

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki Kar



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Hogyan méretezzünk esővízgyűjtő tartályt?

Alcím: Háztartások vízfogyasztását ellátó csapadékvíz-hasznosító
tartályok méretezése

Tudományos Diákköri Konferencia

Készítette:

Viszoki Blanka

Környezetmérnöki Kar

Konzulens:

Varga Laura

Budapest, 2021

Hogyan méretezzünk esővízgyűjtő tartályt?

A települési csapadékvíz-gazdálkodás részeként előtérbe kerül a vízgyűjtőkön a csapadékvíz visszatartása és tározása. Esővíz tartályokban összegyűjtve elősegíthetjük a területre lehulló vizek hasznosítását a fogyasztók vízigényeinek egy részének kielégítésére. A legfontosabb kérdés az, hogy mekkora az ideális tartálytérfogat? Milyen szempontokat kell figyelembe venni a megválasztásánál?

A kutatás célkitűzése egy új, idősoros vizsgálaton alapuló esővízgyűjtő tartály méretezési módszertan kidolgozása.

A dolgozat részeként egy magyarországi nagyvárosra elemeztük különböző nyomászónákban a vízfogyasztási szokások éves és szezonális változékonyságát. Összefüggést állítottunk fel a csapadék, a hőmérséklet és a vízfogyasztások karakterisztikái között. Az idősoron alapuló méretezési módszer eredményeit összevetettük különböző egyszerűsített számításon alapuló módszerekkel.

How to size a rainwater harvesting tank?

In urban stormwater management, retention and storage of stormwater on catchments come to the fore. Rainwater collection is an important technique in runoff control, and can also support reducing drinking water demand in cities by offering an alternative water source for consumers.

When it comes to tanks the main question is: what is the ideal volume considering different water demands and other location specific characteristics? What are the influencing factors?

The aim of this study was to work out a new rainwater tank sizing method based on time series evaluation. As part of work, we analyzed the annual and seasonal variability of water consumption habits in different pressure zones for a large Hungarian city. Correlation was analyzed among precipitation, temperature and water consumption. The results of time series-based sizing were compared with simplified calculation methods.

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	4
Irodalom	6
1.1. Urbanizáció és éghajlatváltozás hatása a városi vízkörforgásra	6
1.1.1. Az éghajlatváltozás hatásai Magyarországon.....	9
1.2. Települési csapadékvíz-gazdálkodás szemlélete és eszközei.....	13
1.3. Csapadékvíz-hasznosítása városi környezetben.....	16
1.4. Csapadékvíz-hasznosító tartályok méretezése	19
1.4.1. Egyszerűsített méretezési módszerek	20
1.4.2. Nemzetközi méretezési példák	21
1.4.3. Szükséges tartálméretet befolyásoló tényezők – vízfogyasztások és helyi éghajlati jellemzők	24
Módszertan.....	27
1.4.4. Bemeneti adatok	31
1.4.5. Vízfogyasztás adatok.....	31
1.4.6. Csapadék- és hőmérsékleti idősor	32
Eredmények.....	35
1.5. Vízfogyasztások alakulása különböző városi vízfogyasztók esetén	35
1.6. Mintaszámítás a háztartási esővíz-hasznosító tartályra kidolgozott méretezési módszertanra	43
2. Összefoglalás	51
Irodalomjegyzék.....	52
3. Ábrajegyzék	55

1. Bevezetés

A 21. század egyik legfontosabb globális méretű kihívása társadalmunk számára, a fenntartható életmód fontosságának megértése. Az ember - az ipar és a mezőgazdaság változásaival párhuzamosan - egyre nagyobb igényeket támaszt a hétköznapi élete során. Kezdetben az ősembernek mindössze egy védett barlang, néhány fa és egy elérhető távolságban lévő folyó elégséges volt. Majd, ahogy egyre nagyobb létszámú közösségek jöttek létre, élettevékenységük során felhasználták a közelben lévő nyersanyagot, nagyobb mennyiségű hulladék keletkezett és már nem volt elég hely az ottélők számára. Ezért tovább vándoroltak, találtak egy új életteret, majd idővel ez is alkalmatlanná vált. Ha az emberiség tehetne volna, egész életében ezt életmódot alkalmazta volna, kizsákmányolva a természeti értékeket, a nyersanyagot, a termőföldet, az élővilágot, újra és újra tovább vándorolva. De a Föld nevű bolygónk nem rendelkezik végtelen anyagi forrással. A társadalomnak szembe kellett néznie tettei következményével, ami csak az elmúlt pár évtizedben vette kezdetét.

Városi környezetben hatványozottan jelentkeznek az emberi tevékenységek környezetre gyakorolt negatív hatásainak következményei. A vízgazdálkodás területét tekintve a városi hidrológiai ciklus megváltozása a nagymértékű felszínmódosítások és beépítések következtében számtalan probléma forrása. A kiút a fenntartható megoldások alkalmazásának elősegítése, és a vizekkel való gazdálkodás szemléletének elsajátítása lehet.

Az integrált városi vízgazdálkodáson [1] belül a települési csapadékvíz-gazdálkodás fő célkitűzései közé tartozik a városi vízkörforgás elemeinek mennyiségi és minőségi javítása. Ennek egyik eszköze a csapadékvizek vízgyűjtőn történő visszatartása, tározása, és hasznosítása az adott területen. Az esővízgyűjtő tározók lehetőséget adnak arra, hogy akár egész évben hasznosítsuk az esővizet. A tározás célja, hogy a nem egyenletesen lehulló éves csapadékmennyiséget tartalékba helyezzük, illetve ezt a szárazabb időszakokban felhasználjuk. A tárolt vizek alkalmasak lehetnek a telkeken, épületekben jelentkező vízigények teljes vagy részleges kielégítésére, ehhez azonban több szempont mérlegelésével kell megterveznünk a rendszer méreteit és kialakítását. Az egyik legfontosabb kérdés, hogy a vízigények, a helyi klimatikus viszonyok és a költségek függvényében mekkora tartálytérfogatot érdemes telepítenünk?

A csapadékvíz-gazdálkodás műszaki megoldásainak elterjedését tervezési módszerek kidolgozásával segíthetjük elő. Magyarországon még nem léteznek műszaki előírások a különböző célú esővízgyűjtő tartályok méretezésére. A kutatásban az épületek vízfelhasználását biztosító tartályokra fókuszálunk. Jelenleg a tartályok méreteinek meghatározására a tartálygyártó cégek által megadott számítások állnak csak rendelkezésre. Ezek a módszerek túlzott egyszerűsítéseket alkalmaznak, és nem alkalmasak a tározóban történő vízforgalom-változás folyamatainak leírására, és nem tartalmaznak olyan lényeges információkat, amelyek alapján ténylegesen mérlegelni lehetne, hogy mekkora térfogatot érdemes telepíteni adott helyszínre.

Különösen fontos olyan méretezési módszerek kidolgozása, amelyek kevés bemeneti adatból, nagyobb területre érvényesen teszik lehetővé a számításokat. Városok és városrészek vízgazdálkodási stratégiájának kidolgozásánál szükségesek az egyszerűen alkalmazható, tervezést segítő becslő módszerek.

Dolgozatom célja a különböző lakossági vízigényeket kielégítő esővízgyűjtő tároló rendszerek tervezési folyamatának támogatása Magyarországon egy idősor-elemzésen alapuló térfogatoméretezési módszertan kidolgozásával.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Urbanizáció és éghajlatváltozás hatása a városi vízkörforgásra

Az urbanizáció hatására 2015-ben Magyarország lakosságának több mint 71%-a városlakó volt, az ENSZ becslése szerint 2025-re a Föld lakosságának kétharmada városlakó lesz. [2] Ennek oka a települések belső minőségi változása az infrastruktúra, az ellátottság, az életmód javulása és a gazdasági tevékenységek erőteljesedése ezeken a területeken.

A városok nagymértékű beépítettségének hatására a burkolt felületek aránya folyamatosan növekszik, kiszorítva ezzel a természetes növényel és vízzel borított területeket. Az antropogén hatásoknak köszönhetően kialakult egy speciális városi mikroklíma, amely többek között az átlaghőmérséklet növekedésével jár. Ezt városi hősziget jelenségnek nevezzük. [3] Negatív hatásai között szerepel az emberi szervezet túlterhelése, a hűtésre fordított energiafogyasztás emelkedése. Jelentős hatást gyakorol a városi zöldfelületekre is, mivel akár a növények fotoszintézisét is megszüntetheti (védekező mechanizmus a kiszáradás ellen). Befolyásolja a növények vízháztartását, intenzívebb párologtatásra készíti a növényeket, amely még tovább fokozza a hősziget hatásait. [4]

A városi beépítettség és a változó klíma a környezet hidrológiai ciklusát is képes megváltoztatni. Természetes körülmények között a csapadék a növények vízigényének kielégítése után a talaj mélyebb rétegeibe szivárog, illetve elfolyás során táplálja a tavakat és folyókat. A körfolyamat következő szakasza a párolgás (evaporáció) és párologtatás (transpiráció), mely során a víz újra a légtérbe kerül, majd lecsapódva csapadék formájában hullik vissza a földfelszínre. A városok burkolt felületei vízzáró réteggként szerepelnek a rendszerben, melynek következtében erősen változik a beszivárgás és a felszíni elfolyás aránya.

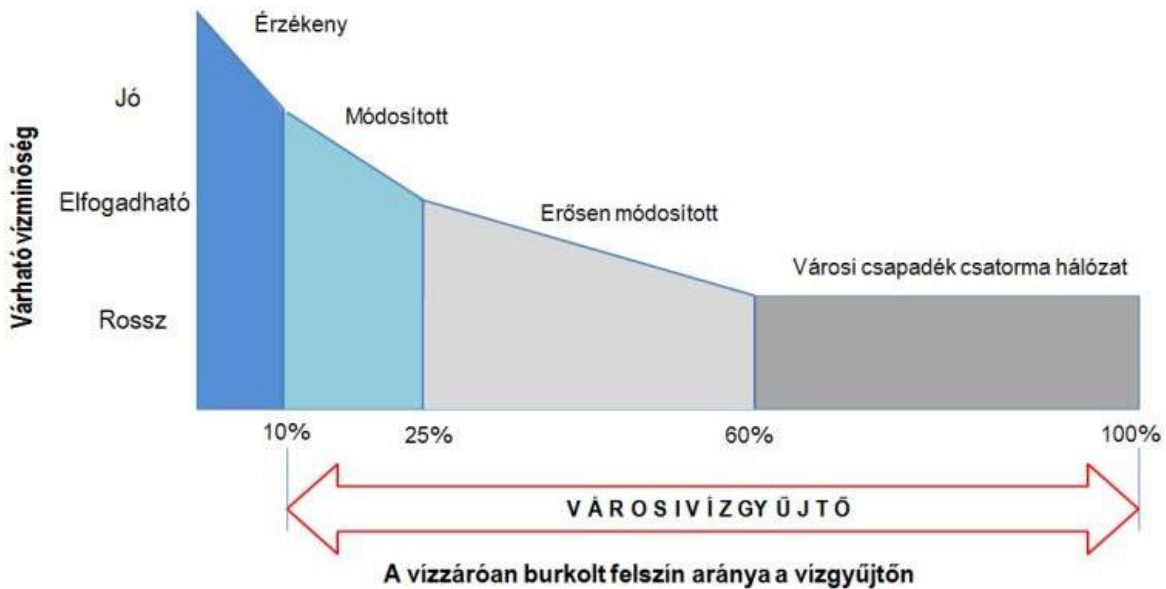
Egy átlagos éves városi vízmérleget tekintve az egyes elemek arányai a következőképpen alakulnak (ezek csak közelítő számok, helyszínenként változó): Természetes felszín esetén 36 % evapotranspiráció (párolgás és párologtatás együttesen), 22% köztes elfolyás (telítetlen zónában zajló horizontális lefolyás), 20 % felszíni elfolyás, 22% tározás a felszín alatti vízrétegekben, míg városi felszín esetén 30 % evapotranspiráció, 10 % köztes elfolyás, 55 %

felszíni elfolyás, 5% tározás a felszín alatti vízrétegekben. [5] Megállapítható tehát, hogy a vízgyűjtőn lefolyó vízmennyiségek jelentősen megnőnek a városi területeken, míg a talajba szivárgás és a párolgás csökken. Az éghajlatváltozás következtében az extrém éghajlati események gyakorisága növekszik, amely a kedvezőtlen folyamatok súlyosbodását hozza magával.

Az ENSZ kormányközi klímaváltozással foglalkozó tanácsadó testülete (IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change) 2021-ben kiadta 6. értékelő jelentését az éghajlatváltozásról. A jelentés összefoglalja a globálisan megfigyelhető változásokat, mint például az átlaghőmérséklet növekedését és az extrém időjárási események gyakoribbá válását. A kutatók által létrehozott modellbecslések azt mutatják, hogy a Föld minden régiójában rövidek fognak a hideg évszakok, és hosszabbodnak majd a meleg évszakok a következő évtizedekben. A felmelegedéssel a szélsőségesen forró időjárási események egyre gyakrabban fogják meghaladni az egészségügyi, illetve a mezőgazdasági tűrőképesség felső határát. [6]

Az esőzések gyakorisága és intenzitása, a száraz időszakok aránya és periódusa erőteljesen átalakult. Növekszik az extrém csapadékesemények előfordulási gyakorisága, amely következtében lefolyó csapadékmennyiség elvezetésére a városi csapadékvíz-elvezető rendszer nincs felkészülve, és kiöntések keletkeznek. Az utcai árvizek kialakulása során szennyezőanyagok kerülhetnek az utcákra, amelyek egészségügyi veszélyhelyzeteket okozhatnak, illetve többletköltséget jelent a kezelésük. A nagy intenzitású esőzések következtében még kevesebb víz tud a talajba szivárogni, amely a városi növényzet és az alsóbb víztározó rétegek vízellátását biztosítaná. Az extrém hőmérsékletek társulása a csökkenő párolgással pedig a városi mikroklíma további romlásához vezet. A nagy esőzésekkel párhuzamosan növekedhet az aszályos időszakok száma, melynek negatív hatásait a csapadék tárolásával lehetne mérsékelni.

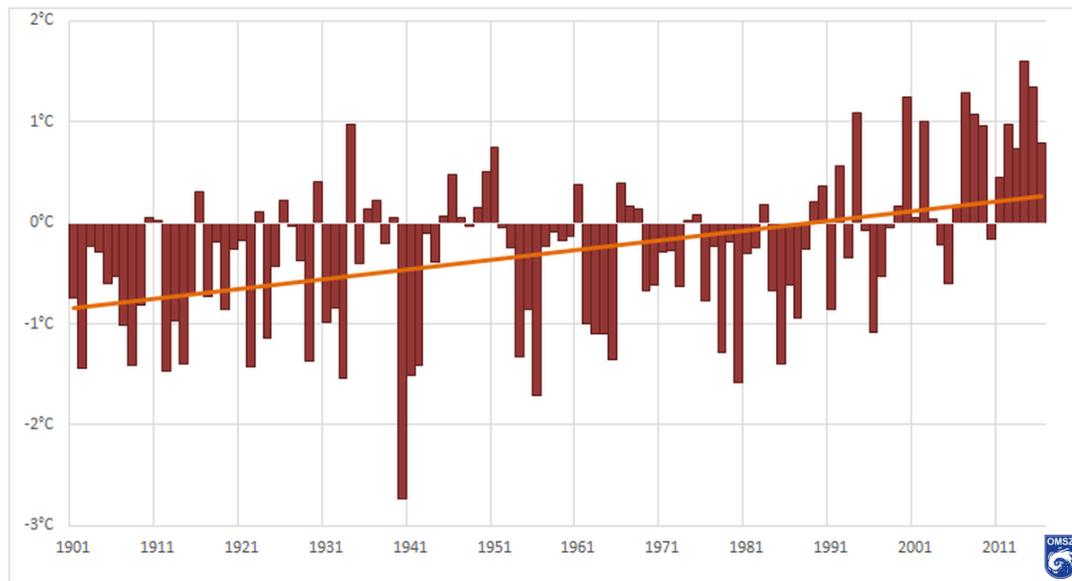
A városi vízgyűjtőnek azokat a településeket/településrészeket tekintjük, ahol a burkolt felület aránya eléri vagy meghaladja a 10%-ot. A lent látható 1. ábra - amely számos nemzetközi kutatás alapján készült el – mutatja, hogy a vízzáró burkolatok arányának növekedése a vízminőség nagymértékű romlásához vezet. [7]



1. ábra: A vízzáró burkolat arányának hatása a befogadó kisvízfolyás vízminőségére (Forrás: Buzás Kálmán (2015) Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv - A Duna-vízgyűjtő magyarországi része)

Magyarországon is megfigyelhetjük ezeket a kedvezőtlen változásokat az éghajlatváltozás következtében a korábbi időszakokból mért adatok statisztikai értékelése és az előrejelzések alapján.

2.1.1. Az éghajlatváltozás hatásai Magyarországon

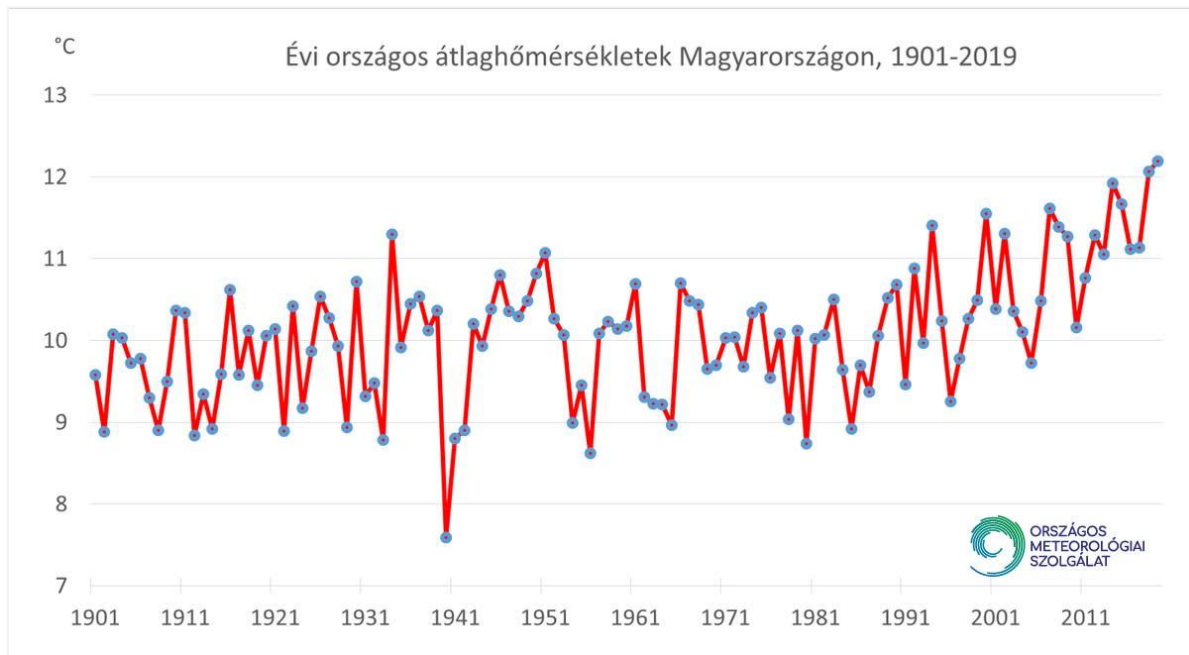


2.ábra: 1901 és 2019 közötti átlaghőmérséklet növekedése Magyarországon (Forrás: www.met.hu)

Hazánkban az átlagos és napi maximum hőmérséklet értékek emelkedő tendenciát mutatnak (3.ábra). A legerőteljesebb növekedést a 1990-es évektől figyelhetjük meg. Az 1900-as évek elejéhez viszonyítva 2019-re, 2 °C -os átlag hőmérsékletnövekedés látható (2. ábra). A változó éghajlat jele az évi középhőmérséklet növekedés mellett a szélsőértékek gyakoriságának és intenzitásának növekedése. [8]

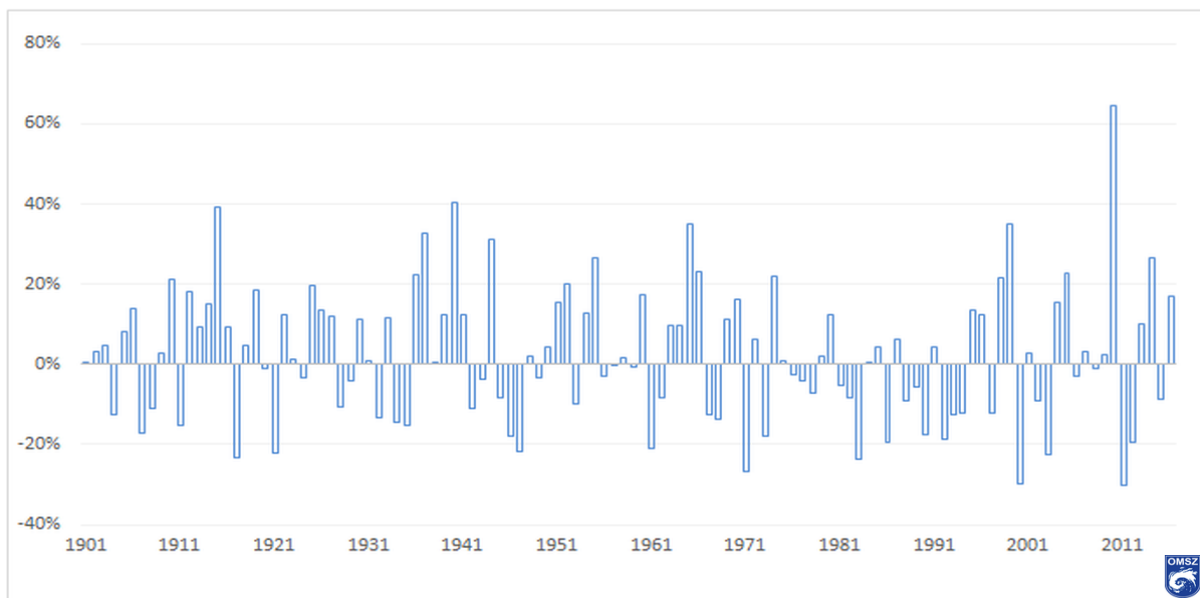
A fagyos napok (napi minimumhőmérséklet $< 0^{\circ}\text{C}$) számának csökkenése és a hőség napok (napi maximumhőmérséklet $\geq 30^{\circ}\text{C}$) számának növekedése egyaránt melegedő tendenciát mutat az 1980-as évektől, illetve szembevetendő az extrém meleg időjárási helyzetek gyakoribbá válása.

A kutatók modelljei szerint a Föld átlaghőmérsékletének 1,5-2 °C-os emelkedés a hazai éves csapadékmennyiség 10%-os csökkenését eredményezheti. A klíma változása együtt jár majd a fellelhető álló vízmennyiség csökkenésével. A felszíni vízkészletek 30-70%-kal, a felszín alattiak 25%-kal csökkenhetnek ennek hatására. A vízhiány elsősorban a mezőgazdaságban lehet érzékelhető, de a készletek csökkenése a települési vízellátást is veszélyeztetheti. [8]



3.ábra: 1901 és 2019 közötti évi országos átlaghőmérséklet változása Magyarországon (Forrás: www.met.hu)

Az alábbi diagram (4. ábra) 1901-től 25 klímaállomás és 131 csapadékmérő adatait, míg a legutóbbi évtizedek változásaihoz 58 klímaállomás és 461 csapadékmérő adatait dolgozza fel.



4.ábra: 1901 és 2020 közötti csapadékösszeg eloszlás Magyarországon (Forrás: [9])

A 2011-es nagy esőzés ellenére megfigyelhető egy enyhe csapadékmennyiség csökkenés. Illetve jellemzőbb lett a csapadékos és száraz évek váltakozása, tehát nem egyenletes a csapadékeloszlás.

A csapadék térben és időben változékony, így a – az éghajlatváltozás hatására bekövetkező – tendenciákat nehezebb kimutatni, mint a hőmérséklet esetén. Míg az évi középhőmérséklet az elmúlt 36 évben szignifikáns növekedést mutat, addig a csapadék változása még egy hosszabb, több mint 50 évet felölelő időszakban sem mutatható ki egyértelműen. [9]

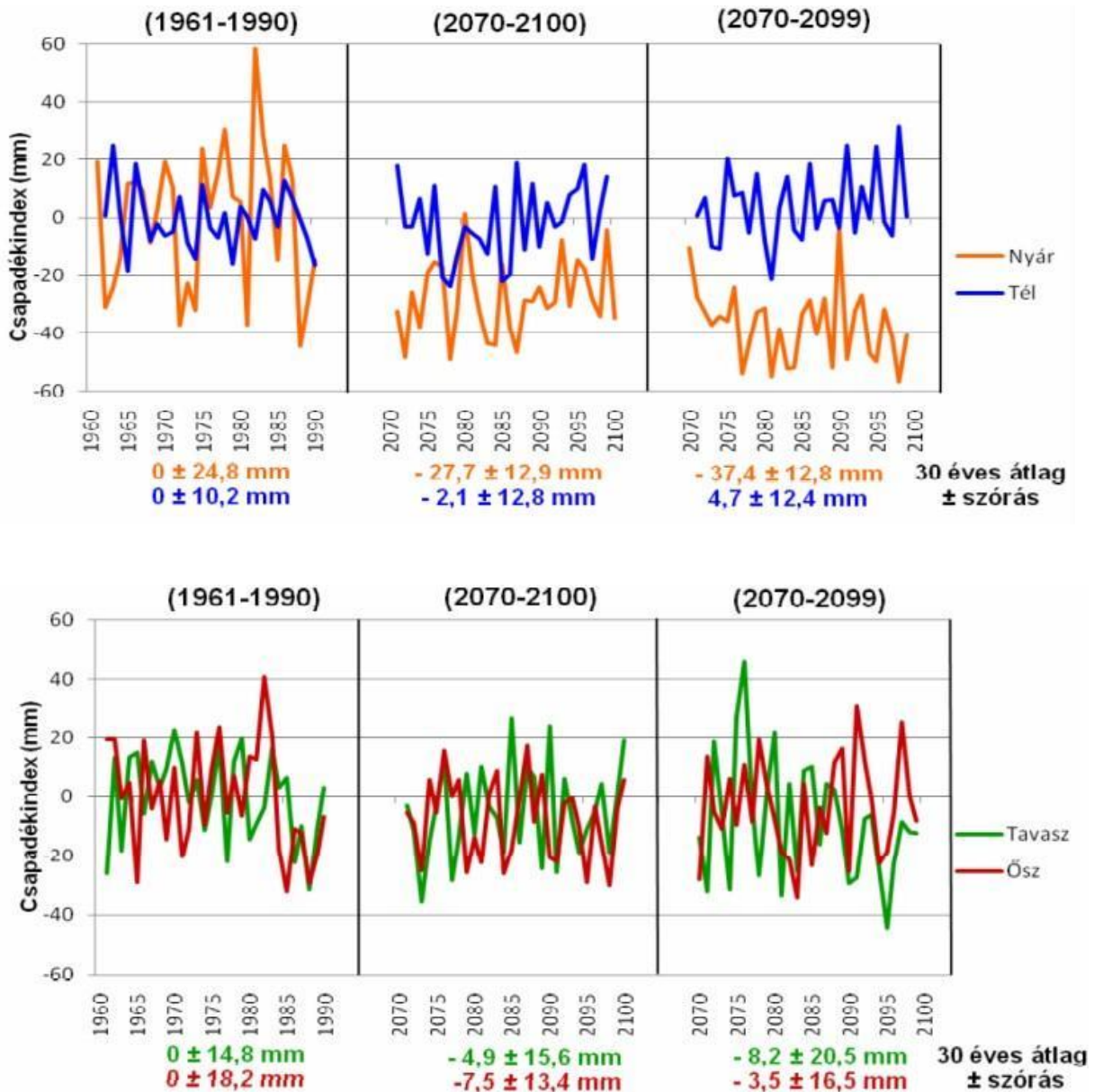
Országos átlagos tendenciát tekintve a 20 mm-nél nagyobb csapadékos napok száma és a napi nyári intenzitások enyhe növekvő tendenciát mutatnak. [10]

Magyarországra is készültek előrejelzések az éghajlatváltozásra, amelyek eredményeit különböző regionális klímamodell futtatások szolgáltatják. Ezek közül az egyik a PRECIS regionális klímamodell, amelyben többek között a Magyarországon várható (2071-2100) csapadék mennyiségére, illetve az aszályhajlamra készítettek előrejelzéseket az 1961-1990 közötti referencia-időszakhoz viszonyítva.

Az ország rácsozott felosztásával a rácspontok évszakos átlagértékeiből területi átlag értéket lehet kapni. Ezek az idősorok ábrázolhatóak a referencia időszakra és a 2071-2100-as jövőbeli időszakra. A lefutott szimulációk alapján természetesen több eredmény született, melyeket csapadékindexekkel írtak le.

A csapadékindexek jellemzője, hogy alkalmasak a száraz-nedves időszakok éghajlati elkülönítésére, valamint a csapadék adott területre vonatkozó éghajlati változékonyságának meghatározására. Előnyük, hogy kis adatigényű és egyszerű indexek, hátrányuk azonban, hogy nem mindig tükrözik megfelelően az aszályhelyzetet.

A legjelentősebb változás a futtatások alapján a nyári időszakokban várható majd. A csapadékmennyiség nagymértékű csökkenése következhet be, minimum 28 mm, de akár 37 mm hiány. Az évszázad végére ez az érték már 50 mm-el kevesebb is lehet (5. ábra). [11]



5.ábra: Évszakos csapadékindex (mm) a PRECIS regionális klímamodell szimulált idősorai a magyarországi rácspontok alapján (Forrás: [11])

Magyarország vízkészlete jelentős, de az 1970-es és '80-as évek túlzott vízkitermelési idején bebizonyosodott, hogy hazánk sem rendelkezik végtelen készletekkel. Az éghajlatváltozástól adódó vízkészlet csökkenés erősen éreztetni fogja hatását a háztartási vízhasználatban is, a vízellátásban időszakos korlátozások, és vízáremelések következhetnek be.

Ezen okok miatt különösen érintetté válnak a városok vízellátási - és csapadékvíz elvezető rendszerei a csapadék-vízgazdálkodást témában. [12] Könnyen belátható, hogy az elkövetkezendő évtizedekben a csapadékmennyiség csökkenését is figyelembevéve, jelentős országos és globális változásokra van szükség a vízgazdálkodás tekintetében.

2.2. Települési csapadékvíz-gazdálkodás szemlélete és eszközei

A városokban korábban a csapadékvíz-elvezetés területén a célkitűzés az volt, hogy a lehullott csapadékvizet a csatornák segítségével minél hamarabb elvezessük az épített környezetből. A növekvő lefolyások az elvezető rendszerek gyakori túlterhelődéséhez és kiöntéséhez vezetnek, amely különösen kritikus és környezeti szempontból kedvezőtlen egyesített rendszerű csatornázás esetén. A problémák felismerésével párhuzamosan megjelent egy új szemlélet, amely a korábbiakkal szemben a csapadékvízzel való gazdálkodásra és a vízgyűjtőkön történő beavatkozásokra hívja fel a figyelmet. [13]

A települési csapadékvíz-gazdálkodás lényege, hogy a vízgyűjtőkön a víz visszatartására, tározására, hasznosulására (talajba szivároztatása, párologtatása) vagy hasznosítására (különböző vízigényekre) helyezi a hangsúlyt.

A csapadékvíz-gazdálkodás célkitűzéseit a vízgyűjtők felszínének átalakításával érhetjük el. A klasszikus vízzáró burkolt felületek arányának visszaszorításával, és a városi növényzettel (zöld) és vízzel (kék) fedett területek arányának növelésével a hidrológiai ciklus és mikroklíma kedvező irányú változásait figyelhetjük meg. Összefoglaló néven az egymásba ágyazódó vizes és növényzettel borított zöld felületeket kék-zöld infrastruktúrának (KZI) nevezzük. [14]

A KZI a természetes vízgyűjtő folyamatokat imitálja, ezzel enyhítve a környezetre gyakorolt terhelést. A KZI a csapadékvíz-gazdálkodás célkitűzéseit a következő folyamatokkal segíti elő: szikkasztás, tározás, elpárologtatás és tisztítás. A KZI megoldások alkalmazhatóságát a tervezési helyszín környezeti tulajdonságai szabják meg. Fontos megvizsgálni a tervezési terület domborzatát, klímáját, területhasználatát, talajviszonyait, vízbázisait. Számos különböző lefolyásszabályozó technikát alkalmazhatunk, a lokális, telek szintű beavatkozásoktól egészen a tömb-, illetve városléptékűekig. [15] Az alábbiakban néhány jellemző KZI megoldást mutatunk be részletesen.

VÍZKEZELÉS

A gyökérszűrés víztisztítás nem a leggyorsabb és legegyszerűbb struktúrájú vízkezelési és tisztítási módszer, de egyes körülmények között igazán hasznos tud lenni. A módszer lényege, hogy egy sekély medencében az előtisztítás után a vízben található szennyeződések (foszfor, nitrogén stb.) a növények gyökere által felvételre kerülnek és táplálják azokat. Így mechanikai

és biológiai tisztítás is végbe megy és csökken a környezetszennyező szennyvíz mennyisége. [16]

PARKOSÍTÁS

A parkok és egyéb zöld területek fenntartásával csökkenthetjük a városi hősziget hatásait, illetve elősegíthetjük a vízvisszatartást és a természetes párologtatást. Az utak, járdák mentén ültetett fasorok egyrészt leárnyékolják a területeket, illetve az esővíz felvételével és elpárologtatásával enyhíti a város csatorna terhelését és akár 10°C-kal is csökkentheti a közvetlen környezetének átlaghőmérsékletét.

ZÖLDTETŐ

Zöldtetőnek nevezzük azokat a növényzettel borított födémeket, ahol a kertészeti és a szigetelési rétegek szerves egységet alkotnak. A növényeket egy speciális ültetőközegbe telepítik, és ez alatt egy drénlemez helyeznek el, amely a víztelenítésért és vízvisszatartásért felel. Megkülönböztetünk extenzív és intenzív zöldtetőket. Az extenzív zöldtetőre jellemző, hogy viszonylag könnyű szerkezetű, a talajréteg minimális vastagsága 6–8 cm. Intenzív zöldtető talajréteg vastagsága legalább 15–20 cm. Elhelyezésük csak a lapos vagy igen kis (3% alatti) lejtésű tetőn lehetséges. Ide többféle növény telepíthető, melyek vízigényét öntözéssel egészítik ki. [17]

ZÖLDHOMLOKZAT

A városok magas épületei tovább növelik a hősziget jelenségét, ugyanis az épületek között még jobban megreked a meleg levegő. Ez akár a föld felszínétől még 2000-3000 méteres magasságban is éreztetheti hatását. A zöld falak és homlokzatok lehetőséget biztosítanak az árnyékolásra és a párologtatásra a városi terek hűtésének céljából, illetve javítja a levegő minőségét. [18]

KÉKTETŐ

A kéktető, nevéből is eredően csapadékgyűjtő felületként funkcionál. Lapostetőkön sekély medencét kialakítva a lefolyás késleltetésével, a lehulló esővíz egy jelentős részét elpárologtatja, ezzel is csökkentve a városi hősziget hatásait, illetve időben eltolva ereszti tovább azt mérsékelve a csatornahálózat terhelését. Kialakítása egyszerű és olcsó lehet a vízszintes, vagy maximum 2°-os lejtésű tetőkön. Szükséges elfolyó tervezése is, ugyanis nagymennyiségű csapadékhullás esetén megtelhet a medence.

SZIKKASZTÓÁROK

Ha a városban nincs elegendő zöld felület az elfolyó csapadékvíz befogadására, akkor a terület süllyesztésével szikkasztó árkot tudunk létrehozni. A mesterséges csapadékvíz szikkasztó lényege, hogy a csapadékvíz egy tárolórendszerbe kerülve nem folyik el, illetve nem áll meg a burkolt felületeken, hanem a kapillárishatást alkalmazva lassan és fokozatosan szivárog be a talaj rétegeibe. A szikkasztóárkokat különböző módokon alakíthatjuk ki, mint például sima füvesített árkok, kavicsal feltöltött szivárogtatók, vagy növényzettel beültetett terepi mélyedések, azaz esőkertek. [19]

BURKOLATOK

Megfelelő megoldás lehet a csapadékvíz-gazdálkodási célok megvalósítására a vízáteresztő burkolat és pályaszerekezet, amely a burkolt felületek megtartása mellett úgy alakítja át azokat, hogy eredeti funkciójuk mellett lehetővé teszi a lehulló csapadékvíz talajba szivárgását és párolgását. Tipikus alkalmazási területek: alacsony forgalmú utak, járdák, kocsibejárók, parkolók, favermek, sportpályák és játszóterek burkolatai. Mindamellett figyelni kell a terület szennyezettségére, ugyanis csak ebben az esetben használható, amennyiben a csapadékvíz vízminősége ezt megengedi. Magyarországon is kezdenek egyre népszerűbbek lenni a vízáteresztő burkolatok, főként a műgyanta vagy gumiburkolatok (rekortán). [20]

ESŐVÍZGYŰJTŐ TARTÁLYOK

A vízgyűjtő tárolók a csapadékvíz késleltetett felhasználását segítik elő. Ezek a tartályok a földfelszínre, illetve alá is helyezhetőek. Térfogatuk elég változó, mivel méretezésüket rengeteg tényező befolyásolja, attól függően, hogy mi a felhasználási szándék, milyen környezetbe telepítjük. A tartályok alkalmazásával lehetőségünk van a vízvisszatartásra. Ennek lényege, hogy a lehulló csapadékot nem a csatornarendszerekbe engedjük, hanem az elraktározással lehetőséget biztosítunk a későbbi felhasználásra. Ezzel csökkentjük a csatornák túlterhelődését, csökkentjük a szennyvíztisztítóba kerülő víz mennyiségét, illetve alternatív vízforrásokkal növelhetjük a vízellátás biztonságát.

2.3. Csapadékvíz-hasznosítása városi környezetben

A csapadékvíz felhasználás rengeteg előnnyel járhat a városi környezetben. Az összegyűjtött csapadékvizet a megfelelő rendszer kiépítésével épületek és közterületek vízigényeinek kielégítésére hasznosíthatjuk. A tartályok szolgálhatják háztartások, közintézményi és ipari létesítmények vízellátását, illetve közcélú felhasználást, mint például parkok öntözése, beton és aszfalt felületek hűtése. A csapadékvíz gyűjtése és felhasználása különösen lényeges olyan területeken, ahol korlátozott vízbázisok állnak rendelkezésre, ahol nincs közművesítés és egyéb alternatív vízforrásokból kell pótolni a vizet, vagy ahol az ivóvízhálózat kapacitása nem mindig elégséges a ténylegesen jelentkező vízigények kielégítésére. Magyarországon az utóbbi kettő eset jelentkezik egyelőre, de a jövőben az éghajlatváltozás következtében az ivóvízbázisok száma is jelentősen csökkenhet, amely a tudatosabb vízfelhasználást és az ivóvíz minőségű vízzel való spórolást fogja magával hozni. A vízellátó rendszerek esetén egyébként kettős kép jellemző. Az olyan hálózatoknál, mint például a budapesti, amelyek a lecsökkent vízfogyasztás következtében túlméretezettek, nem érdek a vízfogyasztás visszafogása. Ezzel szemben az olyan településeken, ahova sok ember költözött ki, és ahol a megugró vízigényt az ivóvízhálózat kapacitásának bővítése nem tudta követni, fontos lehet, hogy a nagy fogyasztások időszakában (jellemzően nyáron) a vízellátás biztonságának növelése érdekében egyéb alternatív vízforrások is rendelkezésre álljanak. Csapadékvíz hasznosítással például a nyári extrém meleg napokon, amikor az öntözés és egyéb hőmérsékletfüggő vízfogyasztások hirtelen megugranak, és aminek kielégítésére a vízellátó-rendszer nincs méretezve, elősegíthetjük, hogy ne legyen szükség a vízfogyasztás korlátozására.

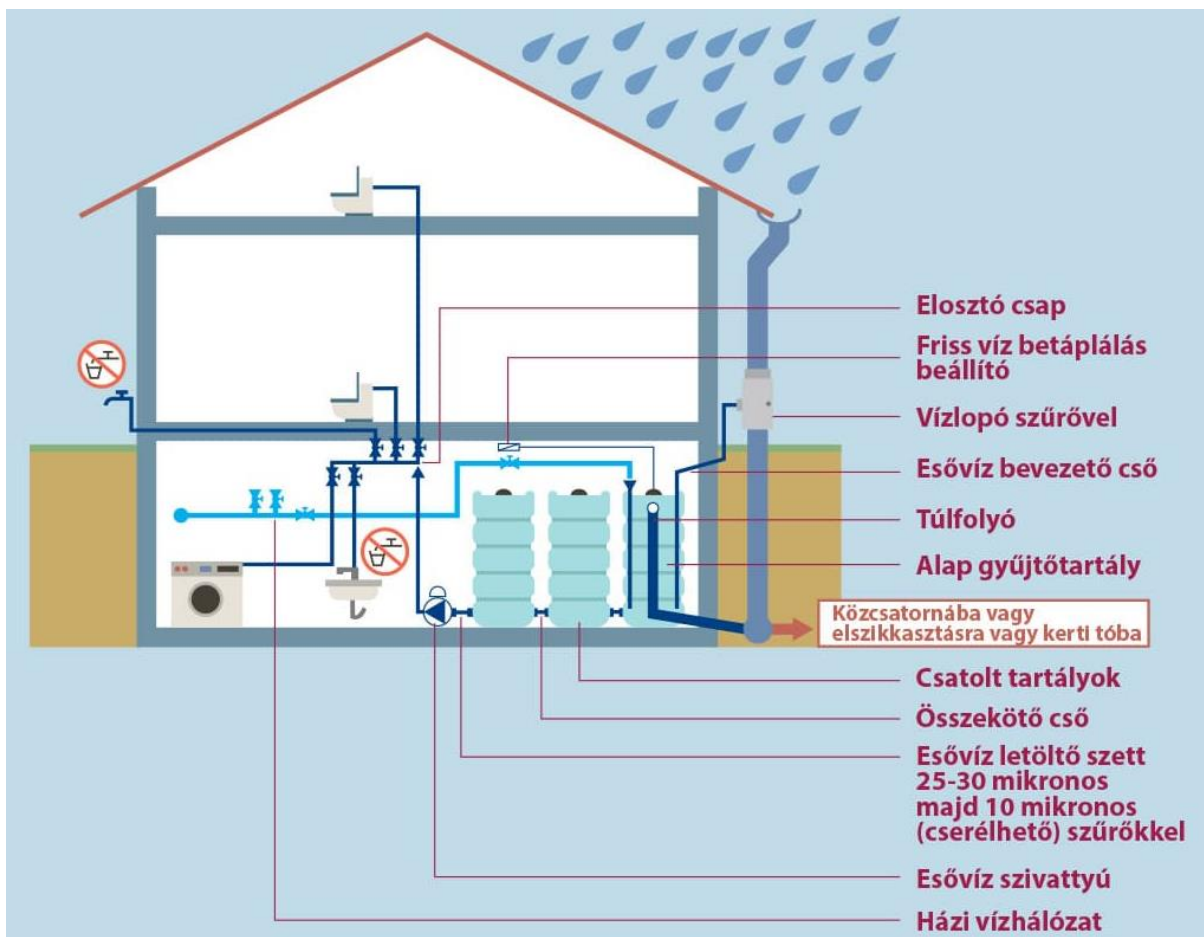
A csapadékvíz-hasznosítást biztosító rendszerek kialakítása az egészen egyszerűtől (sima tartály) az egészen komplexig terjedhet. Háztartások vízszükségletét kiegészítő épületen kívüli, vagy azon belül elhelyezett tartályhoz csatlakozhat a vízelosztó, ahonnan minden lakásba bevezethető a csapadékvíz, szivattyúberendezéssel, a WC, a mosógép és mosogatógép vízigényének kielégítésére (6. ábra).

A megfelelő méretű tartályból szivattyú segítségével juttatható fel a csapadékvíz a lakásokba. Ha esetleg a tartályban nincs elegendő a víz az épület vízigényének kielégítésre, akkor a lakások a közmű hálózatról pótolhatják. Egy esetleges nagyobb esőzés esetén a túlfolyó beépítésével

elkerülhetjük a tartály túltelítődését, illetve, ha az előrejelzések információt adnak, akkor előzetesen kiüríthető a tartály a várható csapadékvíz befogadására.

A vezetékek eldugulásának és háztartási eszközök meghibásodásának elkerülése érdekében szükséges lehet mechanikai szűrő beépítése is, például rács, homokfogó. Egyes homokszűrő berendezések a vízben levő mechanikai szennyeződések és lebegő anyagok megszürtését végzik. A jó minőségű szűrő anyag eltávolítja a vízben lévő szennyező anyagokat, miközben átáramlik a víz a homokszűrő ágyon, így biztosítva a jó minőségű vizet. Egy idő után a töltet telítődik és ekkor a szűrőhomok cseréjére, szorul, nagyjából 5-10 évente.

Amennyiben minden részegység, cső és a tartály is fagypont alatt van, akkor semmi akadálya a rendszer használatának a téli időszakban. [21]

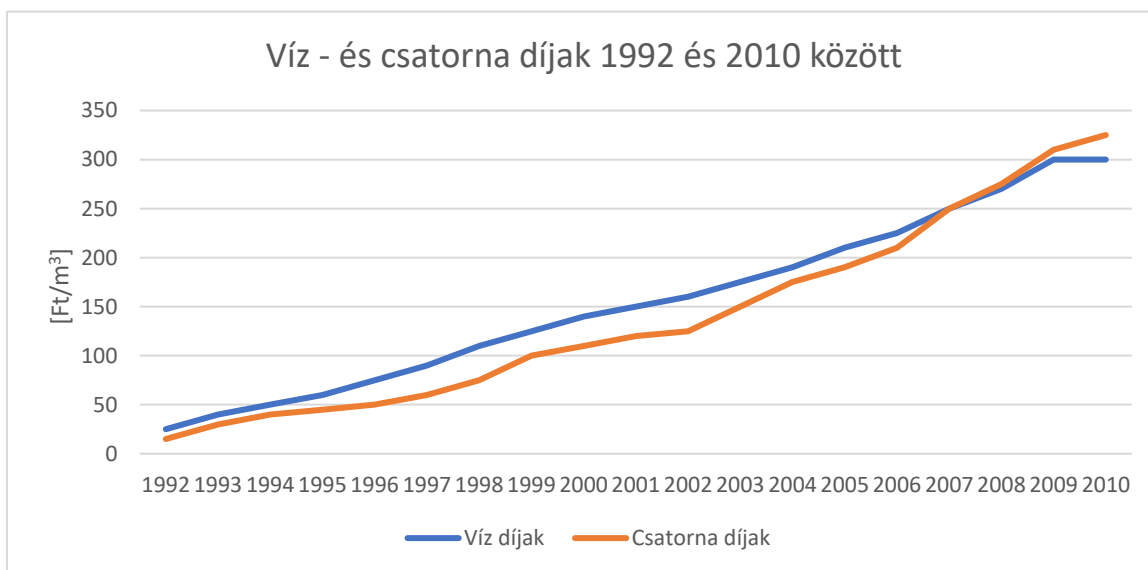


6.ábra: Csapadékgyűjtő tartályrendszer részei és működése (Forrás: <https://blog.genertel.hu/szakertnek-valaszol/esovizgyujtes/>)

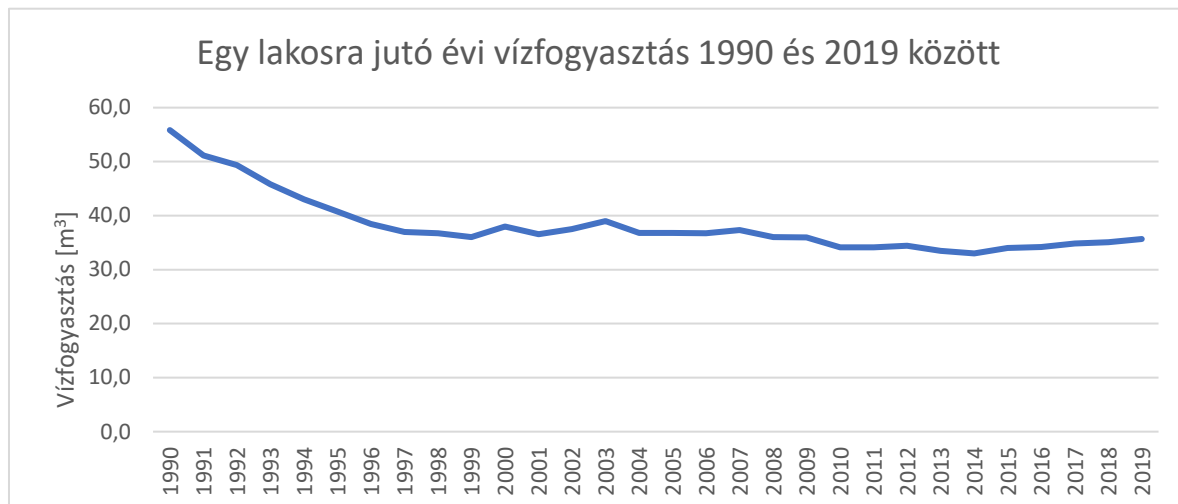
A csapadékvíz gyűjtése és nagymértékű felhasználása segíthet a környezet túlterhelésének megoldásában, illetve a vízkészlet megőrzésében. Az esővíz a fenntartható életmód szempontjából, illetve gazdaságosság szempontjából is jelentős sikereket eredményezhet, a

folyamatosan emelkedő víz-csatorna díj árak tekintetében (7. ábra). Ennek legdrasztikusabb jeleit a rendszerváltás utáni években figyelhetjük meg, amikor a vízár folyamatos növekedésének hatására a lakosság jelentősen változtatott a vízfogyasztási szokásain (7. és 8. ábra).

A díjak növekedésének egyik oka a folyamatos csatornakerbantartás. A rendszerváltás előtt ténylegesen kihasznált nagytérű hálózatok mára túlméretezetté váltak. Ennek következtében gyorsabban romlik a hálózat fizikai állapota, ez pedig rontja a víz minőségét, amely áramlik benne. Sok városban az esővizet egyenesen a csatornába engedik, amely így sokkal gyakrabban túlterhelődhet, illetve felesleges tisztítási folyamatokon vezetjük végig az eredetileg tiszta vizet. Bár jelenleg Magyarországon a víz- és csatornadíj a rezsicsökkentés hatására alacsony, a jövőben várhatóan emelkedni fog, amely következtében nagyobb hangsúly kerül majd a csapadékvíz hasznosítására mint alternatív vízforrás. A csapadékgyűjtő területekkel, illetve a csapadék elraktározással rengeteg lehetőség nyílik meg előttünk a vízgazdálkodás témakörében.



7. ábra: Ivóvíz és csatornadíjak változása 1992 és 2010 között Magyarországon (Forrás: KSH, Központi Statisztikai Hivatal)



8.ábra: Egy főre jutó lakossági vízfogyasztás változása 1990 és 2019 között Magyarországon (Forrás: KSH, Központi Statisztikai Hivatal)

2.4. Csapadékvíz-hasznosító tartályok méretezése

Az esővízhasznosító rendszerek tervezése sok különböző lépésből áll, ebből a legnagyobb kihívást általában a tartálytérfogat meghatározása jelenti. Egy épületen belüli csapadékvíz-hasznosításra szánt tárolóban kialakuló vízforgalom számtalan különböző tényező függvénye. A tárolóban lévő víz mennyisége függ a lehulló csapadék mennyiségétől és éven belüli eloszlásától, a vízgyűjtő felület nagyságától, és a felhasználás helyén jelentkező vízfogyasztástól. A rendelkezésre álló vízmennyiség és vízigény mellett fontos szempont a rendszer kialakításának és fenntartásának költsége is.

Különböző módszerek, ajánlások léteznek hazai és nemzetközi szinten az épületeken belüli csapadékvíz-hasznosító tartályok méretének meghatározására. Magyarországon főként csak a tartályforgalmazók által ajánlott egyszerűsített méretezési módszerek állnak rendelkezésre, ezek közül mutatunk be kettőt a 2.4.1-es alfejezetben. Ezek jellemzően átlag éves vagy havi csapadékösszegek és átlagos fajlagos vízfogyasztások alapján adnak térfogatot. Az átlagértékekből történő számítási módszerek nem tartalmaznak olyan fontos információkat, amelyek szükségesek lennének a tárolótérben időben változó vízszintek tényleges jellemzésére.

Ezek közül a leglényegesebbek:

- a csapadék éven belüli eloszlása: évenként és szezononként változó lehulló csapadékmennyiség és intenzitás;
- tárolótér telítettsége: a megelőző időszakból mennyi víz maradt a tározóban, azaz mekkora telítettségre érkezik rá a következő csapadék, és mennyi víz áll rendelkezésre felhasználásra adott időpillanatban;
- a vízfogyasztás szezonális változása: főként a hőmérséklettől és csapadékos/száraz időszakoktól függő vízfogyasztások időbeni alakulása (itt főként az öntözés dominál)
- a tárolótérfogat nagyságához hogyan viszonyul a vízigények éven belüli kielégítése és a telepítés/fenntartás költségei?

A nemzetközi szakirodalomban nagyon sok különböző megközelítést találunk. Itt már megjelennek az idősoros alapú vízmérleg számítási módszerek is, amelyek jobban közelítik a fentebb összefoglalt folyamatokat. Ezek közül mutatunk be néhányat a 2.4.2-es alfejezetben. A 2.4.3-as alfejezetben a háztartási vízfogyasztások szezonális változását elemezzük.

2.4.1. Egyszerűsített méretezési módszerek

Magyarországon több esővízgyűjtő tartályt árusító cég szolgáltat egyszerűsített számítási módszert a térfogat meghatározására. Ezekre láthatunk a következő részben néhány példát.

Más és más módon történik családi házak, lakótelepek és társasházak esetén. A tervezés függ: a lehulló csapadék mennyiségétől és gyakoriságától, évszakos csapadékeloszlástól, a tervezett szükséges tartalék víz becslésétől, vízgyűjtő felület nagyságától, fogyasztók számától, a tervezett berendezések vízfogyasztásától.

1. Módszer

Egy 4 fős családi ház vízgyűjtő tartályméretezése. Nagyjából 150 m²-es vízgyűjtő felület áll rendelkezésre, amely leggyakrabban a tető rendszeren van kialakítva. Az itt összegyűlő csapadéknak van egy lefolyási tényezője, a lehullott csapadéknak a csatornába (tartályba) jutó hányadát fejezi ki, nagyjából 0,8. Ez azt jelenti, hogy a csapadék nagyjából 80 %-át tudjuk felhasználni. Az éves csapadék mennyiség 700 mm körül van. Így kiszámítható, hogy az éves felhasználható esővíz nagyjából 844000 liter, tehát 84 m³. Háztartáson belüli felhasználási lehetőség lehet a WC, a mosógép és a kertöntözés vízigényének kielégítése. Egy négyszemélyes

háztartás esetén a WC öblítés vízszükséglete 25 liter/fő/nap, a mosógép esetén 15 liter/fő/nap, a kert öntözés pedig 100 liter/fő/nap. Összesítve ezeket, az éves vízigény 78400 liter/év, tehát $78,4 \text{ m}^3$. A tároló térfogata 21 napos tartalék tárolással számolva $78400 \text{ liter/év} * 21/365 = 4510 \text{ liter}$, tehát $4,5 \text{ m}^3$. Javasolt a minimális túlméretezés, tehát egy 5 m^3 -es tartály ideális lehet. [22]

2. Módszer

Egy 40 fős lakótelep vízgyűjtő tartályméretezése. A rendelkezésre álló tetőfelület 200 m^2 . Az éves csapadékmennyiség 600 mm. Gyűjthető éves csapadékmennyiség $200 \text{ m}^2 * 600 \text{ mm} * 0,85 = 102000 \text{ liter} = 102 \text{ m}^3$. A 0,85-ös szorzás azért szükséges, mivel a vízgyűjtőnek és a tetőrendszernek 15%-os a vesztesége.

WC-öblítés 8700 liter/fő/év, mosás 3500 liter/fő/év, takarítás 800 liter/fő/év, öntözés 60 liter/m². Tehát az éves csapadék-szükséglet $40 \text{ fő} * (8700 \text{ liter/év} + 3500 \text{ liter/év} + 800 \text{ liter/év}) = 520000 \text{ liter} + 10 \text{ m}^2 * 60 \text{ liter/m}^2 = 520600 \text{ liter} = 502,6 \text{ m}^3$

Szükséges tárolókapacitás = $((\text{gyűjthető éves csapadékmennyiség} + \text{éves vízszükséglet}) / 2) * 0,0575$.

A 0,0575-tel való szorzás azért szükséges, mert 21 napos tartalék vízmennyiséggel tervezzük a tartályt. $365 / 21 = 0,0575$.

Tehát a tartály mérete = $((102000 \text{ liter} + 520600 \text{ liter}) / 2) * 0,0575 = 17900 \text{ liter} = 17,9 \text{ m}^3$

Enyhe túlméretezéssel 18 m^3 -es tartály lenne az ideális ez alapján a módszer alapján. [23]

2.4.2. Nemzetközi méretezési példák

Semaan és társai (2020) [24] készítettek egy összefoglaló táblázatot, amelyben osztályozták a méretezési módszertanokat aszerint, hogy milyen számítási megközelítést alkalmaznak a tárolótérfogat meghatározására, és hogy milyen jellegű csapadék- és vízfogyasztás adatokat használnak fel ehhez. Mivel az általunk kidolgozott méretezési módszertan vízmérleg alapon számol, ezért egy új táblázatban összegyűjtöttük azokat a módszereket, amelyek ehhez hasonló elven működnek (1. táblázat).

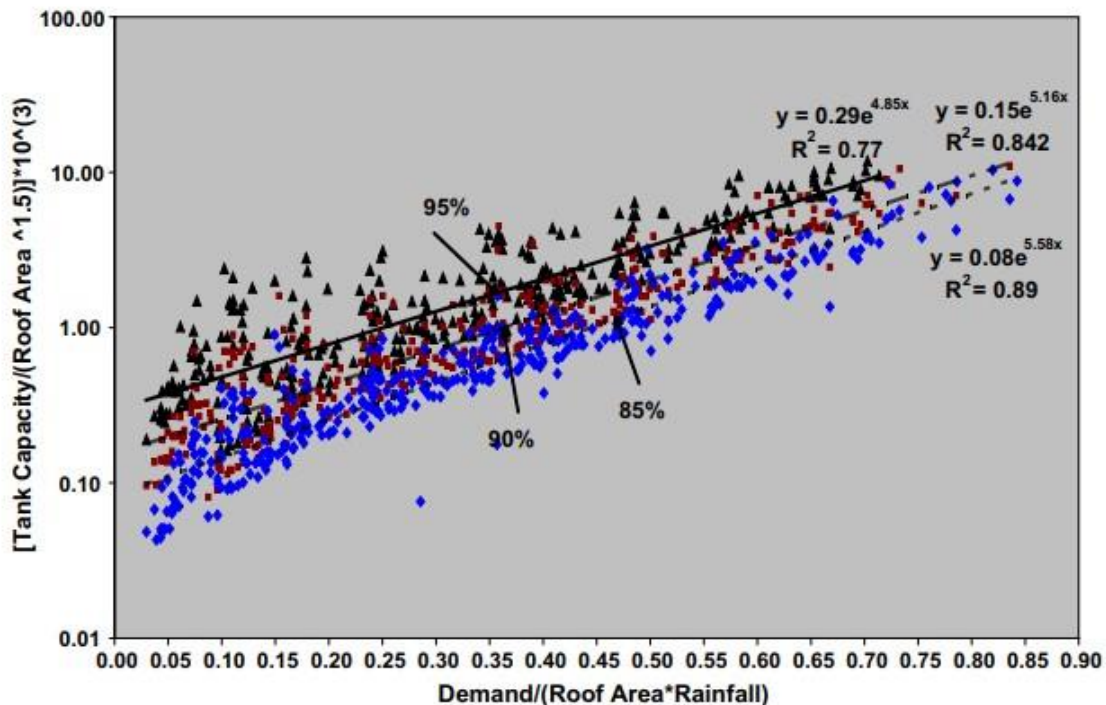
Megnevezés	Csapadék	Szimulációs megnevezés	Vízigény
Cowden et al. (2008) [25]	napi, sztochasztikus	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Khastagir and Jayasuriya (2010) [26]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, szezonális
Imteaz et al. (2011) [27]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Khastagir and Jayasuriya (2011) [28]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Rowe (2011) [29]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Vialle et al. (2011) [30]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Imteaz et al. (2012) [31]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Hashim et al. (2013) [32]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Bocanegra-Martínez et al. (2014) [33]	havi	vízmérleg alapú számítás	havi, szezonális
Gurung and Sharma (2014) [34]	6 perces intervallum	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Tsilhrintzis and Baltas (2014) [35]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Fernandes et al. (2015) [36]	heti	vízmérleg alapú számítás	heti, szezonális
Karim et al. (2015) [37]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Londra et al. (2015) [35]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Okoye et al. (2015) [38]	havi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Lawrence and Lopes (2016) [39]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Palek and Porporato (2016) [40]	napi, sztochasztikus	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Rostad et al. (2016) [41]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Fonseca et al. (2017) [42]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Lopes et al. (2017) [43]	napi, sztochasztikus	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Nnaji et al. (2017) [44]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Koumoura et al. (2018) [45]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos
Lani et al. (2018) [46]	napi	vízmérleg alapú számítás	napi, átlagos

1. Táblázat: Vízmérleg alapú tartályméretezési módszerek ([24] alapján szerkesztve)

Ezek közül kiemelnénk azokat, amelyek a módszertanunkhoz hasonlóan éven belül változó vízfogyasztás adatokból indulnak ki.

Melbourne városára Khastagir és Jayasuriya (2010) [26] egy vízmérleg alapú tartályméretezési módszertant dolgozott ki. Az elmúlt években Melbourne térségét súlyos szárazság fenyegette. A vizsgált időszakot megelőző több mint 10 évben az éves csapadékmennyiség átlag alatti érték volt. Egyes helyeken a lehullott eső az évi 450 mm-t sem érte el. Ennek következtében vízkorlátozást vezettek be. Az éghajlati változások hatására a térség a csapadékvíz nagymértékű felhasználását tűzte ki célul. A vizsgálat egy új összefüggést tár fel a csapadékvíz gyűjtő tartályok optimalizálására 20 mérőállomás adatainak feldolgozásával. Napi idősor mentén történik a számítás, és minden időlépésben meghatározzák a tárolótérben az előző időlépésből bentmaradó, a tárolótérbe a csapadékból befolyó vízmennyiséget, és a vízfogyasztást. A vízigények közül csak az öntözésre feltételeztek éven belüli változékonyságot, a többire (WC

öblítés, mosás) egy éven belüli állandó napi értéket feltételeztek. Az öntözést 382 l/nap-ra vették fel az éven belül 6 hónapig, amely alatt minden héten csak 2 napig jelentkezik ez a fogyasztás. A térfogatokat az ellátás biztonság (85-95%) függvényében határozták meg Melbourne városának különböző részeire átlagos tetőméretek és fogyasztók esetére (9. ábra). Az alábbi ábra az eredményként kapott regressziós görbéket mutatja (13. ábra). A módszer exponenciális egyenleteket illesztett a tartálytérfogat meghatározására az alábbi paraméterek függvényében: tartálykapacitás (C), éves vízigény (D), tetőfelület (A), éves átlagos csapadékmennyiség (R), ellátási megbízhatóság (Re). A tartály mérete vízmérleg egyenlet alapján számítható, különböző csapadékmérő állomások, vízigények és tetőméretek vizsgálatával.



9. ábra: Tartály ellátási megbízhatóság tartály méret és tető felület összefüggésében, (Forrás: [26])

Fernandes és társai (2015) [36] egy hulladékkezelő telep esővízgyűjtő tartályát szintén vízmérleg alapon méretezték, viszont itt a napi idősorokat heti felbontásra aggregálva vették figyelembe. A telepen jelentkező vízigények közül az öntözést május és szeptember között mindennap állandó értéknek feltételezik (az egyéb időszakokban nulla az értéke), míg az eszközök és burkolatok lemosásához szükséges vízmennyiséget egész évben állandónak vették (kivételem vasárnap, akkor nulla). Bocanegra-Martínez és társai (2014) [33] a mexikói Morelia

várost fogyasztási zónákra osztották fel, melyekben a fogyasztás ismert, és ezeket havi aggregált értékekkel használják fel a számításban a tartálytérfogatok meghatározására.

2.4.3. Szükséges tartálméretet befolyásoló tényezők – vízfogyasztások és helyi éghajlati jellemzők

A Földön található vízkészlet több mint 97%-a sós víz. A kevesebb, mint három százalékot kitevő édesvíz kétharmada jég és hó formájában van jelen. Tehát a Föld vízkészletének mindössze 1%-a tiszta és alkalmas emberi fogyasztásra. [47].

	liter/fő/nap
Olaszország	243
Bulgária	191
Horvátország	182
Görögország	177
Írország	150
Egyesült Királyság	150
Svédország	148
Ausztria	137
Portugália	132
Spanyolország	130
Hollandia	128
Franciaország	128
Németország	122
Szlovénia	122
Finnország	117
Luxemburg	115
Ciprus	105
Belgium	100
Dánia	99
Lengyelország	98
Magyarország	92
Csehország	90
Szlovákia	83
Lettország	77
Románia	74
Észtország	70
Litvánia	61
Málta	50

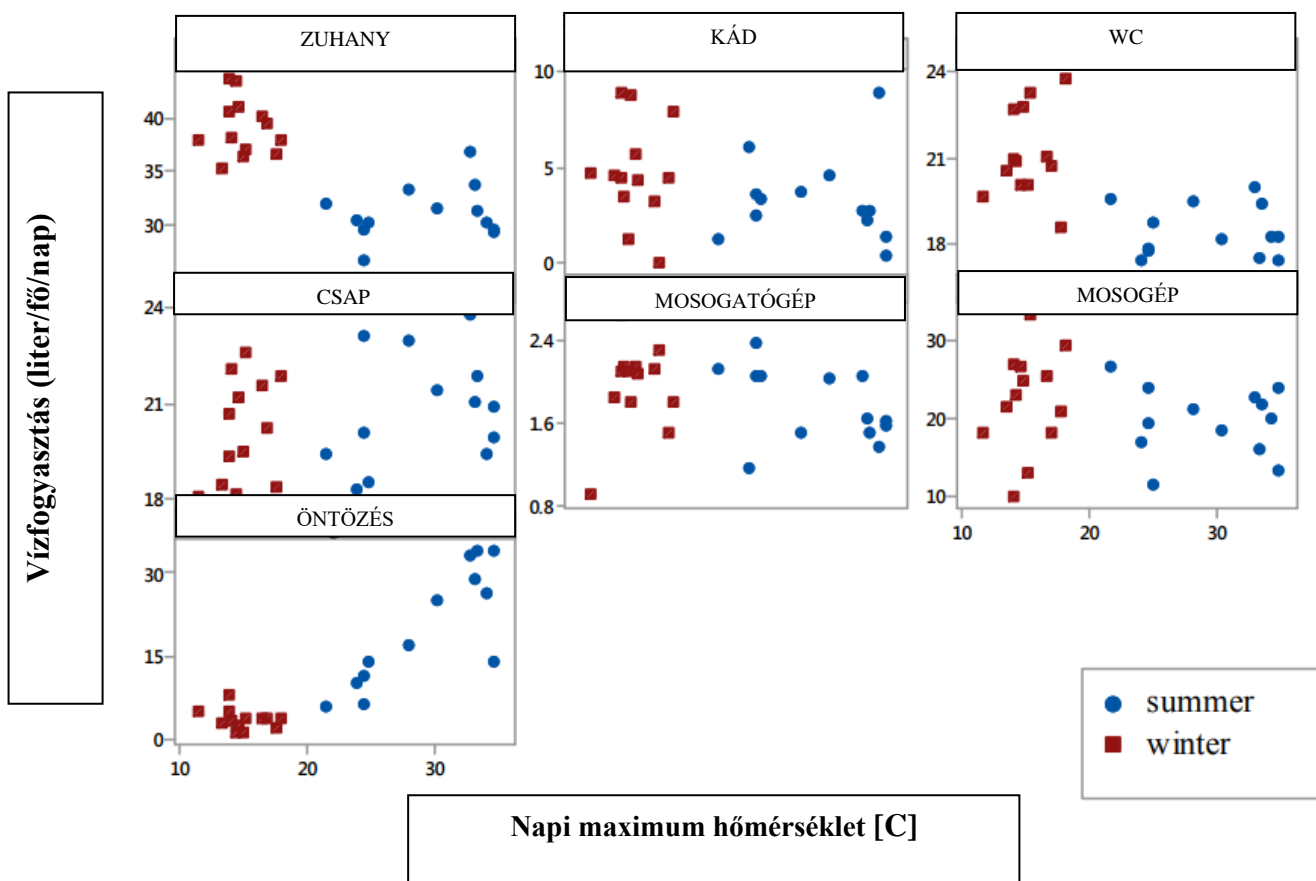
[48]

A világ különböző országaiban más-más vízfogyasztói szokásokat és profilokat láthatunk. Ennek oka az eltérő kulturális szokások, gazdasági helyzetek és infrastruktúra fejlettsége.

Befolyásolhatja a napi vízfogyasztást az ország környezetpolitikája és a lakosság kollektív tudata. [49]

A háztartások vízfogyasztása több elemből áll össze (például ivás, WC öblítés, fürdés, mosás, takarítás, mosogatás, öntözés, medence feltöltés). A vízfogyasztások közül vannak, amelyek mennyisége éven belül közel állandónak tekinthető (például mosogatás, WC öblítés), és vannak olyanok, amelyek erősen függenek az aktuális időjárási jellemzőktől (például az öntözés a hőmérséklettől és a csapadéktól).

Egy ausztráliai kutatás az egyes háztartásokban mért vízfogyasztások és az időjárás kapcsolatát elemezte. A mért adatokat két vállalat szolgáltatta. Yarra Valley Water (YVW) amely a Melbourne legnagyobb vízipari vállalata és 1,7 millió embernek biztosítja a közművet, és a City West Water (CWW) vízipari vállalat, amely 276.000 főt lát el, többek között a központi üzleti negyedet. A vizsgált időszak 2010 és 2012 között volt és 117 háztartásra terjedt ki. [50]



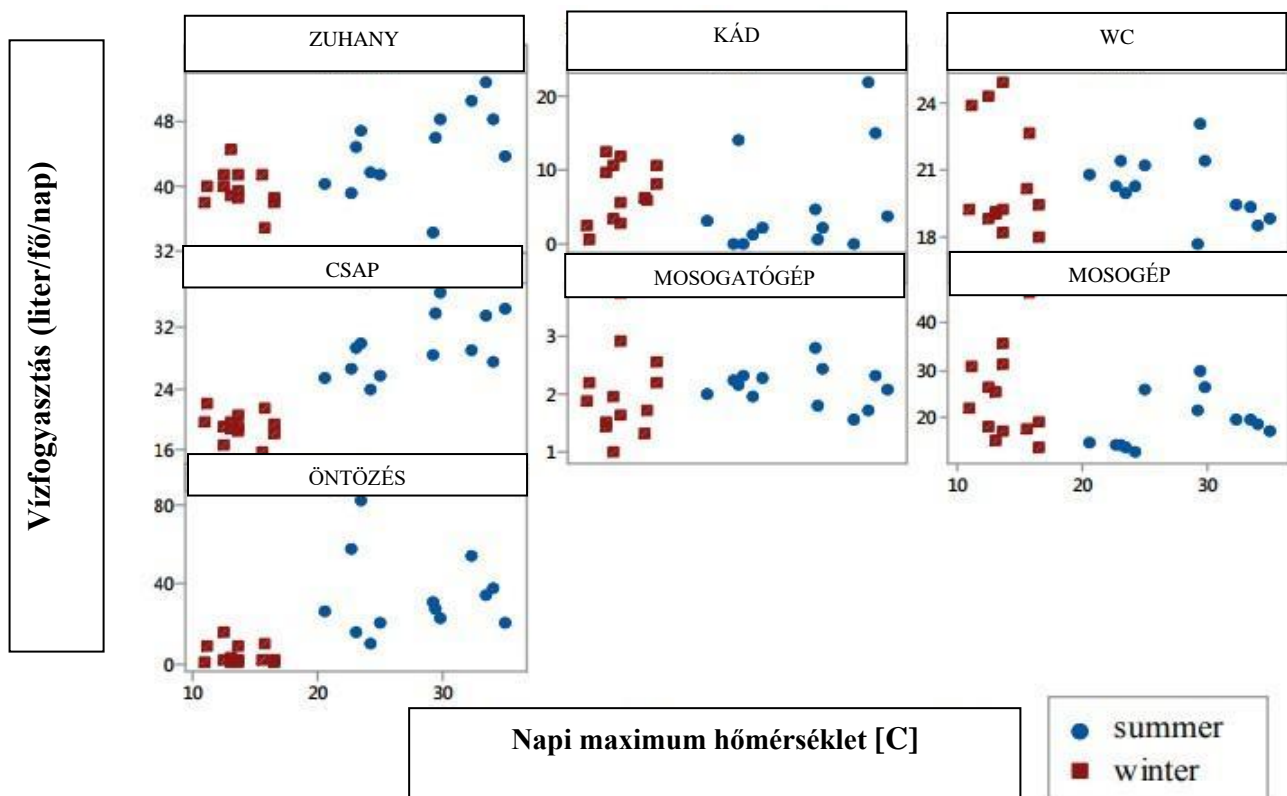
10. ábra: Yarra Valley Water (YVW) vízipari vállalat, Maximum napi hőmérséklet és az átlagos fajlagos napi vízfogyasztás (l/fő/nap) korrelációja téli (piros négyzet) és nyári (kék pötty) időszakban (Forrás: [51])

Melbourne-ben a téli hónapok júniustól augusztusig tartanak, a nyári hónapok pedig decembertől februárig. A téli adatok 2010 július és augusztus hónapokban voltak mérve, 2 héten keresztül, mindkét üzemnél. Természetesen a térségre vonatkozó hőmérsékleti és lehulló csapadék adatok is rögzítve lettek ezekre az időszakokra: az átlagos napi maximum és minimum hőmérséklet, 30°C foknál melegebb napok száma, átlagos napi lehullott csapadék, eső nélküli napok száma, átlagos havi csapadékmennyiség.

Az értékeket kielemezve az alábbi megfigyeléseket jegyezhetők fel:

A lakosság részéről a zuhany, a WC és az öntözés vízigénye a Yarry Valley Water adatai szerint erőteljes eltérést mutatott a téli és a nyári hónapokban. Ezzel szemben a fürdőkád, a mosogatógép és a mosógép szinte megegyezik a két időszakban (10. ábra).

A zuhany és a WC alacsonyabb értéket mutatott nyáron, mint télen, az öntöző-víz használata pedig a vártnál magasabb lett a nyáron. A nyári öntözővíz-használat egyértelműen növekedett a napi maximális hőmérséklet növekedésével (10. ábra).



11. ábra: City West Water (CWW) vízipari vállalat, Maximum napi hőmérséklet és az átlagos fajlagos napi vízfogyasztás (l/fő/nap) korrelációja téli (piros négyzet) és nyári (kék pötty) időszakban (Forrás: [51])

A várakozásoknak megfelelően az öntözővíz használata mutatja a legnagyobb átlagos eltérést a két évszak között. Nyáron 51,3 liter/nap, télen pedig 16,4 liter/nap. A zuhanyzó használata is jelentősen eltérést mutat nyár és tél között, nyáron 25 liter/nap míg télen csak 8 liter/nap. Bár WC a vízhasználat eltér nyáron és télen, a különbség nagysága meglehetősen kicsi.

A zuhanyzó és az öntözővíz szezonális különbsége a nyári és a téli időszakban a CWW esetében megerősíti a YVW adatok felhasználásával végzett azonos elemzés eredményeit.

A CWW adatelemzés eredményei azt mutatják, hogy a zuhany, a csap és az öntözővíz használata jelentősen nagyobb nyáron, mint télen. Az öntözővíz átlagos napi felhasználása 29,6 literrel nagyobb nyáron, mint télen (11. ábra). [51]

3. Módszertan

3.1. Vízmérleg alapú csapadékvíz-hasznosító tartály méretezési módszertanának bemutatása

Az újonnan kidolgozott módszertan háztartási vízigényeket kielégítő/kiegészítő csapadékvíz-hasznosító tartályok méretezésére szolgál. A számítás lényege, hogy hosszú időtartamú vízfogyasztási, csapadék és hőmérsékleti idősorok alapján vízmérleg módszerrel becsüljük meg, hogy adott tartálytérfogatok mellett milyen arányban tudjuk kielégíteni csapadékvízből a fellépő vízigényeket, illetve mennyi vizet kell pótolnunk az ivóvízhálózatról kiegészítésként. A módszertan eredményei alapján egyéni mérlegeléssel választható meg a telepítendő tartályméret.

A méretezés újdonság tartalma a létező nemzetközi módszerekkel szemben, hogy a vízfogyasztások közül az öntözés éven belüli változását a hőmérséklet és a csapadék függvényében határozzuk meg, és ezeket vízfogyasztási nyomászónák vízfogyasztási adatainak elemzéséből becsüljük.

A módszer alkalmazására vonatkozó megjegyzések:

- Az alkalmazott vízfogyasztás, csapadék és hőmérséklet idősorok ajánlott hossza 10-20 év, mivel az éghajlati változékonyság leírására ez az időtáv a legalkalmasabb. Azonban az idősor hossz megválasztásánál célszerű mérlegelni az adott területen a vízfogyasztók összetételének a változását is: átalakultak-e jelentősen a vízfogyasztási szokások a vizsgált időszak alatt? Milyen múltbeli időtáv jellemzi legjobban a jelenlegi fogyasztókat? Ezek mérlegelésével rövidebb időtáv is választható.
- A vízmérlegszámításhoz minimum napi felbontású vízfogyasztás, csapadék és hőmérséklet idősorokra van szükség.
- A csapadék és hőmérséklet idősorok megválasztásánál mérlegelni kell az adott területre vonatkozó reprezentativitást (földrajzi közelségben legyen mérve).
- A vízfogyasztás idősorok olyan vízhálózati nyomászónából származzanak, amelyben jellemzően hasonló típusú fogyasztók dominálnak (például családi házak, panelházak,

emeletes társasházak). A fogyasztók összetételét minden esetben elemezni kell a számítások megkezdése előtt.

- Amennyiben a nyomászóna lakosszáma nagymértékben változik a vizsgált időszak alatt, abban az esetben a zóna átlagfogyasztását ennek mértékével korrigálni kell, hiszen a vízfogyasztás-hőmérséklet kapcsolat felállításánál ez nagy befolyással bír.

A vízmérleg számítás alapja, hogy minden időlépésnél az idősorok mentén (jelen esetben minden napon) meghatározzuk a tárolóba beérkező ($V_{beérkező}$), amely a tárolóhoz kapcsolódó vízgyűjtő területre lehulló csapadékvízből keletkező lefolyás) és a tárolóban a megelőző időlépésből bent maradt ($V_{bentlévő}$) vízmennyiséget, és ezek összegéből levonjuk a távozó vízmennyiséget, amely a vízfogyasztás (azaz a jelentkező vízigény, amelyet csapadékvízből terveznek kielégíteni, $V_{vízigény}$) adott napi értéke. A tározószámítást sok különböző térfogatra ($V_{tározó}$) végezzük el (a felső határt jelentheti a rendelkezésre álló terület nagysága), például 0,1 és 10m³ között 0,1m³-es lépésekkel haladva. $V_{tározó}$ -nál több vizet nem tudunk tárolni, az e feletti vízmennyiségek elvesznek. Ezzel párhuzamosan meghatározzuk minden időlépésnél, hogy a jelentkező vízigények függvényében, amennyiben nincs elég beérkező és betárazott csapadékvíz annak a kielégítésére, mennyi hálózati ivóvíz lenne pluszban szükséges ($V_{ivóvíz}$). Az adott j időpontban a tározóban lévő vízmennyiséget (V_j) a következő egyenlettel számíthatjuk:

$$V_j = V_{beérkező,j} + V_{bentlévő,j} - V_{vízigény,j} [m^3]$$

$$\max(V_j) = V_{tározó}$$

Amennyiben:

$$V_{vízigény,j} < V_{beérkező,j} + V_{bentlévő,j}, \text{ akkor}$$

$$V_{ivóvíz} = 0, \text{ egyébként}$$

$$V_{ivóvíz} = \text{abs}(V_{beérkező,j} + V_{bentlévő,j} - V_{vízigény,j}) \text{ és } V_j = 0$$

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

$$V_{belépő,j} = \alpha * i_j * \tau * A_{vízgyűjtő} [m^3]$$

Ahol

$V_{belépő}$ – az adott időlépcső alatt a tározóba befolyó vízmennyiség [m³]

α – a vízgyűjtő terület lefolyási tényezője [-]

i – az adott időlépcső alatt lehulló csapadékösszeg [m/nap]

τ - a vizsgált időlépcső hossza [1 nap]

$A_{\text{vízgyűjtő}}$ – a tárolóhoz kapcsolódó vízgyűjtő területe [m^2]

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

$$V_{\text{bentlévő},j} = V_{j-1}$$

A tárolóból távozó víz mennyiségét, amely a vízfogyasztás (azaz a jelentkező vízigény, $V_{\text{vízigény},j}$) két részre bontjuk: az öntözés vízigénye, amelyről feltételezzük, hogy nagymértékben változik a hőmérséklet (és a csapadék) függvényében, és az összes többi háztartási vízigény, amelynek a szezonális változását elhanyagolható mértékűnek tekintjük. Az egyéb vízigényekre a háztartás függvényében ajánlott fajlagos átlagos napi vízfogyasztás értékeket felvenni a számításánál.

Az öntözési vízigény meghatározásánál megnézzük, hogy milyen hőmérsékleti értékek felett (meghatározását lásd a 4.2-es fejezet mintaszámításában) felett milyen mértékben változik a zóna vízfogyasztása, amelyből egy küszöb értéket kapunk ($T_{\text{küszöb}}$). Feltételezzük, hogy a $T_{\text{küszöb}}$ feletti hőmérsékletű napokon akarnak öntözni a zónában lakók. Továbbá azt is feltételezzük, hogy azokon a napokon, amikor a lehulló csapadék mennyisége meghalad egy küszöbértéket ($i_{\text{küszöb}}$, meghatározását lásd a 4.2-es fejezet mintaszámításában), a nagy hőmérséklet ($T_{\text{küszöb}}$ felett) ellenére sem fognak locsolni.

Az öntözési vízigény – adott háztartás szintjére leskálázva arányosítás alkalmazásával (AT) - időben változó érték az aktuális hőmérséklettől és csapadéktól függően:

$$V_{\text{vízigény,öntözés},j} = \begin{cases} (a * T_j + b) * AT, & \text{ha } T_j \geq T_{\text{küszöb}} \text{ és } i_j < i_{\text{küszöb}} \\ \text{minden egyéb esetben: } 0 \end{cases}$$

Ahol

a - a vizsgált nyomászóna vízfogyasztás – hőmérséklet összefüggésének elemzése alapján illesztett lineáris egyenlet konstansa

b - a vizsgált nyomászóna vízfogyasztás – hőmérséklet összefüggésének elemzése alapján illesztett lineáris egyenlet konstansa

T_j – hőmérséklet (meghatározását lásd a 4.2-es fejezet mintaszámításában)
az adott időlépésben [°C]

$T_{\text{küszöb}}$ - a vizsgált nyomászóna vízfogyasztása és a T_j összefüggésének elemzése alapján meghatározott küszöbérték (meghatározását lásd a 4.2-es fejezet mintaszámításában) [°C]

$i_{\text{küszöb}}$ – egyénileg definiált küszöbérték a csapadékösszegre a terület napi öntözési vízigénye alapján (meghatározását lásd a 4.2-es fejezet mintaszámításában) [mm]

AT – arányszám a teljes zóna vízfogyasztása és az egyes háztartások öntözési vízigénye között (meghatározását lásd a 4.2-es fejezet mintaszámításában)

Eredményként a vizsgált tartálytérfogatok függvényében megkapjuk az ellátási biztonságot [%] (a vizsgált időszak napjait tekintve mi a valószínűsége, hogy a naponta jelentkező vízigényt ki tudjuk elégíteni esővízből), és a vizsgált időtáv alatt az ivóvíz hálózatról történő vízpótlás mennyiségét [m³]. Az eredmények mérlegelésével és költségszámításokkal összevetve az adott háztartás meghatározhatja a számára optimális tartálytérfogatot.

3.1.1. Bemeneti adatok

A méretezési módszertan bemutatásához egy magyarországi nagyvárost választottunk mintaterületnek. A terület pontos megnevezését anonimán kezeljük a vízfogyasztási adatokat szolgáltató helyi vízművek kérésére.

A tartályméretezés elvégzéséhez az adott területen mért vízfogyasztási és éghajlatot leíró adatokat (napi hőmérséklet és csapadék idősor) használtunk fel. A vízfogyasztások időbeli változásának leírásához a városon belüli nyomászónák vízfogyasztási idősorait használtuk fel.

3.1.2. Vízfogyasztás adatok

A helyi vízművek rendelkezésünkre bocsátotta 7 nyomászónában a vízfogyasztások idősorait fél órás bontásban 2012-2021 között. A nyomászónákat úgy választottuk meg, hogy az adott területen dominánsan egy fajta épülettípus, azaz fogyasztó legyen jelen.

A nyomászóna adatokból a vízfogyasztás szezonális változásait, illetve a hőmérséklet és csapadék függvényében történő változásokat nyerhetjük ki. A kutatásban 3 lakótelepi, 3 zöldövezeti családi házas, és 1 társasházás térséget vizsgálunk.

Az adatok a teljes nyomászóna összes vízfogyasztását jellemzik, ezért az otthlakók általános fogyasztásáról kaphatunk képet belőle. Természetesen egyéni szinten vizsgálva a fogyasztások eltérhetnek.

Lakótelepi övezet 1 – LT1

Az ellátott területen kizárólag 10-11 emeletes társasházak találhatók. A zónában található gerincvezetékek hossza ~26 km. A fogyasztókat ellátó vezetékek anyag főként PVC, de nagy százalékban megtalálható itt azbesztcement anyagú csövek is. A zóna indulónyomása 5,4 bar.

Lakótelepi övezet 2 – LT2

Az ellátott területen kizárólag 10 emeletes társasházak találhatók. A zónában található gerincvezetékek hossza ~4,9 km. A fogyasztókat ellátó vezetékek anyag főként azbesztcement. A zóna indulónyomása 5,6 bar.

Lakótelepi övezet 3 – LT3

Az ellátott területen 4 és 10 emeletes társasházak találhatók. A zónában található gerincvezetékek hossza ~20 km. A fogyasztókat ellátó vezetékek anyag főként azbesztcement, de nagy százalékban megtalálható itt PVC anyagú csövek is. A zóna indulónyomása 6 bar.

Családi házas zöld övezet 1 – CSHZ1

Az ellátott terület beépítettsége családi házas jellegű. A zónában található gerincvezetékek hossza ~8,9 km. A fogyasztókat ellátó vezetékek anyag főként azbesztcement, de nagy százalékban megtalálható itt a gömbgrafitos öntöttvas és KPE anyagú csövek is. A zóna indulónyomása 7,6 bar.

Családi házas zöld övezet 2 – CSHZ2

Az ellátott terület beépítettségében főként a családi házas jelleg dominál, de társasházakat is találunk benne. A zónában található gerincvezetékek hossza ~92 km. A fogyasztókat ellátó vezetékek anyag főként azbesztcement, de megtalálhatók itt a gömbgrafitos öntöttvas és a KPE anyagú csövek is. A zóna indulónyomása 9,7 bar.

Családi házas zöld övezet 3 – CSHZ3

Az ellátott terület beépítettségében főként a családi házas jelleg dominál, de találunk itt 10 emeletes társasházakat is. A zónában található gerincvezetékek hossza ~191 km. A fogyasztókat ellátó vezetékek anyag főként azbesztcement, de megtalálhatók itt a PVC és a KPE anyagú csövek is. A zóna indulónyomása 6,3 bar.

Társasházás övezet – THZ1

Az ellátott terület beépítettségére jellemző a családi házas jelleg, de jelentős számú társasházat is találunk benne. A zónában található gerincvezetékek hossza ~60 km. A fogyasztókat ellátó vezetékek anyag főként gömbgrafitos öntöttvas, de nagy százalékban megtalálható itt az öntöttvas és azbesztcement anyagú csövek is. A zóna indulónyomása 18 bar.

3.1.3. Csapadék- és hőmérséklet idősor

A csapadékidősorunk két mérőállomás (Mérő1 és Mérő2) adatait dolgozza fel 2012 és 2018 között. A napi csapadék magasságból (mm) számoltunk havi, illetve éves átlag értékeket. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált területen a legtöbb csapadék május, június, július, augusztus és szeptember hónapban esik. Az éves csapadékmennyiség 53-55 százaléka ebben az időszakban hullik le. A legkevesbé csapadékos időszak a december és az április hónap. Az idősorokat a későbbiekben még több elemzés során is felhasználjuk.

A vizsgált nagyvárosi mintaterületen két automata billenőkanalas csapadékmérő napi idősorainak (2012-2018) adatait használtuk fel. A mérők mérési pontossága 0,1mm. A csapadékmérés mellé rendelkezésünkre állt egy napi hőmérséklet idősor is.

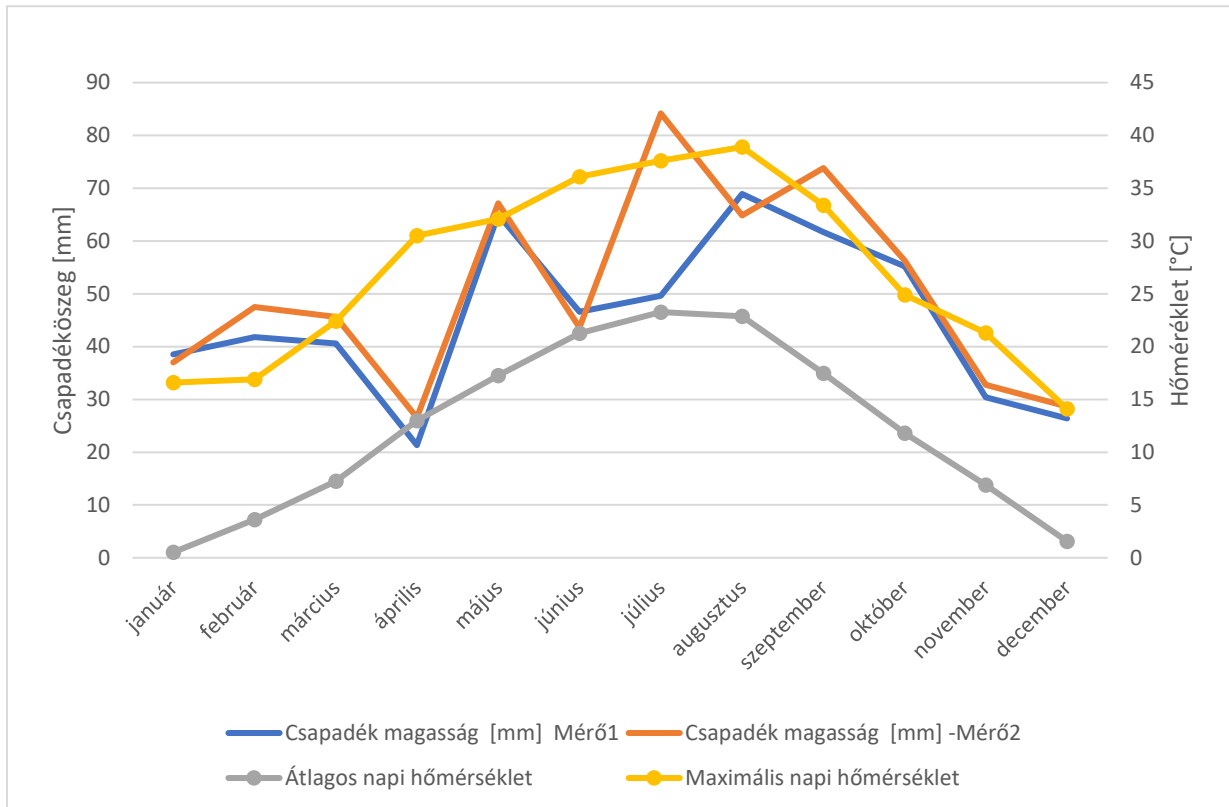
A napi csapadékösszeg és hőmérséklet idősorból számoltunk havi átlag értékeket a 2012-2018-as időszakra (2. táblázat és 13. ábra). Az eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált

területen a legtöbb csapadék május, június, július, augusztus és szeptember hónapban esik. Az éves csapadékmennyiség 53-55 százaléka ebben az időszakban hullik le. A legkevésbé csapadékos időszak a december és az április hónap.

Az idősorokat a későbbiekben még több elemzés során is felhasználjuk. Az átlagos éves csapadékösszeg az 1-es mérőállomáson 545 mm, a 2-es mérőállomáson 607 mm volt.

2012-2018 Éves átlagok	Csapadékösszeg [mm] Mérő1	Csapadékösszeg [mm] Mérő2	Átlagos napi hőmérséklet [°C]	Maximális napi hőmérséklet [°C]
január	38,53	37,00	0,52	16,60
február	41,79	47,51	3,63	16,90
március	40,61	45,63	7,26	22,40
április	21,33	26,56	13,00	30,50
május	64,99	67,14	17,27	32,10
június	46,59	43,63	21,27	36,10
július	49,59	84,17	23,27	37,60
augusztus	68,91	64,83	22,86	38,90
szeptember	61,71	73,80	17,46	33,40
október	55,17	56,26	11,80	24,90
november	30,39	32,74	6,88	21,30
december	26,37	28,66	1,57	14,10

2.Táblázat: Átlagos havi csapadékösszegek 2012 és 2018 között a vizsgált mintaterület két csapadékmérőjén, illetve átlagos és napi maximum hőmérséklet adatsora



13. ábra. Átlagos havi csapadékösszegek 2012 és 2018 között a vizsgált mintaterület két csapadékmérőjén, illetve átlagos és napi maximum hőmérséklet ábrázolásával (Forrás: saját munka)

4. Eredmények

4.1. Vízfogyasztások alakulása különböző városi vízfogyasztók esetén

A vizsgálat első részeként különböző típusú városi lakossági vízfogyasztók vízfogyasztási szokásait elemeztük. A vízfogyasztási idősorok alapján eltérő vízfogyasztási szokásokat és tendenciákat azonosítottunk az egyes nyomászónák esetén.

A lakótelepi lakások esetén szinte egész évben állandó a vízfogyasztás, a LT1, LT2 ÉS LT3 adatsornál semmilyen ingadozást nem látunk. Ennek oka, hogy a panel telepek nyomászónájának környékén kevesebb az olyan zöld terület, ami a magasabb hőmérsékletű időszakokban sok öntözést igényelne. Mivel a lakásokhoz nem tartozik kert, így csak a füves és parkos közterületek vízigényére lehet számítani.

A CSHZ1 adatsor esetén a vízfogyasztás minimális növekedését látjuk a nyári hónapok alatt a ez a zöld övezetben lévő családi házaknak köszönhető, ahol az öntözés elengedhetetlen a nyári csapadék nélküli, aszályos időszakokban.

Az CSHZ2 és CSHZ3 adatsor esetén is elmondhatjuk, hogy a nyári hónapokban erőteljes vízfogyasztás növekedés észlelhető, ennek oka ebben az esetben is az öntözés (pázsit és veteményeskert), illetve lehet még szó medence feltöltésről, napi gyakoribb zuhany és fürdő használatról.

A TH1 adatsor is növekedést mutat június, július és augusztus hónapban, de ez egy sokkal mérsékeltebb formában történik. Ennek oka, hogy ez a zóna kevert típusú fogyasztókat tartalmaz, azaz családi házakat és társasházakat foglal magába.

A vízfogyasztások és éghajlati adatok szempontjából két szélsőséges évet mutatunk be részletesen az alábbiakban. A 2013-as és 2016-os évet választottam, ugyanis a két évben a csapadékösszeg szélsőértékeit össze tudjuk hasonlítani, illetve az éves maximális hőmérsékletben is jelentős eltéréseket tapasztalunk (3. táblázat).

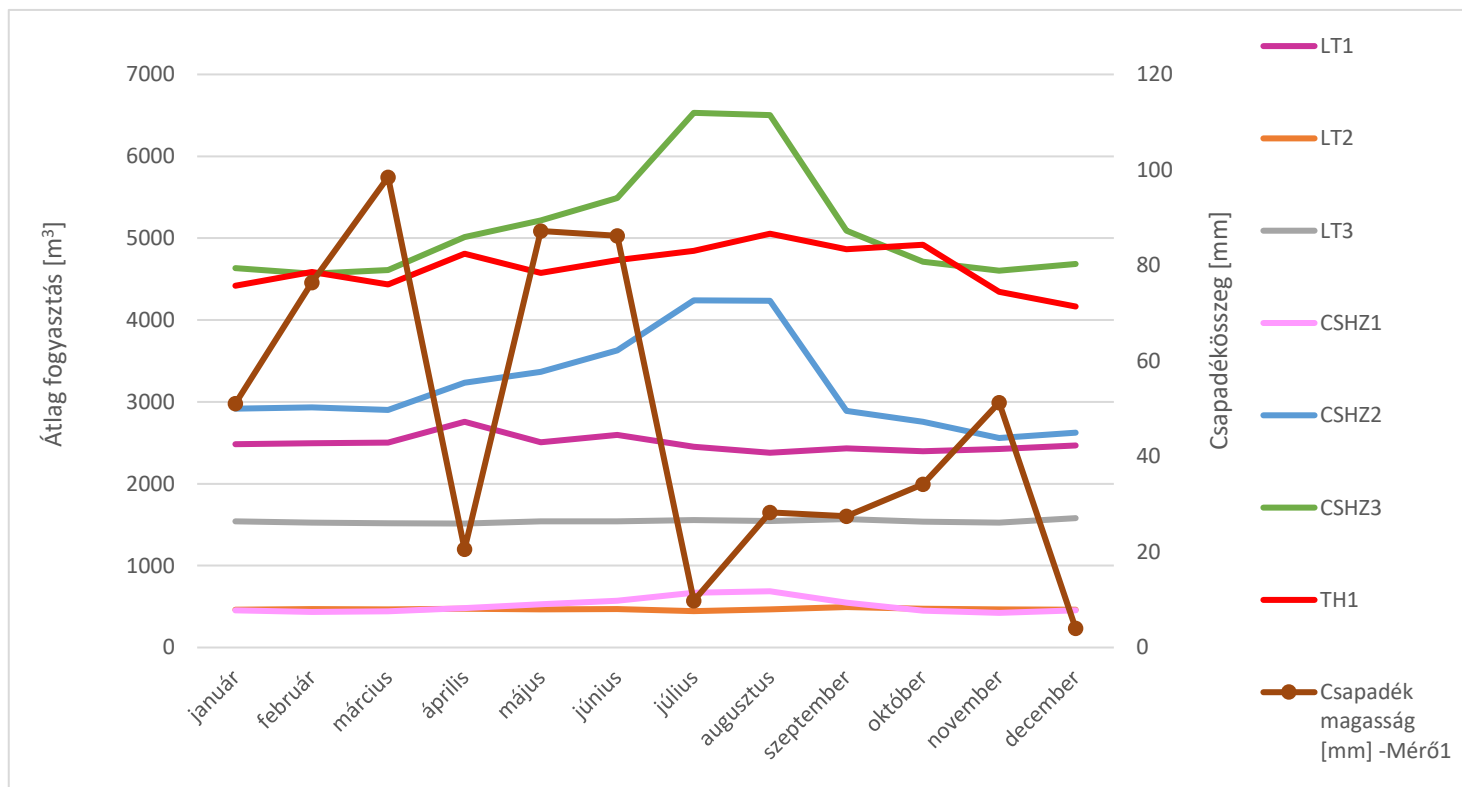
2013-ban az éves csapadékösszeg 575 és 533 mm volt az 1-es és a 2-es mérőállomáson. 2016-ban 569 és 675 mm volt a két mérőállomáson.

Szembetűnő mindkét diagram esetén, hogy a csapadékmentes időszakokat követően is megnő a fogyasztás a családi házas és társasház területeken. Látható a 14. és 15. ábrákon, hogy a csapadék hiányos időszakokban megugrik a vízfogyasztás a zöld övezetes területeken, mint például 2013 július és augusztus hónapjában.

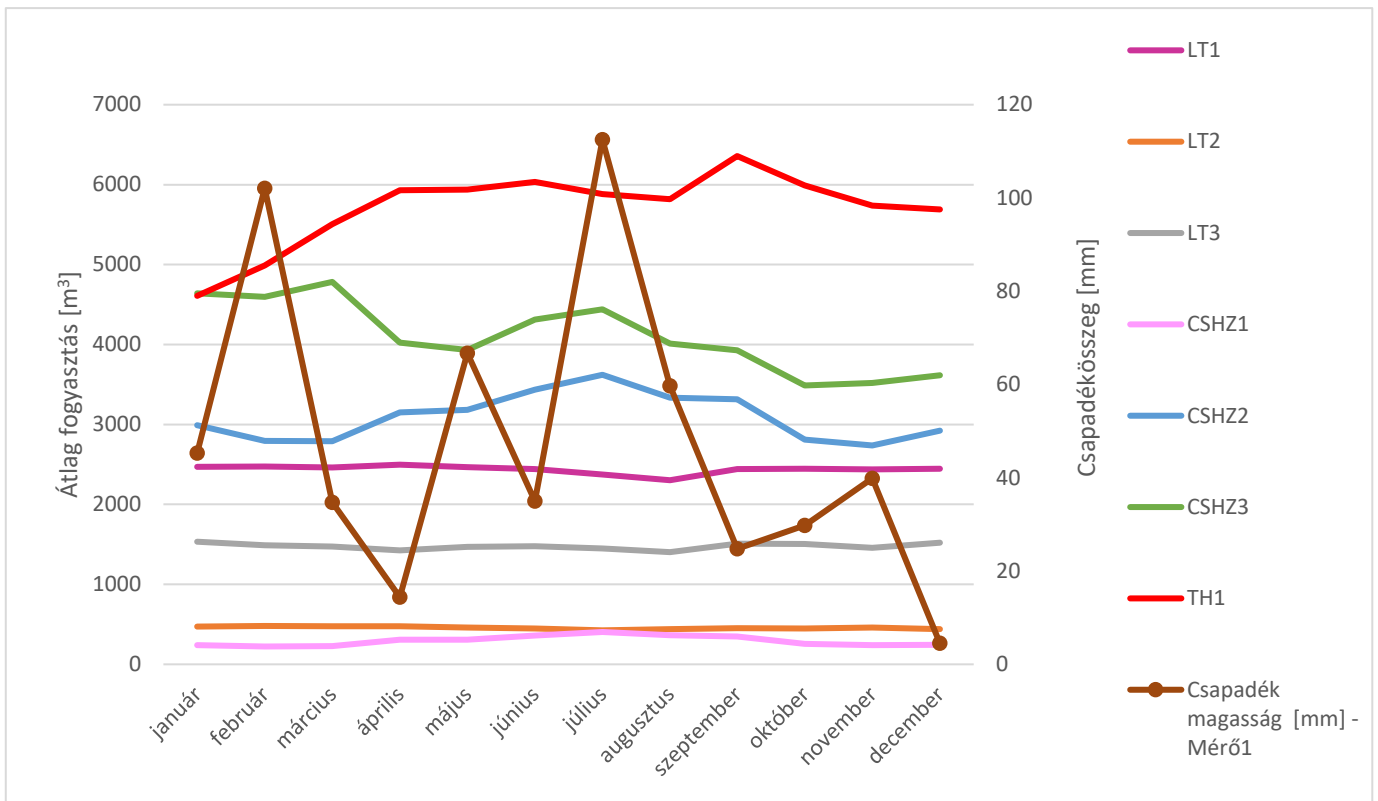
Havi átlag	LT1 [m ³]	LT2 [m ³]	LT3 [m ³]	CSHZ1 [m ³]	CSHZ2 [m ³]	CSHZ3 [m ³]	TH1 [m ³]	Csapadék összeg [mm] -Mérő1	Csapadék összeg [mm] -Mérő2	Átlagos napi hőm. [°C]	Maximum napi hőm. [°C]
2013											
január	2482	463	1542	455	2919	4635	4418	51	51	0,19	10,60
február	2496	470	1524	433	2933	4566	4586	76	79	2,40	12,10
március	2504	466	1516	443	2903	4609	4435	99	113	3,75	16,10
április	2757	475	1514	482	3235	5013	4809	21	32	12,89	29,50
május	2507	465	1540	529	3366	5215	4574	87	64	16,77	29,20
június	2596	468	1542	573	3629	5490	4731	86	32	20,39	36,10
július	2453	444	1555	670	4240	6531	4847	10	2	23,87	37,40
augusztus	2379	466	1545	687	4234	6504	5054	28	52	23,47	38,90
szeptember	2433	494	1568	546	2891	5092	4865	28	31	15,31	27,00
október	2396	474	1539	450	2756	4712	4918	34	24	13,18	24,90
november	2423	467	1526	423	2559	4603	4346	51	52	7,73	18,50
december	2469	461	1580	454	2625	4684	4165	4	3	2,15	12,40

2016											
január	2471	474	1534	239	2991	4639	4609	45	50	-1,00	9,20
február	2473	480	1490	223	2793	4596	4990	102	101	5,76	16,70
március	2461	476	1475	227	2791	4783	5505	35	48	7,29	21,60
április	2497	474	1424	310	3150	4024	5929	14	13	12,98	18,72
május	2467	458	1471	307	3182	3930	5937	67	73	16,39	28,80
június	2442	449	1478	361	3435	4310	6033	35	58	21,22	34,60
július	2374	425	1451	404	3621	4442	5881	113	152	22,55	33,90
augusztus	2303	440	1403	365	3335	4012	5819	60	55	20,84	31,00
szeptember	2440	452	1509	349	3314	3926	6358	25	40	18,70	30,90
október	2447	448	1505	254	2811	3488	5988	30	49	9,59	23,40
november	2439	460	1457	239	2738	3519	5738	40	35	5,09	15,90
december	2447	440	1520	243	2921	3614	5691	5	1	-0,15	13,10

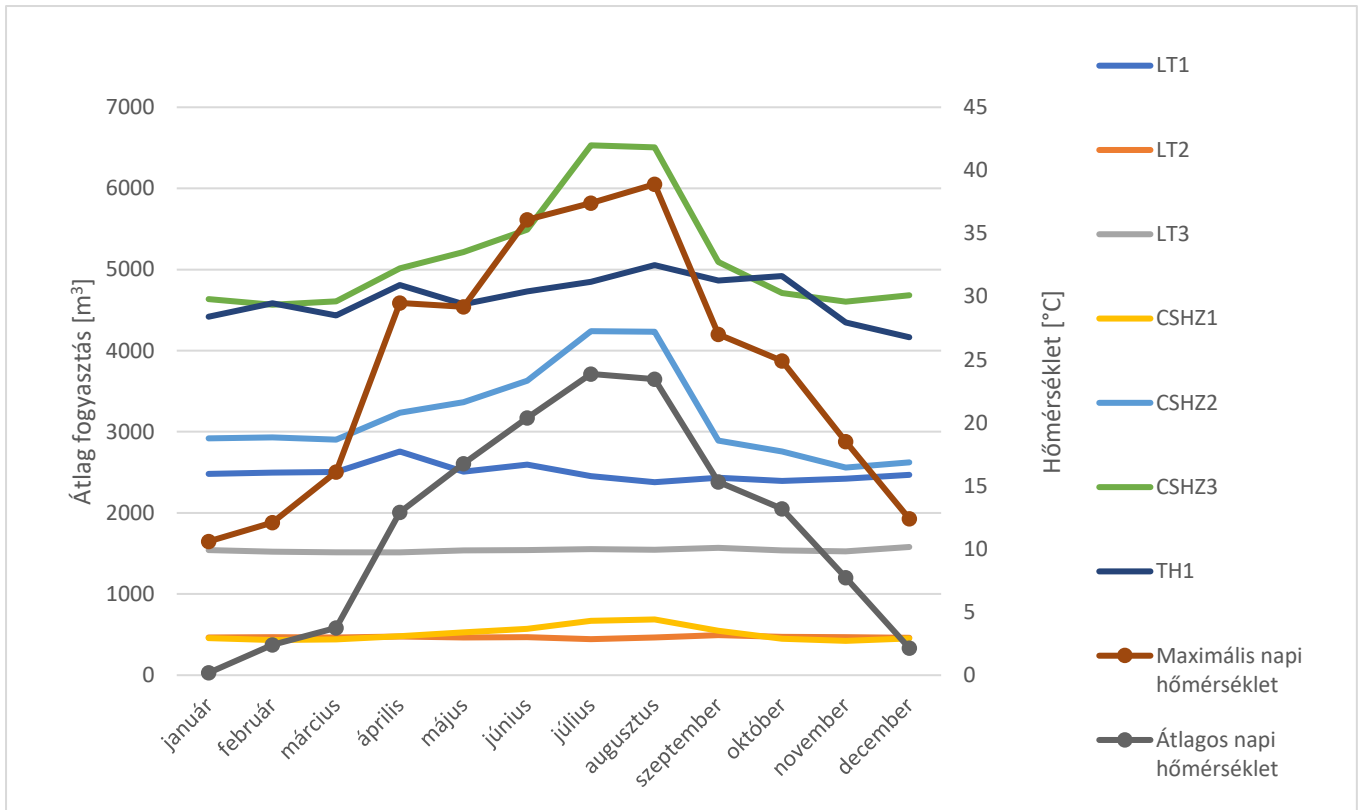
3. Táblázat: A 2013-as és 2016-os év átlag fogyasztása, csapadékösszege, átlagos és maximális hőmérséklete havi bontásban



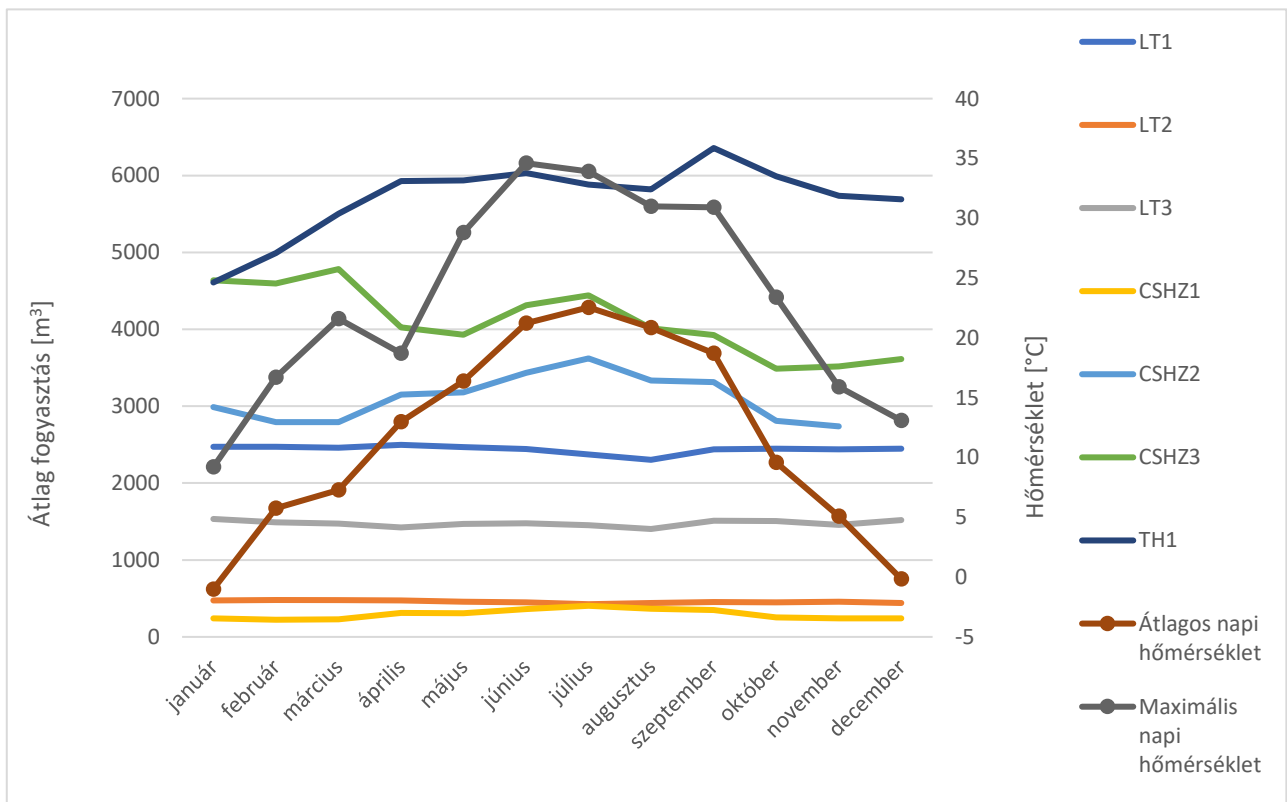
14. ábra: A 2013-as év átlag fogyasztása havi eloszlásban a csapadékösszeg ábrázolásával az egyes nyomászónákban (Forrás: saját munka)



15. ábra: A 2016-os év átlag fogyasztása havi eloszlásban a csapadékösszeg ábrázolásával az egyes nyomászónákban (Forrás: saját munka)



16. ábra: Vízfogyasztás változása az átlagos és maximális napi hőmérséklet függvényében 2013-ban az egyes nyomászónákban (Forrás: saját munka)



17. ábra: Vízfogyasztás változása az átlagos és a maximális napi hőmérséklet függvényében 2016-ban az egyes nyomászónákban (Forrás: saját munka)

A 16. és 17. diagram vizsgálata során is erős összefüggéseket figyelhetünk meg. A havi átlag és maximum hőmérséklet növekedése, egyértelműen befolyásolja a fogyasztási értékeket. Ez ebben az esetben is leginkább a családi házas, zöld övezetes területeken figyelhető meg. A lakótelepi körzetekben szinte semmilyen változást nem észlelünk, a fogyasztás egész évben stagnál.

Az első diagrammon a családi házas és társas házas övezetek esetén a nyári időszakban sokkal nagyobb kiugrásokat látunk, mint a 2016-os adatsoron. Ennek oka a két év közötti hőmérséklet és csapadék különbség.

2013-ban az éves csapadékmennyiség 533,4 mm volt, 2016-ban 675,4 mm, ami azt jelenti, hogy a 2016-os évben 142 mm-el több csapadék esett a 2-es mérőállomás adatai szerint.

	Átlagos napi hőmérséklet [°C]	Maximális napi hőmérséklet [°C]
2013	11,84	38,90
2016	11,60	34,60

4. Táblázat: A 2013-as és 2016-os év átlag és maximális napi hőmérséklete

Emellett a maximum hőmérséklet is jelentősen eltérő volt a két évben. 2013-ban a maximális napi hőmérséklet majdnem elérte a 39 °C míg 2016-ban a 35°C-ot se érte el (4. táblázat).

Ezután megvizsgáltuk a 2013 és 2018 közötti évek nyári és téli hónapok vízfogyasztásának arányát a lakóövezetekben (6. táblázat és 18. ábra). A lakótelepi térségekben minimális esetben éri el az 1-es arányszámot, tehát a nyári fogyasztás nem haladja meg a téli fogyasztást. A családi házas, zöld övezetes és társházás területeken az arányszám egyetlen adatot kivéve, mindig nagyobb mint 1. A nagyobb arányszám számának oka a nyári öntözés, ami növeli a vízfogyasztást.

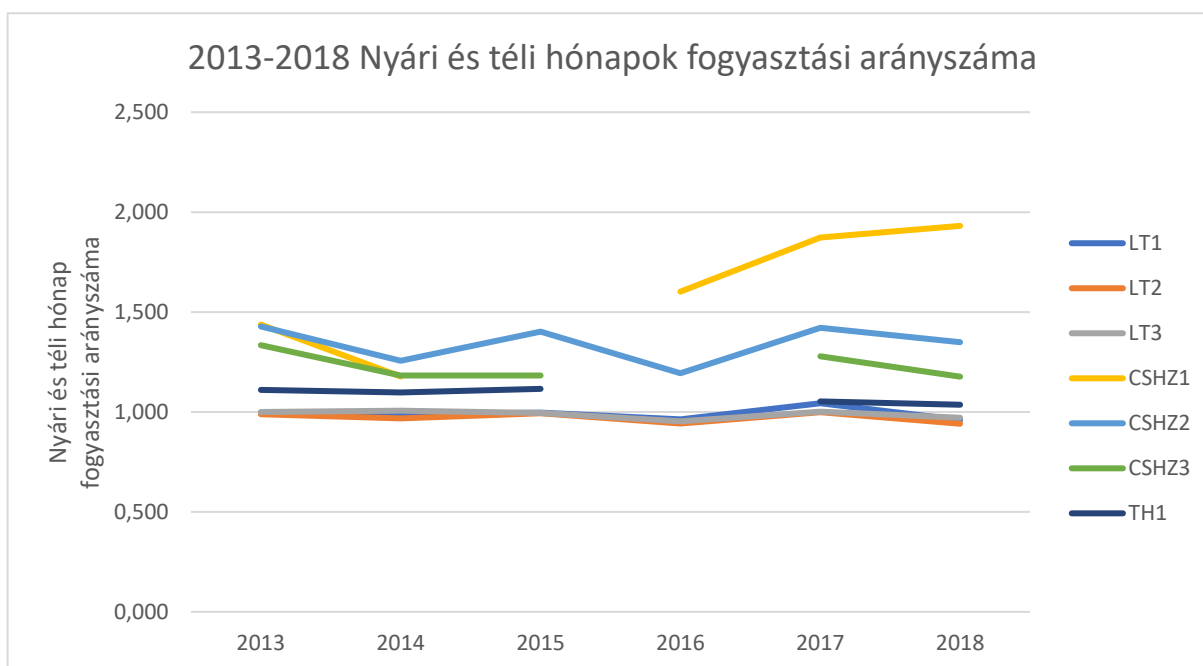
Bizonyos nyomászónák esetén változást tapasztaltunk az évek folyamán a vízfogyasztás átlagos értékében, amit minden év első és utolsó két hónapja alapján határoztunk meg. Ha az év első 2 és második 2 hónapja között is észlelhető jelentős eltérés (>10%), ott az arányszám számítását nem végeztük el (5. táblázat).

Évek	Az év első két hónapjának átlag vízfogyasztása [m ³]	Az év utolsó két hónapjának átlag vízfogyasztása [m ³]	Arány [-]	Eltérés [%]	Zóna
2016	4639	7133	1,538	35,0	CSHZ3
2015	378	233	0,615	62,5	CSHZ1
2016	4800	5714	1,191	16,0	TH1

5. Táblázat: Az év első és év utolsó két hónapjának szumma fogyasztásának aránya, eltérése azokban az években, amikor 10%-nál nagyobb eltérést tapasztaltunk

Évek	LT1	LT2	LT3	CSHZ1	CSHZ2	CSHZ3	TH1
2013	0,997	0,988	0,999	1,437	1,428	1,334	1,111
2014	0,989	0,968	1,007	1,177	1,256	1,183	1,098
2015	0,997	0,993	0,995		1,403	1,183	1,116
2016	0,963	0,943	0,953	1,603	1,194		
2017	1,044	0,999	1,001	1,872	1,421	1,279	1,053
2018	0,960	0,941	0,970	1,905	1,350	1,177	1,036

6. Táblázat: A 2013 és 2018 közötti években a nyári és téli hónapok vízfogyasztásának aránya az egyes nyomászónákban



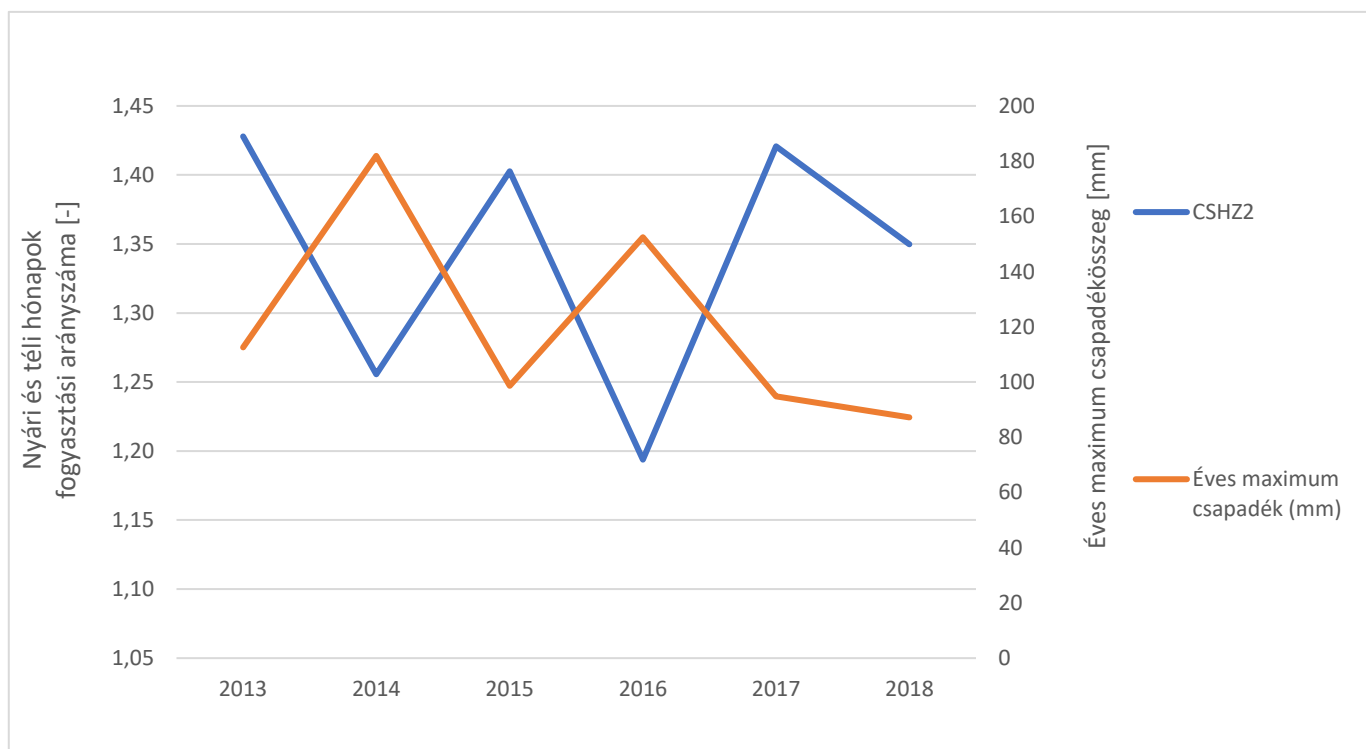
18. ábra: A 2013 és 2018 közötti években a nyári és téli hónapok vízfogyasztásának aránya az egyes nyomászónákban (Forrás: saját munka)

A lakótelepi térségekben várható módon a nyári és téli átlag vízfogyasztások aránya 1 körül fog mozogni, mivel nem jellemző a szezonális átlagfogyasztás ingadozás. Ezzel szemben a családi házas és tarsas házas zöld övezetben egyetlen esetet kivéve, a nyári és téli hónapok aránya meghaladja az 1 arányszámot, a melegebb júniusi, júliusi és augusztusi hónapok miatt, amikor növekedik a lakosság vízigénye.

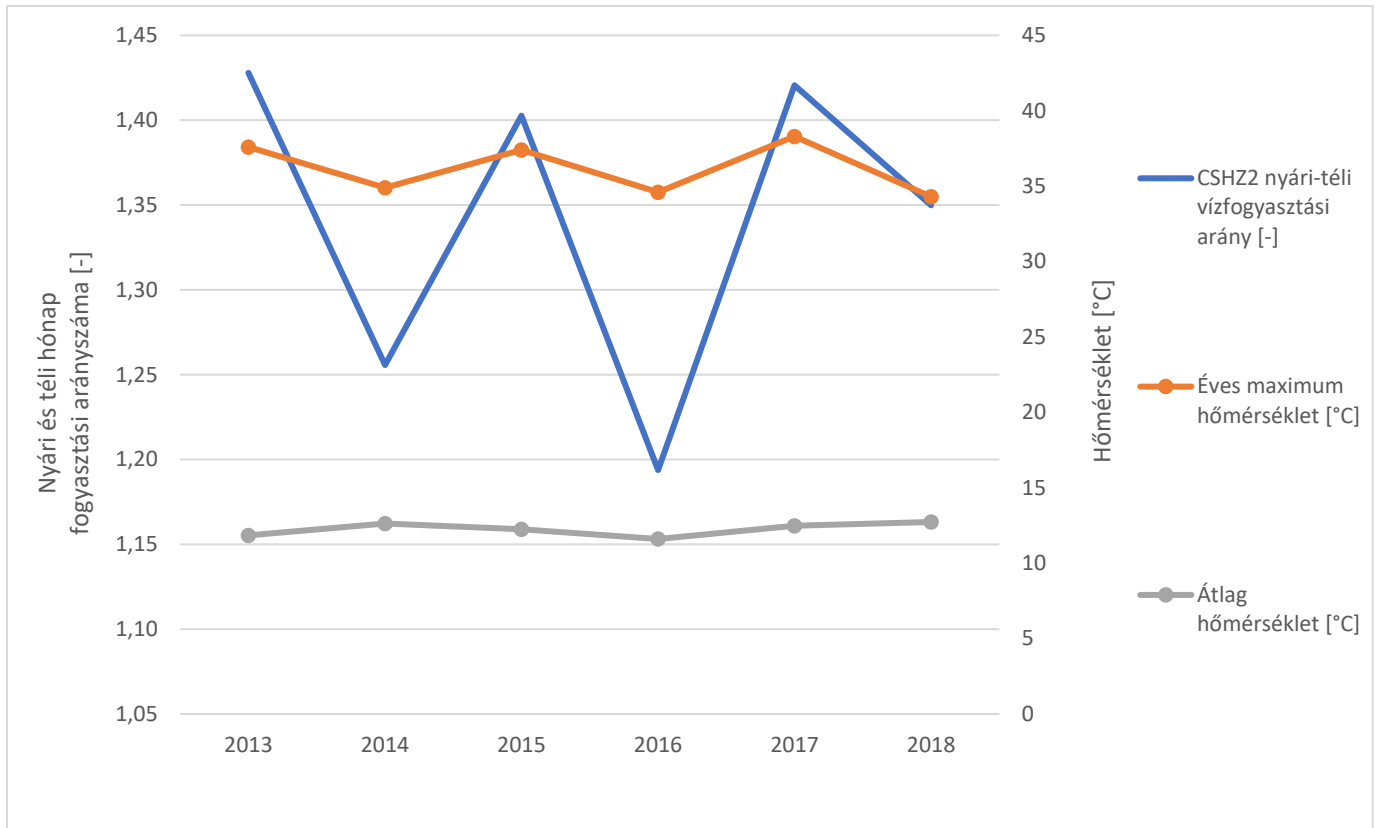
A további elemzéseket a CSHZ2 -es adatsorral végezzük. Látható, hogy az évi maximális hőmérséklet nagyon erős összefüggésben van az arányszámokkal (7. táblázat és 19. ábra).

Évek	CSHZ2 nyári-téli vízfogyasztási arány [-]	Maximum havi csapadék [mm]	Éves maximum hőmérséklet [°C]	Átlag hőmérséklet [°C]
2013	1,428	112,6	38,90	11,84
2014	1,256	181,9	34,90	12,64
2015	1,403	164,7	37,40	12,24
2016	1,194	152,4	34,60	11,60
2017	1,421	94,8	38,30	12,48
2018	1,350	87,2	34,30	12,73

7.Táblázat: A 2013 és 2018 közötti évek nyári és téli hónapjainak átfogyasztásának aránya



19. ábra: A CSHZ2 nyomászóna 2013-2018 közötti nyári és téli hónapok fogyasztási arányszáma a maximális havi csapadékösszeg függvényében (Forrás: saját munka)



20. ábra: A CSHZ2 nyomászóna 2013-2018 közötti nyári és téli hónapok fogyasztási arányszáma az éves maximum és az átlag hőmérséklet függvényében (Forrás: saját munka)

A 19-es ábrán látható, hogy nagyobb éves havi maximum csapadékmennyiség esetén a nyári és téli átlagfogyasztás arányszám csökken. Mivel a téli fogyasztás ad nekünk egy valós átlagfogyasztást, így a nyári fogyasztás elosztása a téli fogyasztás értékével, megadja nekünk az átlagtól való eltérést. Minél kisebb számot kapunk, annál kisebb az eltérés a téli és a nyári fogyasztás között.

A 20-as ábra az átlagfogyasztás és az éves maximum hőmérséklet összefüggését mutatja meg. Nagyobb éves maximum hőmérséklet esetén az arányszám is nő, ami azt jelenti, hogy a nyári átlagfogyasztás meghaladja a téli fogyasztást.

4.2. Mintaszámítás a háztartási esővíz-hasznosító tartályra kidolgozott méretezési módszertanra

Az új tartályméretezési módszertant a CSHZ2-es nyomászóna esetére mutatjuk be. A CSHZ2-es nyomászónában jellemzően kertes családi házak találhatók, ezért a melegebb hónapokban nagymértékben megnő a vízfogyasztás, amelyeknek háttérében dominánsan a kertek öntözése áll (természetesen egyéb háztartási vízigények is változhatnak a hőmérséklet függvényében, de ezek mértéke elhanyagolható lehet az öntözéshez képest, ahogy azt a 2.4.3-as alfejezetben láthattuk).

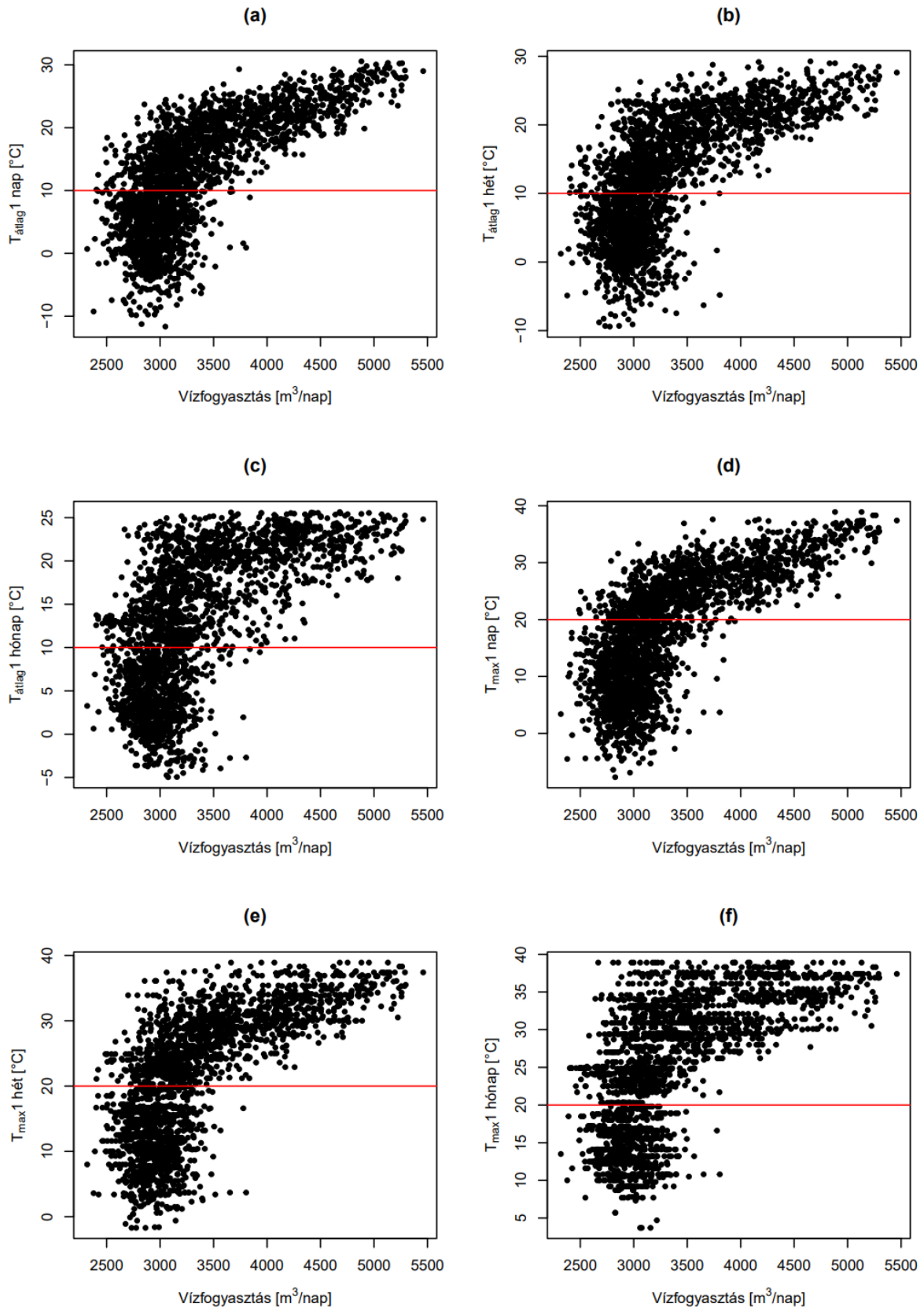
Első lépésként megnéztük, hogy a vizsgált időszakban láthatunk-e jelentős változást a nyomászóna vízfogyasztásában. Először is kiszűrtük a vízfogyasztás idősorokból a hibákat: az adott időszakokban kiugró nagyon nagy vagy nagyon alacsony értékeket töröltük a helyi vízművekkel konzultálva, amelynek az oka lehet például egy csőtörés, vagy egy hibásan rögzített adat.

Ezután a javított idősorokon meghatároztuk az átlag zóna vízfogyasztás értékeket az összes évre 2012 és 2018 között, minden év első és utolsó két hónapjának figyelembevételével, mivel ezen hónapokban biztosak lehetünk, hogy a hőmérséklet nem befolyásolja a vízfogyasztásokat (ez ország specifikus, Magyarországon igaz ez, más helyszíneken más hónapok lehetnek relevánsak). A CSHZ2-es zónában a 4 hideg hónap átlagos vízfogyasztás értékei nem mutatnak jelentős éves változást, ezért feltételezzük, hogy a vízfogyasztási szokások nem módosultak jelentősen a vizsgált helyszínen, és korrekcióra sincs ezért szükség.

A következő lépésben a vízfogyasztás és a hőmérséklet kapcsolatát elemeztük. Az átlag és a maximum hőmérsékleteket határoztuk meg különböző időszavokon az idősor mentén az összes napi (aznapi) vízfogyasztás értékhez (a napi felbontású idősorok vizsgálata miatt mindig az aznapot és a megelőző napot is figyelembe vettük, mivel feltételezhetjük, hogy mindkettő befolyásolhatja egy adott napon a vízfogyasztást, különösképpen öntözésnél). A vizsgált időszavokon számolt átlag és maximum hőmérsékletek, ahol az „aznap” a vízfogyasztás idősor aktuális napi értéke az idősor mentén végig haladva:

- aznap és megelőző 1 nap alatt a napi hőmérsékletek átlag vagy maximum értéke
(Megnevezés: „ $T_{\text{átlag}}$ vagy T_{max} 1 nap”)

- aznap és megelőző 1 hét alatt a napi hőmérsékletek átlag vagy maximum értéke
(Megnevezés: „ $T_{\text{átlag}}$ vagy T_{max} 1 hét”)
- aznap és megelőző 1 hónap alatt a napi hőmérsékletek átlag vagy maximum értéke
(Megnevezés: „ $T_{\text{átlag}}$ vagy T_{max} 1 hónap”)

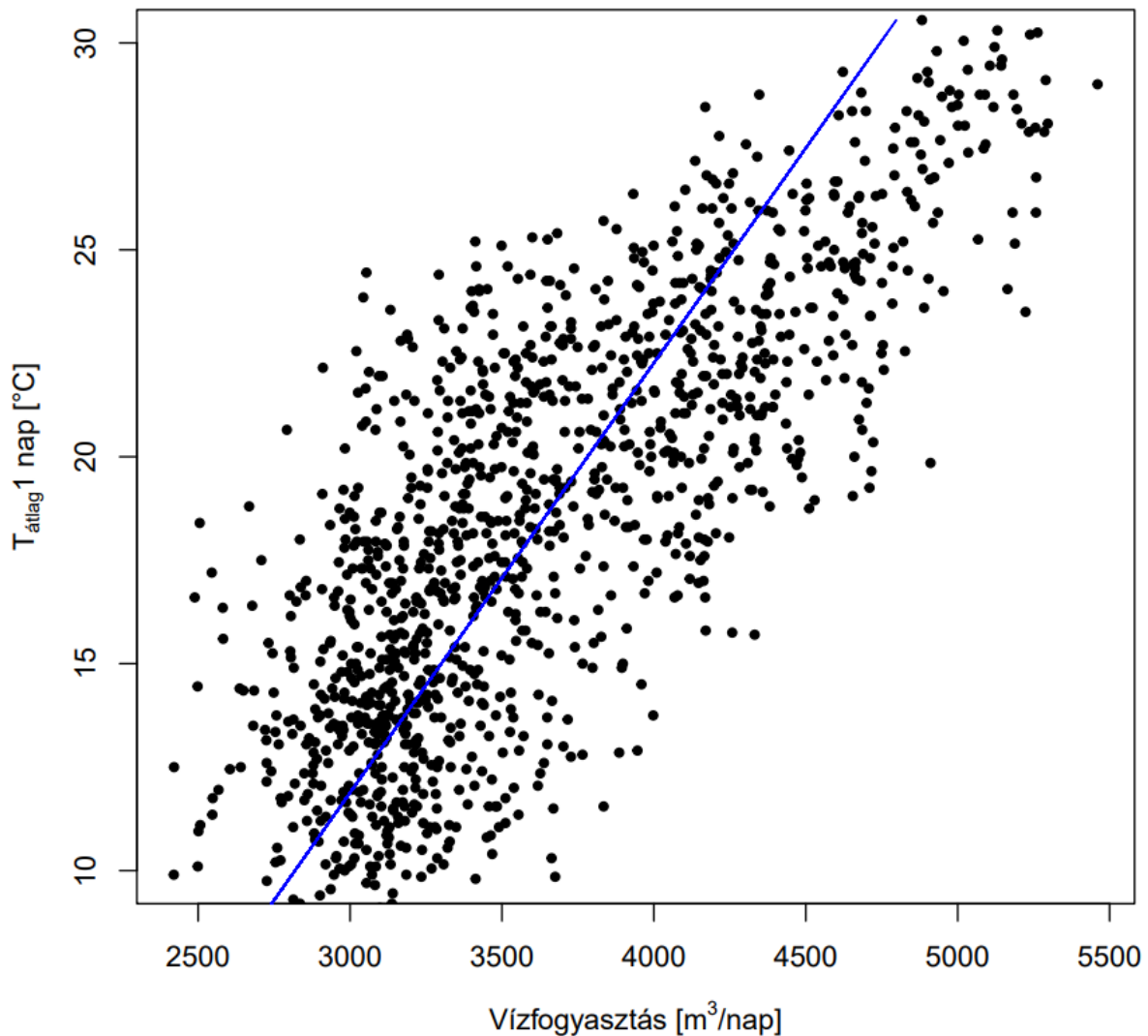


21. ábra: Az átlagos és maximális hőmérsékletek és a nyomászóna vízfogyasztásának összefüggése különböző időszavokon vizsgálva ((a) – $T_{\text{átlag}} 1 \text{ nap}$, (b) – $T_{\text{átlag}} 1 \text{ hét}$, (c) – $T_{\text{átlag}} 1 \text{ hónap}$, (d) – $T_{\text{max}} 1 \text{ nap}$, (e) – $T_{\text{max}} 1 \text{ hét}$, (f) – $T_{\text{max}} 1 \text{ hónap}$). A piros vonalak a hőmérsékleti küszöböket jelölik az átlagos és maximum hőmérsékletek esetén

A nyomászóna vízfogyasztásait elemezve azt tapasztaltuk, hogy az átlag napi fogyasztások esetén megközelítőleg $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, míg a maximális napi hőmérsékletek esetén megközelítőleg $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ felett látható változás a vízfogyasztásban a hőmérséklet függvényében (21. ábra). Ebből következőleg a vízfogyasztás és a hőmérséklet közötti összefüggés felállításához e kettő érték feletti hőmérsékletű napokat vettük csak figyelembe. A hőmérséklet és a vízfogyasztás között a legszorosabb összefüggést a „ $T_{\text{átlag 1 nap}}$ ” és a „ $T_{\text{max 1 nap}}$ ” között tapasztaltuk, és a kettő között nincs jelentős különbség, ezért a számítás további részében „ $T_{\text{átlag 1 nap}}$ ”-ot használjuk (22. ábra).

Mivel a CSHZ2 nyomászónában a hőmérséklettől függő vízfogyasztások között az öntözés dominál (jellemzően kertes, családi házas övezet), ezért a hőmérsékleti küszöb mellé a lehulló napi csapadékösszegre is felvettünk egy küszöbértéket. Abból a feltételezésből indultunk ki, hogy a nyomászónában a városi jelleg miatt az öntözés főként füvesített területekre koncentrálódik, és amennyiben napi szinten a gyepek vízigényét kielégíti a lehulló eső, akkor kevésbé valószínű, hogy locsolni fognak, tehát azokon a napokon az öntözést nullának feltételezzük.

Kertészeti ajánlások alapján, amikor a hőmérséklet eléri egy nap a $15\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot, akkor a gyepek vízigénye $\geq 2\text{--}3\text{ mm/nap}$, míg $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ felett $\geq 8\text{ mm/nap}$. Ezért a napi csapadékösszeg küszöbre egy átlagos 3 mm -es vízigényt állítunk be. A hőmérséklet ($T_{\text{átlag 1 nap}}$) és vízfogyasztás összefüggés meghatározásából kihagyjuk azokat a napokat, amikor ennél több csapadék hullott (ebben az esetben azt az egyszerűsítést alkalmazzuk, hogy csak a jelentkező vízigény napján hullott csapadékösszegeket vesszük figyelembe feltételezve, hogy mindennap szükséges valamennyit locsolni függetlenül attól, hogy esett-e előző este, amely a beállított küszöbérték esetén, azaz a kicsapadékoknál jó közelítés lehet). A hőmérsékleti küszöbérték feletti ($\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) hőmérsékletű és a $< 3\text{ mm}$ csapadékösszegű napokon jelentkező vízfogyasztásokra és a hozzájuk tartozó „ $T_{\text{átlag 1 nap}}$ ” értékekre lineáris összefüggést illesztettünk, ezzel közelítve a nyomászónában a vízfogyasztás átlagos változását a hőmérséklet függvényében (22. ábra). Mivel egy nyomászónában sok különböző ember, háztartás és tényleges vízigény található, ezért a lineáris összefüggéssel csak a nyomászóna vízfogyasztásának átlagos változását tudjuk leírni. Az egyes fogyasztók tényleges vízfogyasztása eltérhet ettől, ezért a lineáris egyenes mentén a vízfogyasztás értékek jelentős mértékben szóródnak, viszont egy általános trend minden esetben megfigyelhető volt, azaz a hőmérséklet emelkedésével a vízfogyasztás átlaga is emelkedik (22. ábra).



22. ábra: A vízfogyasztás és az átlagos hőmérséklet ($T_{\text{átlag 1 nap}}$) közötti összefüggés a CSZ2-es nyomászónában

A felállított összefüggés alapján az öntözésre használt napi vízfogyasztás átlagos értéke a CSZ2-es nyomászónában az idősor j -edik napján az alábbi egyenlettel számolható (a jelölések leírásai a Módszertan fejezetben találhatóak):

$$V_{\text{vízigény,öntözésj}} = \begin{cases} 96.3 * T_{\text{átlag 1 nap,j}} + 1855.7^*, & \text{ha } i_j < 3\text{mm és } T_{\text{átlag 1 nap,j}} \geq 10^\circ\text{C} \\ \text{minden egyéb esetben: } 0 & \end{cases} \quad [\text{m}^3]$$

*Az egyenlet kitevői a teljes nyomászóna átlag vízfogyasztásának leírására alkalmasak. Amennyiben adott háztartásra akarjuk alkalmazni a képletet, abban az esetben a 10°C átlaghőmérsékletnél feltételezett öntözési vízigény értékével kell arányosítani a kitevőket (Lásd: lejjebb a mintaszámításban).

A kapott összefüggéssel egy mintaszámítást mutatunk be arra, hogy hogyan határozható meg egy konkrét esetben egy adott háztartásra a tartályméret.

A helyszín a CSHZ2-es nyomáson egy kertesháza. A csapadékvizet egy 250 m²-es tetőfelületről gyűjtjük össze, amelyből az ottlakók (4 fő) a következő vízigényeket tervezik kielégíteni:

- 1000 m² alapterületű kert (füves terület) öntözése,
- WC öblítés.

A kert öntözésének vízigénye éven belül a hőmérséklet és csapadék függvényében változik. 10 °C átlaghőmérsékletnél 3mm/nap öntözési vízigényt feltételezünk, amely 1000 m²-es kert esetén összesen 3m³/nap. Így a vízfogyasztás-hőmérséklet-csapadék összefüggést arányosítjuk ezzel az értékkel:

10°C-nál: $96,3 \cdot 10 + 1855,7 = 2818,7$ m³/nap a zóna átlagfogyasztása. Ezt vesszük kiinduló értéknek, amiről az öntözési vízigény a hőmérséklet függvényében növekedni fog, amely háztartási szinten nézve 3m³/nap. A kettő arányszáma: $3/2818,7 = 0,001$, amely értékkel módosítjuk minden időlépésben a számolt egyenletet:

$$V_{\text{vízigény,öntözésj}} = \begin{cases} 96,3 \cdot T_{\text{átlag 1 nap,j}} + 1855,7 \cdot 0,001, & \text{ha } i_j < 3\text{mm} \quad T_{\text{átlag 1 nap,j}} \geq 10^\circ\text{C} \\ \text{minden egyéb esetben: } 0 & \end{cases} \quad [\text{m}^3]$$

A WC öblítésre 8700 liter/fő/év vízigényt feltételezünk, amely 4 főre számolva és napi egységre leosztva: $V_{\text{vízigény,WC,j}} = 95,3$ l/nap = 0,0953 m³/nap. Ezt az idősor mentén állandó értéknek vesszük.

A vízmérleg számításban a j-edik napi vízigény: $V_{\text{vízigény,j}} = V_{\text{vízigény,WC,j}} + V_{\text{vízigény,öntözés,j}}$. A számítást a 2012-2018 közötti időszakra készítettük el, a területen mért napi csapadékösszeg (Mérő1) és a napi átlaghőmérséklet idősorok felhasználásával a 3.1-es alfejezetben ismertetett módon. Eredményként adott tartálytérfogatok esetén az ellátási biztonságot [%] (annak a valószínűsége, hogy hány százalékban tudtuk a vizsgált időperiódus alatt kielégíteni a fellépő napi vízigényeket) és a hálózati ivóvízből pótlendő vízfogyasztások mennyiségét kapjuk (23. ábra). Ugyanerre a háztartásra elvégeztük a számítást egy tartályárusító cég egyszerűsített módszertanával is, amelynek az eredményét az ábrán is jelöltük.

Az egyszerűsített számítás lépései:

2012-2018 Éves átlagok	Csapadékösszeg [mm] - Mérő1	Csapadékösszeg [mm] - Mérő2
január	38,53	37,00
február	41,79	47,51
március	40,61	45,63
április	21,33	26,56
május	64,99	67,14
június	46,59	43,63
július	49,59	84,17
augusztus	68,91	64,83
szeptember	61,71	73,80
október	55,17	56,26
november	30,39	32,74
december	26,37	28,66
Összes	545,97	607,93

8. Táblázat: A 2012 és a 2018 évek közötti csapadékösszegek havi bontásban a két mérőállomáson

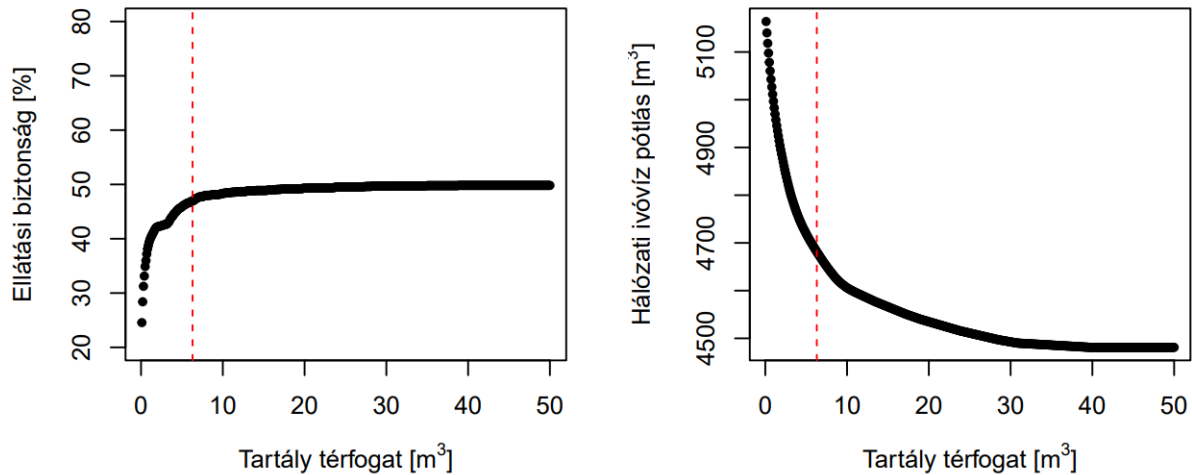
Egy 250 m²-es tetőfelületen, a két mérőállomás átlagos éves (8. táblázat: 545,97 mm és 607,93 mm) 576,95 mm-es csapadékmennyiségével és a 15%-os elfolyási tényezővel számolva: 250 m²* 576,95 mm* 0,085 = 122601 liter = 122,6 m³. A vízigényünk a WC öblítés és a kert öntözés vízszükségletéből tevődik össze, egy 4 fős család szükségleteivel. A WC öblítés 8700 liter/fő/év, a kert öntözés pedig 60 liter/m², 1000 m²-es pázsittal számolva. Így az éves vízigény 8700 liter/fő/év *4 fő + 1000 m² *60 liter/m² = 94800 liter = 94,8 m³.

Szükséges tárolókapacitás = ((gyűjthető éves csapadékmennyiség + éves vízszükséglet) / 2) * 0,0575.

A 0,0575-tel való szorzás azért szükséges, mert 21 napos tartalék vízmennyiséggel tervezzük a tartályt. 365 / 21 = 0,0575.

Tehát a tartály mérete = ((122601 liter + 94800 liter) / 2) *0,0575 = 6250,3 liter = 6,25 m³

Enyhe túlméretezéssel egy 6,3 m³-es tartály szükséges.



23. ábra: A minta háztartás esetén az ellátási biztonság és a hálózathoz pótolni szükséges ivóvíz mennyisége a tartálytérfogat függvényében a CSHZ2 nyomáson (a szaggatott piros függőleges vonal az egyszerűsített tartályméretezés eredményét mutatja)

A két módszertan összehasonlításából látszik, hogy az idősoros vizsgálat végeredménye jóval több információt tartalmaz a tartályméret megválasztásának mérlegeléséhez, mint az egyszerűsített számítás. Emellett megállapítható, hogy nem igaz az, hogy a nagyobb tartály méret feltétlenül nagyobb ellátási biztonságot jelent, hanem lesz ennek egy felső korlátja az éghajlati és vízfogyasztási idősorok függvényében, amely térfogat felett már nem tudjuk növelni a csapadékvízből kielégített vízfogyasztások mértékét. A görbéket érdemes költségelemzéssel együtt értelmezni. A tartály telepítésének és fenntartásának, továbbá a hálózati ivóvíz költségének függvényében célszerű a tartálytérfogatot megválasztani.

5. Összefoglalás

A dolgozatom célja az volt, hogy a rendelkezésemre álló lakossági vízfogyasztási, illetve a hőmérsékleti és csapadékmennyiségi adatsorok elemzésével egy komplexebb és több tényezőt figyelembe vevő esővízgyűjtő tartály méretezési módszert készítssek.

A vízfogyasztás, a hőmérséklet és a csapadékmennyiség között erős korrelációt figyeltünk meg. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a magasabb hőmérséklet, illetve a kevesebb csapadék, a lakossági vízfogyasztás növekedését eredményezi. Ennek hatását beépítettük a méretezési módszertanba.

A dolgozatban bemutatott módszertan alapján egy adott vízfogyasztási nyomászónában lehetőség nyílik a tartályméretek meghatározására a helyi klimatikus viszonyok figyelembe vételével és az ellátási biztonság mérlegelésével. Lehetséges alkalmazási területe egy jövőbeli országos pályázat, amelyben a különböző tető - és kert területtel, vízfogyasztással, és földrajzi fekvéstől függő csapadékmennyiséggel rendelkező fogyasztóknak számítástanak ajánlott tartályméretek, és a pályázat lehetőséget kínálna arra, a lakosság támogatást kapjon a tartály megvásárlására és beépítésére.

A kutatás további iránya a módszertan költségelemekkel (telepítés, fenntartás, hálózati ivóvíz ára) történő kiegészítése.

6. Irodalom

- [1] Bahri, A., 2012. Integrated urban water management, Global Water Partnership.
- [2] Albrito, Paola (2017): Making cities resilient to climate change: identifying “win-win” interventions, ISBN: 1354-9839
- [3] Dr. Péczely György (1979): Éghajlatlan, Tankönyvkiadó Vállalat, ISBN: 963-17-411-6
- [4] Oláh András Béla (2012): A városi beépítettség és a felszín típusok hatása a kisugárzási hőmérsékletre, doktori értekezés
- [5] Dr. Czigány, Szabolcs egyetemi docens (2013): A Modellek a geoinformatikában c. digitális tananyag Pécsi Tudományegyetem - PTE Talajtani és Klimatológiai Tanszék
- [6] IPCC, [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press. In Press
- [7] Buzás Kálmán (2015): Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv – 2015, A Duna-vízgyűjtő magyarországi része 8-6 melléklet: Települési csapadékvíz-gazdálkodási útmutató
- [8] A klímaváltozás hatásainak modellezése a főbb hazai gabonafélék estében, Agrárgazdasági Kutató Intézet, 2019
- [9] Országos Meteorológiai Szolgálat weboldala (www.met.hu)
- [10] Lakatos, M., Szentimrey, T. and Bihari, Z. 2011. Application of gridded daily data series for calculation of extreme temperature and precipitation indices in Hungary. *Időjárás* 115. (1–2): 99–109.
- [11] Hollósi Brigitta (2010): Kárpát-medence csapadékviszonyainak és aszályhajlamának jövőben várható tendenciái a PRECIS eredmények alapján
- [12] Buzás Kálmán (2015): Kézikönyv, *Víz a városban: alkalmazkodás a klímaváltozáshoz*. BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék
- [13] Buzás Kálmán (2015): Kézikönyv, *Víz a városban: alkalmazkodás a klímaváltozáshoz*. BME Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék
- [14] Z. Ghofrani, V. Sposito, R. Faggian (2017): A comprehensive review of blue-green infrastructure concepts
- [15] Csizmadia Dóra (2020): A csapadék helyben tartásának eszköztára. Új szemlélet a városi csapadékvíz-gazdálkodásban II.
- [16] Marczisák Viktória (2006): Természetközeli szennyvíztisztítási eljárások. VITUKI Consult Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kutató és Tanácsadó Zrt.

- [17] Richard K. Sutton (2016): Green Roof Ecosystems, Springer Nature kiadó, ISBN: 978-3319149820
- [18] Cecil C.Konijnendijk, Robert M.Ricard, AndyKenney, Thomas B.Randrup: Urban Forestry & Urban Greening,
- [19] D. Csizmadia Dóra (2018) ZÖLDINFRASTRUKTÚRA FÜZETEK 3: VÍZÉRZÉKENY TERVEZÉS A VÁROSI SZABADTEREKEN. Budapesti Fővárosi Főpolgármesteri Hivatal
- [20] Csizmadia Dóra (2020): A csapadék helyben tartásának eszköztára. Új szemlélet a városi csapadékvíz-gazdálkodásban II.
- [21] C. Matos (2013) International Journal of Sustainable Built Environment
Rainwater storage tank sizing: Case study of a commercial building
- [22] Nagy Lilla (2013): Csapadékvíz hasznosítása, házi szennyvíztisztítás, Energiatudatos épülettervezés tanulmány, MsC, SZE-MTK, Győr
- [23] Tartályméret számító program, Forrás: <https://www.ciszterna.hu/index.php?link=esoviz-gyujtes>
- [24] Mary Semaan Susan, D.Day MichaelGarvin, Naren Ramakrishnan, Annie Pearce (2020): Optimal sizing of rainwater harvesting systems for domestic water usages: A systematic literature review
- [25] Joshua RCowden, David W.WatkinsJr., James R.Mihelcic (2008): Stochastic rainfall modeling in West Africa: Parsimonious approaches for domestic rainwater harvesting assessment
- [26] Anirban Khastagi, Niranjali Jayasuriya (2010): Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation
- [27] M.A. Imteaz, A. Rauf a and M.A. Aziz (2011): A Decision Support Tool for optimizing rainwater tank size
- [28] Anirban Khastagi, Niranjali Jayasuriya (2011): Investment Evaluation of Rainwater Tanks
- [29] Rowe, Mark P., 2011. Rain Water Harvesting in Bermuda. Journal of the American Water Resources Association
- [30] C. Vialle; C. Sablayrolles; M. Lovera; M.-C. Huau; M. Montréjaud-Vignoles (2011): Modelling of a roof runoff harvesting system: the use of rainwater for toilet flushing
- [31] MonzurAlamImteaz, OmotayoB.Adeboye, ScottRayburg, AbdallahShanableh(2015): Rainwater harvesting potential for southwest Nigeria using daily water balance model
- [32] H.Hashim, A.HudzoriaZ.Yusop, W.S.Ho (2013): Simulation based programming for optimization of large-scale rainwater harvesting system: Malaysia case study

- [33] Andrea Bocanegra-Martínez, José María Ponce-Ortega, Fabricio Nápoles-Rivera, Medardo Serna-González, Agustín Jaime Castro-Montoya, Mahmoud M. El-Halwagi (2014): Optimal design of rainwater collecting systems for domestic use into a residential development
- [34] Thulo Ram Gurung, Ashok Sharma (2014): Communal rainwater tank systems design and economies of scale
- [35] P. A. Londra, A. T. Theocharis, E. Baltas, V. A. Tsihrintzis (2014): Optimal Sizing of Rainwater Harvesting Tanks for Domestic Use in Greece
- [36] Fernandes, Flavia F. MD; de Mello Perez, Renata PhD; Ferraz, Maria (2015): Determining Cut-off Points for Enhanced Liver Fibrosis Panel
- [37] Md. Rezaul Karim, Rifath Ara, Rimi Md. Solaiman Billah (2015): Analysis of storage volume and reliability of the rainwater harvesting tanks in the coastal area of Bangladesh
- [38] Chiemeka Onyeka Okoye, Oğuz Solyalı, Bertuğ Akıntuğc (2015): Optimal sizing of storage tanks in domestic rainwater harvesting systems: A linear programming approach
- [39] Vicente L Lopes, Dustin Lawrence (2015): Reliability analysis of urban rainwater harvesting for three Texas cities
- [40] Norman Pelak, Amilcare Porporato (2016): Sizing a rainwater harvesting cistern by minimizing costs
- [41] Nathan Rostad, Romano Foti Franco A. Montalto (2016): Harvesting rooftop runoff to flush toilets: Drawing conclusions from four major U.S. cities
- [42] Carlos Roberto Fonseca, Verónica Hidalgo, Carlos Díaz-Delgado, Aleida Yadira Vilchis-Francés, Iván Gallego (2017): Design of optimal tank size for rainwater harvesting systems through use of a web application and geo-referenced rainfall patterns
- [43] Vitoria A.R. Lopes, Guilherme Fernandes Marques, Fernando Dornelles, Josue Medellin-Azuara (2017): Performance of rainwater harvesting systems under scenarios of non-potable water demand and roof area typologies using a stochastic approach
- [44] Chidozie Charles Nnaji, Praise God Chidozie Emenike & Imokhai Theophilus Tenebe (2017): An Optimization Approach for Assessing the Reliability of Rainwater Harvesting

[45] Koumoura K., Feloni E., Londra P., Baltas E., Tsihrintzis V. (2018): Uncertainty analysis in sizing rainwater harvesting tanks in an isolated island with limited water resources

[46] Nor Hafizi MdLani, Achmad Syafiuddin, Zulkifli Yusop, Umussaa'dah binti Adam, Mohd Zaki bin MatAmin (2018): Performance of small and large scales rainwater harvesting systems in commercial buildings under different reliability and future water tariff scenarios

[47] Harris A. (2012): The Drop in Demand, Climate Change Sustainability. Engineering and Technology Magazine, pp. 50–51.

[48] Drinking water in the EU: better quality and access, Forrás: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20181011STO15887/drinking-water-in-the-eu-better-quality-and-access>, Letöltés dátuma: 2021.10.10.

[49] <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20181011STO15887/drinking-water-in-the-eu-better-quality-and-access>

[50] Yarra Valley Water, Our Organisation. Available online: <http://www.yvw.com.au/Home/Aboutus/Ourorganisation/index.htm> (accessed on 30 October 2014).

[51] Kumudu Rathnayaka Hector Malano, Shiroma Maheepala, Biju George, Bandara Nawarathna, Meenakshi Arora, Peter Roberts (2015): Seasonal Demand Dynamics of Residential Water End-Uses ISSN 2073-4441

7. ÁBRAJEGYZÉK

1.ábra: A vízáró burkolat arányának hatása a befogadó kisvízfolyás vízminőségére, Forrás: Buzás Kálmán (2015) Vízgyűjtő-gazdálkodási Terv - A Duna-vízgyűjtő magyarországi része Letöltés időpontja: 2021.10.02.

2.ábra: Országos Meteorológiai Szolgálat 1901 és 2011 közötti hőmérséklet növekedés, Forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat honlapja www.met.hu, Letöltés dátuma: 2021.09.15.

3.ábra: Országos Meteorológiai Szolgálat 1901 és 2019 közötti évi országos átlaghőmérséklet változás, Forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat honlapja www.met.hu, Letöltés dátuma: 2021.09.15.

4.ábra: Országos Meteorológiai Szolgálat, 1901 és 2020 közötti csapadékösszeg eloszlás, Forrás: Országos Meteorológiai Szolgálat honlapja www.met.hu, Letöltés dátuma: 2021.09.15.

5. ábra: Évszakos csapadékindex (mm) szimulált idősorai a magyarországi rácspontok alapján, Forrás: Hollósi Brigitta (2010): Kárpát-medence csapadékviszonyainak és aszályhajlamának jövőben várható tendenciái a PRECIS eredmények alapján, Letöltés dátuma 2021.09.23.

6. ábra: Esővízgyűjtő rendszer részei és működése, Forrás: <https://blog.genertel.hu/szakertok-valaszol/esovizgyujtes/> Letöltés dátuma: 2021.10.12.

7. ábra: Ivóvíz és csatornadíjak változása 1992 és 2010 között Magyarországon, Forrás: KSH, Központi Statisztikai Hivatal, Letöltés időpontja: 2021.09.28.

8. ábra: Egy főre jutó lakossági vízfogyasztás változása 1990 és 2019 között Magyarországon, Forrás: KSH, Központi Statisztikai Hivatal, Letöltés időpontja: 2021.09.28

9. ábra: Tartály ellátási megbízhatóság tartály méret és tető felület összefüggésében, (Forrás: Nor Hafizi MdLani AchmadSyafiuddin, Zulkifli Yusop, Umussaa'dah binti Adam Mohd Zaki bin Mat Amin (2018) Performance of small and large scales rainwater harvesting systems in commercial buildings under different reliability and future water tariff scenarios., Letöltés időpontja: 2021.10.17.

10. ábra: Maximum napi hőmérséklet és vízfogyasztás korrelációja téli és nyári időszakban, Forrás: Kumudu Rathnayaka Hector Malano, Shiroma Maheepala, Biju George, Bandara Nawarathna, Meenakshi Arora, Peter Roberts (2015): Demand Dynamics of Residential Water End-Uses ISSN 2073-4441, Letöltés dátuma: 2021.10.25.

11. ábra: Maximum napi hőmérséklet és vízfogyasztás korrelációja téli és nyári időszakban, Forrás: Kumudu Rathnayaka Hector Malano, Shiroma Maheepala, Biju George, Bandara Nawarathna, Meenakshi Arora, Peter Roberts (2015): Demand Dynamics of Residential Water End-Uses ISSN 2073-4441, Letöltés dátuma: 2021.10.25.

12. ábra. Átlagos havi csapadékösszegek 2012 és 2018 között a vizsgált mintaterület két csapadékmérőjén, illetve átlagos és napi maximum hőmérséklet ábrázolásával, Forrás: saját munka

13. ábra: A 2013-as év átlag fogyasztása havi eloszlásban a csapadékösszeg ábrázolásával, Forrás: saját munka

14. ábra: A 2016-os év átlag fogyasztása havi eloszlásban a csapadékösszeg ábrázolásával, Forrás: saját munka

15. ábra: Fogyasztás változás az átlagos és maximális napi hőmérséklet függvényében 2013-ban, Forrás: saját munka

16. ábra: Fogyasztás változás az átlagos és maximális napi hőmérséklet függvényében 2016-ban, Forrás: saját munka

17. ábra: 2013-2018 közötti nyári és téli hónapok fogyasztási arányszáma, Forrás: saját munka

18. ábra: A CSHZ2 nyomászóna 2013-2018 közötti nyári és téli hónapok fogyasztási arányszáma a csapadékösszeg függvényében, Forrás: saját munka

19. ábra: A CSHZ2 nyomászóna 2013-2018 közötti nyári és téli hónapok fogyasztási arányszáma az éves maximum és az átlag hőmérséklet függvényében, Forrás: saját munka

20. ábra: Az átlagos és maximális hőmérsékletek és a nyomászóna vízfogyasztásának összefüggése különböző időszavokon vizsgálva ((a) – $T_{\text{átlag}}$ 1 nap, (b) – $T_{\text{átlag}}$ 1 hét, (c) – $T_{\text{átlag}}$ 1 hónap, (d) – T_{max} 1 nap, (e) – T_{max} 1 hét, (f) – T_{max} 1 hónap). A piros vonalak a hőmérsékleti küszöbököt jelölik az átlagos és maximum hőmérsékletek esetén

21. ábra: A vízfogyasztás és az átlagos hőmérséklet ($T_{\text{átlag}}$ 1 nap) közötti összefüggés a CSHZ2-es nyomászózában

22. ábra: A minta háztartás esetén az ellátási biztonság és a hálózatból pótoltt ivóvíz mennyisége a tartálytér fogat függvényében a CSHZ2 nyomászózára (a szaggatott piros függőleges vonal az egyszerűsített tartályméretezés eredményét mutatja)

1. Táblázat: Mary Semaan Susan, D. Day Michael Garvin, Naren Ramakrishnan, Annie Pearce (2020): Optimal sizing of rainwater harvesting systems for domestic water usages: A systematic literature review tartály méretezés táblázat

2. Táblázat: Átlagos havi csapadékösszegek 2012 és 2018 között a vizsgált mintaterület két csapadékmérőjén, illetve átlagos és napi maximum hőmérséklet adatsora

3. Táblázat: A 2013-as és 2016-os év átlag fogyasztása havi eloszlás és csapadékösszeg adatsora

4. Táblázat: A 2013-as és 2016-os év átlag és maximális napi hőmérséklet adatsora

5. Táblázat: Az év első és év utolsó két hónapjának szumma fogyasztásának aránya, eltérése azokban az években, amikor 10%-nál nagyobb eltérést tapasztaltunk

6. Táblázat: A 2013 és 2018 közötti évek első és utolsó két hónapjának szumma fogyasztásának aránya

7. Táblázat: A 2013 és 2018 közötti évek nyári és téli hónapjainak átfogyasztásának aránya

8. Táblázat: A 2012 és a 2018 évek közötti csapadékösszegek havi bontásban a két mérőállomáson