

## VÁROSI CSAPADÉKVÍZGYŰJTŐ TÁROZÓ MÉRETÉNEK VIZSGÁLATA AZ 1901-2020 IDŐSZAK NAPI METEOROLÓGIAI ADATAI ALAPJÁN

RÁCZ TIBOR – WALTNER ISTVÁN – GELYBÓ GYÖRGYI

### Összefoglalás

*A tanulmány az épületek tetővizeinek gyűjtésére szolgáló csapadékvíz tározók vizsgálatát mutatja be, egy a magyarországi viszonyok között jellemző tetőmérettel és egy lehetséges vízhasználattal. A vizsgálat egy egyszerű, napi csapadék és hőmérséklet adatokon alapuló modell alapján történt. A modell, minthogy 120 év adatain alapul, alkalmas arra, hogy az időközben lezajlott ingadozások és a bekövetkezett emberi tevékenységre visszavezethető klímaváltozás hatásait bemutassa. Emellett vizsgálható az egyes járatos névleges térfogatú tározók néhány jellemzője is. A tanulmányban az éves és a fagymentes időszakra kiterjesztett csapadékgyűjtés eredményeit mutattuk be. Vizsgálat tárgyát képezte egy extrém nagy tározó alkalmazása is, amely során az öntözött terület változtatása volt elemezhető. A vizsgálatok egyik megállapítása az, hogy a tározás optimális mérettartományának felső határa a felvett bemeneti és kimentési paraméterek mellett, az adott napi meteorológiai adatok figyelembevételével a 20 m<sup>3</sup> környezetében helyezkedik el. A tározó kihasználtsága efelett lényegében alig értelmezhető és az optimális térfogat valahol e szint alatt található. Vizsgáltuk azt is, hogy az egyes paraméterek aránya miként változott az elmúlt évszázadban. A tanulmány megállapítása az, hogy az öntözési célú vízvisszatartás mindenképp pozitív hatású. A nagyobb tározó kialakítása általában jobb mutatókat eredményez, de felvethető, hogy egy háztartás esetében a beruházási költségek megtérülése miképp alakul, ez további vizsgálatok tárgya kell legyen.*

**Kulcsszavak:** csapadéktározás, klímaváltozás, meteorológia, csapadékvíz hasznosítás, szcenárió

**JEL kód:** Q2, Q25, Q54, Q55

## EVALUATION OF URBAN RAINWATER STORAGE SIZING BASED ON DAILY METEOROLOGICAL DATA FOR THE 1901 – 2020 PERIOD

### Abstract

*The study presents the investigation of rainwater reservoirs for collecting roof water from buildings, with a roof size typical for Hungarian conditions and a possible water use. The study was based on a simple model based on daily precipitation and temperature data. The model results, which took into account 120 years of data, are suitable for showing the effects of the fluctuations that have taken place in the meantime as the spontaneous fluctuations of the climate and by climate change that can be traced back to human activity. In addition, it was possible to examine some of the characteristics of each reservoir with a nominal volume. In the study, we have presented the results of rainwater collection in the case of annual (whole-year) and seasonal (frost-free) periods. The examination of an extremely large reservoir was also the subject of the study, during which the change in the irrigated area was analyzed. One of the*

*findings of the tests is that the estimated upper limit of the optimal size of the reservoir. It was found that with the frame of the recorded input and output parameters, taking into account the meteorological data, the maximum reasonable size of the tank is around 20 m<sup>3</sup>, although the optimal volume is to be found well below this value. The utilization of greater reservoir cannot be interpreted. We also examined how the ratio of individual parameters changed over the past century. The conclusion of the study is that water retention for irrigation purposes is definitely positive. The design of a larger reservoir usually results in better indicators, but it is possible to raise the question of how the return on investment costs can be validate in the case of a household. This question should be the subject of further investigations.*

**Keywords:** rainwater storage, climate change, meteorology, rainwater utilization, scenario

## Bevezetés

Köztudomású, hogy a csapadékhullás éven belüli eloszlása a statisztikai átlag körül meglehetősen nagy változékonysággal ingadozik. E változékonyságon felül – bizonyos aspektusok vonatkozásában – az utóbbi időben az emberi tevékenység miatt kialakuló éghajlatváltozás hatása kimutatható (BERÉNYI et al., 2021; OMSZ, 2022; LAKATOS et al., 2014). Mindez akkor is gondot okoz, ha a folyamatban az éves csapadékösszegek változása nem lényeges. Az egyik legnagyobb probléma a csapadékesemények közötti száraz időszakok hosszának növekedése (LAKATOS et al., 2014; OMSZ, 2022). Ennek hatása az egyértelmű felmelegedéssel együtt mind a termesztett, mind a természetes növényzet számára kedvezőtlen, mivel vízellátásuk egyenlőtlenebb (MOHAMMED et al., 2020; EEKHOUT et al., 2018). A termesztett növényzet és a zöld infrastruktúra esetében célszerű kiegészítő vízutánpótlásról gondoskodni. Az egyenlőtlen csapadékhullás azt is jelentheti, hogy a hosszabb csapadékmentes időszakokat követően nagyobb mennyiségű csapadék hullik le egyszerre, amely a talaj korlátos befogadóképessége miatt elfolyik a természetes vagy mesterséges vízelvezető rendszereken. Ha a víz a növényzet fenntartásához hiányzik, akkor a pótlása szükséges. Ennek több forrása lehet. Városi környezetben kézenfekvő a vezetékes víz használata, amely ugyanakkor ivóvíz minőségűre tisztított víz felhasználását jelenti, elsősorban épp a vízellátást is fenyegethető száraz időszakokban. Másik lehetőség a felszíni vizek felhasználása, ám száraz időszakokban ez a vízkészlet is sok esetben korlátozott, ha egyáltalán elérhető. További lehetőség a talajvíz felhasználása, amely ugyanakkor egy olyan vízkészlet megcsapolását jelenti, amely a hosszú száraz időszakok és a hirtelen lehulló csapadék, vagy településeken a burkolatok miatt szintén hiányt szenved. Mélyebb kutakból az egyre hosszabb idő alatt utánpótlódó, esetenként szintén hiányt szenvedő vízkészlet megcsapolására kerülne sor, amely kifejezetten káros. A talajvíz ugyancsak vízpótlásra szorulhat a kedvezőtlen változások miatt, amely a szakirodalomban ugyancsak széles körben tárgyalt kérdés (például SZALAI, 2011).

Gyakorlatias megoldást jelent a növényzet vízellátásának javításában a csapadékvíz tározása, és a tározott víz öntözésre történő felhasználása, mely egyre inkább magára vonzza a kutatók figyelmét is (VELASCO-MUÑOZ et al., 2019). Ehhez nyilván tározók építése, valamint a tározóra alapozottan alkalmas öntözőrendszer kialakítása szükséges. Amennyiben a tározott víz elfogy, az öntözést a fentebb leírt módon lehet kiegészíteni. A szükséges eszközök létrehozása és a vízkészletek használata költségeket generál. A csapadékvíz gyűjtésén alapuló öntözés kialakítása még az ingyen esővíz mellett is gazdasági kérdés, így a létesítés során annak költségeivel is számolni kell. A csapadékgyűjtés és a felhasználás gazdasági kérdései komplex kutatást igényelnek (BASHAR et al., 2018), csakúgy, mint a többcélú felhasználás, a fenntartási igény és a társadalmi tudatformálás (CAMPISANO et al., 2017). Jelen tanulmány így azzal foglalkozik, hogy a felvett adatok alapján miképp alakulhatott volna a vizsgált névleges térfogatú tározók néhány paramétere, illetve azok arányai. A vizsgálatokat a tetőről lefolyó

vízre (tetővízre) fókuszálva végezzük el, egy modell komplexuma, a tető és egy kert együttese esetén a gyűjtött csapadékvíz potenciális városi (öntözési, stb) felhasználásával.

## Anyag és módszer

### A modell kialakítása

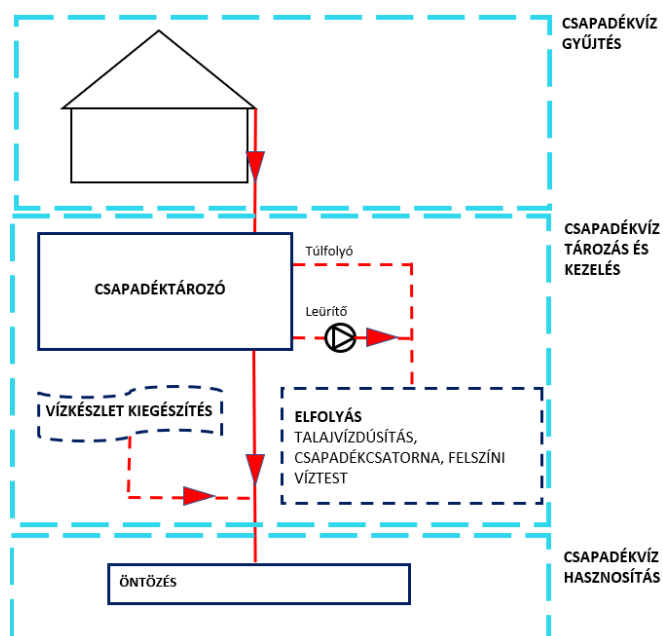
A feltett kérdések vizsgálatára egyszerű modell készült, amellyel a tározó paramétereinek változása elemezhető. A modell a tározott víz mennyiségét vizsgálja a napi vízforgalom, így a napi vízbevétel és napi vízkiadás egyenlege alapján.

A vízbevételt csak egy felvett méretű tetőről a tározóba jutó csapadékvíz képezi, a várható veszteségek becslésével.

A vízkiadás két mennyiséget takar, egyrészt a vízfelhasználást, amely a tározóban rendelkezésre álló vízből történhet, másrészt a túlfolyást. A vízfelhasználás a modellben napi vízfogyasztás becsléssel lett figyelembe véve, ez a továbbiakban részletezett módon. Amennyiben a tározó feltelik, a telt állapot felett érkező víztérfogat elfolyik.

Ha a víztérfogat nem elégséges a vízfogyasztás kiszolgálására, külső forrás bevonása szükséges, amely a modellben számolható, így meghatározható, hogy egy adott méretű tározó mellett mekkora vízpótlás szükséges.

A rendszer vázlatát az 1. ábra szemlélteti. Az ábrán csak a hasznosítás főbb elemei kerülnek bemutatásra, az összes olyan technológia vagy gépészet itt nem látható, amely az egyes rendszerek vízminőségének biztosítására (homokfogó, esetleg csíráatlanítás, a felhasználás célja szerint), vagy a kényszeráramoltatás miatt szükséges (szivattyúk és tartozékai); ezek az elemek a vízhasznosítási rendszer pontos célja és a magassági viszonyok ismeretében helyezendők el egy adott rendszer további finomítása során.



**1. ábra: Tetővíz hasznosító rendszer vízkezelési és gépészeti elemek nélküli, egyszerűsített vázlata / Figure 1. Simplified schematics of a roof-based rainwater harvesting system (rainwater collection -> rainwater storage and treatment [storage tank, additional supply, overflow/drainage] -> utilization [irrigation])**

Forrás: Saját szerkesztés / Source: Own construction

## ***A tetővíz***

A tetővíz elvezető rendszerek bemeneti oldalán található a tetőfelület, amelyről a csapadékvíz a tározóba kerül. A csapadék gyűjtése az ereszcatornákkal és az eresz ejtőcsövekkel történik. Az ejtőcsövek a vizet a felszíni, vagy felszín alatti tározókba juttatják. A jelen tanulmány a vízminőségi kérdésekkel nem foglalkozik. Említés szintjén azonban jelezzük, hogy a tartályok előtt célszerű homokfogó akna és szűrő alkalmazása, hogy a tetőről lemosott szennyeződések leválaszthatók legyenek.

A tetőről lefolyó napi csapadék mennyisége kisebb, mint ami a mért csapadék és a tető alapterületének szorzata. Az eltérésnek több oka is van. Ilyen ok például a

- csapadékhullással egyidejűleg fújó szél
- hó formájában hulló csapadék vesztesége (szél és olvadás-párolgás)
- tető héjazat vízfelvételéből (benedvesítés) adódó veszteség, amely utóbb elpárolog.

A csapadékhullással egyidejűleg fújó szél, amely az épület aerodinamikai hatása miatt az amúgy – szintén közelítéssel – homogénnek feltételezhető csapadékeloszlást megváltoztatja. Ez az eltérés egyedi esetben sem határozható meg pontosan, ráadásul esetünkben napi adatok állnak rendelkezésre, így ez az eltérés itt el lett hanyagolva.

A hó formájában hullott csapadékot csökkentett értékkel vettük figyelembe, tekintve, hogy egyrészt a tetőkön a hó ki van téve a szél hatásának, így a hóban tárolt vízmennyiség a csapadékhullást követően jelentős csökken, valamint az olvadás során gyakorta lefolyás nélkül „tűnik el” a hó, amikor is megolvadva a lokálisan átmelegedett tetőfelszínen a víz elpárolog. A veszteséget a téli időszakban a hóban kihulló csapadék mennyiségének 10%-ban becsültük. Pontos szakirodalom erre a kérdésre nem áll rendelkezésre, a felvett érték így nagyságrendi becslés. Az, hogy a csapadék hó vagy eső formájában hullik, alapvetően a léghőmérséklettől függ. A természetben nincs küszöb hőmérséklet, amely alatt csak hó, vagy amely felett csak eső fordulhat elő. A szakirodalom a legalább 95%-ban szilárd és a legalább 95%-ban cseppfolyós csapadék közötti átmenetet a  $-2,5\text{ °C}$  és a  $+2,5\text{ °C}$  tartományban állapítja meg (WOLFF, 2015; KOCHENDORFER et al., 2017a; KOCHENDORFER et al., 2017b). A modellben lényeges egyszerűsítéssel éltünk, amennyiben a téli időszakban a  $0\text{ °C}$  átlaghőmérséklet alatti csapadékokat egységesen hóesésként értelmeztük, amely késleltetve folyt le.

A fagymentes időszakban hulló eső mennyiségét csökkenti a párolgás és a tetőcserép nedvszívó képessége, valamint az esetleges extrém esők idején az ereszek vízszállítását meghaladó mennyiségű csapadékvíz, amely az ereszen túlbukik, és így nem jut el a tározóig. Figyelembe lett ugyanakkor véve az, hogy egy bizonyos mennyiségű csapadékot a száraz tetőfelszín magába szív, illetve a felszínről elpárolog és emiatt a lefolyó csapadékvíz mennyisége csökken, avagy az ennél kisebb csapadékmennyiség esetén nem is keletkezik lefolyás. Ezt a két hatást oly módon vettük közelítettük, hogy a napi csapadékmennyiségekhez egy küszöbértéket rendeltünk, amely alatt nem vettünk figyelembe lefolyást, az e feletti értékeket pedig a küszöbértékkel csökkentve számoltuk. A napi csapadékmennyiségeket így egységesen 2 mm értékkel csökkentettük. Az ereszen való túlbukásból származó veszteséget, amely megfelelően méretezett ereszek esetén ritkán keletkezik, a számítás során nem vettük figyelembe.

## ***A tározás és a tározó***

A tározók működtetése révén valamilyen időben változó intenzitású áramlásba (anyag, energia) lehet beavatkozni, amely során a beavatkozás célja szerint módosított intenzitással, vagy időben eltolva lehet az áramlásból anyagot vagy energiát kivenni. Minthogy a tározók szükségszerűen csak a megmaradási törvényeknek megfelelően működhetnek, legfeljebb annyi anyag vagy

energia vehető ki belőlük, amennyi a bevételi oldalon a tározóba belép. A csapadékvíz tározás az anyagáramlásba avatkozik be, így a továbbiakban anyagáramlás, térfogatáram és ezek vonatkozásai kerülnek említésre. A tanulmányban tárgyalt helyzetben összenomhatatlan víz figyelembevételével, a tározás általános összefüggése szerint valamely víztározó térfogatváltozása a beérkező térfogatáram és a távozó térfogatáramok különbsége. A csapadékvíz tározás anyagmérlegében a rendelkezésre álló adatoknak megfelelően egynapos időszakban érkező és távozó vízmennyiségeket tüntetünk fel. A beérkező térfogat egyedül a tetőről egy adott napon érkező víztérfogat ( $V_{IN}$ ). A napi anyagmérlegben a távozó térfogat a több elemből áll, így a naponta hasznosított vízmennyiségből ( $V_{UT}$ ), a tározó telt állapota miatt az adott napon túlfolyó vízmennyiség ( $V_{OUT}$ ), és a veszteségként eltávozó víztérfogat ( $V_{LOSS}$ ). A tározó térfogatának változása a  $V_{CHG}$  térfogat. A tározó víztérfogatának növekedését vagy csökkenését (pozitív vagy negatív változását) a  $t$  időszakra a következő egyenlet írja le:

$$V_{CHG} + V_{IN} - V_{UT} - V_{OUT} - V_{LOSS} = 0. \quad (1)$$

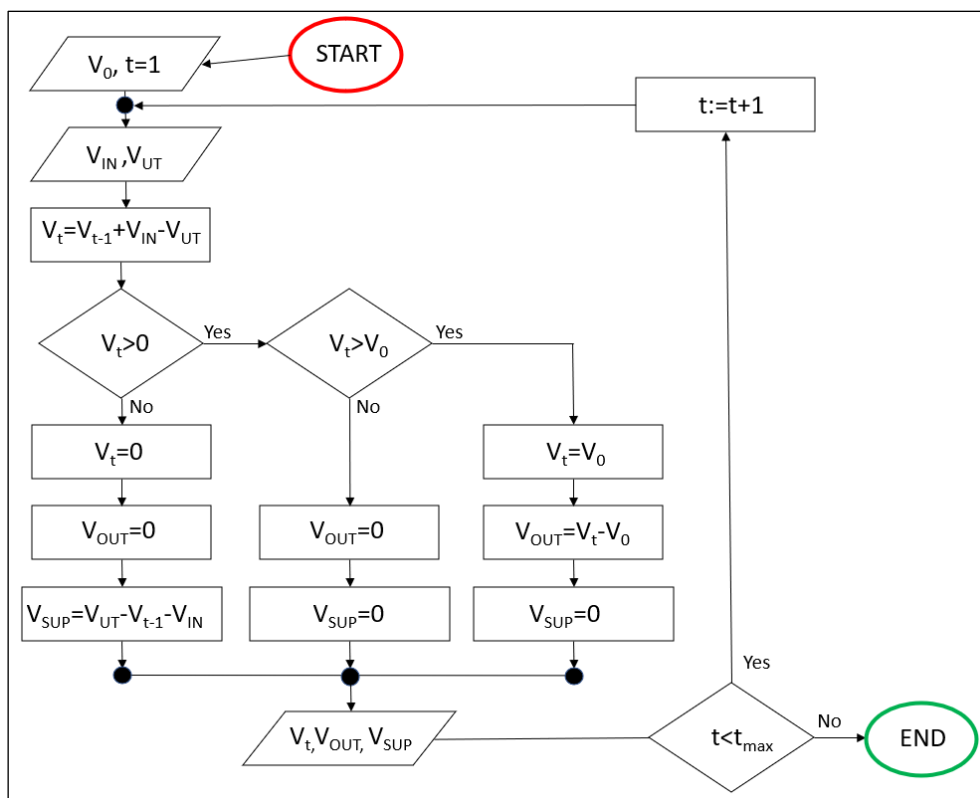
A tározó aktuális térfogata a  $t$  időszak végére

$$V_t = V_{t-1} + V_{CHG}. \quad (2)$$

A képletben  $V_t$  a tározó aktuális térfogata egy bizonyos  $t$ -edik időszak végén, a  $V_{t-1}$  térfogat a közvetlen megelőző, a  $t - 1$  időegység végén kialakult víztérfogat, amelyet  $V_{CHG}$  értéke negatív vagy pozitív irányban módosít. Természetesen kezelni szükséges a modellben azokat a helyzeteket is, amikor egy vizsgált időintervallumban a tározóban rendelkezésre álló víz nem elégséges a vízigény kiszolgálására, és a tározón kívüli vízforrás igénybevétele szükséges. Ezt a feltételrendszert a méretezéshez alkalmazott modell tartalmazza. Az alkalmazott modellt a 2. ábrán látható folyamatábra mutatja be, ahol  $V_0$  a tározó névleges (maximális hasznos) térfogata,  $t_{max}$  a modellben vizsgált periódus utolsó számítási időszaka.

Arra az esetre, ha a tározó leürülne, de volna  $V_{UT}$  vízkivételi igény,  $V_{SUP}$  kiegészítő vízmennyiség vételezése szükséges egy független, külső vízforrásból (kút, vezeték stb.).

A tározó az alkalmazott modellben veszteségmentes, így sem párolgási, sem bármilyen műszaki okra visszavezethető veszteség nem lett figyelembe véve. Párolgási veszteség azon esetekben lehetséges, amikor a csapadéktározó a légkörrel közvetlen kapcsolatban van, valamint a víz a külső hőmérsékletnek megfelelően, vagy a közvetlen napsugárzás miatt melegszik. Gyakorlati tapasztalat szerint a párolgás napi mértéke hőség esetén is 1 cm nagyságrendű érték, így néhány literre tehető a köbméter nagyságrendű térfogathoz képest, ráadásul mértéke függ a párologtató felülettől is, amely jellemzően legfeljebb néhány négyzetméter. Minthogy a modellben nem lett meghatározva a tározó geometriai kialakítása, valamint elhelyezése, ez a veszteség nem lett figyelembe véve. Az elszivárgási veszteség becslése ugyancsak el lett hanyagolva, mivel mennyisége számos, egyedi sajátosságtól függ. Amennyiben a tározó anyaga nem vízzáró, vagy a tározó elemeinek kapcsolata nem vízzáró, vagy valamely elem sérült, nehezen becsülhető mértékű veszteség áll elő. A modellben ép, szivárgásmentes tározót tételeztünk fel.



2. ábra: Az alkalmazott modell folyamatábrája / Figure 2. Process chart of the applied methodology

Forrás: Saját szerkesztés / Source: Own construction

A gyakorlatban a fagyveszélynek kitett és a fagytól védett tározási mód terjedt el. A fagyveszélynek kitett megoldás a legegyszerűbb, ez jellemzően a felszínen elhelyezett tározót (edényt) jelenti. Fagyveszélyes időszakban, amely egyben a mérsékelt öv alatt a növényzet nyugalmi időszaka is, a tározó leürítésre kerül, így a víz gyűjtése ekkor szünetel. Fagyra nem érzékeny megoldást a felszín alatt, valamint a fagymentes helyiségben (pince, egyéb tároló melléképület, nem fagyveszélyes kialakítású kerti tó stb.) kialakított tározók kínálnak. A fagynak kitett tározókból a vízkiszolgálás melegebb télvégi, kora tavaszi időszakban is lehetséges, amennyiben a vízkiosztó rendszer olyan megoldású, hogy a fagy nem tehet kárt benne (automatikus víztelenítés, vízszák mentes kialakítás stb.)

A fagynak kitett tározók üzeme a modellben a hazai fagyos napok előfordulásához igazodik. Az első fagyos napok október 20. körül állnak be, és a (téli) fagyos napok előfordulása március közepéig tart. A modellben a fagynak kitett tározás esetén az október 20. és március 20. közötti időszakban a vízgyűjtés szünetel.

### A vízhasználat modellezése

A rendszer kimeneti oldalán a vízhasznosító rendszer található. Elvileg a csapadékvizet számos célra lehet használni, így öntözésre, kerti díszmedence üzemeltetésére, a levegő párártására (pára permetezés, párapu) egyéb ház körüli feladatokhoz. A modellben csak az öntözés lett figyelembe véve, mivel a többi vízhasználat igen sok szempont szerint változhat, így az egyedi esetekben vizsgálható. Az öntözési vízkivétel ugyancsak erősen változik az öntözött növények jellegétől függően, így a modellben egy egyszerű gyeöntözés lett figyelembe véve. Az öntözési vízhasználat a léghőmérséklettel és a megelőző csapadékkal is kapcsolatba hozható, így az alkalmazott rendszer összetett vizsgálatára alkalmas.

Az öntözési igény modellezésekor a napi legnagyobb mért léghőmérséklet lett figyelembe véve. Az öntözést négy feltételnek megfelelően modelleztük:

- A. Koratavaszi öntözés: 10-20 Celsius fok közötti napi legnagyobb léghőmérséklet tartományban számoltunk  $2 \text{ l/m}^2$  vízádaggal, amennyiben a megelőző három nap során 2 mm-nél kisebb eső hullott, három naponta egyszeri öntözéssel.
- B. Tavaszi öntözés: 20-25 Celsius fok közötti napi legnagyobb léghőmérséklet tartományban számoltunk  $4 \text{ l/m}^2$  vízádaggal, amennyiben a megelőző két nap során 2 mm-nél kisebb eső hullott, kétnaponta egyszeri öntözéssel.
- C. Nyári öntözés: 25-35 Celsius fok közötti napi legnagyobb léghőmérséklet tartományban számoltunk  $5 \text{ l/m}^2$  vízádaggal, amennyiben a megelőző két nap során 2 mm-nél kisebb eső hullott, napi egyszeri öntözéssel.
- D. Kánikulai öntözés: 35 Celsius fok közötti napi legnagyobb léghőmérséklet tartományban számoltunk  $8 \text{ l/m}^2$  vízádaggal, amennyiben a megelőző két nap során 2 mm-nél kisebb eső hullott, napi egyszeri öntözéssel.

### ***A tető és kert modell méretei***

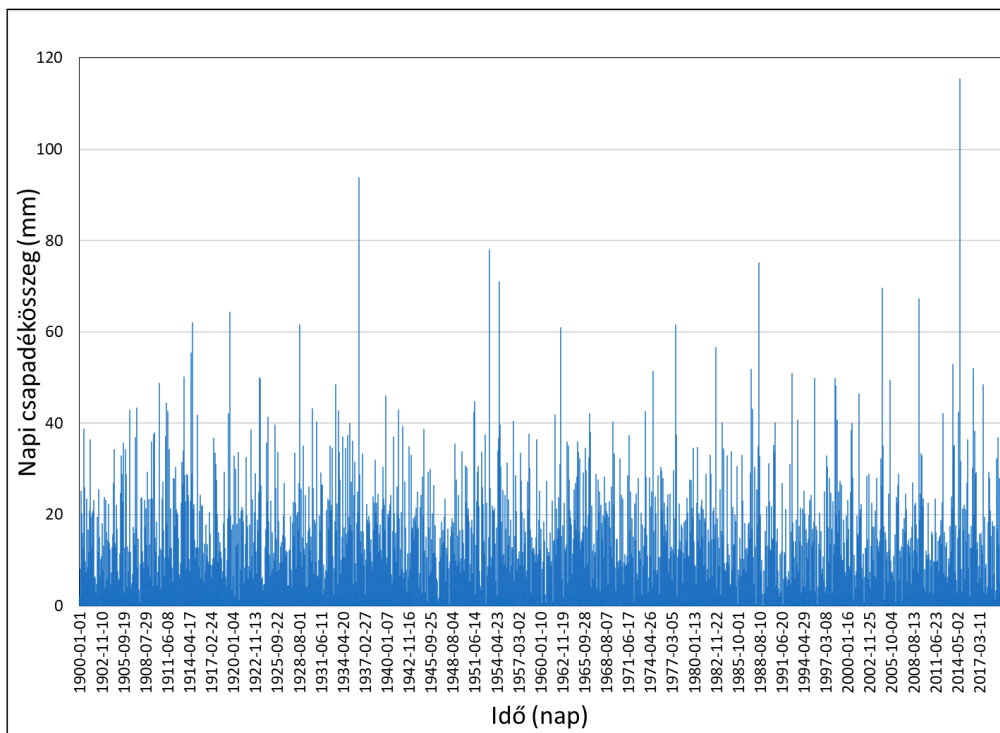
A modellezés során egy ingatlan csapadékvízgyűjtő rendszere került modellezésre. A vizsgált ingatlan egy  $100 \text{ m}^2$  tetőfelületű,  $200 \text{ m}^2$  öntözött kerttel rendelkezett a kiindulási feltevés szerint.

Ha a tározó méretét szélsőséges méretben határozzuk meg, a kert méretének a tározó vízszintjére gyakorolt hatása vizsgálható. Ezt három jellemző esetre vizsgáltuk a tározó térfogatát  $175 \text{ m}^3$ -ben felvéve, amely az éves csapadékösszeg kb. 3,5 szerese. A jellemző esetként a 100, 150, 200, 250 és  $300 \text{ m}^2$  kertméretet vettünk figyelembe ehhez a tározómérethez.

A modellezés további folyamata során vizsgálhatóvá vált a  $100 \text{ m}^2$  tető és  $200 \text{ m}^2$  kert arány megtartása mellett és az alkalmazott tározó térfogat változtatásának hatása. A hatás illusztrálása szélsőségesen felvett méretű öntözött területtel történik.

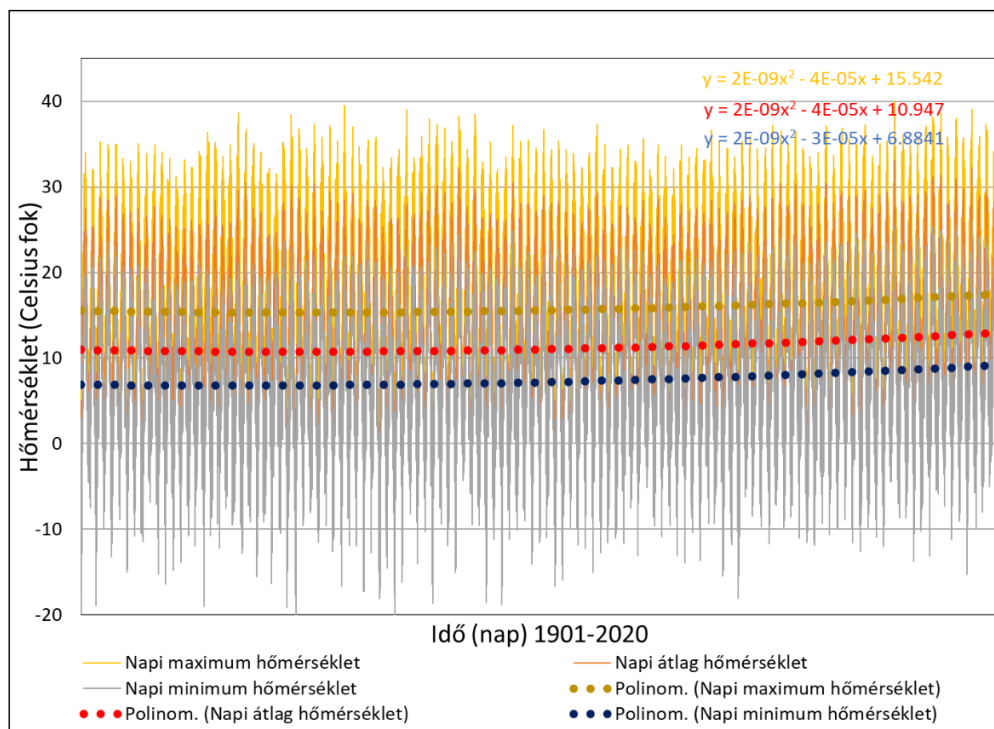
### ***A meteorológiai adatok***

A modell napi vízmérleg alapján készült, a napi csapadékösszeg és a napi legnagyobb mért léghőmérséklet adatok figyelembevételével. A csapadék és léghőmérséklet adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat (továbbiakban: OMSZ) Budapest Belterület csapadékmérő állomáson 1901. január 1. és 2020. december 31. között mérték. A térítésmentesen közreadott adatok minőségellenőrzését az OMSZ elvégzte. Az adatokat az 1901-1910 között a Meteorológiai és Földdelejtési Magyar Királyi Központi Intézet, az OMSZ jogelődjének I. kerület, Fő utca 6. szám alatti székházában mérték. 1910-től napjainkig a II. kerület Kitaibel Pál utca 3. szám alatt folyt az észlelés, 1985-ig az udvari műszerkertben, majd ezt követően a tetőterazon. A modellhez használt csapadék és legmagasabb napi hőmérséklet adatokat a 3. és 4. ábra mutatja.



**3. ábra: Napi csapadékadatok a Budapest Belterület állomáson, 1900-2020 / Figure 3. Daily precipitation data at the Inner Budapest Station, 1900-2020 (x-axis – Dates; y-axis – daily precipitation in mm)**

Forrás: OMSZ (2022) / Source: OMSZ (2022)



**4. ábra: Legnagyobb, átlagos és legalacsonyabb napi hőmérsékletek a Budapest Belterület állomáson, 1901-2020 / Figure 4. Maximum, Mean and Minimum daily temperatures at the Inner Budapest Station, 1901-2020 (x-axis – Dates; y-axis – Temperature in °C; yellow – maximum, red – mean, blue - minimum)**

Forrás: OMSZ (2022) / Source: OMSZ (2022)



A hőmérséklet adatokban látható a klímaváltozás miatt észlelhető emelkedés, amelyet másodfokú regressziós polinommal (továbbiakban: MFRP) közelítve mutat be a 4. ábra. Mivel a modellben a vízfelhasználás a hőmérsékletéhez kapcsolódik a korábban leírtaknak megfelelően, a vízfelhasználás intenzitása (pl. napi átlagos vízhozama) emelkedik. (Az MFRP képletében az  $x$  érték a napok száma 1901.01-01-től)

A vízigény meghatározását befolyásolja a csapadékmentes (illetve az annak tekintett 1 mm-nél kisebb csapadékösszegű napokból álló) időszakok hossza is, amely a vizsgált időszakban kismértékben növekszik (OMSZ, 2022).

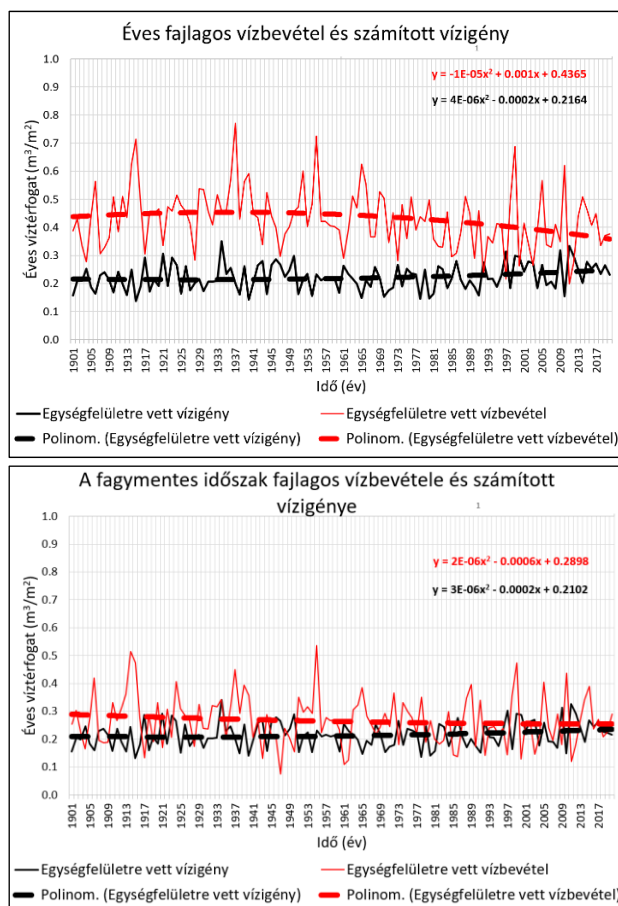
### ***A tározás paramétereinek vizsgálata az 1901-2020 időszakra***

A vízvisszatartás célja a vízelvezető rendszereken hasznosítás nélkül eltávozó víz mennyiségének csökkentése. (Az elfolyó víz további hasznosítása is lehetséges, például a talajvíz visszapótlására) A vízvisszatartásnak két módja van, az egyik a lefolyást nyújtja el, és csökkenti a lefolyás csúcsintenzitását, míg a másik a víz visszatartását és egyéb hasznosítását biztosítja. Az egyéb használat egyik módja az öntözés, amely a jelen vizsgálatban alkalmazott modellben a feltételezett kizárólagos vízhasználat. A vízvisszatartás során a lefolyást elsősorban a tározó túlfolyása jelent. Megemlítendő még a tározó bármely okból történő leürítése (például tisztítási, létesítmény ellenőrzési vagy fagyvédelmi okból), amely során a víz a vízelvezető rendszerben terhelést okoz, illetve hasznosítás nélkül folyik el. Ebben az esetben a tározás és hasznosítás a lefolyás csökkentéseként értelmezhető, és a lefolyási tényező csökkentésében nyilvánul meg. A tetővíz és elvezető rendszer viszonylatában a lefolyási tényezőhöz tartalmában hasonló a tározón túlfolyó  $V_{OUT}$  vízfogat és a befolyó  $V_{IN}$  víztérfogat hányadosa. Ha nincs tározó, akkor ez az érték 1.00.

## **Eredmények**

### ***A vízbevétel és a vízhasználat alakulása egység felületen***

A vízbevételre és vízhasználatra vonatkozó jelleggörbék a teljes éves (továbbiakban T $\acute{E}$ ) és a részleges éves (továbbiakban R $\acute{E}$ ) gyűjtés esetét mutatják be (5. ábra). A görbék fajlagos értékeket ábrázolnak, így a vízbevétel a tetőfelületre, a vízhasználat, illetve vízigény az öntözött terület egységéhez lett viszonyítva. A fajlagos vízbevétel csökkenő, míg a fajlagos vízigény növekvő jellegű mindkét esetre. Az éves adatokra illesztett MFRP a változásokról megfelelő képet ad. Az R $\acute{E}$  esetben a vízbevétel trendje visszafogott és a T $\acute{E}$  esethez képest alacsonyabb értékeket mutat a részleges éves vízbevétel révén. A vízbevétel a T $\acute{E}$  esetben a múlt század 30-as éveiben tetőzött, a regressziós függvényvel kiegyenlítve  $0,45 \text{ m}^3/\text{m}^2$  kiegyenlített értékkel. 2020-ra a vízbevétel kiegyenlített értéke  $0,36 \text{ m}^3/\text{m}^2$ -re csökkent. A fajlagos vízigény mindkét esetben ugyanaz, mivel a vízigény paraméterei nem változnak lényegesen (csak a koratavaszi időszak ritka öntözési igénye marad el az R $\acute{E}$  esetben) és kismértékben növekszik, az MFRP-je lényegében lineáris. Az időszak elején  $0,22 \text{ m}^3/\text{m}^2$  az értéke, amely a 2020-ra  $0,25 \text{ m}^3/\text{m}^2$ -re emelkedik. A vízfogyasztás növekedését a mind gyakoribb magas léghőmérséklet okozza, minthogy a vízfogyasztás a modellben – egyéb feltételek mellett – a legnagyobb léghőmérsékletre lett kötve, de az éves csapadékösszeg is kisebb csökkenést mutat, valamint a száraz időszakok hosszának növekedése is emeli a vízigényt. Az 5. ábrán bemutatott változók alakulása a vízhiány növekedését eredményezi, amely a tározás további jellemzőiben markánsabb változást eredményez.



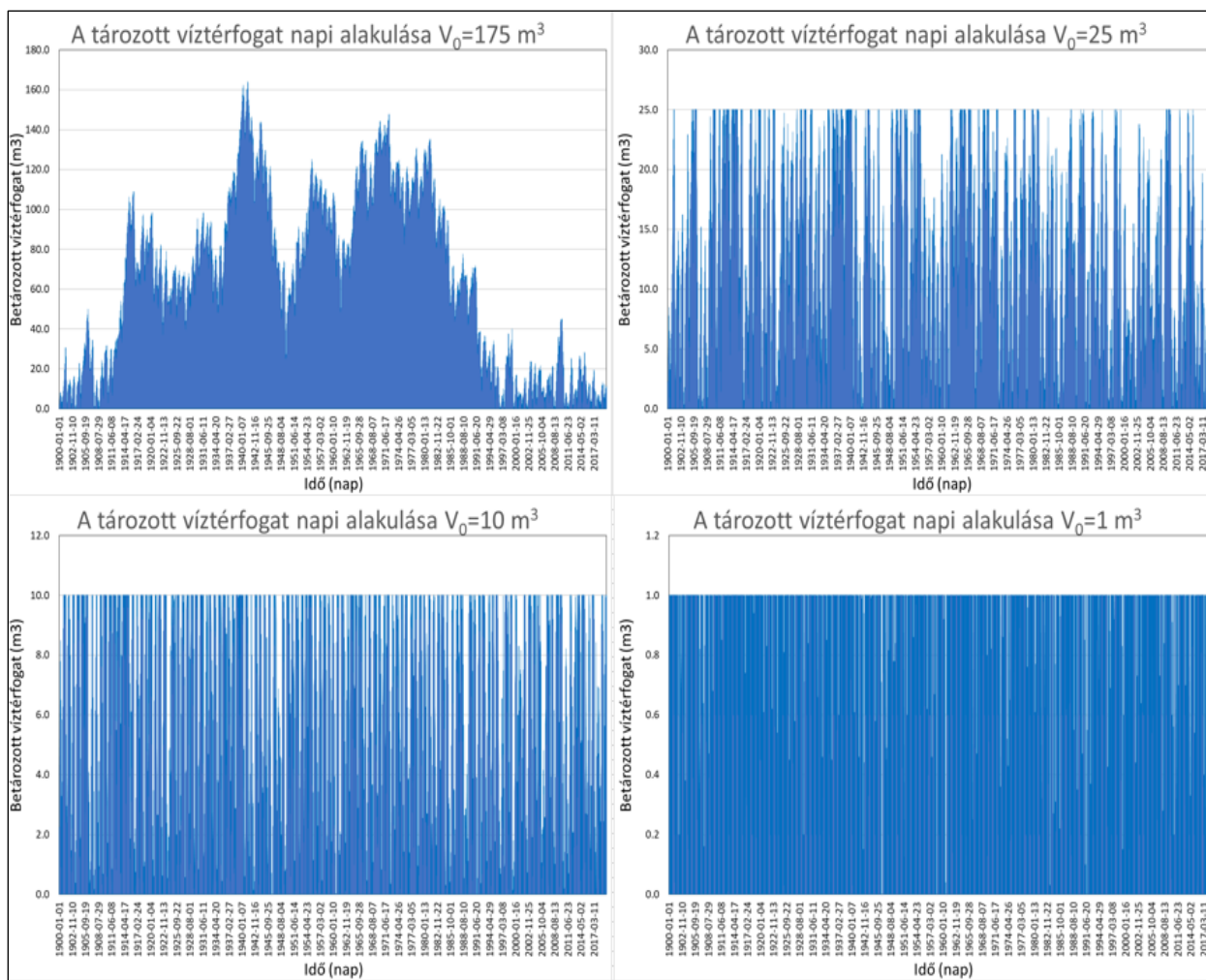
**5. ábra: Éves öntözött egységfelületre vett vízigény és tető egységfelületre vett vízbevétel a modellben használt közelítések figyelembevételével, balra a TÉ, jobbra az RÉ vízgyűjtésre vonatkozó ábrával / Figure 5. Yearly irrigation requirement per unit area and water intake per roof unit area, based on the applied methodology, TÉ collection on the left, RÉ collection on the right (x-axis – Dates; y-axis – Yearly collected water volume [m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>]; red – water demand, black – water intake)**

Forrás: Saját szerkesztés / Source: Own construction

### ***A tározó névleges térfogata és a betározott vízkészlet.***

A tározó névleges térfogata és a betározott víztérfogat napi értékének alakulását a TÉ esetre (100 m<sup>2</sup>-es tető és 200 m<sup>2</sup>-es öntözött kert mellett) az (6. ábra) ábrázolja. Az eredmények az 1, 10, 25 és 175 m<sup>3</sup> névleges tározótérfogat alkalmazásának eseteit mutatják. A 175 m<sup>3</sup>-es névleges térfogat elvi jellegű, mivel az itt alkalmazott térfogat méreténél fogva messze nem gazdaságos, ugyanakkor alkalmas arra, hogy túlfolyás nélkül befogadja a vizsgált 120 év legnagyobb összegyűjthető víztérfogatát. E módon bemutatható az adott vízutánpótlási és vízfelhasználási idősorok mellett kialakuló legnagyobb betározott vízhozam, amely az 6. ábra bal felső diagramján látható, (162 m<sup>3</sup>). A kisebb tározók alkalmazása esetén a névleges térfogatot meghaladó víz elfolyik.

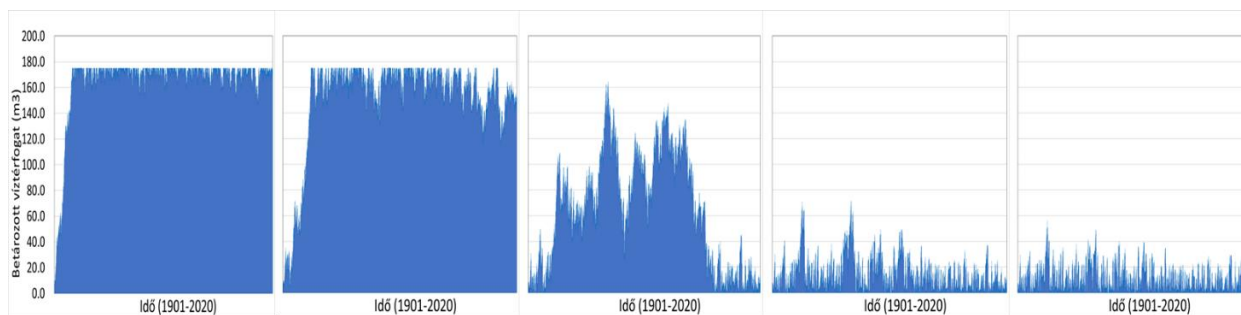
A névleges térfogat csökkentése esetén a tározó telt állapota egyre gyakrabban következik be. A kisebb tározók gyakoribb telt állapota ugyanakkor nem jelenti azt, hogy a külön vízpótlás iránti igény csökkenne, épp ellenkezőleg, mivel a hasznosítható vízmennyiség kisebb.



**6. ábra: Tározott víztérfogat időbeli változása a tározó névleges térfogatának változtatásával / Figure 6. Temporal variation water storage depending on the size of the storage tank (x-axis – Dates, y-axis – Stored water [m<sup>3</sup>]; top left –  $V_0 = 175 \text{ m}^3$ , top right –  $V_0 = 25 \text{ m}^3$ , bottom left –  $V_0 = 10 \text{ m}^3$ , bottom right –  $V_0 = 1 \text{ m}^3$ )**

Forrás: Saját szerkesztés / Source: Own construction

A kert méretének kérdése jelentős hatással van a tározott térfogat sokéves alakulására. Vegyünk például egy igen nagy térfogatú tározót, amely több éves csapadékmennyiség befogadására alkalmas (7. ábra). Ez esetben, amennyiben a kert mérete kicsi, a tározó a teljesen feltöltődik, és vízszintingadozást csak a hozzáfolyáshoz képest kicsiny vízkivétel okoz. Ahogy növekszik a kert mérete, a fogyasztás miatti ingadozás egyre nagyobb. Egy bizonyos kertméret felett a betározott vízkészlet már nem éri el a névleges térfogatot. Ekkor töltődés figyelhető meg a vegetatív időszakon kívül, amely a nedvesebb időszakokban több éven át is látványosan emeli a tározó szintjét, majd a szárazabb időszakokban a vízszint jelentősen visszaesik. A kert méretének további növelése esetén a tározásba az éven átható vízbevitel mértéke egyre csökken, és nem láthatók jelentős csúcsok a betározott víztérfogatban.



**7. ábra: Betározott víztérfogat alakulása 175 m<sup>3</sup> névleges tározótérfogat, valamint 100, 150, 200, 250 és 300 m<sup>2</sup> kert esetén / Figure 7. Water storage in case of 175 m<sup>3</sup> storage volume and 100, 150, 200, 250 and 300 m<sup>2</sup> gardens (x-axis – Time [days], y-axis – Water storage [m<sup>3</sup>])**

Forrás: Saját szerkesztés / Source: Own construction

### ***A tározásra vonatkozó mutatók alakulása***

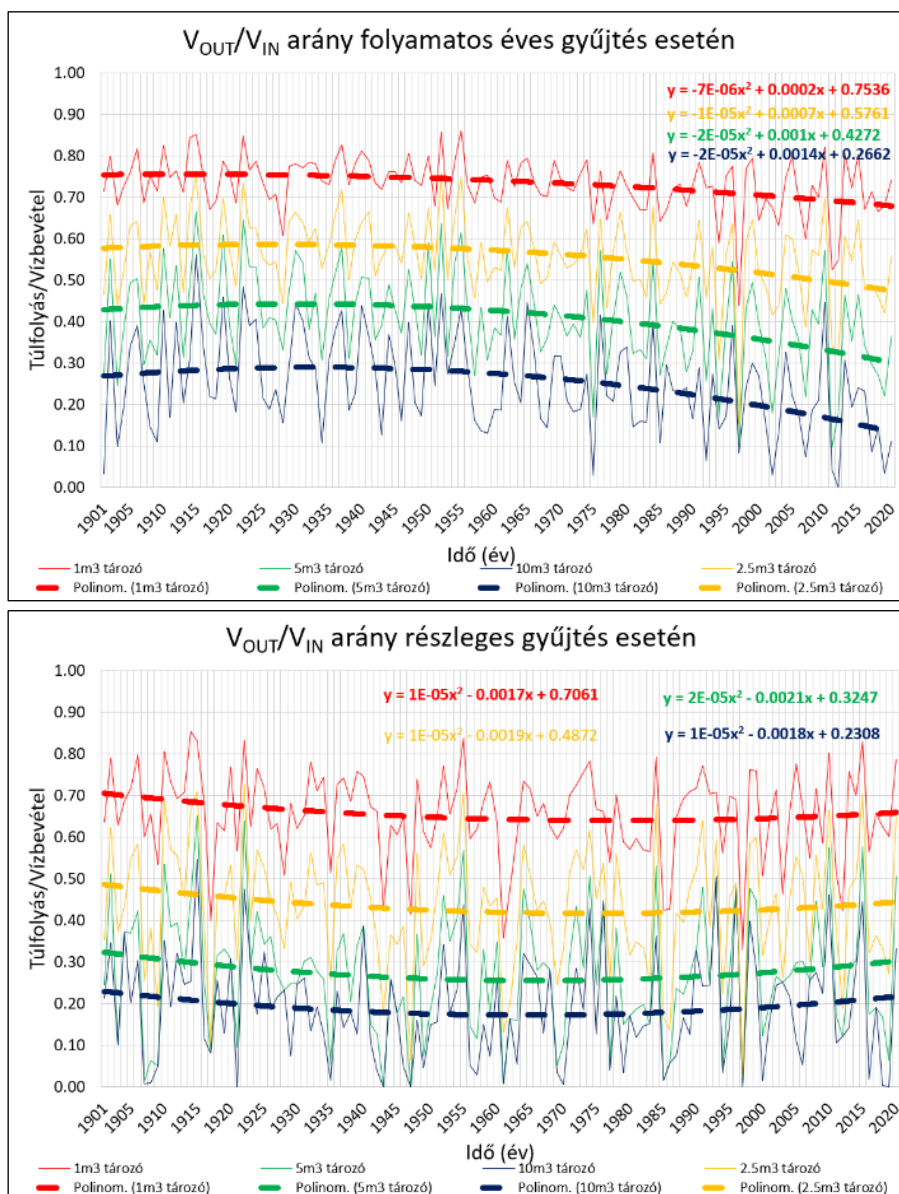
A teljes éves gyűjtés során a gyűjtés folyamatos, így például az év végén a tározóban „megmaradt”, fel nem használt víz a következő év induló vízkészletét gazdagítja. Részleges vízgyűjtés során a csapadéktározót a fagyos időjárás miatt október végén leürítik, és csak március végén kezdik meg a víz gyűjtését. Az RÉ adatok esetén természetesen a vízbevétel adatok is a tározó működési időszakára vonatkoznak. Az ábrákon a továbbiakban bal oldalon az éves, jobb oldalon a részleges gyűjtésre vonatkozó adatok, görbék, illetve regressziós egyenletek találhatóak. Az ábrákon az éves adatokat összekötő vonalaknak műszaki tartalma nincs, csak a vizuális értelmezhetőség elősegítését szolgálják. Az éves adatok (a görbe töréspontjai) a klimatikus variabilitás miatt természetesen szóródnak, így az értelmezhetőség érdekében regressziós görbe került alkalmazásra.

A vizsgálatot a tanulmány hátralevő részében négy névleges térfogatra végeztük el. A vizsgált névleges térfogatok meghatározásánál azt tekintetük lényeges szempontnak, hogy a gyakorlati megvalósítás szempontjából szóba kerülő, rendszeresen beépített térfogatok vizsgálatára sor kerüljön az egyedi ingatlanon beépíthető legnagyobb térfogatokkal együtt. A gyakorta előforduló névleges térfogatok az 1 m<sup>3</sup> (rendszerint több eresznél kialakított csapadékgyűjtő edényekből), a 2,5 m<sup>3</sup>-es térfogat, amely lehet több kisebb egység is, de akár egy nagyobb tározó is. Az előbbieken túlmenően vizsgált 5 és 10 m<sup>3</sup>-es térfogat az a mérettartomány, amely a lakóingatlanok esetében még elérhető és beépíthető tartályokat reprezentálják.

### ***A $V_{OUT}/V_{IN}$ arányszám alakulása.***

A túlfolyás és vízbevétel  $V_{OUT}/V_{IN}$  arányát a 8. ábra mutatja. Ez az arány a lefolyási tényezővel egyező fizikai tartalommal rendelkezik, kifejezetten a tározó és a vízfelhasználás paraméterei függvényében. Amint az várható, az arány értéke a névleges térfogat növekedésével mind a TÉ, mind pedig az RÉ esetben csökken, mivel nagyobb térfogat mellett ritkább és kisebb mértékű a túlfolyás (így kisebb mértékű a lefolyás). Megfigyelhető, hogy az arányszám szóródása a TÉ esetben szűkebb, az RÉ esetben szélesebb sávban történik. Megfigyelhető továbbá, hogy az MFRP görbék TÉ esetben negatív másodfokú tag miatt „domborúak”, míg az RÉ esetben pozitív előjel miatt „homorúak”. Az elsőfokú tag mindkét esetben a másodfokú taggal ellentétes előjelű, a görbület csökkentése felé hat. A TÉ görbék az RÉ görbékhez hasonló értéktartományban helyezkednek el. Ez azt jelenti, hogy a lefolyási tényező vonatkozásában a TÉ és RÉ eset között kevés különbség van (természetesen amennyiben a gyűjthető csapadékokat vesszük csak figyelembe).

A TÉ görbék esetében a csökkenés magyarázata az 5. ábrával kapcsolatban leírt változás, amely az utóbbi évtizedekre a fajlagos vízbevétel és a fajlagos vízigény különbségének növekedése jellemző. Az RÉ görbék által reprezentált időszakokra az 5. ábrával kapcsolatoshoz hasonló elemzés nem készült sor. A TÉ adatok vonatkozásában az arányszám MFRP-jének csökkenése a túlfolyások csökkenése vagy a vízbevétel növekedése, illetve ezek egymást erősítő jellegéből adódnak.



**8  $V_{OUT}/V_{IN}$  arány alakulása a vizsgált névleges térfogatú tározók esetén / Figure 8.**  
**Dynamics of  $V_{OUT}/V_{IN}$  ratio, considering the evaluated storage volumes (x-axis – time [year], y-axis – overflow/intake; red – 1 m<sup>3</sup>, green – 5 m<sup>3</sup>, blue – 10 m<sup>3</sup>, yellow – 2.5 m<sup>3</sup>)**  
 Forrás: Saját szerkesztés / Source: Own construction

A névleges tározótérfogat növekedésével a  $V_{OUT}/V_{IN}$  arányszám értéktartománya (a görbe szélsőértékeinek különbsége) nő.

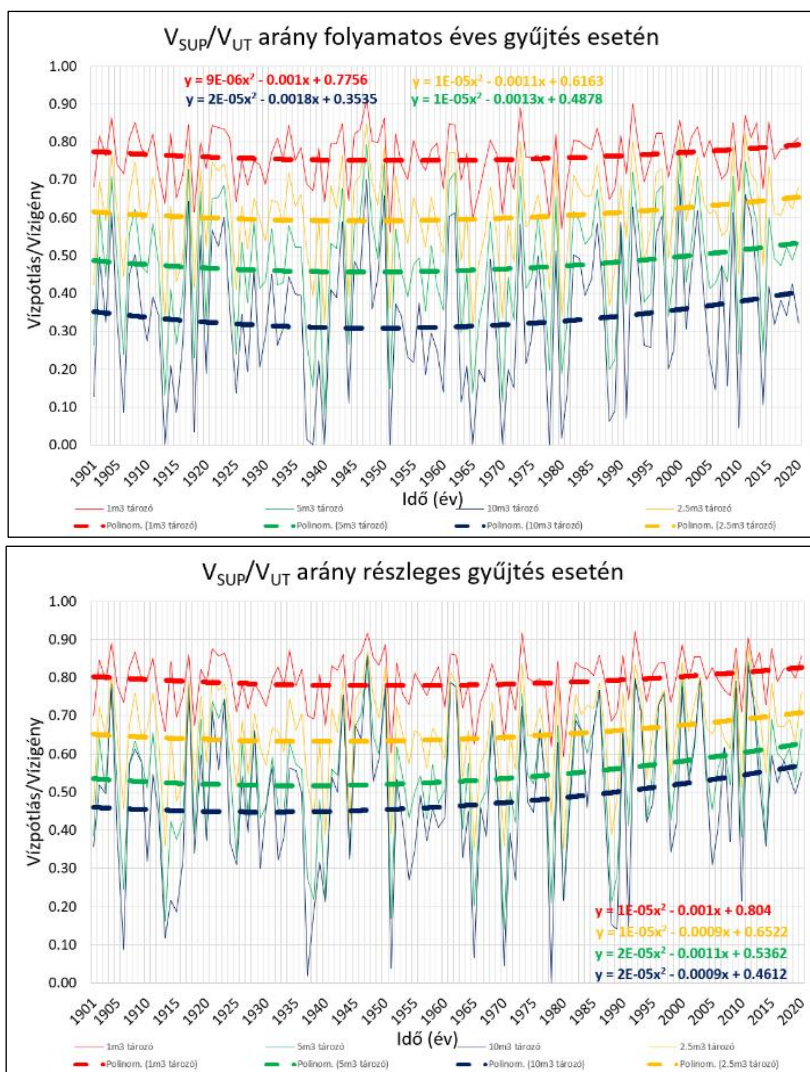


**1. táblázat: A Túlfolyás-Vízbevétel ( $V_{OUT}/V_{IN}$ ) arány különféle névleges térfogatok esetén / Table 1. Overflow – Intake ( $V_{OUT}/V_{IN}$ ) ratio under different nominal volumes (left column – Nominal storage, middle column – codomain of  $V_{OUT}/V_{IN}$  ratio (TÉ collection), right column – codomain of  $V_{OUT}/V_{IN}$  ratio (RÉ collection))**

Névleges térfogat	$V_{OUT}/V_{IN}$ arányszám értékkészletének szélessége (TÉ)	$V_{OUT}/V_{IN}$ arányszám értékkészletének szélessége (RÉ)
1 m <sup>3</sup>	12%	52%
2,5 m <sup>3</sup>	20%	70%
5 m <sup>3</sup>	32%	65%
10 m <sup>3</sup>	52%	55%

Forrás: Saját szerkesztés / Source: Own construction

A görbék a teljes éves vízgyűjtéshez képest ellentétes, pozitív előjelű MFRP-vel közelíthetők. Az MFRP görbék elhelyezkedésük miatt minimum értékkel jellemezhetők. A minimum az 1 m<sup>3</sup>-es névleges térfogat esetén 1980, a 10 m<sup>3</sup>-es esetén 1965 körül látható, a közbenső térfogatokhoz tartozó minimumok e két év közé esnek.



**9:  $V_{SUP}/V_{UT}$  aránya a felvett paraméterek mellett // Figure 9.  $V_{SUP}/V_{UT}$  ratio under the considered scenarios (Top – continuous collection, Bottom – partial collection; x-axis – time [year], y-axis – supply/demand; red – 1 m<sup>3</sup>, green – 5 m<sup>3</sup>, blue – 10 m<sup>3</sup>, yellow – 2.5 m<sup>3</sup>)**

Forrás: Saját szerkesztés / Source: Own construction

**$V_{SUP}/V_{UT}$  arányszám alakulása.**

A  $V_{SUP}/V_{UT}$  kiegészítő vízpótlás és a vízigény (felhasznált víztérfogat) aránya ad információt (9). A tározóból származó víz mennyisége és kiadagolhatóságának biztonsága, a víz elérhetősége a tározó névleges térfogatának növelésével a vizsgált időszak végére növekszik mind a TÉ, mind az RÉ esetben. Megfigyelhető, hogy az 1 m<sup>3</sup> névleges térfogat esetén lényegében nincs időbeni változás a két gyűjtési eljárás során, az arány mindkét esetben 0,78-0,82 körül alakul. A növekedés mértéke a névleges térfogat növekedésével nagyobb. Az 1 m<sup>3</sup> esetében a növekedés alig észlelhető, nagyobb névleges térfogatok mellett a növekedés kifejezettebb. A TÉ esetben a változás mértéke kisebb mindkét paraméter görbén, az RÉ esetben ugyanakkor a nagyobb névleges térfogatok esetén kifejezett. Ugyancsak a hiányzó téli csapadéktározás miatt az RÉ esetben gyakrabban fordul elő az az eset, hogy a nagyobb tározótérfogat nem telik fel, így magasabb a  $V_{SUP}/V_{UT}$  arányszám az időszak végére.

Az arányszám egyes évekhez tartozó értékei széles sávban szóródnak. Az éves adatok szóródásnak van maximális értéke, amely a névleges térfogat növelése (valamint a felvett használati paraméterek és klíma) mellett állandósul. Ez a névleges térfogatok kisebb lépésközű vizsgálata során látható.

A 2. Táblázat mutatja be a vizsgálat éves adatokra vonatkozó részletesebb eredményét mind a TÉ, mind az RÉ esetre. A TÉ esetben az arányszám maximális értéke alulról korlátos, ebben az esetben 0,60. Ez az érték abban az esetben alakul ki, amikor a vízbevitel több egymást követő évben is alacsony, a vízigény pedig magas. A minimális érték 0, amely azokban az években fordul elő, amikor a kiegészítő vízutánpótlás is nulla. Ez azokat az éveket jellemzi, amelyek csapadékosak, továbbá a csapadék épp a vízigény kielégítésének megfelelő ütemben érkezik. A felvett paraméterek és meteorológiai adatok mellett az arányszám évenként eltérő értékei egy  $\Delta$  szélességben helyezkedik el. A  $\Delta$  az adott példában lokális maximummal rendelkezik 7 m<sup>3</sup> névleges térfogatnál, továbbá az értéke korlátos, értéke eltúlzott tározóméret felvételével sem változik. Ez azt jelzi, hogy az meteorológiai adatok mellett a kert mérete egyes száraz években „túl nagy”, létezik olyan év, amikor a megelőző szárazabb időszakban leürül a tározó, és a vízpótlás mértéke a null térfogatról induló betározás mellett a névleges tározótérfogattól függetlenedik. Az öntözött kertfelület méretének változtatásával és a tározó névleges térfogatának igen nagy értéke mellett, a többi bemenő adat változatlanul hagyása mellett megtalálható az a méret, amelynél kisebb terület mellett az arányszám maximum értékének korlátja is nulla lesz. Ez a jelen példában 155,5 m<sup>2</sup>.

**2. táblázat:  $V_{SUP}/V_{UT}$  arányszám értékei a TÉ és RÉ esetben, 3-17 m<sup>3</sup> névleges térfogatok mellett / Table 2. Values of  $V_{SUP}/V_{UT}$  ratio under collection methods TÉ and RÉ, with 3-17 m<sup>3</sup> nominal storage (first row – Nominal volume in m<sup>3</sup>)**

Névl. térf. m <sup>3</sup>	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>TÉ max</b>	0.83	0.81	0.79	0.77	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66	0.64	0.63	0.61	0.60	0.60
<b>TÉ min</b>	0.25	0.15	0.08	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>TÉ <math>\Delta</math></b>	0.58	0.66	0.72	0.74	0.75	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66	0.64	0.63	0.61	0.60	0.60
<b>RÉ max</b>	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
<b>RÉ min</b>	0,30	0,21	0,14	0,11	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>RÉ <math>\Delta</math></b>	0,57	0,65	0,72	0,75	0,80	0,84	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86

Forrás: Saját szerkesztés / Source: Own construction

Az arányszám szélsőértékei és az adatok szóródásának szélessége a példában felvett paraméterek esetében a 3. 3 mutatja be.

**3. táblázat:  $V_{SUP}/V_{UT}$  arányszám szélsőértékei és értékészletének szélessége / Table 3. Extreme values and codomain of  $V_{SUP}/V_{UT}$  ratio** (column 1 – nominal volume, column 2 – extreme values of  $(TÉ) V_{SUP}/V_{UT}$ , column 3 – codomain of  $(TÉ) V_{SUP}/V_{UT}$ , column 4 – extreme values of  $(RÉ) V_{SUP}/V_{UT}$ , column 5 – codomain of  $(RÉ) V_{SUP}/V_{UT}$ )

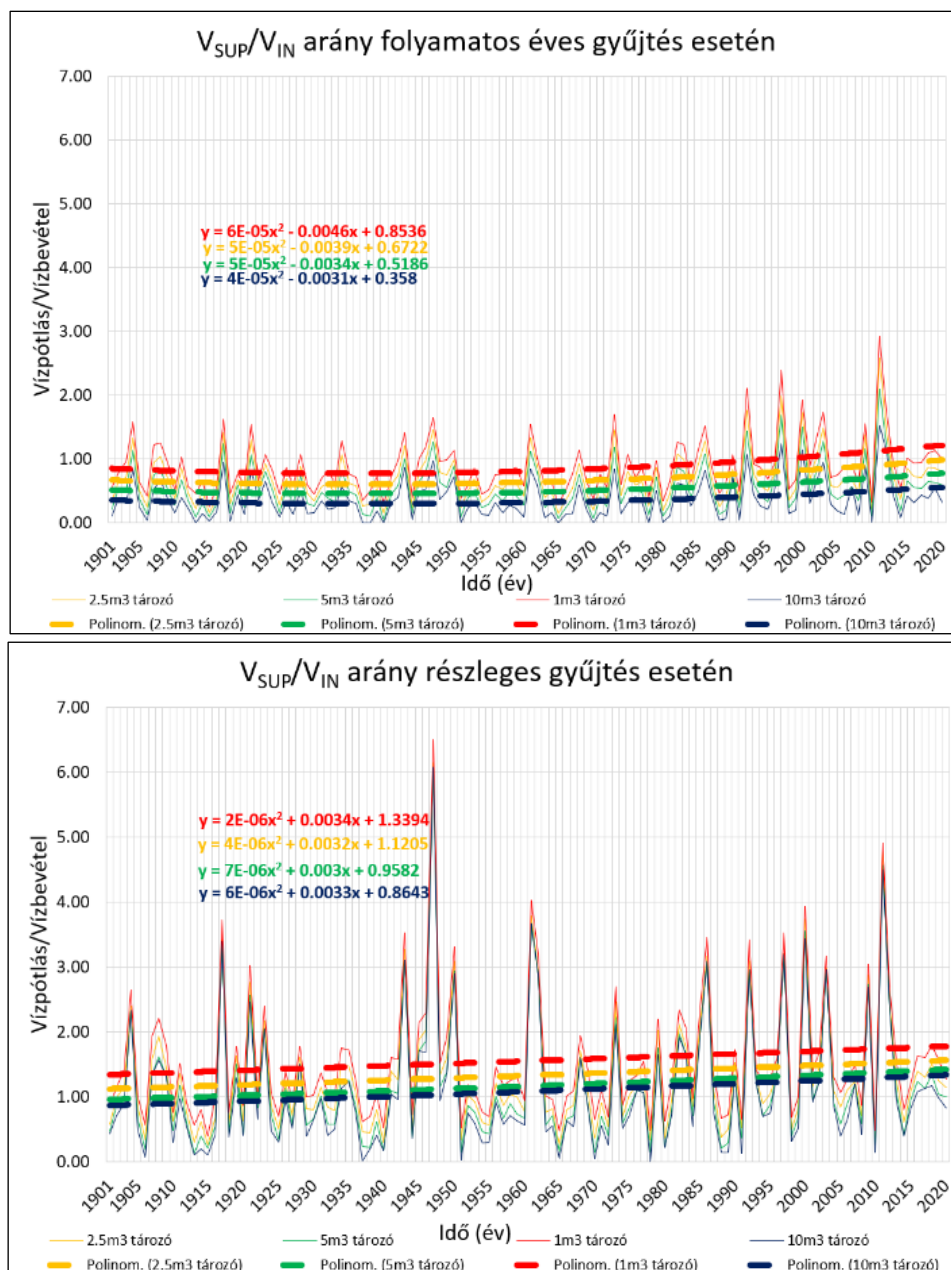
Névleges térfogat	$(TÉ) V_{SUP}/V_{UT}$ arányszám szélsőértékei	$(TÉ) V_{SUP}/V_{UT}$ arányszám értékészletének szélessége	$(RÉ) V_{SUP}/V_{UT}$ arányszám szélsőértékei	$(RÉ) V_{SUP}/V_{UT}$ arányszám értékészletének szélessége
1 m <sup>3</sup>	0,56-0,91	35%	0,59-0,92	33%
2,5 m <sup>3</sup>	0,31-0,85	54%	0,35-0,88	53%
5 m <sup>3</sup>	0,08-0,79	72%	0,14-0,86	72%
10 m <sup>3</sup>	0,00-0,70	70%	0,00-0,86	86%

Forrás: Saját szerkesztés / Source: Own construction

#### **$V_{SUP}/V_{IN}$ arányszám alakulása.**

A  $V_{SUP}/V_{IN}$ , azaz a vízpótlás vízbevételre vonatkoztatott arányszámban a száraz évek mutatnak kiugró értékeket (10. ábra). A vizsgált időszak utolsó három dekádjában sűrűbben fordultak elő száraz időszakok, és ezzel egybeesik amúgy is a vízpótlási igény emelkedése. Utóbbi a felmelegedés következménye, minthogy a modell a vízfelhasználást (gyepöntözést) a napi legnagyobb hőmérséklet és a megelőző napok csapadéka függvényében veszi figyelembe, így üres tározó esetén a vízpótlás is e mennyiségektől függ. Az MFRP-vel végzett regressziós parabola a vizsgált időszak végére az arányszám emelkedését mutatja. Az MFRP az RÉ esetben lényegében lineáris. Az kevés tenyészidőszaki csapadékot hozó években az arányszám kiugró értéket mutat. A nagyobb névleges térfogatú tározók esetében az arány kisebb, mint a kisebb tározók esetében.





10. ábra:  $V_{SUP}/V_{IN}$  arány alakulása a vizsgált névleges térfogatú tározók esetén / Figure

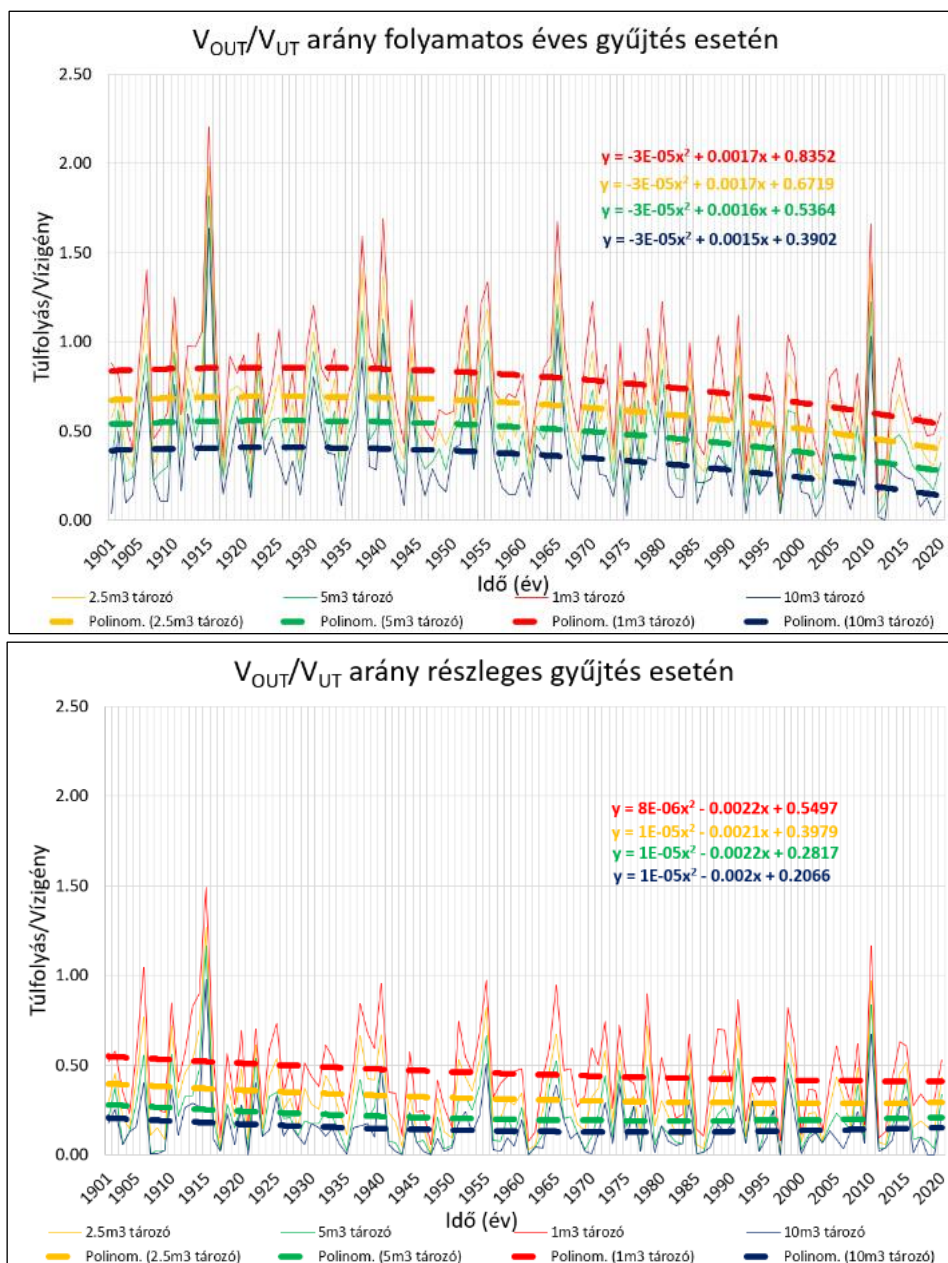
10.  $V_{SUP}/V_{UT}$  ratio under the considered nominal storage volumes (Top – continuous collection, Bottom – partial collection; x-axis – time [year], y-axis – output/input; red – 1 m<sup>3</sup>, green – 5 m<sup>3</sup>, blue – 10 m<sup>3</sup>, yellow – 2.5 m<sup>3</sup>)

Forrás: Saját szerkesztés ??? / Source: Own construction ???

Megfigyelhető az  $V_{SUP}/V_{IN}$  arányszám esetében az is, hogy az extrém vízpótlást igénylő években a vízpótlás és vízbevitel aránya lényegesen nem különbözik. Például a vegyük az 1 és 10 m<sup>3</sup>-es névleges térfogatokat. A teljes éves tározás esetében az 1 m<sup>3</sup>-es tározó az MFRP szerint akár kétszeres, háromszoros vízpótlást igényel, ugyanakkor az éves adatokban az eltérés 2-3 szoros. Ebben az esetben a nagy variabilitás miatt a kiegyenlítő MFRP görbék alkalmazása a szélsőséges évek vonatkozásában jelentős eltérés látható.

**$V_{OUT}/V_{UT}$  arányszám alakulása.**

A túlfolyás vízigényre vett aránya ( $V_{OUT}/V_{UT}$ ) a vizsgált időszakban csökkenő, és a csökkenés a névleges térfogat növekedésével azonos irányban változik és a csapadékos években mutat kiugró értékeket (11). Az MFRP görbék a TÉ tározóknál negatív, az RÉ esetekben pozitív előjelűek. Az RÉ esetben a regresszió közel lineáris. A túlfolyás a TÉ esetben kifejezett, minthogy a vízbevétel is több, ráadásul a tenyészidőszakon kívül a csak vízgyűjtés folyik, ott normál és nedves téli félév esetén jelentős túlfolyás alakul ki.



**11. ábra:  $V_{OUT}/V_{UT}$  arány alakulása a vizsgált névleges térfogatú tározók esetén / Figure 11.  $V_{OUT}/V_{UT}$  ratio under the considered scenarios (Top – continuous collection, Bottom – partial collection; x-axis – time [year], y-axis – overflow/demand; red – 1 m<sup>3</sup>, green – 5 m<sup>3</sup>, blue – 10 m<sup>3</sup>, yellow – 2.5 m<sup>3</sup>)**

Forrás: Saját szerkesztés/ Source: Own construction

## Összefoglalás

A fentiekben az épületek tetővizeinek gyűjtésére szolgáló csapadékvíz tározók vizsgálatát mutattuk be, egy a hazai viszonyok között jellemző tetőmérettel és egy lehetséges vízhasználattal. A vizsgálat egy egyszerű, napi csapadék és hőmérséklet adatokon alapuló modell alapján történt. A modell, minthogy 120 év adatain alapul, alkalmas arra, hogy az időközben lejajlott ingadozások és a bekövetkezett emberi tevékenységre visszavezethető klímaváltozás hatásait bemutassa. A tanulmányban elsősorban gyakorlatban elképzelhető méretű tározók viselkedésének vizsgálatára került sor, melynek során az éves és a fagymentes időszakra kiterjesztett csapadékgyűjtés eredményeit mutattuk be. Amint egy igen nagy lehetséges tározótér fogat mellett látható volt, a vízbevétel és fogyasztás arányai mellett az adott meteorológiai viszonyok során az éves tározás esetén a legnagyobb betározott vízkészlet limitált,  $162 \text{ m}^3$  értékkel. Ez a maximum a XX. század közepére esett, ugyanakkor a század második felétől, és különösen a 80-as évektől a tározó töltöttsége ettől az értéktől lényegesen elmaradt, és lényegében a  $0\text{-}20 \text{ m}^3$  tartományban változott, néhány csúcstól eltekintve. Ez a körülmény arra utal, hogy a tározás optimális mérettartományának felső határa a jelenlegi helyzetben (a felvett bemeneti és kimentési paraméterek mellett, a napi adatok figyelembevételével) a  $20 \text{ m}^3$  környezetében helyezkedik el. A tározó kihasználtsága e felett lényegében alig értelmezhető és az optimális térfogat valahol e szint alatt található.

Bemutattuk azt is, hogy a tározott víz mennyiségét még a  $100 \text{ m}^2$ -es tetőfelület mellett is jelentős mértékben befolyásolja a vízfogyasztás mértéke, a tanulmányban alkalmazott modellben az öntözött kert területe. A kert méretének változtatásával, extrém méretű tározót feltételezve,  $100$  és  $300 \text{ m}^2$  felület esetén is igen jelentős mértékben változik a betározott víztérfogat napi alakulását bemutató görbe. Míg a  $100 \text{ m}^2$  kert mellett a víz igen gyorsan megtölti a tározót, és a továbbiakban a tározott vízmennyiség alig változik,  $300 \text{ m}^2$  esetén a tározott térfogat legnagyobb értéke is csupán a  $20\text{-}60 \text{ m}^3$  sávban alakul.

A tározás melletti kiegészítő vízpótlás és a vízfelhasználás aránya a vizsgálat időszak végére jellemzően emelkedik. Az emelkedés a nagyobb névleges térfogatú tározók esetében nagyobb arányú. Ennek oka az, hogy a kis névleges térfogat esetén a vízpótlásra a kis tározóképesség miatt eleve nagyobb szerep hárul, míg a nagyobb térfogatok esetén a felhasznált vízmennyiség növekedése gyakrabban okozhatja a tározó időszakos leürülését. Ez a körülmény sokkal inkább üzemi jellegű információ, hiszen mennyiségi értelemben a nagyobb tározó több víz hasznosíthatóságát biztosíthatja.

A vízutánpótlás és a vízbevétel aránya a kétféle tározás esetén emelkedő értéket mutat, a várakozásnak megfelelően az időszakos vízhasznosítás esetén az arány értéke magasabb. Sajátos, hogy az időszakos üzemű tározók esetében a regressziós összefüggés látványosan lineáris jellegű.

A túlfolyó és öntözésre hasznosított víztérfogatok aránya mind az éves gyűjtés, mind az időszakos üzemű tározás esetén csökken, azaz a felhasználás aránya kedvezőbbé válik a túlfolyáshoz képest. Ez abban az esetben kedvező, ha a túlfolyás nem a befolyó vízmennyiség csökkenése miatt alakul alacsonyabb értéken.

A tanulmányban a napi adatok összegzésével, éves adatokkal lefolytatott vizsgálat eredményeit is bemutattuk. Ezek alapján a túlfolyás vízbevételhez viszonyított aránya (egy a lefolyási tényezővel egyező tartalmú mutató) az teljes éves üzemű tározó esetében kisebb, mint az időszakos üzemű esetén, azaz a teljes éves tározás esetén vízvisszatartás növekszik. A teljes éves üzemű tározók esetében az arányszám a XX. század végére csökkenő értékeket mutat. Ugyanez az arány az időszakos üzemű tározó esetében a XX. század közepétől emelkedik, ebben a kategóriában a vízvisszatartás csökken a nagyobb tározók esetében.

Az öntözési célú vízvisszatartás mindenképp pozitív hatású, mind a teljes éves, mind pedig az időszakos gyűjtés hasznos tevékenység. A nagyobb tározó kialakítása általában jobb

mutatókat eredményez. Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a számottevőnek mondható térfogat, az 5-10 m<sup>3</sup> tartományban, jelentős beruházási költséget indukál, amelynek megtérülése a vízhasználatban kimutatható hasznosságot árnyalhatja.

## Hivatkozott források

BASHAR M. Z. – KARIM, R – IMTEAZ M. A. (2018): Reliability and economic analysis of urban rainwater harvesting: A comparative study within six major cities of Bangladesh Resources, Conservation and Recycling Volume 133, June 2018, Pages 146–154 <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.025>

BERÉNYI BERÉNYI A. – PONGRÁCZ R. – BARTHOLY J. (2021): Csapadékszélsőségek változása Európa déli alföldi régióiban az 1951–2019 időszakban. Modern Geográfia, Vol. 16, Issue 4, 2021: 85–101 DOI: <https://doi.org/10.15170/MG.2021.16.04.05>

CAMPISANO A. – BUTLER D. – WARD S. – BURNS M.J. – FRIEDLER E. – DEBUSK K. – FISHER-JEFFES L.N. – GHISI E. – RAHMAN A. – FURUMAI H. – HAN M. (2017): Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. Water Research Volume 115, 15 May 2017, Pages 195–209. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>

EEKHOUT, J. P. C. – HUNINK, J. E. – TERINK, W. – DE VENTE, J. (2018): Why increased extreme precipitation under climate change negatively affects water security, Hydrol. Earth Syst. Sci., 22, 5935–5946. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-22-5935-2018>

LAKATOS M. – BIHARI Z. – SZENTIMREY T. (2014): A klímaváltozás magyarországi jelei. LÉGKÖR 59. évfolyam (2014) 158–163 pp

MOHAMMED, S. – ALSAFADI, K. – DAHER, H. – GOMBOS, B. – MAHMOOD, S. – HARSÁNYI, E. (2020): Precipitation pattern changes and response of vegetation to drought variability in the eastern Hungary. Bulletin of the National Research Centre, 44(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.106925>

OMSZ (2022):

[https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt\\_hazai\\_valtozasok/homenseklet\\_es\\_csapadektrendek/csapadek\\_szelsosegek/](https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_hazai_valtozasok/homenseklet_es_csapadektrendek/csapadek_szelsosegek/), letöltve 2022.09.30.

SZALAI J. (2011): Talajvízszint-változások az Alföldön. In: A környezeti változások és az Alföld 7. pp. 97–110. (2011) ISBN: 978-963 85437 8 3

WOLFF M.A. – ISAKSEN K. – PETERSEN-ØVERLEIR A. – ØDEMARK K. – REITAN T. – BRÆKKAN R. (2015): Derivation of a new continuous adjustment function for correcting wind-induced loss of solid precipitation: results of a Norwegian field study. Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 951–967. DOI: <https://doi.org/10.5194/hessd-11-10043-2014>

KOCHENDORFER J. – RASMUSSEN R. – WOLFF M. – BAKER B. – HALL M.E. – MEYERS T. – LANDOLT S. – JACHCIK A. – ISAKSEN K. – BRÆKKAN R. – LEEPER R. (2017): The quantification and correction of wind-induced precipitation measurement errors. Hydrol. Earth Syst. Sci., 21, 1973–1989, 2017, DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-21-1973-2017>

KOCHENDORFER J. – NITU R. – WOLFF M. – MEKIS E. – RASMUSSEN R. – BAKER B. – EARLE M.E. – REVERDIN A. – KAI W. – SMITH C.D. – YANG D. – ROULET Y.A. – BUISAN S. – LAINE T. – LEE G. – ACEITUNO J.L.C. – ALASTRUÉ J. – ISAKSEN K. – MEYERS T. – BRÆKKAN R. – LANDOLT S. – JACHCIK A. – POIKONEN A. (2017):

Analysis of single-Alter-shielded and unshilded measurements of mixed and solid precipitation from WMO-SPICE. Hydrol. Earth Syst. Sci., 21, 3525–3542. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-21-3525-2017>

VELASCO-MUÑOZ, JUAN F. – AZNAR-SÁNCHEZ, JOSÉ A. – BATLLES-DELAFUENTE, ANA – FIDELIBUS, MARIA DOLORES (2019): Rainwater Harvesting for Agricultural Irrigation: An Analysis of Global Research. Water 2019, 11(7), 1320; DOI: <https://doi.org/10.3390/w11071320>

## Szerzők

### **Dr. Rácz Tibor PhD**

levelező szerző

egyetemi adjunktus

Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem

Környezettudományi Intézet

Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszék

2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1.

Racz.Tibor.Ferenc@uni-mate.hu

### **Dr. Waltner István PhD**

egyetemi docens, tanszékvezető

Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem

Környezettudományi Intézet

Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszék

2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1.

Waltner.Istvan@uni-mate.hu

### **Dr. Gelybó Györgyi PhD**

tudományos főmunkatárs

Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem

Környezettudományi Intézet

Vízgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszék

2100 Gödöllő, Páter Károly u. 1.

Gelybo.Gyorgyi@uni-mate.hu

A műre a Creative Commons 4.0 standard licenc alábbi típusa vonatkozik: [CC-BY-NC-ND-4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

