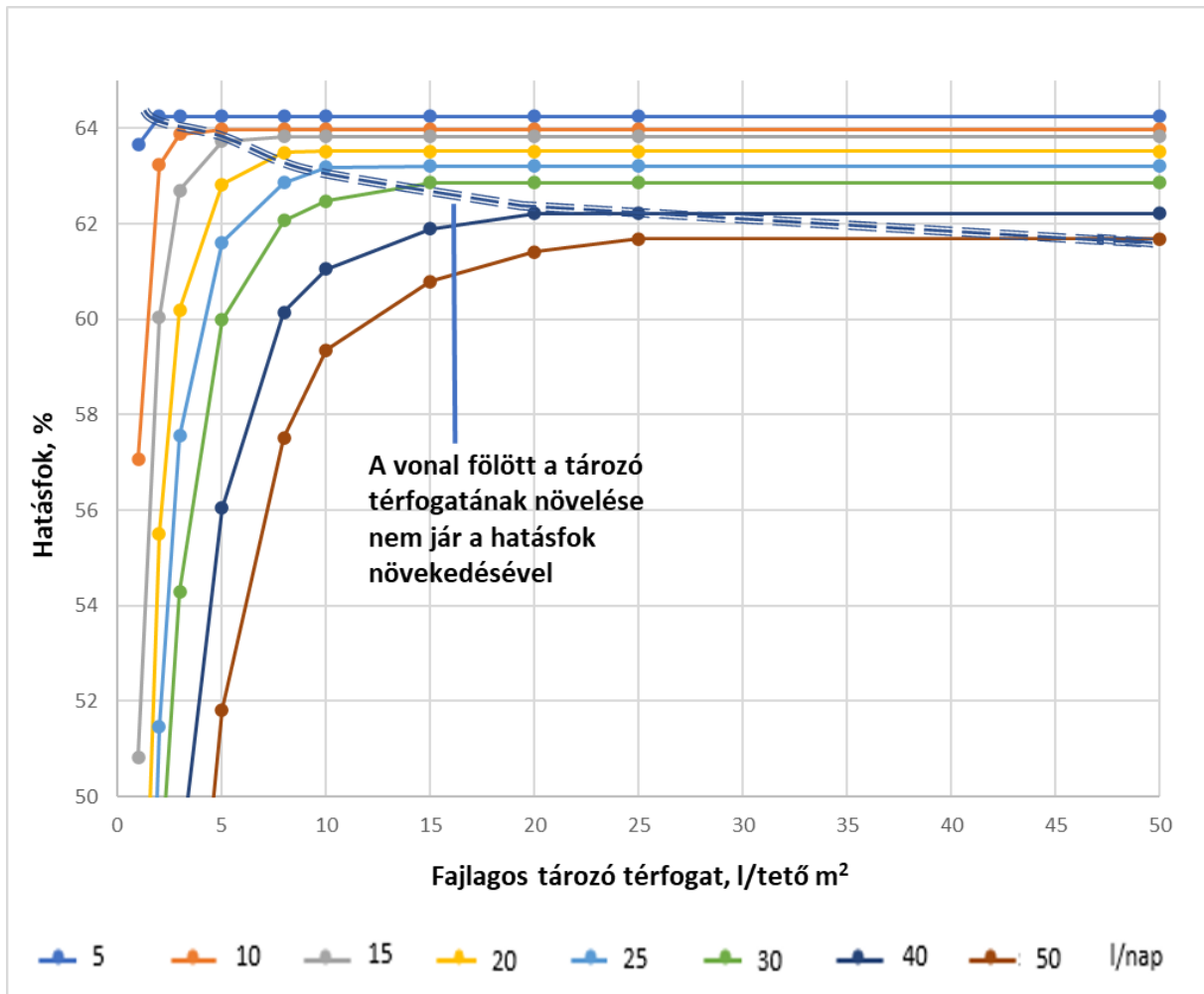
ahol

- $T_{tározó}$  - a tetővíz tározó térfogata [liter],
- $V_{ki}$  - a naponta kivehető víz mennyisége [liter], és
- $F_{tető}$  - a lefolyásával a tározót tápláló tetőfelület [ $m^2$ ]

Az összefüggés például 200  $m^2$  tetőfelület és napi 15 liter vízigény esetén 1.61  $m^3$ -es tározó beszerzését javasolja. A kapott érték átlagosan 95-98%-os kihasználhatósági szinthez tartozik. Az éghajlatváltozás következtében a tározó hatékonyságának átlagosan 10-15%-os csökkenése várható középtávon (2030-2050), és 15-20%-os hosszabb távon (2050-2070).

### 8.1.4 A VEGETÁCIÓS IDŐSZAKBAN KIVEENDŐ (HASZNOSÍTANDÓ) VÍZIGÉNY

Vegetációs időszaknak az április – szeptember közötti 6 hónapot tekintettük. A 20 éves periódus észlelési értékeit a teljes évekéhez hasonlóan értékeltük ki. Példaként itt is egy 200  $m^2$ -es tetőfelülethez tartozó tározási görbesereget mutatunk be a 3. ábrán. Összevetve a teljes évek tározási görbéivel kitűnik, hogy az elérhető hatások nem haladja meg a 65%-ot.



1. ábra: Tározási görbék egy 200 m<sup>2</sup>-es tetőfelület esetén, vízhasználat csak a vegetációs időszakban

#### 8.1.4.1 A NAPONTA KIVEHETŐ VÍZMENNYISÉG MEGHATÁROZÁSA

A regressziós kapcsolat és annak a statisztikai jellemzői az alábbiak:

$$V_{ki} = 0.005913 \cdot T_{tározó} + 0.048773 \cdot F_{tető} \quad (3)$$

ahol

- $V_{ki}$  - a naponta kivehető víz mennyisége [liter],
- $T_{tározó}$  - a tetővíz tározó térfogata [liter], és
- $F_{tető}$  - a lefolyásával a tározót tápláló tetőfelület [m<sup>2</sup>]

A (3) regressziós kapcsolat tehát abban a helyzetben alkalmazható, amikor rendelkezünk egy ismert térfogatú tárolótartállyal, és kíváncsiak vagyunk, hogy naponta mennyi vizet hasznosíthatunk. Például 100 m<sup>2</sup> tetőfelület és egy 1000 literes tároló napi 10.8 liter víz hasznosítását teszi lehetővé.

A számítható értékek átlagosan 58-64%-os kihasználhatósági szinthez tartoznak. Amint az a 3. ábrán látható, a hatékonyság nem növelhető, azt a vegetációs időszak csapadékviszonyai korlátozzák.

#### 8.1.4.2 A SZÜKSÉGES TÁROZÓTÉRFOGAT MEGHATÁROZÁSA

Ha ismert a kiveendő napi vízmennyiség és a tározóhoz tartozó tetőfelület, a tározótérfogatot a (4) regressziós kapcsolattal számíthatjuk.

$$T_{\text{tározó}} = 148.3056 * V_{\text{ki}} - 5.0327 * F_{\text{tető}} \quad (4)$$

ahol

- $T_{\text{tározó}}$  - a tetővíz tározó térfogata [liter],
- $V_{\text{ki}}$  - a naponta kivehető víz mennyisége [liter], és
- $F_{\text{tető}}$  - a lefolyásával a tározót tápláló tetőfelület [m<sup>2</sup>]

A (4) összefüggés például 100 m<sup>2</sup> tetőfelület és napi 10 liter vízigény esetén 0.98 m<sup>3</sup>-es tározó beszerzését javasolja.

A számítható értékek átlagosan 58-64%-os kihasználhatósági szinthez (hatékonysághoz) tartoznak, ami a nyári félév csapadékviszonyai mellett az elérhető maximumAz éghajlatváltozás következtében a tározó hatékonyságának átlagosan 10-15%-os csökkenése várható középtávon (2030-2050), és 15-20%-os hosszabb távon (2050-2070).

#### 8.1.5 A SZÁMÍTÁSOK ALKALMAZHATÓSÁGI TARTOMÁNY

A bemutatott regressziós kapcsolatok nem a hagyományos értelemben vehető egyenletek. A meghatározásuk mögötti módszertanból következően alkalmazhatósági tartományuk korlátozott, azaz nem extrapolálhatók tetszőleges mértékben.

A tározótérfogat számításánál a tetőfelület (m<sup>2</sup>) és a napi vízkivétel (liter) hányadosa ne haladja meg a 25-öt. Ha ilyen konfiguráció állna elő egy ingatlan esetében, a szükséges tározótérfogatot a tetőfelület/25 értéknek megfelelő vízkivétellel vegyük figyelembe a (2) és a 4) összefüggésekben!

### 8.2 MÓDSZER 2: VÁROSI ZÖLDFELÜLETEK ÖNTÖZŐVÍZIGÉNY KIELÉGÍTÉSÉRE SZOLGÁLÓ TETŐVÍZTÁROZÓK MÉRLETEZÉSE

#### 8.2.1 A MÓDSZER ALKALMAZÁSI TERÜLETÉNEK RÖVID LEÍRÁSA

A Módszer 2 alkalmazását azokban az esetekben ajánljuk, ha a tározó méretét nem előre meghatározott, közel állandó napi vízkivételek függvényében akarjuk meghatározni, hanem az öntözendő felületek ténylegesen, a helyi meteorológiai kondíciók következtében jelentkező vízigényei alapján. Kifejezetten alkalmas a módszertan városi zöldfelületek öntözési vízigényét kielégítő tározók méretezésére.

A becslő számításokat a jelen időszakra (~2001-2021) és két távlati időszakra is elvégeztük (~2030-2050 és ~2050-2070), így az éghajlatváltozás várható hatásai is figyelembe vehetők.

Az öntözővízigényt tipikus városi zöldfelületek (jellemzően fűborítás) esetére határoztuk meg, egyéb mezőgazdasági haszonnövények esetén módosításra lehet szükség. A számított eredmények Budapest területére érvényesek.

#### 8.2.2 A SZÁMÍTÁS KIINDULÓ ADATAI

A becslő számításokat négy budapesti meteorológiai állomás idősoraira készítettük el. Az állomások az Országos Meteorológiai Szolgálat mérőhálózatának részei:

- 44121 jelölésű állomás: Budapest Belterület (II. kerület, koordináták: 47.5111, 19.0281, mért időszak: 1998-2021)

- 44165 jelölésű állomás: Budapest Újpest (IV. kerület, koordináták: 47.5733, 19.075, mért idősorok mérési időszaka: 2001-2021)
- 44505 jelölésű állomás: Budapest Lágymányos (XI. kerület, koordináták: 47.4747, 19.0619, mért idősorok mérési időszaka: 2000-2021)
- 44527 jelölésű állomás: Budapest Pestszentlőrinc (XVIII. kerület, koordináták: 47.4292, 19.1822, mért idősorok mérési időszaka: 2001-2021)

A számításokban felhasznált adattípusok:

- Órai és napi csapadékösszeg idősorok
- Napi hőmérséklet idősorok (maximum, minimum, átlag)
- Relatív nedvesség napi átlaga idősorok

A mért idősorokat a jelen időszakokra (állomásonként változó, minimum 20 év) az Országos Meteorológiai Szolgálat Meteorológiai Adattárából szereztük be (<https://odp.met.hu/>).

A két vizsgált távlati időszak idősorait (~2030-2050 és ~2050-2070) csapadékgenerátor modell alkalmazásával állítottuk elő. Csapadékgenerátor alkalmazására szükség volt, mivel a regionális klímamodellek becslései nagy térbeli felbontású cellákra állnak csak rendelkezésre (10-25km), amelyek elsimítják a lokális éghajlati sajátosságokat. A csapadékgenerálás által a regionális klímamodellek durva időbeli (jellemzőn napi) és térbeli felbontású idősorait hozhatjuk térben és időben finomabb léptékre (jelen vizsgálathoz az időbeli felbontás nagysága megfelelő volt), jobban jellemezve a helyi változásokat.

A számításokat 15 különböző EURO-CORDEX regionális klímamodell szimulációból kiindulva, közepes emisszió forgatókönyv figyelembevételével végeztük el. Az alkalmazott csapadékgenerátor modell: Neyman-Scott-féle (pl. Cowpertwait, 1991, 1994), míg a hőmérséklet és a relatív nedvesség idősorokat egy másik generátorral állítottuk elő: UKCP09 Weather Generator (Kilsby és társai, 2007).

### 8.2.3 A SZÁMÍTÁS MÓDSZERTANÁNAK LEÍRÁSA

A számítás alapja egy idősor-alapú vízmérleg számítás, amely során minden időlépésnél az idősorok mentén kiszámoltuk a tároló vízforgalmát ( $V_j$ ) előre meghatározott térfogatok ( $V_{\text{tározó}}$ ) figyelembevételével, majd értékeltük a teljes idősor mentén a tározó hatékonyságát. A tározó hatékonyságát a zöldfelületekre becsült vízigények és a tározóban rendelkezésre álló vízmennyiségek összehasonlításával adtuk meg.

A számításban napi időlépést alkalmaztunk, mivel a csapadékvíz-hasznosító tározók esetén a vízfogyasztás napon belüli eloszlása nehezen becsülhető, jellemzően naponta/pár naponta egyszer történik locsolás, változó időpontokban.

Az idősoros számításokból minden évben kihagytuk a hidegebb hónapokat (november-február), mivel ezen időszak alatt nincs szükség öntözésre, és ekkor a tárolót feltételeztük, hogy leürítik.

Minden időlépésben a következőket határoztuk meg:

- A kapcsolt vízgyűjtőről (jellemzően vízzáró felület, például tető, amelyről összegyűjtjük a ráhullott csapadékvizet) mekkora vízmennyiség érkezik a tárolóba ( $V_{\text{beérkező},j}$ );
- A tárolótérben maradó vízmennyiség a megelőző időlépésből ( $V_{\text{bentlévő},j} = V_{j-1}$ );
- A tárolóból az adott időlépés alatt kivett víz mennyisége, amely jelen esetben megegyezett az  $1\text{m}^2$  zöldfelületre ( $V_{\text{vízigény},j}$ ) becsült öntözési vízigénnyel.

A j-edik időpontban a tárolóban lévő vízmennyiséget ( $V_j$ ) a következő egyenlettel számítottuk:

$$V_j = V_{beérkező,j} + V_{bentlévő,j} - V_{vízigény,j} [m^3] \quad (5)$$

$$\max(V_j) = V_{tározó} \quad (6)$$

Amennyiben:

$$V_{vízigény,j} > V_{beérkező,j} + V_{bentlévő,j} \quad (7)$$

akkor:

$$V_j = 0 \quad (8)$$

A tárolóba befolyóba vízmennyiség meghatározása egy adott j időpontban ( $V_{beérkező,i}$ ):

$$V_{beérkező,j} = i_j * \tau * A_{vízgyűjtő} - d_s * A_{vízgyűjtő} [m^3] \quad (9)$$

ahol

- $V_{beérkező}$  – az adott időlépcső alatt a tározóba befolyó vízmennyiség [ $m^3$ ]
- $i$  – az adott időlépcső alatt lehulló csapadékösszeg [ $m/nap$ ]
- $\tau$  - a vizsgált időlépcső hossza [1 nap]
- $A_{vízgyűjtő}$  – a tárolóhoz kapcsolódó vízgyűjtő területe [ $m^2$ ]
- $d_s$  – a vízgyűjtő felszínének tározókapacitása, itt: 0.001 (=1 mm) [ $m$ ]\*

\* A vízgyűjtő felszínének tározókapacitását 1 mm-nek feltételeztük a számítások során. Az 1 mm a maximum érték, amelyet az adott időlépcső alatt lehulló csapadék csökkenthet legfeljebb 0-ig, azaz a teljes telítettségig. Minden időlépcső végén a párolgás (PET) mértékével növekszik a tározókapacitás (maximum 1 mm-ig).

A tárolóban a megelőző időlépcsőből bent maradt ( $V_{bentlévő,j}$ ) vízmennyisége egy adott j időpontban:

$$V_{bentlévő,j} = V_{j-1} \quad (10)$$

Az öntözési vízigényeket a növények párologtató képessége és a zöldfelületre lehulló csapadék mennyisége alapján határoztuk meg:

$$V_{vízigény,j} = K_c * PET_j * \tau - i_j * \tau [m^3] \text{ (minimum értéke 0)} \quad (11)$$

ahol

- $V_{vízigény}$  – zöldfelület (fűvel vagy fával borított terület) becsült öntözési vízigénye [ $m^3$ ]
- $K_c$  – hónaptól és zöldfelület típustól függő vegetációs paraméter [-]
- $PET$  – potenciális evapotranspiráció napi összege [ $m^3/nap$ ]\*\*
- $i$  – az adott időlépcső alatt lehulló csapadékösszeg [ $m^3/nap$ ]
- $\tau$  - a vizsgált időlépcső hossza [1 nap]

\*\*A potenciális evapotranspiráció idősorokat a Dunay-Posza-Varga-Haszonits-féle összefüggésből határoztuk meg.

A biztonság javára közelítve, a közvetlenül a zöldfelületre lehulló csapadék öntözési igény csökkentő hatását csak a vizsgált napon vettük figyelembe, az utána következő napokon már nem.

A tározó hatékonyságát a kielégített öntözési vízigény alapján határoztuk meg a teljes időszak hosszát véve alapul:

$$\text{Hatékonyság} = 100 - \left( \frac{\text{Öntözővíz hiány}}{\text{Öntözővíz igény}} \right) * 100 [\%] \quad (12)$$

ahol

- Hatékonyság – A vizsgált időszak alatt hány százalékában tudjuk az öntözési vízigényeket kielégíteni [%]
- Öntözővíz hiány – Az az öntözési vízigény, melyet a tárolótérből nem tudunk biztosítani [m<sup>3</sup>]
- Öntözővíz igény – A vizsgált időszak alatt jelentkező összes öntözési vízigény [m<sup>3</sup>]

A vízmérleg-számítás eredménye egy hatékonyság táblázat, amely különböző vízgyűjtő terület-tárolótérfogat kombinációk esetére adja meg a hatékonyság értékeket. A tároló hatékonyság számítását mind a jelen, mind a két távlati időszakra elvégeztük.

Mivel a távlati időszakok idősorai időjárás genetátor modellekkel készültek, ezért a modellek hibáinak kiszűrésére a távlati időszakokra számított értékeket nem egy az egyben használjuk fel. A szokásos eljárás, hogy a jelenre, azaz a mért idősorokkal megegyező időszakokra is generálunk idősorokat a modellekkel, és a jelenre és jövőre generált idősorokból számított hatékonyság táblázat értékeket hasonlítjuk össze, ezzel megbecsülve a lehetséges távlati változások mértékét.

Az éghajlatváltozás hatásának becslésére a két vizsgált távlati időszak esetén meghatároztuk a hatékonyság várható változásait (változás szorzó) adott vízgyűjtő terület-tárolótérfogat kombinációk esetén a jelen időszakhoz viszonyítva:

$$k_{\text{hatékonyságváltozás}} = \left( \frac{\text{Távlati hatékonyság}}{\text{Jelen hatékonyság}} \right) [-] \quad (13)$$

ahol

- Távlati hatékonyság – A távlati időszakra a generált idősorokból számított hatékonyság érték adott vízgyűjtő terület-tárolótérfogat kombináció esetén [%]
- Jelen hatékonyság – A jelen időszakra a generált idősorokból számított hatékonyság érték adott vízgyűjtő terület-tárolótérfogat kombináció esetén [%]

A távlati időszakokra a tároló tényleges hatékonyság (=Tényleges távlati hatékonyság) értékei a mért idősorok hatékonyság táblázatai alapján számíthatók adott vízgyűjtő terület-tárolótérfogat kombinációk esetére:

$$\text{Tényleges távlati hatékonyság} = \text{Tényleges jelen hatékonyság} * k_{\text{hatékonyságváltozás}} \quad (14)$$

ahol

- Tényleges jelen hatékonyság – A jelen időszakra a mért idősorokból számított hatékonyság érték adott vízgyűjtő terület-tárolótérfogat kombináció esetén [%]

#### 8.2.4 A TÁROZÓ TÉRFOGATÁNAK MEGHATÁROZÁSA

A segédletben megadott táblázatokban 1m<sup>2</sup> városi zöldfelület nagyságot figyelembe véve adtuk meg a tárolótérfogatókat. Első lépésben meg kell határozni az összes öntözendő zöldfelület és a tényleges összes vízgyűjtő terület arányát. Ehhez az arányszámhoz kikereshetők a táblázatokból (Segéd táblázatok 1-3.) a jelen időszakra számított tényleges tároló hatékonyság értékek különböző tárolótérfogatok esetén. Az elvárt hatékonyság megválasztásával, amely tervezői döntés, kiszámítható a hatékonyság biztosításához szükséges térfogat. A táblázatban megadott térfogat értékek 1m<sup>2</sup>-re vonatkoznak, ezért nagyobb öntözendő felület esetén arányosan növelni kell a szükséges tárolótérfogat mértékét. Amennyiben az éghajlatváltozás hatását is figyelembe akarjuk venni, abban az esetben az adott vízgyűjtő terület arány-tárolótérfogathoz tartozó szorzó értékével módosítani kell a jelenre vonatkozó hatékonyság értékeket (Segéd táblázatok 4-9.).

A vizsgált tárolótérfogat – kapcsolt vízgyűjtő kombinációk:

- Térfogatok: 0.01-1 m<sup>3</sup>.
- Zöldfelület (1m<sup>2</sup>): kapcsolt vízgyűjtő arányok: 1:(0.1-100). A hiányzó aránypárok esetén a hatékonyság értékek interpolálhatók.

A hatékonyság értékeket és a távlati változásokat leíró szorzókat négy budapesti állomásra határoztuk meg (Lásd: Segédtablázatok c. fejezet).

Állomásonként a vizsgált ~20 éves időszakok alatt jelentkező átlagos napi vízigények [l/m<sup>2</sup> zöldfelület]:

- 44121-es állomás esetén: 4,2
- 44165-es állomás esetén: 3,3
- 44165-es állomás esetén: 4,3
- 44527-es állomás esetén: 4,0

A hatékonyság értékeket bemutató táblázatok alapján visszszámolható az átlagos napi vízigényekből a ténylegesen kielégíthető átlagos napi vízigények.

Ajánlások a méretezéshez:

- A négy állomás eredményei közül célszerű a legkedvezőtlenebbet figyelembe venni.
- A hatékonyság mellett a térfogat megválasztásának szempontja lehet a tározó telepítési és fenntartási költségei, illetve a megspórolt vízmennyiség.
- A 15 darab regionális klímamodell eredményeiben jelentős mértékű szórás és ellentétes irányú előrejelzések figyelhetők meg. A biztonság javára ajánlott a távlati szorzók kiválasztásánál az 5. percentilishez tartozó változás értékek alkalmazása.

#### 8.2.5 MINTAPÉLDA A TÁROZÓ TÉRFOGATÁNAK MEGHATÁROZÁSÁRA

A tervezési területen rendelkezésre áll 200 m<sup>2</sup> tetőfelület, és egy 100 m<sup>2</sup>-es kert öntözését szeretnék a tetőről összegyűjtött csapadékvízből biztosítani. Ekkor a zöldfelület és a tető aránya: 1:2. Ezen arány esetén minden állomás esetén van egy bizonyos tározótérfogat, amely esetén eléri a tározó a maximum hatékonyságát, azaz a térfogat további növelésével már nem tudunk több vizet biztosítani:

- 44121-es állomás esetén a 0,3m<sup>3</sup> tározótérfogat (hatékonyság: 61,2%)
- 44165-es állomás esetén a 0,3m<sup>3</sup> tározótérfogat (hatékonyság: 75,3%)
- 44165-es állomás esetén a 0,4m<sup>3</sup> tározótérfogat (hatékonyság: 59,9%)
- 44527-es állomás esetén a 0,3m<sup>3</sup> tározótérfogat (hatékonyság: 70,53%)

Állomásonként ekkora zöldfelület és tetőfelület mellett tehát 60-75%-ban tudjuk maximálisan kielégíteni az öntözési időszak alatt felmerülő vízigényeket. A maximumhoz tartozó tározótérfogat értékek 1m<sup>2</sup> zöldfelületre kerültek meghatározásra. Állomásonként tehát a maximális hatékonyság esetére a ténylegesen telepítendő tározótérfogatot a kert alapterületével szorozva kapjuk:

- 44121-es állomás esetén a 100\*0,3m<sup>3</sup>=30m<sup>3</sup>
- 44165-es állomás esetén a 100\*0,3m<sup>3</sup>=30m<sup>3</sup>
- 44165-es állomás esetén a 100\*0,4m<sup>3</sup>=40m<sup>3</sup>
- 44527-es állomás esetén a 100\*0,3=30m<sup>3</sup>

Érdemes megnézni, hogy az 1-2-vel kisebb tározótérfogatok esetén csak 1-2%-kal csökken a hatékonyság, ezért célszerű inkább mind a négy állomásnál a 20m<sup>3</sup>-es tározótérfogatot figyelembe venni a maximális kihasználtság esetén.

Amennyiben az éghajlatváltozás hatásával is akarunk számolni, és a távlati időszakokban elérhető hatékonyságokat is kiszámítani, abban az esetben ki kell keresni a távlati időszakok hatékonyság változását leíró szorzókat.

Például a 44165-ös állomás esetén 2030-2050 közöttre a szorzó értéke 0,89, míg 2050-2070-re 0,86. Ez azt jelenti, hogy a hatékonyság 11, illetve 14%-kal csökkenhet a jövőben a 30m<sup>3</sup>-es tározóméret esetén.

## 9 AZ ÉGHAJLTAVÁLTOZÁS HATÁSÁNAK BECSLÉSE AZ ÖNTÖZŐVÍZIGÉNY KIELÉGÍTÉSÉRE SZOLGÁLÓ TÁROZÓK HATÉKONYSÁG VÁLTOZÁSÁRA

### 9.1 A FELADAT HÁTTERE ÉS CÉLJA

A csapadékvíz-elvezető rendszerek hidrológiai-hidraulikai méretezésénél célszerű a jövőben várható éghajlati változásokat is megbecsülni és számításba venni, mivel a műszaki megoldások várható élettartama alatt szélsőségesebb időjárási események fordulhatnak elő, mint a jelen időszakban tapasztalt. A feladat célja az öntözővízigényt kielégítő tározók jövőben várható hatékonyságváltozásának becslése, más szóval annak vizsgálata, hogy adott tározótérfogatok mellett hogyan módosulhat az igényként fellépő öntözővíz mennyiségének biztosíthatósága az éghajlatváltozás következtében. A számítások Budapest területére készültek.

### 9.2 MÓDSZERTAN / FELADATOK

#### 9.2.1 KLÍMASZORZÓ SZÁMÍTÁSI MÓDSZERTANA

A klímaszorzók számítási módszertanának alapja, hogy a vizsgált rendszerjellemzőt, jelen esetben a tározó hatékonyságát meghatározzuk a jelenre és különböző távlati időszyakokra is, majd az értékek statisztikai kiértékeléséből és összehasonlításából következtethetünk a hatékonyságváltozás irányára és nagyságára. A távlati időszyakokra történő számításokhoz szükség van a vizsgált jövőbeli időszyakokra lokális éghajlati előrejelzések, azaz lokálisan érvényes időszyorok (jelen esetben csapadék és a párolgás számításához szükséges egyéb éghajlati jellemzők) készítésére. Az előrejelzéshez használható időszyorok előállítási lehetőségét a „Budapest csapadékvíz-gazdálkodás tervezését támogató éghajlati előrejelzések” című munkarészben mutatjuk be. Az időjárásgenerátor modellek hibáinak kiküszöbölésére a jelen időszyakokra is előállítunk időszyorokat, és a generált jelenre és jövőre végzünk számításokat, majd az ezekből számított értékeket hasonlítjuk össze a változások becsléséhez.

A klímaszorzók adott helyszínre történő számítása az alábbi képlettel történhet a hatékonyságváltozás értékek meghatározását követően:

$$k_{\text{hatékonyságváltozás}} = \left( \frac{\text{Távlati hatékonyság}}{\text{Jelen hatékonyság}} \right) [-] \quad (1)$$

ahol

- Távlati hatékonyság – A távlati időszyakra a generált időszyorokból számított hatékonyság érték adott tervezési paraméterek mellett (például meghatározott öntözési vízigény-tárolótérfogat kombináció) esetén [%]
- Jelen hatékonyság – A jelen időszyakra a generált időszyorokból számított hatékonyság érték adott tervezési paraméterek mellett (például meghatározott öntözési vízigény-tárolótérfogat kombináció) esetén [%]

A klímaszorzók meghatározását követően megbecsülhetjük a tározók jövőben várható hatékonyság értékeit (=Tényleges távlati hatékonyság): a mért idősorokból a jelen időszakra számított hatékonyság értékeket (=Tényleges jelen hatékonyság) szorozzuk a klímaszorzó értékével:

$$\text{Tényleges távlati hatékonyság} = \text{Tényleges jelen hatékonyság} * k_{\text{hatékonyságváltozás}} \quad (2)$$

ahol

- Tényleges jelen hatékonyság – A jelen időszakra a mért idősorokból számított hatékonyság érték adott tervezési paraméterek mellett (például meghatározott öntözési vízigény-tárolótérfogat kombináció) esetén [%]

### 9.2.2 KLÍMASZORZÓK MEGHATÁROZÁSÁRA KÉT TÁVLATI IDŐTÁVRA (~2030-2050 ÉS ~2050-2070)

Az öntözővízigény kielégítésre szolgáló tározók hatékonyság változásának becslésére Budapest területére készítettünk számításokat. Az éghajlati előrejelzésekkel összhangban két időtávra (~2030-2050 és ~2050-2070) és négy budapesti állomásra:

- 44121 jelölésű állomás: Budapest Belterület (II. kerület, koordináták: 47.5111, 19.0281, mért idősorok mérési időszaka: 1998-2021)
- 44165 jelölésű állomás: Budapest Újpest (IV. kerület, koordináták: 47.5733, 19.075, mért idősorok mérési időszaka: 2002-2021)
- 44505 jelölésű állomás: Budapest Lágymányos (XI. kerület, koordináták: 47.4747, 19.0619, mért idősorok mérési időszaka: 2000-2021)
- 44527 jelölésű állomás: Budapest Pestszentlőrinc (XVIII. kerület, koordináták: 47.4292, 19.1822, mért idősorok mérési időszaka: 2001-2021)

A tározó hatékonyságának számítására az „Optimális, fajlagos tároló térfogatok meghatározása (Budapest 7. kerület)” című munkarészben bemutatott „Módszer 2” elnevezésű vízmérleg alapú módszertan alkalmaztuk. A számításokhoz a „Budapest csapadékvíz-gazdálkodás tervezését támogató éghajlati előrejelzések” című munkarészben jelenre és a két távlati időszakra vonatkozó napi időbeli felbontású éghajlati idősorokat használtuk fel (csapadék- és a párolgás számításához hőmérséklet és relatív nedvesség idősorok).

### 9.3 EREDMÉNYEK

A hatékonyságváltozást leíró klímaszorzók számított értékei a Segéd táblázatokban találhatóak.

## 10 HIVATKOZÁSOK

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome., Irrigation and Drainage. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2010.12.001>.

Cowpertwait, P. S. P. (1991) Further developments of the Neyman-Scott clustered point process for modeling rainfall, Water Resour. Res., 27, 1431– 1438.

Cowpertwait, P. S. P. (1994) A generalized point process model for rainfall, Proc. R. Soc. London, Ser. A, 447, 23– 37.

Decsi, B., Vári, Á., Kozma, Z. (2020) The effect of future land use changes on hydrologic ecosystem services: a case study from the Zala catchment, Hungary. Biol. Futur.

<https://doi.org/10.1007/s42977-020-00032-6>

Kilsby, C.G., Jones, P.D., Burton, A., Ford, A.C., Fowler, H.J., Harpham, C., James, P., Smith, A., Wilby, R.L. (2007) A daily weather generator for use in climate change studies., 22(12), 1705–1719. doi:10.1016/j.envsoft.2007.02.005.

## 11 SEGÉDTÁBLÁZATOK

### 11.1 MÉRT IDŐSOROKBÓL A JELEN IDŐSZAKRA (~2001-2021) MEGHATÁROZOTT TÁROLÓ HATÉKONYSÁG TÁBLÁZATOK

1. táblázat – 44121 állomás esetére számolt tároló hatékonyság értékek [%] – Tényleges jelen hatékonyság.

| Térfogat<br>[m <sup>3</sup> ] | Zöldfelület:vízgyűjtő arány |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                               | 1:0.1                       | 1:0.2 | 1:0.3 | 1:0.4 | 1:0.5 | 1:0.6 | 1:0.7 | 1:0.8 | 1:0.9 | 1:1   | 1:2   | 1:1.3 | 1:4   | 1:5   | 1:10  | 1:20  | 1:30  | 1:40  | 1:50  | 1:60  | 1:70  | 1:80  | 1:90  | 1:100 |
| 0.01                          | 3.59                        | 6.81  | 9.38  | 11.34 | 12.99 | 14.40 | 15.55 | 16.53 | 17.41 | 18.19 | 22.75 | 25.15 | 26.63 | 27.65 | 30.13 | 31.52 | 32.10 | 32.40 | 32.57 | 32.68 | 32.78 | 32.84 | 32.85 | 32.86 |
| 0.02                          | 3.61                        | 7.15  | 10.34 | 13.30 | 15.87 | 17.93 | 19.74 | 21.33 | 22.81 | 24.16 | 32.03 | 35.95 | 38.49 | 40.22 | 44.24 | 46.83 | 47.67 | 48.14 | 48.45 | 48.66 | 48.82 | 48.93 | 49.03 | 49.11 |
| 0.03                          | 3.61                        | 7.20  | 10.61 | 13.74 | 16.69 | 19.45 | 21.88 | 23.88 | 25.69 | 27.35 | 38.02 | 43.20 | 46.58 | 48.87 | 54.10 | 57.33 | 58.62 | 59.20 | 59.56 | 59.85 | 60.07 | 60.24 | 60.37 | 60.46 |
| 0.04                          | 3.61                        | 7.20  | 10.67 | 14.02 | 17.06 | 19.98 | 22.80 | 25.33 | 27.56 | 29.54 | 42.39 | 48.74 | 52.84 | 55.58 | 61.67 | 65.25 | 66.78 | 67.64 | 68.04 | 68.32 | 68.57 | 68.77 | 68.93 | 69.05 |
| 0.05                          | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.10 | 17.33 | 20.32 | 23.23 | 26.06 | 28.61 | 30.91 | 45.63 | 53.18 | 57.86 | 60.92 | 67.82 | 71.46 | 73.15 | 74.12 | 74.54 | 74.83 | 75.05 | 75.20 | 75.34 | 75.49 |
| 0.06                          | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.13 | 17.45 | 20.59 | 23.56 | 26.45 | 29.23 | 31.77 | 48.23 | 56.80 | 61.85 | 65.20 | 72.75 | 76.37 | 78.17 | 79.16 | 79.61 | 79.88 | 80.08 | 80.21 | 80.35 | 80.46 |
| 0.07                          | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.13 | 17.50 | 20.74 | 23.83 | 26.76 | 29.61 | 32.33 | 50.31 | 59.76 | 65.24 | 68.73 | 76.69 | 80.35 | 82.10 | 83.06 | 83.55 | 83.85 | 84.04 | 84.15 | 84.27 | 84.38 |
| 0.08                          | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.13 | 17.51 | 20.83 | 24.01 | 27.03 | 29.91 | 32.72 | 52.07 | 62.27 | 68.12 | 71.69 | 79.85 | 83.56 | 85.18 | 86.14 | 86.73 | 87.07 | 87.26 | 87.40 | 87.51 | 87.62 |
| 0.09                          | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.13 | 17.51 | 20.86 | 24.10 | 27.22 | 30.18 | 33.01 | 53.64 | 64.42 | 70.36 | 74.12 | 82.19 | 85.93 | 87.51 | 88.42 | 88.98 | 89.39 | 89.61 | 89.76 | 89.89 | 90.00 |
| 0.1                           | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.13 | 17.51 | 20.86 | 24.18 | 27.34 | 30.38 | 33.28 | 54.93 | 66.22 | 72.22 | 76.17 | 84.13 | 87.94 | 89.41 | 90.22 | 90.80 | 91.22 | 91.46 | 91.63 | 91.78 | 91.91 |
| 0.2                           | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.13 | 17.51 | 20.86 | 24.20 | 27.49 | 30.75 | 33.92 | 60.83 | 75.49 | 83.16 | 87.43 | 93.31 | 95.76 | 96.51 | 96.89 | 97.20 | 97.47 | 97.65 | 97.79 | 97.92 | 97.95 |
| 0.3                           | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.13 | 17.51 | 20.86 | 24.20 | 27.49 | 30.75 | 33.92 | 61.22 | 77.54 | 86.44 | 90.46 | 96.01 | 97.79 | 98.29 | 98.54 | 98.72 | 98.79 | 98.83 | 98.83 | 98.83 | 98.83 |
| 0.4                           | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.13 | 17.51 | 20.86 | 24.20 | 27.49 | 30.75 | 33.92 | 61.22 | 78.31 | 86.97 | 91.60 | 97.32 | 98.66 | 98.79 | 98.91 | 98.98 | 99.03 | 99.05 | 99.05 | 99.05 | 99.05 |
| 0.5                           | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.13 | 17.51 | 20.86 | 24.20 | 27.49 | 30.75 | 33.92 | 61.22 | 78.49 | 87.10 | 91.69 | 97.74 | 98.66 | 98.79 | 98.91 | 98.98 | 99.03 | 99.05 | 99.05 | 99.05 | 99.05 |
| 0.6                           | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.13 | 17.51 | 20.86 | 24.20 | 27.49 | 30.75 | 33.92 | 61.22 | 78.49 | 87.10 | 91.69 | 98.08 | 98.66 | 98.79 | 98.91 | 98.98 | 99.03 | 99.05 | 99.05 | 99.05 | 99.05 |
| 0.7                           | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.13 | 17.51 | 20.86 | 24.20 | 27.49 | 30.75 | 33.92 | 61.22 | 78.49 | 87.10 | 91.69 | 98.08 | 98.66 | 98.79 | 98.91 | 98.98 | 99.03 | 99.05 | 99.05 | 99.05 | 99.05 |
| 0.8                           | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.13 | 17.51 | 20.86 | 24.20 | 27.49 | 30.75 | 33.92 | 61.22 | 78.49 | 87.10 | 91.69 | 98.08 | 98.66 | 98.79 | 98.91 | 98.98 | 99.03 | 99.05 | 99.05 | 99.05 | 99.05 |
| 0.9                           | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.13 | 17.51 | 20.86 | 24.20 | 27.49 | 30.75 | 33.92 | 61.22 | 78.49 | 87.10 | 91.69 | 98.08 | 98.66 | 98.79 | 98.91 | 98.98 | 99.03 | 99.05 | 99.05 | 99.05 | 99.05 |
| 1                             | 3.61                        | 7.20  | 10.68 | 14.13 | 17.51 | 20.86 | 24.20 | 27.49 | 30.75 | 33.92 | 61.22 | 78.49 | 87.10 | 91.69 | 98.08 | 98.66 | 98.79 | 98.91 | 98.98 | 99.03 | 99.05 | 99.05 | 99.05 | 99.05 |



3. táblázat – 44505 állomás esetére számolt tároló hatékonyság értékek [%] – Tényleges jelen hatékonyság.

| Térfogat<br>[m <sup>3</sup> ] | Zöldfelület:vízgyűjtő arány |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                               | 1:0.1                       | 1:0.2 | 1:0.3 | 1:0.4 | 1:0.5 | 1:0.6 | 1:0.7 | 1:0.8 | 1:0.9 | 1:1   | 1:2   | 1:3   | 1:4   | 1:5   | 1:10  | 1:20  | 1:30  | 1:40  | 1:50  | 1:60  | 1:70  | 1:80  | 1:90  | 1:100 |
| 0.01                          | 3.51                        | 6.67  | 9.18  | 11.15 | 12.78 | 14.17 | 15.34 | 16.35 | 17.22 | 17.99 | 22.58 | 24.99 | 26.46 | 27.55 | 30.30 | 31.48 | 31.81 | 32.00 | 32.11 | 32.20 | 32.27 | 32.32 | 32.33 | 32.33 |
| 0.02                          | 3.52                        | 6.98  | 10.15 | 13.02 | 15.47 | 17.47 | 19.23 | 20.86 | 22.34 | 23.68 | 31.99 | 35.90 | 38.46 | 40.21 | 44.62 | 47.36 | 48.10 | 48.38 | 48.52 | 48.62 | 48.69 | 48.75 | 48.80 | 48.85 |
| 0.03                          | 3.52                        | 7.02  | 10.31 | 13.43 | 16.37 | 18.98 | 21.28 | 23.25 | 24.99 | 26.61 | 37.70 | 43.37 | 46.74 | 48.97 | 54.62 | 58.44 | 59.54 | 60.01 | 60.23 | 60.33 | 60.39 | 60.44 | 60.49 | 60.53 |
| 0.04                          | 3.52                        | 7.02  | 10.36 | 13.61 | 16.69 | 19.62 | 22.28 | 24.70 | 26.83 | 28.69 | 41.73 | 48.78 | 52.91 | 55.57 | 62.05 | 66.34 | 67.83 | 68.41 | 68.71 | 68.88 | 68.95 | 68.99 | 69.04 | 69.08 |
| 0.05                          | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.66 | 16.87 | 19.92 | 22.82 | 25.49 | 27.90 | 30.09 | 44.83 | 52.95 | 57.70 | 60.65 | 67.96 | 72.66 | 74.38 | 75.05 | 75.36 | 75.58 | 75.67 | 75.72 | 75.76 | 75.80 |
| 0.06                          | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.70 | 16.95 | 20.10 | 23.10 | 25.94 | 28.61 | 31.00 | 47.32 | 56.28 | 61.66 | 64.86 | 72.83 | 77.82 | 79.51 | 80.23 | 80.60 | 80.80 | 80.92 | 80.99 | 81.02 | 81.04 |
| 0.07                          | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.70 | 17.00 | 20.21 | 23.30 | 26.21 | 29.02 | 31.65 | 49.37 | 59.02 | 64.79 | 68.38 | 76.85 | 81.92 | 83.48 | 84.19 | 84.55 | 84.74 | 84.86 | 84.93 | 84.97 | 84.99 |
| 0.08                          | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.70 | 17.02 | 20.25 | 23.41 | 26.42 | 29.29 | 32.05 | 50.99 | 61.34 | 67.45 | 71.33 | 80.26 | 85.13 | 86.50 | 87.16 | 87.52 | 87.74 | 87.87 | 87.96 | 88.01 | 88.06 |
| 0.09                          | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.70 | 17.02 | 20.30 | 23.49 | 26.54 | 29.50 | 32.32 | 52.47 | 63.43 | 69.90 | 73.93 | 82.85 | 87.45 | 88.73 | 89.34 | 89.69 | 89.88 | 89.97 | 90.06 | 90.15 | 90.20 |
| 0.1                           | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.70 | 17.02 | 20.30 | 23.53 | 26.63 | 29.65 | 32.54 | 53.64 | 65.28 | 71.97 | 76.10 | 84.88 | 89.31 | 90.44 | 91.00 | 91.33 | 91.45 | 91.54 | 91.64 | 91.73 | 91.82 |
| 0.2                           | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.70 | 17.02 | 20.30 | 23.56 | 26.75 | 29.92 | 33.05 | 59.02 | 74.88 | 83.02 | 87.79 | 95.08 | 96.91 | 97.30 | 97.40 | 97.46 | 97.51 | 97.57 | 97.63 | 97.68 | 97.74 |
| 0.3                           | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.70 | 17.02 | 20.30 | 23.56 | 26.75 | 29.92 | 33.05 | 59.81 | 77.50 | 86.70 | 90.88 | 97.51 | 98.39 | 98.59 | 98.69 | 98.75 | 98.80 | 98.86 | 98.92 | 98.97 | 99.03 |
| 0.4                           | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.70 | 17.02 | 20.30 | 23.56 | 26.75 | 29.92 | 33.05 | 59.87 | 78.47 | 87.79 | 92.34 | 98.11 | 98.79 | 98.95 | 99.00 | 99.01 | 99.01 | 99.02 | 99.03 | 99.04 | 99.05 |
| 0.5                           | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.70 | 17.02 | 20.30 | 23.56 | 26.75 | 29.92 | 33.05 | 59.87 | 78.86 | 88.08 | 92.59 | 98.13 | 98.79 | 98.95 | 99.00 | 99.01 | 99.01 | 99.02 | 99.03 | 99.04 | 99.05 |
| 0.6                           | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.70 | 17.02 | 20.30 | 23.56 | 26.75 | 29.92 | 33.05 | 59.87 | 78.86 | 88.08 | 92.59 | 98.13 | 98.79 | 98.95 | 99.00 | 99.01 | 99.01 | 99.02 | 99.03 | 99.04 | 99.05 |
| 0.7                           | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.70 | 17.02 | 20.30 | 23.56 | 26.75 | 29.92 | 33.05 | 59.87 | 78.86 | 88.08 | 92.59 | 98.13 | 98.79 | 98.95 | 99.00 | 99.01 | 99.01 | 99.02 | 99.03 | 99.04 | 99.05 |
| 0.8                           | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.70 | 17.02 | 20.30 | 23.56 | 26.75 | 29.92 | 33.05 | 59.87 | 78.86 | 88.08 | 92.59 | 98.13 | 98.79 | 98.95 | 99.00 | 99.01 | 99.01 | 99.02 | 99.03 | 99.04 | 99.05 |
| 0.9                           | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.70 | 17.02 | 20.30 | 23.56 | 26.75 | 29.92 | 33.05 | 59.87 | 78.86 | 88.08 | 92.59 | 98.13 | 98.79 | 98.95 | 99.00 | 99.01 | 99.01 | 99.02 | 99.03 | 99.04 | 99.05 |
| 1                             | 3.52                        | 7.02  | 10.37 | 13.70 | 17.02 | 20.30 | 23.56 | 26.75 | 29.92 | 33.05 | 59.87 | 78.86 | 88.08 | 92.59 | 98.13 | 98.79 | 98.95 | 99.00 | 99.01 | 99.01 | 99.02 | 99.03 | 99.04 | 99.05 |

4. táblázat – 44527 állomás esetére számolt tároló hatékonyság értékek [%] – Tényleges jelen hatékonyság.

| Térfogat<br>[m <sup>3</sup> ] | Zöldfelület:vízgyűjtő arány |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------------------------------|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                               | 1:0.1                       | 1:0.2 | 1:0.3 | 1:0.4 | 1:0.5 | 1:0.6 | 1:0.7 | 1:0.8 | 1:0.9 | 1:1   | 1:2   | 1:3   | 1:4   | 1:5   | 1:10  | 1:20  | 1:30  | 1:40  | 1:50  | 1:60  | 1:70  | 1:80  | 1:90  | 1:100 |
| 0.01                          | 4.54                        | 8.27  | 11.22 | 13.57 | 15.36 | 16.75 | 17.92 | 18.86 | 19.65 | 20.34 | 24.71 | 26.85 | 28.21 | 29.07 | 31.34 | 32.66 | 33.01 | 33.22 | 33.33 | 33.42 | 33.51 | 33.56 | 33.58 | 33.58 |
| 0.02                          | 4.56                        | 8.92  | 12.75 | 16.01 | 18.85 | 21.22 | 23.34 | 25.18 | 26.72 | 27.99 | 35.56 | 39.17 | 41.36 | 42.82 | 46.45 | 48.83 | 49.52 | 49.83 | 50.07 | 50.27 | 50.41 | 50.49 | 50.57 | 50.64 |
| 0.03                          | 4.56                        | 8.97  | 13.25 | 17.07 | 20.37 | 23.26 | 25.81 | 28.07 | 30.10 | 31.99 | 42.87 | 47.58 | 50.32 | 52.21 | 56.78 | 59.69 | 60.65 | 61.14 | 61.43 | 61.64 | 61.82 | 61.97 | 62.09 | 62.17 |
| 0.04                          | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.54 | 21.21 | 24.48 | 27.40 | 30.00 | 32.32 | 34.41 | 48.31 | 53.89 | 57.06 | 59.22 | 64.42 | 67.70 | 68.76 | 69.27 | 69.69 | 69.94 | 70.12 | 70.30 | 70.45 | 70.56 |
| 0.05                          | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.66 | 25.20 | 28.40 | 31.37 | 33.99 | 36.36 | 52.30 | 58.94 | 62.63 | 64.94 | 70.50 | 73.91 | 75.05 | 75.66 | 76.13 | 76.46 | 76.66 | 76.83 | 76.99 | 77.13 |
| 0.06                          | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.88 | 25.66 | 29.07 | 32.24 | 35.22 | 37.89 | 55.39 | 63.01 | 67.06 | 69.58 | 75.29 | 78.71 | 79.90 | 80.56 | 81.07 | 81.38 | 81.61 | 81.76 | 81.90 | 82.03 |
| 0.07                          | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.93 | 25.94 | 29.51 | 32.81 | 35.91 | 38.89 | 57.80 | 66.27 | 70.63 | 73.36 | 78.99 | 82.53 | 83.76 | 84.42 | 84.91 | 85.21 | 85.42 | 85.60 | 85.73 | 85.85 |
| 0.08                          | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.93 | 26.02 | 29.71 | 33.18 | 36.43 | 39.52 | 59.86 | 68.81 | 73.57 | 76.46 | 82.11 | 85.53 | 86.75 | 87.35 | 87.85 | 88.25 | 88.46 | 88.63 | 88.79 | 88.91 |
| 0.09                          | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.93 | 26.02 | 29.86 | 33.41 | 36.80 | 40.04 | 61.59 | 70.82 | 75.95 | 78.87 | 84.54 | 87.74 | 88.93 | 89.57 | 90.12 | 90.52 | 90.79 | 90.96 | 91.12 | 91.28 |
| 0.1                           | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.93 | 26.02 | 29.92 | 33.56 | 37.06 | 40.41 | 63.07 | 72.58 | 78.10 | 81.01 | 86.53 | 89.47 | 90.60 | 91.23 | 91.78 | 92.19 | 92.52 | 92.70 | 92.85 | 92.98 |
| 0.2                           | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.93 | 26.02 | 29.92 | 33.78 | 37.60 | 41.41 | 69.87 | 82.57 | 88.08 | 91.14 | 95.27 | 96.28 | 96.91 | 97.29 | 97.54 | 97.70 | 97.82 | 97.90 | 97.99 | 98.08 |
| 0.3                           | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.93 | 26.02 | 29.92 | 33.78 | 37.60 | 41.41 | 70.53 | 84.15 | 90.22 | 93.26 | 97.52 | 98.29 | 98.50 | 98.63 | 98.75 | 98.86 | 98.97 | 99.04 | 99.12 | 99.20 |
| 0.4                           | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.93 | 26.02 | 29.92 | 33.78 | 37.60 | 41.41 | 70.53 | 84.66 | 91.09 | 94.28 | 98.37 | 98.88 | 99.01 | 99.14 | 99.18 | 99.22 | 99.25 | 99.25 | 99.25 | 99.25 |
| 0.5                           | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.93 | 26.02 | 29.92 | 33.78 | 37.60 | 41.41 | 70.53 | 84.80 | 91.56 | 94.66 | 98.62 | 99.04 | 99.09 | 99.14 | 99.18 | 99.22 | 99.25 | 99.25 | 99.25 | 99.25 |
| 0.6                           | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.93 | 26.02 | 29.92 | 33.78 | 37.60 | 41.41 | 70.53 | 84.80 | 91.56 | 94.66 | 98.62 | 99.04 | 99.09 | 99.14 | 99.18 | 99.22 | 99.25 | 99.25 | 99.25 | 99.25 |
| 0.7                           | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.93 | 26.02 | 29.92 | 33.78 | 37.60 | 41.41 | 70.53 | 84.80 | 91.56 | 94.66 | 98.62 | 99.04 | 99.09 | 99.14 | 99.18 | 99.22 | 99.25 | 99.25 | 99.25 | 99.25 |
| 0.8                           | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.93 | 26.02 | 29.92 | 33.78 | 37.60 | 41.41 | 70.53 | 84.80 | 91.56 | 94.66 | 98.62 | 99.04 | 99.09 | 99.14 | 99.18 | 99.22 | 99.25 | 99.25 | 99.25 | 99.25 |
| 0.9                           | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.93 | 26.02 | 29.92 | 33.78 | 37.60 | 41.41 | 70.53 | 84.80 | 91.56 | 94.66 | 98.62 | 99.04 | 99.09 | 99.14 | 99.18 | 99.22 | 99.25 | 99.25 | 99.25 | 99.25 |
| 1                             | 4.56                        | 8.97  | 13.35 | 17.70 | 21.93 | 26.02 | 29.92 | 33.78 | 37.60 | 41.41 | 70.53 | 84.80 | 91.56 | 94.66 | 98.62 | 99.04 | 99.09 | 99.14 | 99.18 | 99.22 | 99.25 | 99.25 | 99.25 | 99.25 |

















