



VÁROSI ZÖLDFELÜLETEK ÖNTÖZÉSI VÍZIGÉNYÉNEK MEGHATÁROZÁSA



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki Kar



Városi zöldfelületek öntözési vízigényének meghatározása

Készítette:

Szentirmai Piroska, környezetmérnök BSc, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar

Neptun kód: H6240M

Konzulensek:

Horváth-Varga Laura, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, tudományos segédmunkatárs

Ács Tamás, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, tudományos segédmunkatárs

Decsi Bence, Vízi Közmű és Környezetmérnöki Tanszék, tudományos segédmunkatárs

Budapest, 2023

1. Összefoglalás

Az éghajlatváltozás következtében csökken a növények számára hozzáférhető víz mennyisége, mivel a ritkábban, de nagyobb intenzitással hulló csapadékok kisebb hányada szivárog a talajba. Különösen igaz ez a városi területeken, ahol a vízzáró felületek nagy területeken zárják ki a csapadék beszivárgását. A csökkenő talajnedvesség és süllyedő talajvízszintek következtében egyre többet kell öntözni, amely sok esetben ivóvíz felhasználásával történik. A fenntartható városi vízgazdálkodás részeként elterjedőben van, hogy az öntözést olyan alternatív vízforrásokból valósítsuk meg, mint a csapadékvíz. A csapadékvíz hasznosításához tározók létesítésére van szükség, melyek a csapadékmentes időszakokban is lehetővé teszik az öntözést. Magyarországon jelenleg nincs kiforrott szakirodalma a városi zöldfelületek öntözési vízigényének meghatározásának, miközben ez az egyik legfontosabb alapadata a csapadékvíz hasznosítását lehetővé tevő tározók/tartályok méretezésének.

Jelen dolgozatban összegyűjtöttem és értékeltem a szakirodalomban fellelhető számítási módszereket, amelyek a városi zöldfelületek öntözővíz igényeinek meghatározására szolgálnak. A FŐKERT Nonprofit Zrt. munkatársainak segítségével vizsgáltam a budapesti zöldfelületek öntözésének jellemzőit, melynek részeként feltártam a jelenleg alkalmazott öntözési koncepciót, és valós helyszínek vízfogyasztási adatainak elemzésével összefüggéseket határoztam meg az öntözővíz igények számításához. A valós öntözési adatokat összehasonlítottam a szakirodalomban fellelhető módszerekkel számított értékekkel. Ajánlásokat tettem az öntözés során felhasznált vízmennyiségek lehetséges optimalizálására, illetve a tározók méretezésének módszertanára.

A kutatásom során arra jutottam, hogy az Egyesült Nemzetek Szervezetének Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezete (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) öntözési vízigény becselő segédletének alkalmazásával a jelenlegi öntözési vízmennyiségektől számottevően magasabb vízigényeket kaptam eredményül, amire több magyarázat lehetséges. Egyrészt a budapesti ad hoc jelleggel történő öntözés lehet a háttérben, ami nem minden esetben követi a növények tényleges vízigényét, inkább az adott helyszínen szükséges mértékűnek ítélt esztétikai igények kielégítésén alapszik. Másrészt magyarázható az egyszerűsített számítási módszerek pontatlanságával, illetve azzal ténnyel, hogy sokkal inkább mezőgazdasági növények öntözési vízigényének számítására lettek kitalálva. Az öntözési adatok összegyűjtése, rendszerezése segítségül szolgálhat a jövőben az öntözés optimalizálására irányuló számítások bemeneti adatainak beszerzéséhez, emellett a zöldfelületek vízfogyasztásának becslése a

csapadéktározók méretezéséhez is elengedhetetlen. Külföldön már van példa rá, de a jövőben célszerű lenne hazánkban is olyan öntözési rendszereket fejleszteni, amik a növények vízigényének figyelembevételével működnek.

2. Tartalomjegyzék

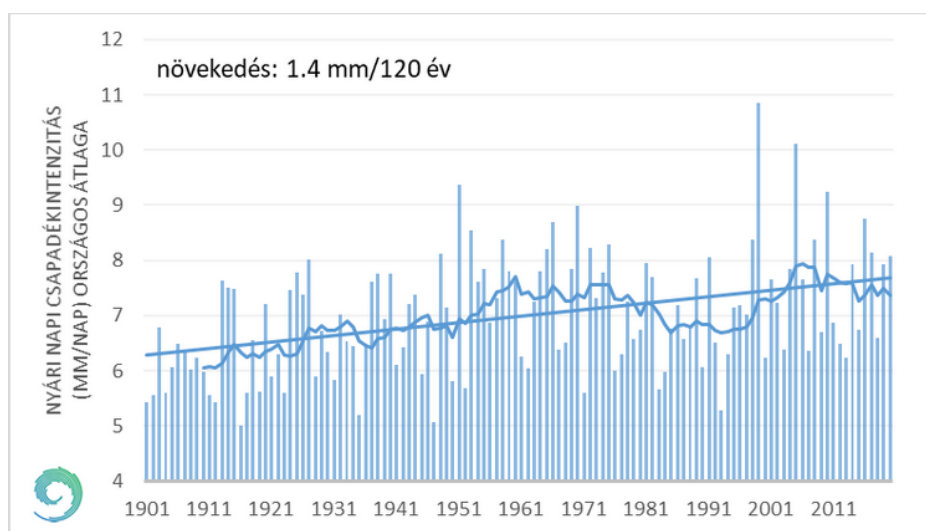
1. Összefoglalás.....	3
2. Tartalomjegyzék.....	5
3. Bevezetés.....	7
4. A kutatás célkitűzése	11
5. Irodalomkutatás.....	12
5.1. Öntözési vízigény meghatározásának fő részei.....	12
5.1.1. A növény összes vízigényének meghatározása	13
5.1.2. Öntözés nélkül hozzáférhető víz mennyisége	14
5.2. Növényzettel borított felületek evapotranszpirációjának meghatározása terepi mérésekkel	14
5.2.1. A talaj vízmérlege.....	14
5.2.2. Liziméter	15
5.2.3. Növényi nedváramlás mérés	15
5.2.4. Örvény (Eddy)-kovariancia.....	16
5.2.5. Bowen-arány módszer.....	16
5.3. Növényzettel borított területek evapotranszpirációjának meghatározása empirikus összefüggésekkel	17
5.3.1. Referencia evapotranszpiráció meghatározása	17
5.3.1.1. FAO-24 módszerek	17
5.3.1.2. FAO Penman – Monteith módszer.....	19
5.3.1.3. ASCE Standardizált Penman-Monteith módszer.....	19
5.3.2. Tényleges vízigények becslése mezőgazdasági és városi zöldekre	20
5.3.2.1. WUCOLS (Water Use Classification of Landscape Plants).....	20
5.3.2.2. IPOS.....	21
5.3.2.3. Növényi faktor (Plant Factor, PF).....	22
5.4. Zöldterületek öntözési vízigényének meghatározása modellel: Green Space Irrigation Water Requirement Model.....	22
5.5. Magyarországi kitekintés: LIFE Városi Eső projekt.....	23
6. Anyag és módszer	25
6.1. Valós öntözési adatok feldolgozása.....	25
6.1.1. A Főkert öntözési rendszerének rövid bemutatása	25
6.1.2. Öntözési adatok	26
6.1.3. Öntözési vízmennyiségek meghatározására vonatkozó összefüggések felállítása meteorológiai jellemzők függvényében	33

6.2.	FAO öntözési vízigény számítási módszertana.....	34
7.	Eredmények.....	37
7.1.	A 2010 és 2023 közötti időszak öntözési adataiból számított vízfogyasztások.....	38
7.2.	Öntözési vízmennyiségek meghatározására vonatkozó összefüggések a meteorológiai jellemzők függvényében.....	39
7.3.	FAO öntözési vízigény becslő számítás eredményei	45
7.4.	A valós és a becsült öntözési vízmennyiségek összehasonlítása	46
8.	Következtetések	48
9.	Irodalom- és ábrajegyzék	50

3. Bevezetés

Napjainkban az egyik legnagyobb környezeti probléma az éghajlatváltozás. A Föld hőmérséklete átlagosan 0,6 °C-kal nőtt az előző évszázadhoz képest, és az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 2013. évi jelentésében megállapították, hogy az antropogén hatások (üvegházhatású gázok, aeroszolok kibocsátása) ennek a változásnak hozzávetőlegesen legalább a felét okozták 1951 és 2010 között [1]. Az ebből következő éghajlatváltozás jelentős hatással van a különböző időjárási jelenségekre. Ezek közül a hőmérséklet változásával kapcsolatosak a legismertebbek és legjobban leírhatók, továbbá a csapadék vonatkozásában is megfigyelhetők tendenciák, azonban ezek leírása még bizonytalan. A levegő hőmérsékletének emelkedése azt eredményezi, hogy több vizet képes eltárolni, ezáltal több csapadék keletkezik, emellett az aszályok előfordulása is gyakoribbá vált [2].

Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) adatain végzett trendelemzések azt mutatták, hogy az előző évszázad elejéhez képest hazánkban is megfigyelhető a csapadéktevékenység változása. A napi intenzitást tekintve országos átlagban egyértelmű növekedés mutatható a múlt század eleje óta, leginkább a nyári időszakban (1. ábra, 1,4 mm/nap növekedés), ami arra utal, hogy az intenzív, rövid időtartamú csapadékok száma növekszik. Emellett a nagyobb csapadékösszegű (20 és 50 mm) napok és a szélsőségek is gyakoribbak lettek [3].



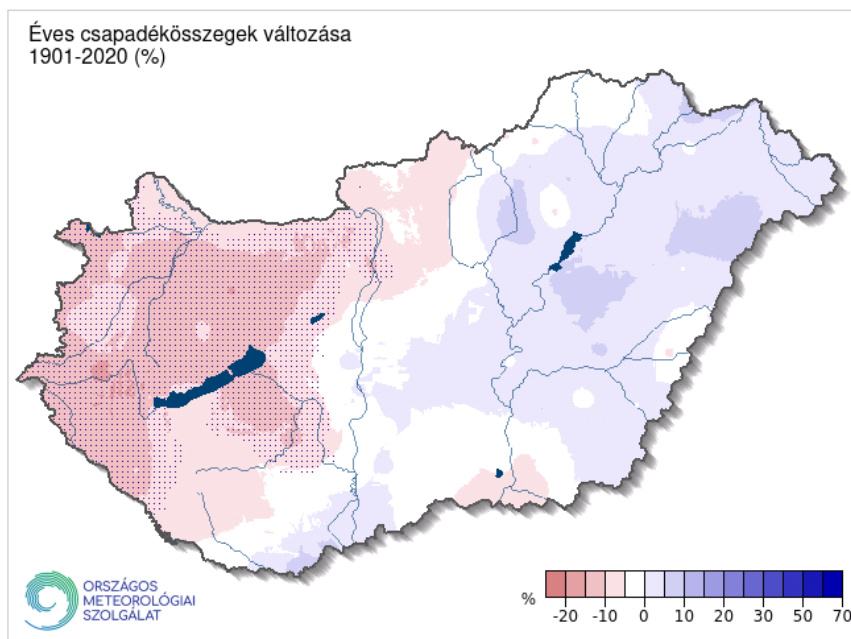
1. ábra: Nyári napi csapadékontenzitás változása az évek során

(Forrás:

https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_hazai_valtozasok/homerseklet_es_csapadektrendek/csapadek_szelsosegek/)

Napjainkban Budapesten is nagy problémát okoz a hirtelen lezúduló csapadék, miközben az egyre gyakrabban jelentkező vízhiány miatt fontos lenne, hogy ezt a csapadékvizet értéknek tekintsük és olyan megoldásokat keressünk, amelyek a káros hatások csökkentésével együtt a víznek a megtartását is lehetővé teszik. A csapadékkintenzitások növekedésével csökken a talajba beszivárgó víz mennyisége, ami tovább növeli a városi zöldék öntözési vízigényét. Az öntözést jelenleg többnyire értékes ivóvíz felhasználásával oldják meg, miközben a lehulló csapadékot igyekeznek minél hatékonyabban eltávolítani a területről, pedig olyan alternatív forrásokból is megoldható lenne a vízkivétel, mint például a területen összegyűjtött csapadékvíz vagy helyi kútvizek. A csapadékvizek gyors elvezetésének szemlélete nem csak környezeti, hanem gazdasági szempontból is károkat okoznak, ugyanis sok pénzbe kerül a villámárvíz következményeinek helyreállítása, illetve a csapadékelvezetés és az ezzel összefüggő rendszerek (például szennyvíztisztítás) megfelelő működésének biztosítása is pluszkiadásokat jelent többletcsapadék esetén [4].

A települési csapadékvíz-gazdálkodás a lehulló csapadékot értéknek tekinti, amit fel lehet és kell is használni. Bár Magyarországon az éves csapadékösszeg az elmúlt 120 évet vizsgálva összeségében enyhén csökkent, azonban regionálisan az Alföldön növekedés mutatható (2.ábra). Mindemellett, ha az utóbbi 40 évet tekintjük, akkor regionálisan eltérő mértékben, de kismértékű növekedés figyelhető meg országos szinten is. [5]



2.ábra: Éves csapadékösszegek változása Magyarországon

(Forrás:

https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_hazai_valtozasok/homerseklet_es_csapadektrendek/csapadekosszegek/)

Az előbbieken tárgyalt intenzitás-növekedés és az aszályok miatt a csapadékvíz-gazdálkodásnak egyre fontosabb a szerepe a városok megfelelő működésében. [4] A 3. ábrán látható hazánk vízmérlege, ami szerint sokéves átlagban több víz lép ki az országból, mint amennyi belép, és ezzel körülbelül évi 7 km³ vizet veszít az ország. [6]



3. ábra: Magyarország vízforgalmi mérlege [7]

Egy csapadékvíz-gazdálkodási rendszer megfelelő kiépítése lehetővé teszi az ivóvíz csapadékvízzel való (részleges) kiváltását. Ehhez át kell alakítani és ki kell egészíteni a jelenlegi csapadékelvezető rendszereket, illetve bizonyos fokú tisztítást is biztosítani kell a felhasználhatóságához. A lefolyásszabályozás fő megoldási lehetőségei közé tartoznak a lefolyási útvonalak tudatos megváltoztatása, továbbá a különböző késleltető/visszatartó tározók létesítése, amelyek elősegítik a lefolyó vízhozamok mérséklését/elősegítik a csapadékvizek hasznosítását vagy hasznosulását (talajba szivárgás és párolgás). [4] Ezen

megoldások a kék-zöld infrastruktúra részét képezik, azaz a városi vízi (kék) és növényzeti (zöld) rendszerek integrált összekapcsolása során jönnek létre. [8]

A tározás a csapadékvíz-gazdálkodás egyik hatékony eszköze. A tározó megoldást jelenthet a közeli zöldfelületek öntözésére, amivel vizet is spórolhatunk, ráadásul akkor is tudunk csapadékvízzel öntözni, amikor nincs eső, azaz egyfajta pufferként szolgál. Egyre több önkormányzat dönt emellett, hogy tartályokat oszt szét a lakosság között a tetővizek összegyűjtésének céljával, amellyel kiváltható az öntözővízként használt vezetékes víz egy része, vagy közterületeken létesítenek tározókat az ott keletkező csapadékvizek későbbi hasznosításához.

A rendszerszinten telepített csapadékvízgyűjtő tartályok/tározók létesítése segítséget nyújthat a nagy problémát okozó gyakori villámárvizek és/ csatornakiöntések mérséklésében, másrészt kiválthatják az öntözésre használt ivóvíz egy részét. Öntözési célú felhasználás esetén a megfelelő tározóméretek megválasztásához szükség van a helyszínen lévő zöldterületek öntözési vízigényének megbecslésére ahhoz, hogy olyan tározó épüljön, ami képes ellátni a területek öntözését. Hazánkban ennek a szakmai megalapozása még gyerekcipőben jár, nincsenek műszaki szabványok, előírások, elterjedt tervezési segédletek ezek pontos meghatározására.

A városi növényzet öntözési vízigényének minél pontosabb meghatározása (pl. idősoros alapon a vízfogyasztás és a meteorológiai jellemzők közötti összefüggések ismeretében, helyszíni mérések elemzéséből, vagy a tényleges öntözési vízigények figyelembevételével) segítséget nyújthat olyan csapadékvíz tározók méretezéséhez, amelyekből helyi szinten meg lehetne oldani az öntözést, kiváltva ezzel a felhasznált ivóvíz mennyiségének egy részét.

4. A kutatás célkitűzése

A városi zöldfelületek öntözésével kapcsolatban Magyarországon jelenleg nincsen kiforrott szakirodalom, nem állnak rendelkezésre széles körben elterjedt tervezési segédletek az öntözővíz mennyiségi meghatározására vonatkozóan. A dolgozat egyik fő célkitűzése, hogy ajánlást tegyen a hazai öntözővíz igények becslésére alkalmazható módszertanokra vonatkozóan.

A dolgozatomban a városi zöldfelületek öntözési vízigényeinek meghatározásánál alkalmazható módszereket gyűjtöttem össze, továbbá valós hazai öntözési adatokat hasonlítottam össze empirikus módszerrel becsült vízigényekkel. Az eredmények alapján ajánlást teszek a városi zöldfelületek öntözési vízigényének meghatározásának módszertanára, az öntözési rendszerek fejlesztési lehetőségeire.

A kutatásom során vizsgált mintaterületek Budapest I., II. és XII. kerületének közparkjai voltak. A Főkert Nonprofit Kft. munkatársaival együttműködve megvizsgáltam a budapesti öntözési rendszer felépítését és a ténylegesen jelentkező vízfogyasztásokat az egyes helyszíneken. Célom a jelenleg működő öntözési rendszer működésének megértése, hatékonyságának vizsgálata volt.

5. Irodalomkutatás

A városi zöldfelületek öntözés hatékonyságának vizsgálata Magyarországon még nem egy elterjedt kutatási terület, azonban a közeljövőben várhatóan meg fog jelenni hazánkban is az igény ezen területek öntözésének optimalizálása iránt, így várhatóan, mint a világon már több országban is, itt is elkezdődnek majd a kutatások, új ötletek, modellek vizsgálata. Egy hatékonyan működő öntözőrendszer a növények tényleges öntözési vízigénye szerint öntöz, ezért fontos megvizsgálni, hogy jelenleg Budapesten a zöldfelületeknek mekkora a valódi vízigénye és a jelenleg fennálló rendszer mennyire igazodik ehhez.

Az öntözési igény számítás nemzetközi szinten már előrébb tart, de elsősorban a mezőgazdaságban, ugyanis ott már előbb felismerték a növények megfelelő öntözésének fontosságát a termelékenység és a hatékony vízhasználat szempontjából. A városi növényekre ezzel szemben még nincs megfelelő számítási módszer. Ezen zöldfelületek esetén a növények egészségéhez és esztétikus megjelenésének fenntartásához szükséges vízmennyiség kijuttatása jelentené a hatékony vízfelhasználást. A monokultúrás termesztéshez képest a városi növényzet sokkal komplexebb, fák, cserjék és lágyszárúak keveréke jellemzi, amiknek egyenként eltérő vízigényük van, emellett különböző mikroklímák kialakulása is lehetséges, ami nagyban megnehezíti az olyan számítási, illetve becslési módszerek megalkotását, amik ezt a számos változót figyelembe tudják venni [9].

Az irodalomkutatásom során összegyűjtöttem a külföldi szakirodalomban fellelhető mezőgazdasági és városi növényzetre vonatkozó számítási módszereket, modelleket, értékeltem őket, majd összehasonlítottam a saját kutatásom során alkalmazott Egyesült Nemzetek Szervezetének Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezete (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) öntözési vízigény számítási módszerrel.

5.1. Öntözési vízigény meghatározásának fő részei

Minden növénynek szüksége van vízre, ami általában csapadék formában áll rendelkezésre, azonban ennek a mennyisége sosem állandó, ráadásul az éghajlatváltozás hatására még kiszámíthatatlanabb lett. Emiatt figyelni kell, hogy túl sok eső esetén elvezessük a vizet, míg szárazabb időben öntözéssel pótoljuk azt. Az öntözési igény függ a növény vagy a városi zöldfelület fajainak/társulásainak vízigényétől és az öntözés nélkül hozzáférhető, növények által felvehető vízmennyiségtől. Ezáltal az öntözési vízigény felírható az (1) egyenlet szerint. [10]

$$\text{öntözővíz igény} = \text{növény vízigénye} - \text{öntözés nélkül hozzáférhető víz mennyisége} \quad (1)$$

5.1.1. A növény összes vízigényének meghatározása

A növények vízigényének meghatározásához számba kell venni, hogy milyen folyamatokhoz van szüksége vízhez. A növény az általa felvett víz egy részét beépíti a szervezetébe, egy másik részét a levelein és a szárán keresztül pára formájában leadja, ez utóbbit nevezzük növényi párologtatásnak, transzspirációnak. A talaj felszínén és a növény levelein, szárán lévő vízréteg ugyancsak elpárolog, ez a fizikai párologás, az evaporáció. Ez a két folyamat együtt az evapotranszspiráció (ET). Ez önmagában nem egyezik meg a növény vízigényével, ugyanis a rendelkezésre álló víz mennyisége korlátozhatja az evapotranszspirációt. A növény vízigénye függ a klímától, a növény típusától és a növény fejlődési szakaszától.[10]

Klíma faktor	Növény vízigénye	
	Magas	Alacsony
Napfény	Napos (felhőtlen)	Felhős
Hőmérséklet	Meleg	Hűvös
Páratartalom	Alacsony (száraz)	Magas (párás)
Szélesség	Szeles	Enyhe szél

1.táblázat: Klíma hatása a vízigényre

(Forrás: <https://www.fao.org/3/s2022e/s2022e02.htm>)

Az 1.táblázatból jól látszik, hogy ugyanazon növény eltérő klímájú helyeken eltérő vízigénnyel rendelkezik. Emiatt megállapítottak egy referencia vagy standard növényt, amihez viszonyítják az egyes növények napi vízigényét az eltérő régiókban, és a gyepre esett a választás (2.táblázat).[10]

Klíma zóna	Átlagos napi hőmérséklet		
	Alacsony	Közepes	Magas
	(kevesebb, mint 15°C)	(15-20°C)	(több, mint 25°C)
Sivatagi/száraz	4-6	7-8	9-10
Félszáraz	4-5	6-7	8-9
Szubhumid	3-4	5-6	7-8
Nedves	1-2	3-4	5-6

2.táblázat: Rövidre nyírt gyep átlagos napi vízigénye [mm]

(Forrás: <https://www.fao.org/3/s2022e/s2022e02.htm>)

A referencia növény (általában gyp) evapotranszpirációját nevezzük referencia evapotranszpirációnak, ami megadja a jó vízellátottságú fűfelszín által elpárologtatott és a talaj felszínéről elpárolgott víz együttes mennyiségét, azaz a potenciális párolgás napi értékét. Ezzel közelíthető a növények vízigénye, amennyiben a növény szervezetébe épített vízmennyiség elhanyagolható az elpárologtathatóhoz képest, illetve, ha a növény alkalmazkodott az adott klimatikus viszonyokhoz. Ehhez viszonyítva adják meg, hogy egyes növénytípusoknak a fejlődésük csúcscszakaszában hány százalékkal több vagy kevesebb víz szükséges, azaz a különböző növénytípusokhoz egyéni módosítótényezőket határoznak meg, általában terepi megfigyelés vagy mérések alapján. A növényeknek eltérő hosszúságú a növekedési idejük, ezért az összes vízigényükben is lehetnek eltérések, még ha a napi vízigényük meg is egyezik. Az is fontos, hogy az év melyik időszakára esik ez a növekedési időszak, hidegebb hónapokban kevesebb, melegebb hónapokban több vizet fog igényelni a növény. [10]

5.1.2. Öntözés nélkül hozzáférhető víz mennyisége

Ha elegendő csapadék esik, akkor a csapadékvíz képes fedezni a növények vízigényének egy részét (ha több, akkor az egészet, de a káros többletet el kell vezetni). Azonban ennek a vízmennyiségnek egy része elszivárog a növények gyökérzete alá (perkoláció), egy másik része elfolyik a talaj felszínén. A fennmaradó, gyökérzónában elraktározódó és növény által felvehető csapadékmennyiséget nevezzük effektív csapadéknak¹. Ennek az értéke függ az éghajlattól, a talaj textúrájától, a talajszerkezettől és a gyökérzóna mélységétől. [10]

5.2. Növényzettel borított felületek evapotranszpirációjának meghatározása terepi mérésekkel

5.2.1. A talaj vízmérlege

Az 1950-es évek előtt a talaj nedvességtartalmának időbeli változásának mérése volt az egyetlen módszer az evapotranszpiráció meghatározására. A vízmérleg egyenlet írja le a természetes vízkörforgást, így ebből megállapítható a növények vízfogyasztása vagy a tényleges vízfelvétele (optimális vízellátottság esetén a kettő megegyezik). Az idő haladtával megjelentek modern fejlesztések, talajnedvesség érzékelők, elektromágneses eszközök, amik segítségével ma már sokkal pontosabban végezhetők a talajmintavételek és gravimetrikus elemzések.[11]

¹ Az effektív csapadék jelentése a FAO módszerben eltér a hazai terminológia szerinti jelentéstől.

A vízigény optimális vízellátottságú növényzet esetén a (2) egyenlet alapján számítható.

$$[\Delta S/\Delta t] = P + I + W - ET - R - D \quad (2)$$

ahol: $\Delta S/\Delta t$: a talaj nedvességtartalmának egységnyi idő alatt történő megváltozása; P: a csapadék; I: az öntözés; W: talajvízből kapillárisan érkező víz mennyisége; ET: a növény evapotranszpirációja; R: felszíni elfolyás; D: az elszivárgás

Ennél a módszernél fontos a reprezentatív talajmintavétel, ugyanis kérdéses, hogy az egyes tagok térben mennyire változnak. A mintavételi helyek megválasztásához elengedhetetlen a jó megfigyelőrendszer telepítése, például egy talajtérfogat tárolt vízkészlet változását mérő liziméter megfelelő elhelyezése, illetve a talajnedvességmérőknek a növényzet aktív gyökérszónájába történő elhelyezése. [11]

5.2.2. Liziméter

A liziméter egy tartály, ami adott mélységgel és térfogattal rendelkezik. Bolygatott vagy nem bolygatott talajjal töltik meg, és a talajból eltávozó (elfolyó vagy elpárolgó) víz mennyiségét mérik vele. Jól megfigyelhető, automatizálható és ellenőrizhető módszer. Hátránya, hogy egy nagyobb terület esetén csak pontszerűen jellemzi a helyet, továbbá érzékeny a környezeti tényezőkre, komplex, sokféle növényt tartalmazó terület, illetve eltérő növénymagasságok esetén nem tud pontos mérési eredményt biztosítani. Hatással lehet a növények gyökérzetének fejlődésére, illetve fák és nagy kiterjedésű növények esetén a reprezentatív mintavétel nehézkes. Összességében tekintve a liziméterek alkalmazása városi növényi vízigények meghatározásra nem praktikus.[11]

5.2.3. Növényi nedváramlás mérés

A nedváramlás mérése során a növények xilémjébe érzékelőket vezetnek, hogy mérjék az ott lévő hőmérsékletkülönbségeket, amikből meghatározható a növényben a víz áramlásának iránya, sűrűsége. [12]

Ez a technika nem drága, jól automatizálható és monitorozható a vízstressz mértéke, emellett pontosan vizsgálható a növény ökofiziológiája és öntözés hatása. Azonban ennél a módszernél is probléma, hogy pontszerű jellemzést ad, így vegyes, komplex növényzet esetén ritkán reprezentatív, azaz egyes növényi koefficiensek meghatározásához jó, de például vegyes virágágyaknál nem lehet használni. További hibaforrás lehet a száruk eltérő geometriája, a szondák közötti távolság, a hőáram változása és az aljnövényzet, illetve a talaj párolgásának bizonytalansága. [11]

5.2.4. Örvény (Eddy)-kovariancia

Ez egy mikrometeorológiai módszer, ami lehetővé teszi a víz, gáz, impulzus és hő nagy sebességű áramlásának mérését a légköri határrétegben. Az áramlások mérése egy rögzített (pl. toronyból) vagy egy mozgó helyről (pl. repülőről) történik. [11]

Nagy előnye, hogy vegyes vegetációra is meg lehet határozni a növényi evapotranszpirációt (ET), ugyanis a mérőtorony (vagy repülő) képes akár 100 hektár területen mérni a különböző turbulens áramlások kicserélődését az atmoszféra és a Föld felszín között. Ezenkívül az ET értékek előrejelzésére is megfelelő módszer, ugyanis az örvény-kovariancia integratív, nem fajspecifikus, így az összes fajra egyszerre történő becslést tesz lehetővé. [11]

Hátránya azonban, hogy drága, ugyanis jól képzett technikusokra van szükség a méréshez, illetve pontos meteorológiai adatok szükségesek, amikhez a mérőtorony több magasságában is mérni kell. Emellett hibaforrások lehetnek az emberi tevékenységek által keltett hőhatások, a sok feltételezés és a műszerek kalibrálása.[11]

5.2.5. Bowen-arány módszer

A Bowen-arányos energiamérleg egy automatizált és közvetett növényi evapotranszpiráció meghatározási módszer. A mérés alapja egy aktívan növekvő növényzettel borított felület, amelynek a látens hőáramú energiaháztartását vizsgálják (a Bowen-arány a szenzibilis- és a látens hő arányát fejezi ki). A módszer alapja a (3) egyenlet.

$$R_n - G = H + \lambda E \quad (3)$$

ahol: λE : az ET-t jelenti a sugárzási mérleg miatt rendelkezésre álló energia tekintetében; R_n : nettó sugárzás; G: talaj hőárama; H: érzékelhető hőáram.[11]

Előnye, hogy egyszerű és olcsó módszer, illetve képes meghatározni az ET értékét nem öntözött ültetvények esetén is. Kevesebb probléma lép fel ennél a módszernél, mint számos más diagnosztikai technikánál.[11]

Azonban a meteorológiai adatokat a megfelelő lombkoronaszint feletti magasságból kell gyűjteni, illetve a műszer torzíthat a gradiens- és energiaméréseknél. A növényi evapotranszpiráció meghatározásának pontossága a nettó sugárzás és a talaj hőáramának pontos mérésétől függ.[11]

5.3. Növényzettel borított területek evapotranszspirációjának meghatározása empirikus összefüggésekkel

5.3.1. Referencia evapotranszspiráció meghatározása

5.3.1.1. FAO-24 módszerek

A FAO 1977-ben létrehozott egy FAO-24 metodikát, ami négy módszert tartalmaz az adatok elérhetőségétől függően:

- 1) FAO-24 Blaney – Criddle
- 2) FAO-24 Sugárzás
- 3) FAO-24 Penman
- 4) FAO-24 Kádpárolgás

Ebben a metodikában így definiálják a referencia evapotranszspirációt: *„a párolgás mértéke egy 8-15 cm magas, zöld, egyenletes magasságú, aktívan nöövő, a talajt teljesen beárnyékoló, vízben nem szűkölködő, nagy kiterjedésű, zöld fűfelületről”* [13]

5.3.1.1.1. Blaney – Criddle módszer

Ez a módszert olyan helyszíneknél ajánlott használni, ahol csak a levegő hőmérsékletére vonatkozó meteorológiai adatok állnak rendelkezésre.

Az eredeti Blaney – Criddle egyenlet magába foglalt egy úgynevezett fogyasztási tényező kiszámítását az átlaghőmérséklet és az összes éves nappali órák százalékos aránya segítségével. Ezt növényi koefficienssel megszorozva megkapható volt a növény számára szükséges víz mennyisége. [13]

Azonban kijelenthető, hogy a klíma hatását a növény vízigényére nem lehet megfelelően leírni a léghőmérséklettel és a nappali órák arányával, mert hasonló hőmérséklet és nappali órák mellett is rendkívül különböző vízigényű növények lehetnek jelen. Így a növényi koefficiens úgy szükséges meghatározni, hogy ne csak a növény típusától függjön, hanem a klimatikus körülményektől is, amit a (4) egyenlet határoz meg.

$$ET_0 = c \cdot [p \cdot (0,46T + 8)] \quad (4)$$

ahol ET_0 : referencia evapotranszspiráció [mm/nap] az adott hónapra nézve; T: havi átlaghőmérséklet [°C]; p: adott hónapra és földrajzi szélességre vonatkozóan kapott átlagos napi százalékos arány az összes napi óraszámából; c: kiigazító tényező, amely a minimális relatív páratartalomtól, a napsütéses óráktól és a nappali széljárástól függ.[13]

5.3.1.1.2. Sugárzás módszer

Olyan helyszínek esetén érdemes alkalmazni, ahol a levegő hőmérsékletét, a napsütést, a felhőzetet és a sugárzást mérik, de a szelet és a páratartalmat nem.

Ez a módszer, amit az (5) egyenlet ír le, a Makkink formulából eredeztethető, és sokkal megbízhatóbb, mint a Blaney – Criddle összefüggés. [14]

$$ET_0 = c \cdot [0,408WR_s] \quad (5)$$

ahol ET_0 : referencia evapotranszpiráció az adott periódusra [mm/nap]; R_s : napsugárzással egyenértékű párolgás [mm/nap]; W : súlyozó faktor, ami a hőmérséklettől és a tengerszint feletti magasságtól függ; c : korrekciós tényező, amely az átlagos páratartalomtól és a nappali szélviszonyoktól függ. [13]

5.3.1.1.3. Penman módszer

Ha hőmérséklet, páratartalom, szél- és napfénytartam vagy sugárzási adatok rendelkezésre állnak, akkor ezt a módszert érdemes használni. Ezzel az összefüggéssel lehet a 4 módszer közül a legjobb eredményre jutni.

Ez a módszer az eredeti Penman egyenletből indul ki, amely két részből tevődik össze: az energia (radiáció) és az aerodinamika (szél és páratartalom) leírásából. A kicsit módosított egyenlethez, amit az (6) egyenlet szemléltet, a napi meteorológiai adatokat kell használni, illetve van egy korrekciós tényező is, ami az éjszakai időjárási viszonyok páraeloszlás nagyságára gyakorolt hatását veszi figyelembe.[13]

$$ET_0 = c \cdot \left[0,408 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) + 2,7 \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} (1 + 0,864U)(e_a - e_d) \right] \quad (6)$$

ahol: ET_0 : referencia evapotranszpiráció [mm/nap]; c : korrekciós tényező, ami függ a rövidhullámú sugárzástól, a maximális relatív páratartalomtól, a nappali szélsébségtől és a nappali és éjszakai szél arányától; Δ : a telítési gőznyomás-hőmérséklet görbe meredeksége [kPa/°C]; γ : pszichometria állandó [kPa/°C]; R_n : nettó sugárzás [MJ/m²nap]; G : talaj hőfluxus sűrűsége [MJ/m²nap]; U : szélsébség 2 m magasságban [m/s]; e_a : telítési gőznyomás a levegő hőmérsékletén [kPa]; e_d : tényleges gőznyomás [kPa] [14]

5.3.1.1.4. Kádpárolgás módszer

A párologtató kádak alkalmazásának módszere lehetővé teszi a szél, hőmérséklet, sugárzás és páratartalom együttes hatásának vizsgálatát egy nyílt vízfelület párolgásának tekintetében. Azonban a mérés eredménye nem adja vissza a növényzettel borított felszín lehetséges

párolgását, ugyanis számos eltérés jelentkezik a vízfelület és egy növény párolgása esetén. A napsugárzás visszaverődése, az edény hőtárolása, a felület felett lévő levegő turbulenciája, páratartalma és hőmérséklete mind befolyásolhatja a kapott mérési eredményeket.[13]

Mindezek mellett 10 napos vagy annál hosszabb időtartamra nézve a megfelelő edény elhelyezéssel ez a (7) egyenlettel leírt módszer is megfelelő lehet referencia evapotranszspiráció meghatározására.

$$ET_0 = K_p \cdot E_{pan} \quad (7)$$

ahol: ET_0 : referencia evapotranszspiráció [mm/nap]; E_{pan} : a figyelembe vett időszak napi átlagpárolgása [mm/nap]; K_p : párologtató edény koefficiens [13]

5.3.1.2. FAO Penman – Monteith módszer

Ez a módszer egy kombinált módszer, a napi referencia evapotranszspiráció meghatározására szolgál, és egyaránt tartalmaz hőmérsékleti, radiációs és párolgási tényezőket is. Referenciaként fűfelszint tételez fel. Ezt tartják a leginkább fizikai alapú evapotranszspiráció becslő módszernek. A FAO álláspontja szerint ez a legpontosabb a létező módszerek közül, bár nagyon adatigényes. A napi ET_0 számítás leegyszerűsített alakja a (8) egyenletben látható.[15]

$$ET_0 = \left\{ \frac{0,408\Delta(R_n - G) + [u_z \gamma \left(\frac{900}{T_m + 273} \right) (e_z^* - e_d)]}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \right\} \quad (8)$$

ahol: ET_0 : referencia evapotranszspiráció [mm/nap]; R_n : nettó sugárzás [$\text{MJ}/\text{m}^2\text{nap}$]; Δ : a telítési gőznyomás-hőmérséklet görbe meredeksége [$\text{kPa}/^\circ\text{C}$]; γ : pszichometria állandó [$\text{kPa}/^\circ\text{C}$]; G : talaj hőfluxus sűrűsége [$\text{MJ}/\text{m}^2\text{nap}$]; e_z^* : telítési gőznyomás [kPa] a napi átlagos z magasságbeli léghőmérsékleten (z általában 2 m); e_d : telítési gőznyomás [kPa] a harmatponti hőmérsékleten; u_z : z magasságban mért szélsősebesség [m/s]; u_2 : szélsősebesség 2 m magasságban [m/s]; T_m : napi átlagos léghőmérséklet [$^\circ\text{C}$] [15]

5.3.1.3. ASCE Standardizált Penman-Monteith módszer

1999-ben felmerült az igény egy standardizált referencia evapotranszspirációt leíró egyenlet megalkotására, ugyanis ekkorra már több különböző egyenlet is létezett, ezeknek az egységesítésére lett felkérve az ASCE Evapotranspiration in Irrigation and Hydrology Committee. Számos kísérletezés után úgy találták legmegfelelőbbnek, ha két referencia felületípust határoznak meg:[16]

- 1) Kis magasságú növények (Short Crop), melyek hozzávetőleges magassága 0,12 m (hideg évszaki nyírt fűhöz hasonló)
- 2) Nagy magasságú növények (Tall Crop), melyek hozzávetőleges magassága 0,50 m (hasonló a lucernához)

Emellett arra jutottak, hogy az evapotranszpirációt nem csak napi léptékben, hanem órákra lebontva is szükséges megállapítani, és ezeknek az órákra számolt értékeknek az összege meg kell, hogy egyezzen a napra számolt értékkel.[16]

A végső összefüggést a (9) egyenlet tartalmazza.

$$ET_{ref} = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad (9)$$

ahol ET_{ref} : a kis (ET_{os}) vagy a nagy magasságú növények (ET_{rs}) standardizált referencia evapotranszpirációja [mm/nap vagy mm/óra]; Δ : a telítési gőznyomás-hőmérséklet görbe meredeksége [kPa/°C]; γ : pszichometria állandó [kPa/°C]; R_n : nettó sugárzás [MJ/m²nap]; G : talaj hőfluxus sűrűsége [MJ/m²nap]; T : napi vagy óránkénti átlagos léghőmérséklet [°C]; C_n : a referencia-típus és a számítási időlépték számlálójának állandója; C_d : a referencia-típus és a számítási időlépték nevezőjének állandója; e_s : átlagos telítési gőznyomás 1,5-2,5 m magasságban [kPa] (napi számításnál ez a maximális és minimális léghőmérséklethez tartozó e_s átlaga); e_a : átlagos tényleges gőznyomás 1,5-2,5 m magasságban [kPa]; u_2 : szélesség 2 m magasságban [m/s] [16]

5.3.2. Tényleges vízigények becslése mezőgazdasági és városi zöldekre

5.3.2.1. WUCOLS (Water Use Classification of Landscape Plants)

A WUCOLS módszer a mezőgazdasági növények vízigényének becslésénél használt megközelítésén alapszik. A potenciális evapotranszpiráció meghatározása a (10) egyenlet szerint történik.

$$ET_L = K_L \cdot ET_0 \quad (10)$$

ahol: ET_L : helyszíni növényzet evapotranszpirációja; K_L : helyszíni növényzet típusát jellemző koefficiens; ET_0 : referencia evapotranszpiráció[9]

A tájképi koefficiens a (11) egyenlet szerint három tényezőtől függ.

$$K_L = K_s \cdot K_d \cdot K_{mc} \quad (11)$$

ahol: K_s : faji tényező; K_d : sűrűségi tényező; K_{mc} : mikroklíma tényező

Ennek a meghatározása eltér a mezőgazdasági növények esetén alkalmazott módszertől. Az előbbinél terepi megfigyelésekre támaszkodnak, míg az utóbbinál in situ méréseket és számításokat végeznek. A mezőgazdasági és városi növények öntözésének céljai eltérőek, az előbbinél a nagy termelékenység, míg az utóbbinál a megfelelő megjelenés a fő prioritás, ezért a tájképi koefficiens meghatározását a szántóföldi növények esetén jól öntözött állapotban történő mérésekkel végzik a legmagasabb hozam fenntartása miatt.[9]

A faji tényező segítségével veszik figyelembe a növények típusai közötti eltéréseket. Ezeket az értékeket terepi megfigyelésekkel és egy vízügyi szakértő testület segítségével állapították meg. 4 kategóriát hoztak létre: nagyon alacsony ($<0,1$), alacsony ($0,1-0,3$), közepes ($0,4-0,6$) és magas ($0,7-0,9$) vízigény. Ha egy öntözési területen nagyon eltérő vízigényű fajok vannak, akkor alternatív megoldás szükséges.[9]

A növényzet sűrűségének megállapítására nincs szabványos módszer. Változása a kollektív levélfelülettel függ össze, amit a levélfelületi indexszel (LAI) jellemeznek. Ez egy szám, ami azt fejezi ki, hogy egy négyzetméternyi földfelszínre hány négyzetméternyi levélfelület jut.[17] A sűrűségi tényezőt két kifejezéssel jellemzik: a lombkoronafedettséggel és növényzet szintjeivel. Három kategóriát állapítottak meg (alacsony, közepes és magas sűrűség), amikhez $0,5-1,3$ számértékeket rendeltek.[9]

A mikroklíma tényező azt mutatja meg, hogy a városi jellemzők mennyire vannak hatással egy klimatikus zónára. Ehhez $0,5$ és $1,3$ közötti értékeket határoztak meg.[9]

Ez a módszer sok szempontból megfelelő a városi növényzet vízigényének meghatározására, azonban problémát jelent a sűrűségi tényező megállapításának bizonytalansága. Erre vonatkozóan felmerült a levélfelület index alkalmazásának ötlete, aminek használatával kiküszöbölhető lenne a többnyire szubjektív sűrűségi tényező megállapítás.[11]

5.3.2.2. IPOS

Ez a módszer kifejezetten közterületekre, sportpályákra és parkokra lett kifejlesztve az ausztrál kormány által. Az öntözés hatékonyságának, a hosszú távú agronómiai, meteorológiai és növényzeti teljesítménynek és a megfelelő esztétikai megjelenésnek figyelembevételével alkották meg. Az összefüggést a (12) egyenlet írja le.

$$ET_L = ET_0 \cdot K_c \cdot K_{st} \quad (12)$$

ahol: ET_L : növényi evapotranszpiráció; ET_0 : referencia evapotranszpiráció; K_c : gyepek koefficiens; K_{st} : növényi stressz faktor[9]

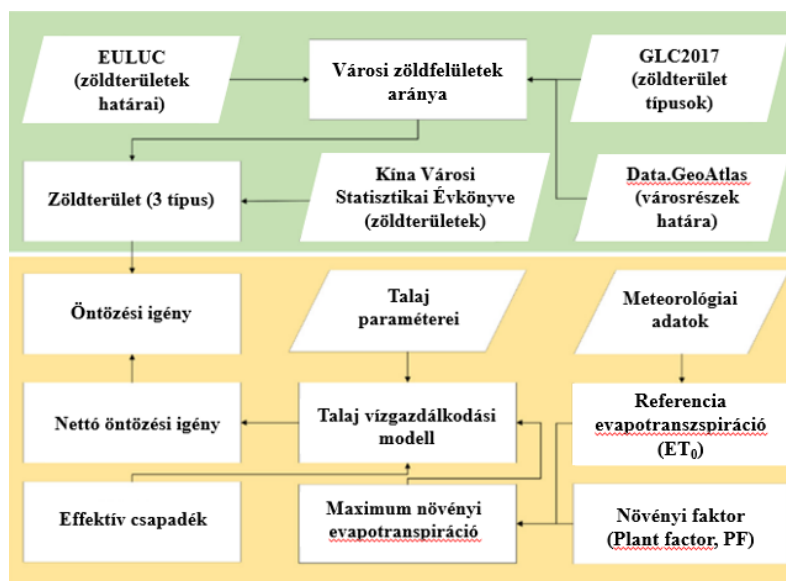
A gyepek koefficiens 0,6 és 0,95 között változik a különböző fűfélék esetén. A növényi stressz faktor egy csökkentő tényező, amit a növények csökkent életerejének és esztétikai teljesítményének értékelésére használnak. Négy kategóriát határoztak meg attól függően, hogy az adott gyepfelületnek milyen funkciója van és milyen színvonalon szükséges fenntartani. [9]

5.3.2.3. Növényi faktor (Plant Factor, PF)

Számos nem gyeppéle városi növény képes fennmaradni és megfelelő esztétikai élményt nyújtani kevesebb öntözés mellett is. Általánosságban a leggyakoribb növények akkor is szépek és egészségesek maradnak, ha a növény teljes vízigényének a referencia evapotranspiráció 20-80%-át (a legtöbb esetben 50%-át) tekintjük. A növényi faktor jelzi, hogy az ET_0 -nak hány százaléka eredményez már megfelelő minőségű növényállapotot. Abban az esetben, ahol a PF érték ismeretlen, 0,5-ös faktorral kell számolni, és később $\pm 10\%$ ET_0 változtatással vizsgálatokat végezni.[9]

5.4. Zöldterületek öntözési vízigényének meghatározása modellel: Green Space Irrigation Water Requirement Model

Ez az újonnan kifejlesztett Green Space Irrigation Water Requirement Model (Zöldterület Öntözési Vízigény Modell) egy zöldfelületi evapotranspirációs és egy, a talajvízmérlegét megoldó modellel segítségével tudja megbecsülni városi zöldterületek öntözővíz igényét. A módszer kifejlesztése során 268 kínai városban állapították meg a városi zöldfelületek öntözési vízigényét. Az adatgyűjtés és a számítás folyamatát a 4. ábra mutatja.[18]



4. ábra: Green Space Irrigation Water Requirement Model adatfeldolgozásának és becslési folyamatának vázlata [18]

A modell készítése során a SLIDE (Simplified Landscape Irrigation Demand Estimation) szabályokat alkalmazták, amik iránymutatóként szolgáltak és tartalmazzák a különböző feltevéseket és egyszerűsítéseket, amiket a számítás során alkalmaztak. Emellett tartalmaznak tudományosan megállapított növényi faktorokat (PF), jelentősen leegyszerűsítve a számítást, mert nem kell a WUCOLS módszerben meghatározott három tényezőt külön-külön kiszámolni. A referencia evapotranspirációt, illetve a nettó öntözővíz igényt a FAO Penman-Monteith egyenlet és a talaj vízmérlegének felhasználásával számították ki. Napi időléptéket használtak, illetve három városi növénytypust különböztettek meg: fákat, bokrokat és gyepet. Ezeknek az evapotranspirációját a Plant Factor módszerrel állapították meg. Az elfolyást az SCS-CN módszerrel határozták meg, amihez mindegyik város esetén megvizsgálták a jellemző talajtypust.[18]

A modell által kapott eredmény azt mutatta, hogy a növénytypusok közül a gyepnek az öntözési gyakorisága a legnagyobb, illetve a legnagyobb mennyiségű öntözést a fák igénylik.

A modell értékelése még nehéz, ugyanis nagyon újkeletű, további kutatás esetén lehet majd eldönteni, hogy mennyire pontos és beépíthető-e a gyakorlatba. Az azonban kijelenthető, hogy nagy mennyiségű adat feldolgozására képes és egyszerre több terület öntözési vízigénye számítható vele nagy időintervallumban.[18]

5.5. Magyarországi kitekintés: LIFE Városi Eső projekt

A LIFE Városi Eső egy olyan projekt, amely keretében a zöld és kék infrastruktúrák közötti együttműködés lehetőségeit keresik a csapadékkezelés tekintetében. Számos helyen nagy problémát jelen a hirtelen lezúduló nagy mennyiségű csapadék és a helyi vízháztartási mérleg kedvezőtlen irányú eltolódása. Olyan megoldások keresése a cél, amik ezeket a jelenségeket csökkentik. [19]

A projekten belül elkészült egy segédlet az öntözési vízigényt kielégítő csapadékvízgyűjtő tartályok/tározók méretezéséhez, Budapest területére vonatkozóan. Két méretezési módszert dolgoztak ki a szerzők, amelyekből számítható a szükséges tározótérfogat vagy az adott térfogat mellett kivehető öntözővíz mennyisége:

1. Olyan helyszíneken ajánlott az alkalmazása, ahol jól becsülhető a tározóból felhasználható vízfogyasztások nagysága. Adott tetőfelület és vízfogyasztás mellett számítható a szükséges tározótérfogat.

2. Adott tetőfelület és az öntözendő városi zöldfelületek nagyságának függvényében határozható meg különböző tározótérfogatok esetén az egyes tározóméretekből kielégíthető öntözővíz mennyisége. Az öntözővíz igény becslése a növények tényleges vízszükségletének közelítésével történik.

A második módszernek fontos része a városi zöldfelületek vízigényének becslése, amely figyelembe veszi az aktuális meteorológiai kondíciókat. Ennek során megalkottak egy idősor alapú öntözési vízigény becselő módszert a növények párologtatási képessége és a lehulló csapadék mennyisége alapján. A számítást a (13) egyenlet írja le.

$$V_{\text{vízigény},j} = K_c \cdot PET_j \cdot \tau - i_j \cdot \tau \text{ [m}^3\text{]} \quad (13)$$

ahol: $V_{\text{vízigény}}$: zöldfelület (fűvel vagy fával borított terület) becsült öntözési vízigénye [m³] a vizsgált időlépcső alatt; K_c : hónaptól és zöldfelület típustól függő vegetációs paraméter [-]; PET : potenciális evapotranszpiráció napi összege a vizsgált időlépcső alatt [m³ /nap]; i : az adott időlépcső alatt lehulló csapadékösszeg [m³ /nap]; τ : a vizsgált időlépcső hossza [1 nap][19]

6. Anyag és módszer

Az alábbi alfejezetekben a dolgozatban vizsgált/újronnan kidolgozott módszerek, összefüggések kerülnek bemutatásra, melyek alkalmasak lehetnek a budapesti zöldfelületek öntözési vízigényeinek meghatározására. A valós öntözési adatok elemzését a Főkert Nonprofit Kft. (innenről: Főkert) által szolgáltatott adatok alapján készítettem el. A budapesti zöldfelületeken mért vízfogyasztás adatokat a FAO segédlete alapján számítható öntözővíz igényekkel hasonlítottam össze.

6.1. Valós öntözési adatok feldolgozása

6.1.1. A Főkert öntözési rendszerének rövid bemutatása

A Főkerttel a XII. kerületi Zöld Irodánál végzett szakmai gyakorlatom során kerültem kapcsolatba. Az I.-II.-XII. kerületi üzemegység vezetőjének, Törteli Lászlónak a segítségével megismerkedtem az öntözési rendszerrel.

A Főkert 1867 óta felel Budapesten a Fővárosi Önkormányzat megbízásából megközelítőleg 6 millió m² zöldfelület fenntartásáért, gondozásáért és fejlesztéséért. 59 000 fasori fa és 47 000 parkfa mellett a parki növények, utak melletti zöldsávok, szökőkutak, játszóterek és sportpályák kezelése is feladata. Emellett 40 db természetvédelmi és erdőterületet gondoz, rendelkezik komposztteleppel [20], és saját dekorációs célú egy- és kétnyári növénytermesztéssel is foglalkozik. [21]

Az öntözés – ahol a rendszer kiépítése megtörtént – automata csöpögtető- vagy rotoros öntözőrendszerrel folyik, ami azt jelenti, hogy be tudják állítani az öntözés napi időtartamát és az adott idő alatt kijutatott víz mennyiségét, azonban ezt csak a helyszínen tudják megtenni, így egy esetleges nagy esőzés esetén a rendszer ugyanúgy öntöz, amennyiben nem zárják el kézzel. A csöpögtetőrendszer beállítása az időjárás és a növények állapotának vizsgálatával történik, az üzemegység vezető általában a saját tapasztalatára és szakértelmére hagyatkozva állít a beállításokon. Ezekről a változtatásokról nincsenek feljegyzések a kapacitáshiány miatt, ezért a kiöntözött vízmennyiséget csak a havi vízóraállásokból lehet kiszámolni, napi adatok nem állnak rendelkezésre. Ahol nem építették ki az automata öntözőrendszert, ott nehézkesebb, nagy munkaerő igényű kézzel történő öntözés történik kutakból termelt, tűzcsapokról vett, illetve lajtos kocsival hozott vízből. Általánosan elmondható, hogy a lajtos autóval május végétől szinte naponta öntöznek egyényári, évelő és új telepítésű cserjefelületeken, illetve az új telepítésű fákat is rendszeresen így öntözik az első négy évben, majd az ötödik évtől alkalomszerűen.

Összefoglalásként elmondható, hogy az öntözés sokkal inkább történik az ottani szakemberek tapasztalata és aktuális kapacitása alapján, semmint előre tervezetten, illetve a tényleges növényi vízigényeket figyelembe véve. Az öntözésre felhasznált víz mennyiségét leginkább esztétikai szempontok befolyásolják, azaz a fontosabb helyszíneken többet öntöznek, hogy a növények szépen mutassanak, míg a kevésbé frekvenciált területeken kevesebbet. Jelenleg nincsenek mérések az öntözési területeken (például talajnedvesség mérés), ezért nincs lehetőség az öntözési módszerek optimalizálására, továbbá nincs kiépített távvezérlés sem, még az automata rendszerek esetén sem.

6.1.2. Öntözési adatok

A ténylegesen öntözésre használt vízmennyiségek elemzéséhez a Főkertől kértünk adatokat. A vízfogyasztásokat havi vízóra mérőállásokból számítottam ki. A Főkert munkatársaival történő személyes konzultáció alapján megállapítottam, hogy az egyes helyszíneken eltérhet a fajlagos (egységnyi felületre vonatkoztatott) öntözővíz mennyisége, ezért több mintahelyszínt választottam ki a vizsgálataimhoz.

Az adatgyűjtés során olyan területeket választottam ki Törteli László segítségével, ahol a vízfogyasztást az automata öntözőrendszer működése jelenti, nincsenek egyéb, nem öntözéssel kapcsolatos fogyasztások, mint például nyilvános wc, ivókutak, nem visszaforgatós módon működő díszkutak. Három kerület, az I., a II. és a XII. kerület zöldterületeit vettük számításba, és végül 9 helyszínt választottunk, amikhez összesen 13 vízóra tartozik. Ezen zöldfelületeken túlnyomórészt gyepek vannak, de emellett évelő- és egynyári növények, sövény és számos fa is megtalálható.



*5. ábra: Kongresszusi központ
(Forrás: saját fénykép)*



*6.ábra: Jakobinusok tere
(Forrás: saját fénykép)*



*7.ábra: Bem József tér
(Forrás: saját fénykép)*



8.ábra: Bem rakpart (Forrás: saját fénykép)



*9.ábra: Liptay utca
(Forrás: saját fénykép)*



*10.ábra: Bencei kapu tér
(Forrás: saját fénykép)*



11.ábra: Clark Ádám tér közepe (Forrás: saját fénykép)



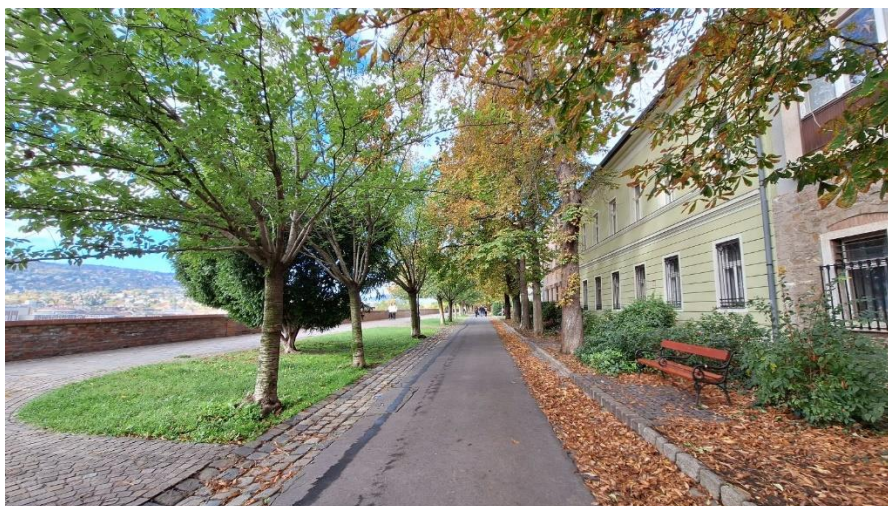
*12.ábra: Clark Ádám tér – Öntőház utca
(Forrás: saját fénykép)*



*13.ábra: Clark Ádám tér – Lánchíd utca
(Forrás: saját fénykép)*



14.ábra: Dísz tér (Forrás: saját fénykép)

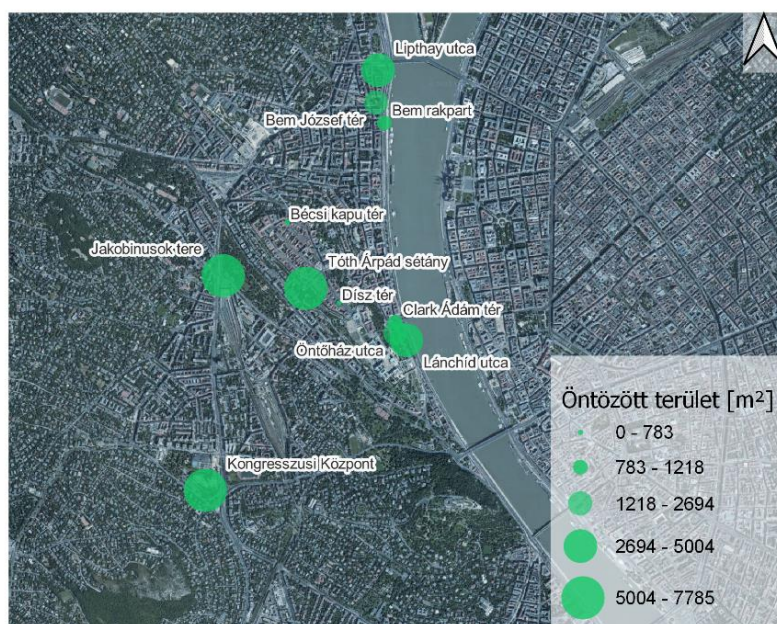


*15.ábra: Tóth Árpád sétány
(Forrás: saját fénykép)*

A választott területeket a 3. táblázat foglalja össze, míg a Budapesten belüli elhelyezkedésük a 16. ábrán látható.

I. kerület	II. kerület	XII. kerület
Bécsi kapu tér	Bem rakpart	Kongresszusi Park
Dísz tér	Bem József tér	Jakobinusok tere
Clark Ádám tér	Lipthay utca (Margit híd-dél)	
Tóth Árpád sétány		

3. táblázat: Vizsgált zöldterületek



16.ábra: Helyszínek térképi ábrázolása

A helyszíneken található zöldfelület típusokat a 4. táblázat foglalja össze.

	Pázsit [m ²]	Cserjefelület [m ²]	Sövény [m ²]	Egynyári [m ²]	Évelő [m ²]	Róza [m ²]	Szóló cserje [db]	Fenyő [db]	Örökzöld [db]	Parkfa [db]
Kongresszusi kp.	7365	-	-	-	420	-	-	-	-	-
Jakobinusok tere	5422	-	-	-	171	-	4	-	-	14
Bem József tér	1607	125	30	203	82	14	-	4	-	12
Bem rakpart	-	27	1099	-	33	-	-	-	-	-
Lipthay utca	2402	332	-	-	171	-	3	-	-	28
Bécsi kapu tér	235	-	-	-	-	-	-	-	3	2
Clark Ádám tér (közép)	946	-	-	271	-	-	-	-	-	1
Clark Ádám tér (Lánchíd u. 9.)	804	215	152	-	49	-	-	-	1	12

Clark Ádám tér (Öntőház u.)	804	192	-	-	419	-	-	-	-	8
Dísz tér 12.	584	-	32	15	-	-	-	-	-	10
Tóth Árpád sétány	3853	299	-	133	175	-	83	-	34	22

4. táblázat: Helyszínek zöldfelület típusai

Az alábbi táblázatból (5. táblázat) látható, hogy jelentős, nagy területű zöldfelületekről van szó, ezeknek az öntözése rendkívül nagy vízfogyasztást jelent, ami a közeljövőben várható vízdíj növekedés esetén problémát okozhat, így az öntözés optimalizálása kiemelt jelentőségű lehet a jövőben.

Helyszín	Zöld (öntözött) felületek [m²]	Burkolt felületek [m²]	Összes terület [m²]
Kongresszusi központ	7785	-	7785
Jakobinusok tere	5593	-	5593
Bem József tér	2061	609	2670
Bem rakpart	1159	43	1202
Lipthay utca	2905	671	3576
Bécsi kapu tér	235	29	264
Dísz tér	631	152	783
Clark Ádám tér (közepe)	1217	1	1218
Clark Ádám tér (Lánchíd u. 9.)	1220	418	1638
Clark Ádám tér (Öntőház utca)	1415	201	1616
Tóth Árpád sétány	4460	1304	5764

5. táblázat: Vizsgált zöldterületek nagysága

A Főkert adatbázisából összegyűjtöttem a 9 helyszín 13 vízórájának havi állásait, és kiszámoltam a havi vízfogyasztásokat 2010-től 2023 júliusáig (1. melléklet). Akadtak olyan hónapok, amikor nem lehetett leolvasni a vízóra állását, ugyanis előfordult, hogy ellopták a vízórat, vagy leolvashatatlan volt, beázott az akna, lebetonozták a vízórat építés miatt vagy építési terület volt a helyszínen.

A FAO öntözési igény számítási módszerével való összehasonlíthatóság érdekében külön helyszínekre lebontva megadtam az öntözött vízmennyiséget liter/m²/nap dimenzióban is.

6.1.3. Öntözési vízmennyiségek meghatározására vonatkozó összefüggések felállítása meteorológiai jellemzők függvényében

A vizsgált időszakra vonatkozó meteorológiai adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat adattárából (www.odp.met.hu) kerestem ki. Az növények állapotát és vízigényét leginkább befolyásoló klimatikus jellemzőket gyűjtöttem össze: a havi maximális- és átlaghőmérsékletet, a havi csapadékösszeget és a potenciális párolgás havi értékét. A dolgozatban három budapesti automata mérőállomás idősorait vizsgáltam (6.táblázat).

Mérőállomás helye	Mérőállomás száma	Mérés kezdete	Mérés vége (adatgyűjtéskor)
Lágymányos	44505	1999.10.30.	2023.06.30.
Belterület	44121	1997.11.30.	2023.06.30.
Pestszentlőrinc	44527	1996.01.04.	2023.06.30.

6. táblázat: Mérőállomások adatai

A diagramok elkészítésénél és a számításokban a belterületi mérőállomás adatait használtam, ugyanis a vizsgált helyszínek kivétel nélkül ehhez a mérőállomáshoz voltak legközelebb, és a három mérőállomás mért adatai között nem volt jelentős eltérés.

A maximális hőmérséklet esetében a napi adatok alapján összeszámoltam, hogy a hónapokban hány 30 °C vagy annál magasabb hőmérsékletű nap volt, mert ez jobban jellemzi egy adott hónap forróságát.

A vizsgált területek l/m²/nap-ra átszámolt havi vízfogyasztási adatai és a fenti klimatikus jellemzők között kerestem összefüggéseket, vizsgáltam, hogy a havi csapadékösszeg és a kiöntözött vízmennyiség között látható-e, hogy egy csapadékosabb hónapban kevesebb a fogyasztás, azonban nem kaptam egyértelmű eredményt (17.ábra). Ugyanígy jártam el a havi

átlagos napi hőmérséklet (18.ábra), a 30°C vagy annál magasabb hőmérsékletű napok száma (19.ábra), a havi potenciális párolgás (20.ábra), illetve a havi potenciális párolgás és havi csapadékösszeg különbségének (21.ábra) vizsgálata esetén. A meteorológiai változók és az öntözésre használt vízmennyiség közötti kapcsolatok leírásához függvényeket illesztettem az adatpárookra. A függvényillesztéseket az Excel Solver nevezetű bővítményének segítségével végeztem. Az összes helyszín adatait vizsgálva kerestem azt a függvényt, ami esetén a hibák négyzetösszege minimális.

6.2. FAO öntözési vízigény számítási módszertana

Az előzőekben taglalt meteorológiai adatok ismerete fontos a FAO számítási módszeréhez [10], amivel meghatározható a különböző mezőgazdasági növényfajták öntözési igénye az egyes hónapokban. A számítás során a növények napi vízigényének megállapításához a rövidre nyírt gyepek volt referencia növény. A számítás a következő lépésekből áll:

- 1) Referencia evapotranszpiráció (ET_0) meghatározása:
- 2) Módosító tényezők (K_c) meghatározása
- 3) Növény vízigényének (ET_{crop}) kiszámítása:

$$ET_{crop} = ET_0 \cdot K_c \quad (1)$$

- 4) Effektív csapadék (Pe) kiszámítása:

$$Pe = 0,8 \cdot P - 25, \text{ ha } P > 75 \frac{\text{mm}}{\text{hónap}} \quad (2)$$

$$Pe = 0,6 \cdot P - 10, \text{ ha } P < 75 \frac{\text{mm}}{\text{hónap}} \quad (3)$$

ahol P : havi csapadékösszeg [mm/hónap]

- 5) Öntözési vízigény (IN) kiszámítása:

$$IN = ET_{crop} - Pe \quad (4) \quad [10]$$

A fenti lépéseket az alábbiak szerint végeztem el a vizsgált helyszínekre:

- 1) A havi referencia evapotranszpiráció [mm/hónap] megegyezik a havi potenciális párolgás [mm/hónap] értékével, így a korábbiakban összegyűjtött ezen adatokat használtam.
- 2) A módosítótényezők meghatározásához különböző zöldterület típusokra vonatkozó módosítótényezőket tartalmazó táblázatot használtam, ahol hónapos felbontásban voltak feltüntetve az értékek [22]. A számítás során a 7. táblázatban látható egyszerűsítéseket kellett tennem, mert nem volt minden zöldterület típushoz tényező megállapítva.

Zöld terület típus	Használt módosítótényező típus
pázsit	gyep
cserjefelület és talajtakaró	cserje
sövény	cserje
egynyári	gyep
évelő	gyep
rózsa	gyep
szőlő cserje	cserje
fenyő	tűlevelű
örökzöld	minden erdő kivéve tűlevelű
parkfa	minden erdő kivéve tűlevelű

7.táblázat: Módosító tényezők egyszerűsítése

Zöldfelület típus				
Hónapok	gyep	minden erdő, kivéve tűlevelű	tűlevelű	cserje
március	1,0	0,9	1,1	0,8
április	1,0	1,0	1,1	0,8
május	1,0	1,1	1,1	0,8
június	1,0	1,1	1,1	0,8
július	1,0	1,1	1,1	0,8
augusztus	1,0	1,1	1,1	0,8
szeptember	1,0	1,1	1,1	0,8
október	1,0	1,0	1,1	0,8
november	0,8	0,9	1,1	0,8

8.táblázat: Zöldfelület típusokra vonatkozó módosító tényezők

A helyi módosító tényezőket a helyszíneken lévő zöldfelület típusok területének arányában számítottam ki, így az eltérő helyszíneknek eltérő tényezői lettek, amik kifejezetten az adott ökológiai rendszert jellemzik. (8.táblázat)

- 3) A növény vízigényének becsléséhez a havi potenciális párolgás értékeket és a havi helyszínspecifikus módosítótényezőket behelyettesítettem a (1) - es egyenletbe, így a 9 helyszínrre megkaptam 13 év hónapra lebontott növényi vízigényét.
- 4) Ezután kiszámoltam az effektív csapadékot a havi csapadékösszegek behelyettesítésével a (2) - es, illetve a (3) - as egyenletbe, így megkaptam azt a csapadékmennyiséget, ami a növény számára felvehető formában van és marad jelen, azaz nem szivárog és nem párolog el.
- 6) Az előbbi pontokban összegyűjtött és számított adatokat behelyettesítettem az (4) – es egyenletbe, így megkaptam az öntözési igényt mm/hónap formában, amit a ténylegesen kiöntözött vízmennyiséggel való összehasonlíthatóság érdekében átváltottam mm/napra.

A ténylegesen kiöntözött vízmennyiségeket és a számolt vízigényeket egy összehasonlító táblázatba foglaltam.

7. Eredmények

Összességében elmondható, hogy az átlagos éves öntözési vízmennyiségek minden helyszínen alacsonyabbak, mint a FAO vízigény becslő segédlete által számolt átlagos éves értékek (9.táblázat). Egyedül a Bécsi kapu tér esetén látható, hogy a becsült éves igény alacsonyabb, így feltételezhető, hogy túlóntözik a területet. Az átlagos fajlagos értékeket tekintve látható, hogy a legmagasabb értékkel a Bécsi kapu tér, míg a legalacsonyabbal a Clark Ádám tér – Lánchíd utca rendelkezik.

	Tényleges öntözés		FAO becslés	
	Átlagos éves öntözött vízmennyiség		Átlagos éves becsült vízmennyiség	
Helyszín	Összes [m ³ /év]	Fajlagos [m ³ /m ²]	Összes [m ³ /év]	Fajlagos [m ³ /m ²]
Kongresszusi központ	4572	0,59	7979	1,03
Jakobinusok tere	2165	0,39	5732	1,03
Bem József tér	1084	0,53	2077	1,01
Bem rakpart	789	0,68	921	0,79
Lipthay utca	2035	0,70	2901	1,00
Bécsi kapu tér	369	1,57	241	1,03
Clark Ádám tér (közép)	713	0,59	1247	1,02
Clark Ádám tér (Lánchíd u. 9.)	441	0,36	1165	0,99
Clark Ádám tér (Öntőház u.)	1081	0,76	1407	0,99
Dísz tér 12.	472	0,75	640	1,01
Tóth Árpád sétány	2531	0,57	4473	1,00

9.táblázat: Átlagos éves kiöntözött vízmennyiség és becsült vízigény helyszínenként

A Bécsi kapu téri adatok feltehetően a túlóntözés miatt kiugróan magasak. Emellett a vár és a környékén lévő területekre (Dísz tér, Tóth Árpád sétány, Bécsi kapu tér) jobban figyelnek, gyakrabban történik öntözés ezeken a helyszíneken

A részletes eredményeket a nagyszámú helyszín és a 13 éves vizsgálati idő miatt csak egy kiválasztott helyszínre (Bem József tér) egy választott évre (2020) mutatom be, a teljes

eredménysor a mellékletek között található. A választásom azért esett erre a helyszínre, mert itt az összes vizsgált zöldfelület típus (gyep, cserje, fa) megtalálható, az év kiválasztásakor pedig azt vettem figyelembe, hogy egy hónapnál se legyen hiányzó vízfogyasztás valószínűsíthetően hibás adat.

7.1. A 2010 és 2023 közötti időszak öntözési adataiból számított vízfogyasztások

A Főkert adatbázisából gyűjtött vízfogyasztásokból kiszámítottam a vizsgált helyszínekre az 1 m²-re jutó öntözött vízmennyiséget literben az egyes hónapokra, majd kiszámítottam ennek az egy napra jutó részét. A vízfogyasztás nagyságrendi érzékeltetését a 10. táblázat mutatja, ahol az átlagos éves öntözési mennyiség van feltüntetve négyzetméterenként minden helyszínen átlagosan és a 2020-as évben.

Éves átlagos öntözési vízmennyiség				
Helyszín	Összes [m ³ /év]	Fajlagos [m ³ /m ²]	Összes 2020-ban [m ³]	Fajlagos 2020-ban [m ³ /m ²]
Kongresszusi központ	4572	0,59	3037	0,39
Jakobinusok tere	2165	0,39	2777	0,49
Bem József tér	1084	0,53	1388	0,67
Bem rakpart	789	0,68	595	0,51
Lipthay utca	2035	0,70	1917	0,65
Bécsi kapu tér	369	1,57	463	1,97
Clark Ádám tér (közép)	713	0,59	684	0,56
Clark Ádám tér (Lánchíd u. 9.)	441	0,36	685	0,16
Clark Ádám tér (Öntőház u.)	1081	0,76	1551	1,10
Dísz tér 12.	472	0,75	300	0,47
Tóth Árpád sétány	2531	0,57	2349	0,53

10.táblázat: Évi átlagos és a 2020-as öntözési vízmennyiségek helyszínenként

Azért választottam ezt az évet az összehasonlításhoz, mert ez volt a legkésőbbi olyan év, amikor minden helyszínről volt pontos adata a Főkertnek. A 2020-as értékeket figyelve vannak helyszínek, ahol pozitív, van, ahol negatív irányú eltérés látható az átlagos adatokhoz képest. Ez magyarázható azzal, hogy az öntözés nem tervezetten történik, az automata öntözőrendszert

kézzel kell elzárni, ha csapadékosabb az idő, amire nincs mindig elég ideje és embere a Főkertnek, így ezek a kapacitásfüggő öntözésbeli változtatások eltéréseket eredményezhetnek mind az átlagos évi, mind a 2020-as adatokban.

A Bem József tér esetén kapott havi részletességű eredményeket a 11. táblázat foglalja össze.

		Bem József tér		
Dátum		Havi fogyasztás [m ³]	Területre vonatkoztatva [l/m ²]	Napra lebontva [l/m ² /nap]
2020	október	63	30,57	0,99
2020	szeptember	248	120,33	4,01
2020	augusztus	281	136,34	4,40
2020	július	288	139,74	4,51
2020	június	214	103,83	3,46
2020	május	259	125,67	4,05
2020	április	32	15,53	0,52
2020	március	3	1,46	0,05
Éves		1388	673,46	2,75

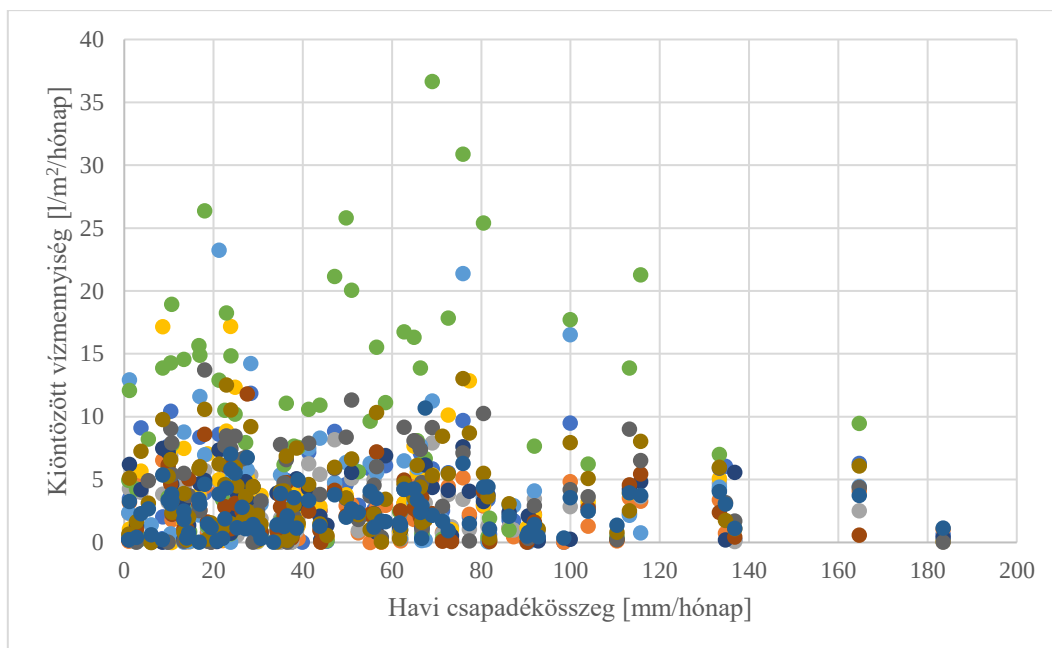
11. táblázat: Bem József téren (2020) fajlagosan öntözött vízmennyiségek

A vizsgált időszakban az összes helyszín minden évre és hónapra számított fajlagosan öntözött vízmennyiségének számadatai a 2. mellékletben találhatók.

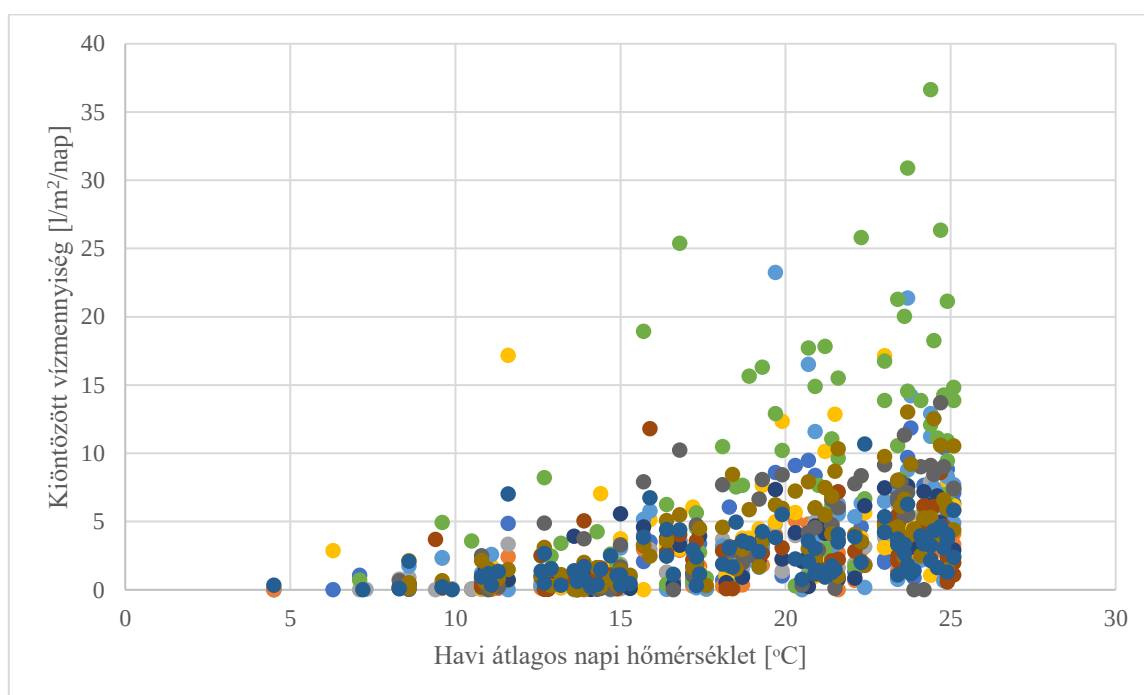
7.2. Öntözési vízmennyiségek meghatározására vonatkozó összefüggések a meteorológiai jellemzők függvényében

Az Országos Meteorológiai Szolgálat adatbázisából összegyűjtött klimatikus jellemzők adatsorát a 3. melléklet tartalmazza.

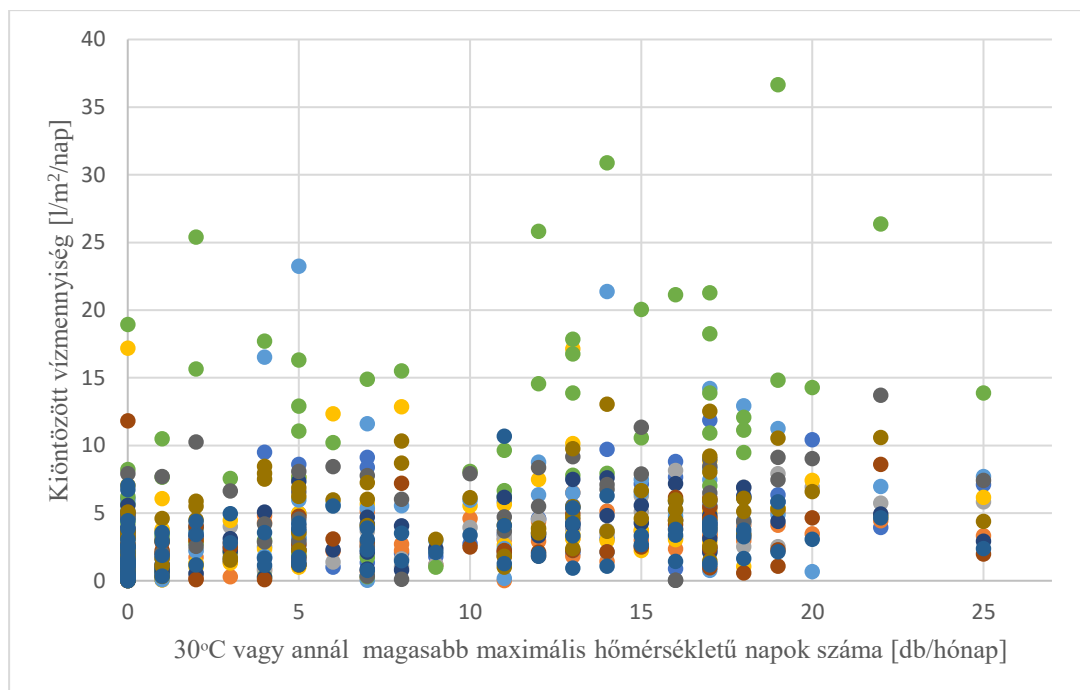
A meteorológiai jellemzők és az öntözött vízmennyiségek közötti összefüggések keresése során megvizsgáltam a kiöntözött vízmennyiséget a havi csapadékösszeg (17.ábra), az átlaghőmérséklet (18.ábra), a 30°C-nál magasabb hőmérsékletű napok száma (19.ábra), a potenciális párolgás (20.ábra), illetve a potenciális párolgás és csapadékösszeg különbségének (21.ábra) függvényében.



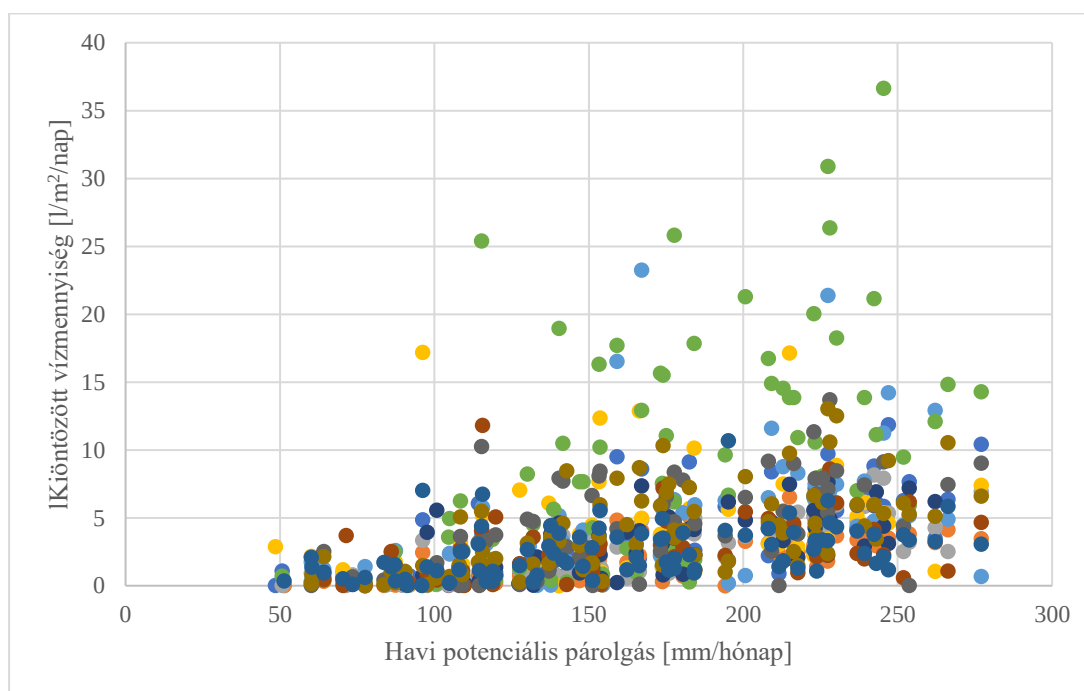
17.ábra: Havi csapadékösszeg – kiöntözött vízmennyiség kapcsolata az összes helyszínt tekintve (a vizsgált időszak: 2010-2023)



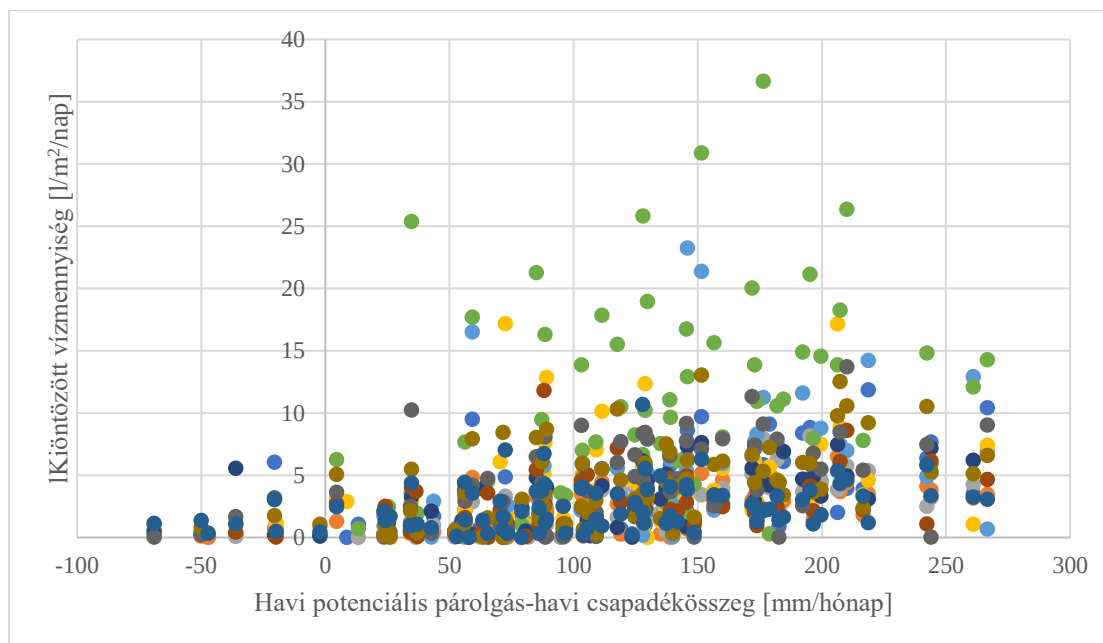
18.ábra: Havi átlagos napi hőmérséklet – kiöntözött vízmennyiség kapcsolata az összes helyszínt tekintve



19.ábra: 30°C vagy annál magasabb maximális hőmérsékletű napok száma - kiöntözött vízmennyiség kapcsolata az összes helyszínt tekintve

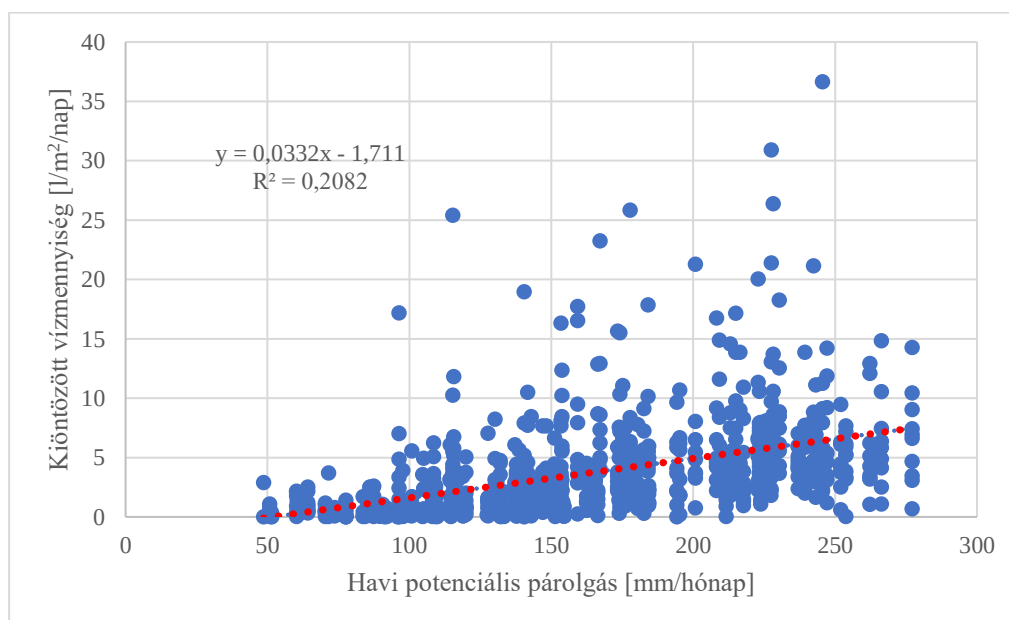


20.ábra: Havi potenciális párolgás - kiöntözött vízmennyiség kapcsolata az összes helyszínt tekintve

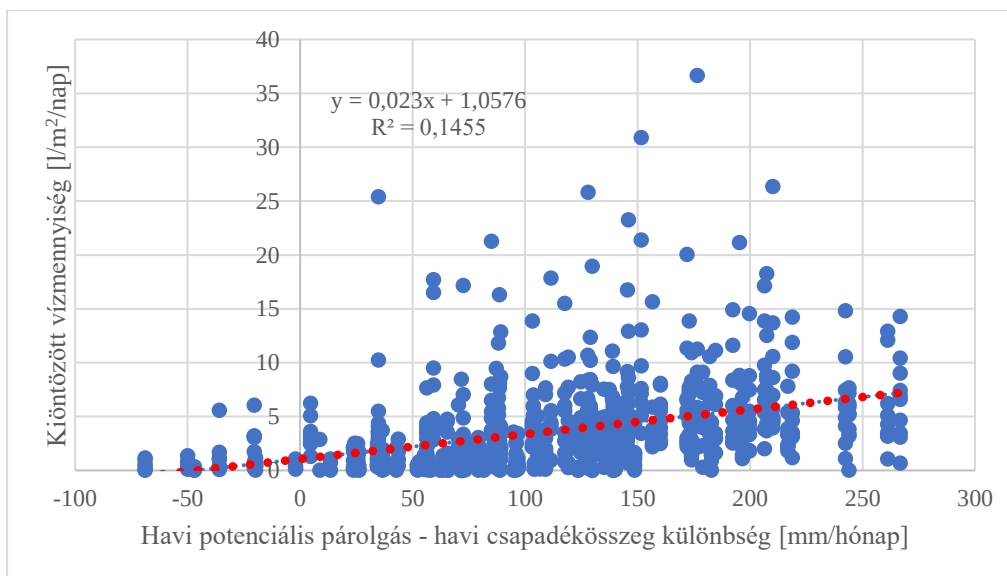


21. ábra: Havi potenciális párolgás és havi csapadékösszeg különbség - kiöntözött vízmennyiség kapcsolata az összes helyszínt tekintve

A fentiek közül a 18., 20. és az 21. ábrán volt felfedezhető összefüggés. A havi potenciális párolgás [mm/hónap] – kiöntözött vízmennyiség [l/m²/nap] diagram és a havi potenciális párolgás és havi csapadékösszeg különbség [mm/hónap] – kiöntözött vízmennyiség [l/m²/nap] diagramokon lineáris kapcsolat látszott, így trendvonalat illesztettem rájuk (22-23. ábrák).



22. ábra: Havi potenciális párolgás - kiöntözött vízmennyiség kapcsolata illesztett lineáris trendvonalal



23. ábra: Havi potenciális párolgás és havi csapadékösszeg különbség - kiöntözött vízmennyiség kapcsolata illesztett lineáris trendvonalal

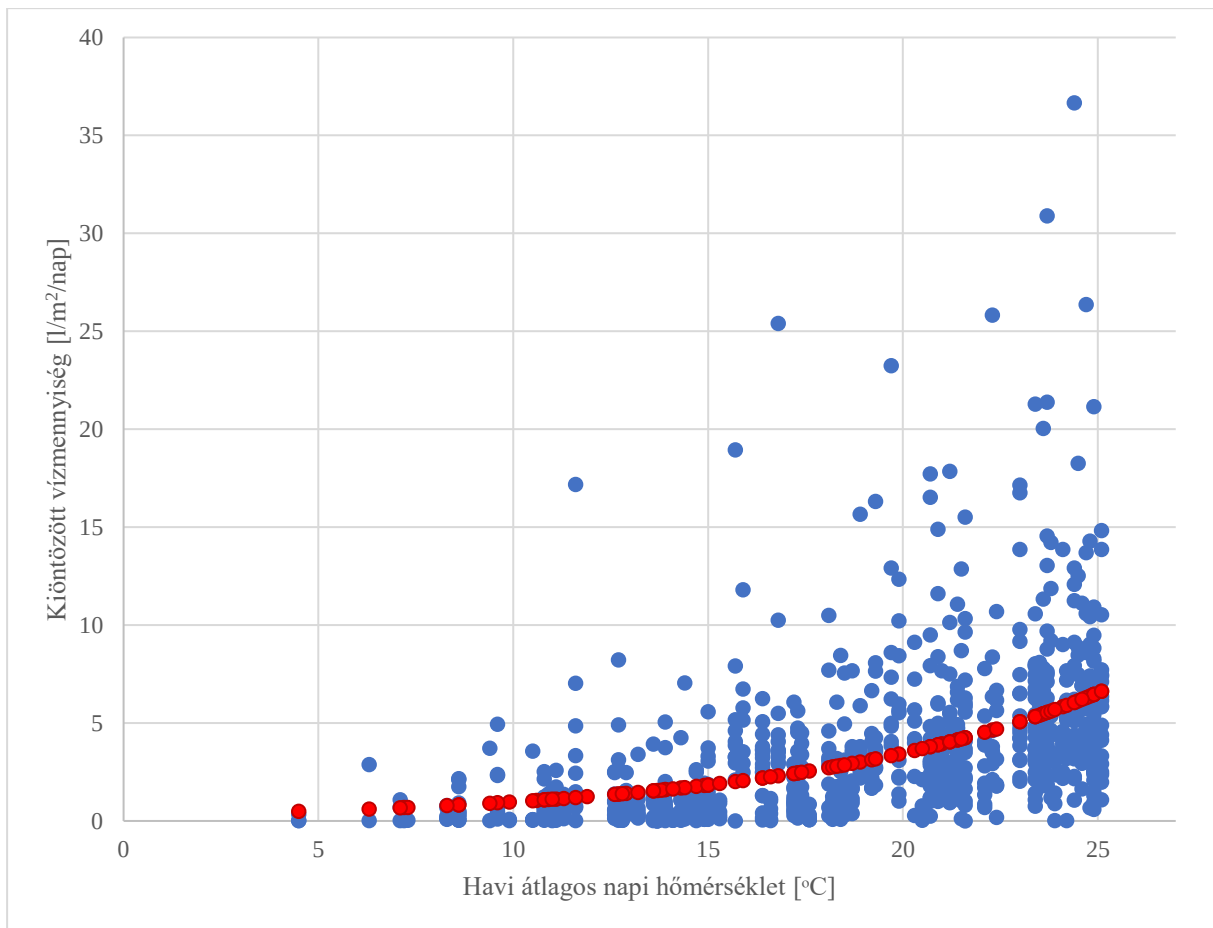
Minél nagyobb a potenciális párolgás, illetve a potenciális párolgás – csapadékösszeg különbség, annál magasabb a kiöntözött vízmennyiség.

A havi átlagos napi hőmérséklet [°C] – kiöntözött vízmennyiség [l/m²/nap] kapcsolatot exponenciális függvénnyel jellemeztem, és az (1) egyenletet kaptam.

$$y = 0,272844 \cdot e^{0,127025 \cdot x} \quad (1)$$

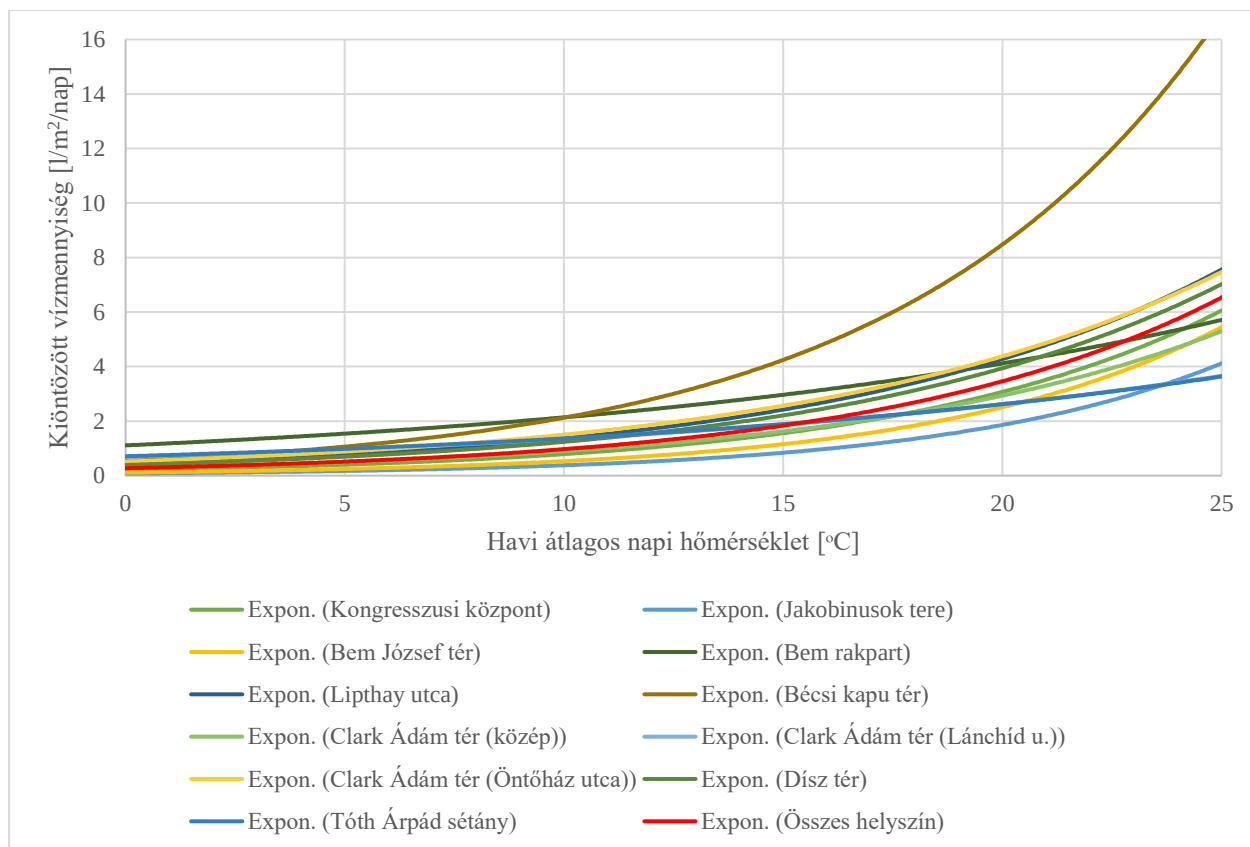
ahol y: a vizsgált helyszín havi kiöntözött vízfogyasztása [l/m²/nap]; x: havi átlaghőmérséklet [°C],

Az egyenletet ábrázoltam az összes helyszínt tartalmazó havi átlagos napi hőmérséklet [°C] – kiöntözött vízmennyiség [l/m²/nap] diagramon, ami a 24.ábrán látható.



24.ábra: Havi átlagos napi hőmérséklet [°C] – kiöntözött vízmennyiség [l/m²/nap] kapcsolata az összes helyszínt tekintve az exponenciális görbével együtt

Az egyenlet helytállóságának vizsgálata céljából megnéztem, hogy ha ugyanezt a Solver bővítményt lefuttatom az egyes helyszínekre külön, akkor az arra kapott görbék mennyiben térnek el az összes helyszínrre kapott görbétől. A 25. ábrán látható, hogy egy helyszín (Bécsi kapu tér) esetén számottevő eltérés látható a görbe meredekségét tekintve. Ez azt jelenti, hogy az összes helyszín alapján felírt összefüggés alkalmazása nem vezet megfelelő eredményhez, ha jelentősen eltér az öntözés jellege (sokkal több vagy kevesebb), így célszerűbb helyszínenként külön összefüggéseket felírni az öntözés jellemzői alapján.



25.ábra: Havi átlagos napi hőmérséklet - kiöntözött vízmennyiség kapcsolata az összes helyszínre külön illesztett exponenciális görbével együtt

7.3. FAO öntözési vízigény becslő számítás eredményei

A vizsgált zöldfelületek öntözési igényét a FAO számítási módszerével számoltam ki. Az összes helyszín átlagos éves összes és fajlagos becsült öntözési igényét a 12.táblázat tartalmazza.

Helyszín	Átlagos éves becsült öntözési igény [m ³ /év]	m ² -re vonatkoztatva [m ³ /m ²]
Kongresszusi központ	7979	1,03
Jakobinusok tere	5732	1,03
Bem József tér	2077	1,01
Bem rakpart	921	0,79
Lipthay utca	2901	1,00
Bécsi kapu tér	241	1,03
Clark Ádám tér (közép)	1247	1,02
Clark Ádám tér (Lánchíd u. 9.)	1165	0,99

Clark Ádám tér (Öntőház u.)	1407	0,99
Dísz tér 12.	640	1,01
Tóth Árpád sétány	4473	1,00

12.táblázat: Átlagos éves összes és fajlagos becsült öntözési igény az összes helyszínrre

A Bem József térre számolt eredmények a 13. táblázatban láthatók.

Dátum	Bem József tér					
2020.	ETref mm/hónap	Pe mm/hónap	K_c [-]	ETcrop mm/hónap	IN mm/hónap	IN mm/nap
október	70,4	47,2	0,9852	69,4	22,2	0,72
szeptember	151,1	5,8	0,9858	149,0	143,1	4,77
augusztus	216,4	65,6	0,9858	213,3	147,8	4,77
július	208,2	27,6	0,9858	205,2	177,6	5,73
június	148,2	48,5	0,9858	146,1	97,6	3,25
május	140,4	0,0	0,9858	138,4	138,4	4,46
április	151,3	0,0	0,9852	149,1	149,1	4,97
március	89,6	12,5	0,9846	88,2	75,7	2,44

13. táblázat: Számolt öntözési vízigény adatok a Bem József térre

(ahol: ETref: referencia evapotranszspiráció, Pe: effektív csapadék, K_c: módosító tényező; ETcrop: zöldfelület evapotranszspirációja; IN: becsült öntözési vízigény)

Az összes vizsgált helyszín teljes vizsgált időtartamra vonatkozó számítási eredményei részletesen a 4.mellékletben találhatók.

7.4. A valós és a becsült öntözési vízmennyiségek összehasonlítása

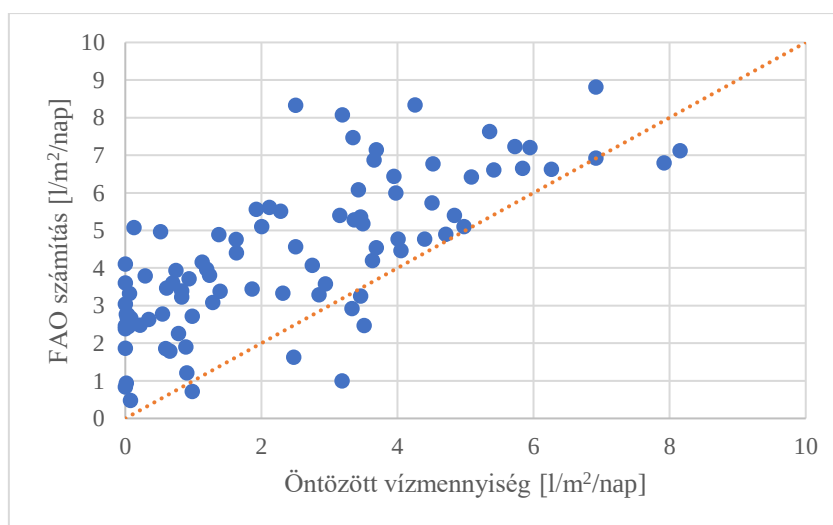
A tényleges öntözési vízhasználatokat és a becsült vízigényeket összehasonlítva látható, hogy a Bem József tér esetében van különbség az értékek között, előfordul, hogy az öntözés, de van, hogy a számított igény a magasabb (14. táblázat). Ezt a két értéket egy diagramon ábrázoltam (26. ábra), ahol minél közelebb vannak a feltüntetett öntözési adatpontok az 1:1 vonalhoz, annál közelebb állnak a becsült öntözési igény értékekhez. Ebből látszik, hogy a Bem József tér esetén előfordultak olyan hónapok, amikor többet is öntöztek a becsült öntözési igénynél, de inkább az a jellemzőbb, hogy kevesebbet öntöznek. A többi helyszínt tekintve is általánosságban ez mondható el, de a Bécsi kapu tér, Dísz tér és a Clark Ádám tér -Öntőház utca esetén jelentősen több a becsült igénynél magasabb öntözés. Ez a várban fekvő területek gyakoribb öntözésével,

fontosság szerinti megkülönböztetésével magyarázható. Feltehetően az ideális öntözési mennyiség a valós és a becsült mennyiség között található. A többi helyszínrre elkészített diagramok és az összehasonlított értékek a vizsgált 13 évre az 5. mellékletben találhatók.

A diagramokat vizsgálva kijelenthető, hogy a legtöbb helyszínnél a becsült vízigénytől jelentősen elmarad a tényleges öntözés, aminek számos oka lehet. Az általam használt öntözési igény becslési módszer eredetileg mezőgazdasági növényekre vonatkozik, tehát a legnagyobb hozamú termelés fenntartásához szükséges vízmennyiséget adja meg. Városi növények esetén azonban elegendő, ha a növény egészségének és esztétikus megjelenésének megmaradásához szükséges mennyiségű vizet öntözünk. Ebből következően feltehető, hogy az általam használt becslési módszer felül becsüli az ideális vízmennyiséget.

		Bem József tér	
Dátum		Öntözött vízmennyiség [l/m ² /nap]	FAO számítás [l/m ² /nap]
2020.	október	0,99	0,72
	szeptember	4,01	4,77
	augusztus	4,40	4,77
	július	4,51	5,73
	június	3,46	3,25
	május	4,05	4,46
	április	0,52	4,97
	március	0,05	2,44

14. táblázat: Valós és számolt öntözési vízmennyiségek a Bem József tér esetén 2020-ban



26. ábra: Tényleges öntözött és a becsült vízmennyiségek viszonya egymáshoz a Bem József tér esetén

8. Következtetések

A dolgozatban bemutatott becslő módszer esetén is látszik, hogy empirikus összefüggések használatával nagy mértékű eltérések jelentkeznek a tényleges és becsült öntözési értékek között. Ennek oka az, hogy a vizsgált budapesti zöldfelületeken az öntözés nem tervezetten, hanem ad hoc jelleggel az esztétikai szempontokat figyelembe véve történik, továbbá az automata rendszer nincs mindenhol kiépítve, és ha ki is van építve, számos esetben nem működik megfelelően. Általában keveset öntöznek, azonban mivel nincs mindig kapacitás az öntözés felügyeletére, előfordul, hogy csapadékos idő esetén is működik öntözőrendszer. Ezzel együtt az is nehezítő körülmény, hogy a kiöntözött vízmennyiség egy része nem tud hasznosulni, ugyanis elszivárog vagy elpárolog.

Emellett égető probléma, hogy nincs még kiforrott módszer a városi zöldfelületek öntözési vízigényének meghatározására, szakmailag nincs megalapozva a lehetősége egy olyan öntözőrendszer létrehozásának, amely ezen vízigények alapján működik. A mezőgazdaságban már kifejlesztettek és alkalmaznak is ilyen módszereket a terményhozam maximalizálása és fenntartása érdekében, így ezeket megfelelő módosításokkal városi környezetbe is át lehetne emelni. Városüzemeltetés szempontjából egy ilyen öntözőrendszert be lehetne illeszteni a vízi közmű távvezérelt rendszerébe.

Az öntözési adatok összegyűjtése, rendszerezése segítségül szolgálhat a jövőben az öntözés optimalizálására irányuló számítások bemeneti adatainak beszerzéséhez. Az öntözési rendszer működésének vizsgálata lehetővé teszi az esetleges hibák és korszerűsítési lehetőségek feltárását. Az öntözési vízigény becslést a későbbiekben ki lehetne terjeszteni egész Budapestre, majd Magyarországra. Ennek segítségével pontos képet lehetne kapni arról, hogy a városi zöldfelületek mekkora részét képezik a városi vízfogyasztásnak.

Megfontolandó az öntözött talajokban talajnedvességmérők elhelyezése is. A talaj a típusától függően különböző mértékben képes megkötni a vizet, így egy jó vízmegkötő talaj esetén a növények számára akár napokon keresztül maradhat felvehető víz a gyökérzónában, így nem szükséges az öntözés. Ezzel jelentős mennyiségű víz megspórolására van lehetőség, ami az elkövetkezendő években egyre fontosabb lesz.

A zöldfelületekkel kapcsolatos vízfogyasztás becslése csapadéktározók méretezése szempontjából is fontos, ugyanis már Budapest Zöldinfrastruktúra Koncepciójában is

megemlítik célként a csapadékvíz-gazdálkodási rendszerek létesítését, amihez elengedhetetlen ismerni a zöldfelületek vízigényét.

A városi zöldfelületek öntözési igényének kutatását a jövőben lehetne más empirikus összefüggésekkel is folytatni, fel lehetne használni idősoros alapú tározóméretezéshez, illetve vizsgálni lehetne talajnedvességmérőkkel ellátott öntözőrendszer működését. Svédországban már van példa olyan fejlett öntözőrendszerre, ahol szenzorok lehelyezésével szereznek információkat a hőmérsékletről, talajnedvességről, sőt a talaj pH-járól, és ez alapján állítható a rendszer vezérlése. Hasonló módszerekkel Magyarországon is fejlettebbé és hatékonyabbá lehetne tenni a zöldfelületek öntözését.

9. Irodalom- és ábrajegyzék

Forrásjegyzék

- [1] „AR5 Climate Change 2013: The Physical Science Basis — IPCC”. Elérés: 2023. október 25. [Online]. Elérhető: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>
- [2] Hornyák S. J. 2023: A csapadékvíz-gazdálkodás szerepe a klímaadaptációban a környezeteszétika tükrében Szeged-Tápé példáján. Szeged, 2023.
- [3] L. Hoffmann, M. Lakatos 2019: Növekvő csapadékkénténzés, magasabb mértékadó csapadékok a változó klímában. Dialóg Campus Kiadó. Budapest, 2019.
- [4] Buzás K. 2015: Települési csapadékvíz-gazdálkodási útmutató. Vízügyi-gazdálkodási Terv 8-6 melléklet. Budapest, 2015.
- [5] „Csapadék szélsőségek változása - Hőmérséklet- és csapadéktrendek - met.hu”, Országos Meteorológiai Szolgálat. Elérés: 2023. október 28. [Online]. Elérhető: https://www.met.hu/eghajlat/eghajlatvaltozas/megfigyelt_hazai_valtozasok/homerseklet_es_csapadektrendek/csapadek_szelsosegek/
- [6] „Szárazodó Magyarország - LIFE-MICCAC projekt”. Elérés: 2023. október 26. [Online]. Elérhető: https://vizmegtartomgoldasok.bm.hu/hu/aktualitasok/szarazodo_magyarorszag
- [7] K. Kocsis 2018: *Magyarország Nemzeti Atlasza – Természeti környezet*. MTA CSFK Földrajztudományi Intézet. Budapest, 2018.
- [8] J. Lamond, G. Everett 2019: Sustainable Blue-Green Infrastructure: A social practice approach to understanding community preferences and stewardship. *Landsc. Urban Plan.* 2019.
- [9] H. Nouri, S. Beecham, A. M. Hassanli, F. Kazemi 2013: Water requirements of urban landscape plants: A comparison of three factor-based approaches. *Ecol. Eng.* 2013.
- [10] C. Brouwer, M. Heibloem 1986: *IRRIGATION WATER MANAGEMENT Training manual no. 3*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1986.
- [11] H. Nouri, S. Beecham, F. Kazemi, A. M. Hassanli 2013: A review of ET measurement techniques for estimating the water requirements of urban landscape vegetation. *Urban Water J.* 2013.
- [12] M. Trejo-Perea, J. G. Rios-Moreno, G. Herrera-Ruiz, A. A. Feregrino-Pérez, I. Torres-Pacheco, R. G. Guevara-Gonzalez 2018: Chapter 1 - Role of Biotechnology in the Agrofood Industry. *Advances in Biotechnology for Food Industry*. Handbook of Food Bioengineering. Academic Press. 2018.
- [13] J. Doorenbos, P. W.O. 1977: *Guidelines for predicting crop water requirements*, kiad. in FAO Irrigation and Drainage Paper, no. 24. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 1977.
- [14] F. H. S. Chiew, N. N. Kamaladasa, H. M. Malano, T. A. McMahon 1955: Penman-Monteith, FAO-24 reference crop evapotranspiration and class-A pan data in Australia. *Agric. Water Manag.* 1995.
- [15] A. H. Azhar, B. J. C. Perera 2011: Evaluation of Reference Evapotranspiration Estimation Methods under Southeast Australian Conditions. *J. Irrig. Drain. Eng.* 2011.
- [16] I. A. Walter és mtsai 2001: ASCE’s Standardized Reference Evapotranspiration Equation. *Watershed Management and Operations Management 2000*. American Society of Civil Engineers. Fort Collins, Colorado, United States, 2001.
- [17] P. Richter 2009: A levélfelületi index mérése és modellezése. Eötvös Loránd Tudományegyetem. Budapest, 2009.
- [18] L. Pan, Y. Zhao, T. Zhu 2023: Estimating Urban Green Space Irrigation for 286 Cities in China: Implications for Urban Land Use and Water Management. *Sustainability*. 2023.

- [19] K. Dr. Buzás, L. Varga, M. Dr. Honti 2022: Optimális, fajlagos tároló térfogatok meghatározása. Tetővíztárolók méretezése segédlet. 2022.
- [20] „A FŐKERT jelene – FŐKERT – A BKM Nonprofit Zrt. FŐKERT Kertészeti Divízió hivatalos weboldala”. Elérés: 2023. október 21. [Online]. Elérhető: <https://www.fokert.hu/a-fokert-jelene/>
- [21] „Termesztés, árusítás – FŐKERT – A BKM Nonprofit Zrt. FŐKERT Kertészeti Divízió hivatalos weboldala”. Elérés: 2023. október 21. [Online]. Elérhető: <https://www.fokert.hu/termesztes-arusitas/>
- [22] B. Decsi, Á. Vári, Z. Kozma 2020: The effect of future land use changes on hydrologic ecosystem services: a case study from the Zala catchment, Hungary. *Biol. Futura*. 2020.

Ábrajegyzék

- 1.ábra: Nyári napi csapadékkintenzitás változása az évek során
- 2.ábra: Éves csapadékösszegek változása Magyarországon
3. ábra: Magyarország vízforgalmi mérlege
- 4.ábra: Green Space Irrigation Water Requirement Model adatfeldolgozásának és becslési folyamatának vázlata
- 5.ábra: Kongresszusi központ
6. ábra: Jakobinusok tere
- 7.ábra: Bem József tér
- 8.ábra: Bem rakpart
- 9.ábra: Lipthay utca
- 10.ábra: Bécsi kapu tér
- 11.ábra: Clark Ádám tér közepe
- 12.ábra: Clark Ádám tér – Öntőház utca
- 13.ábra: Clark Ádám tér – Lánchíd utca
- 14.ábra: Dísz tér
- 15.ábra: Tóth Árpád sétány
- 16.ábra: Helyszínek térképi ábrázolása
- 17.ábra: Havi csapadékösszeg [mm/hónap] – kiöntözött vízmennyiség [l/m^2 /hónap] kapcsolata az összes helyszínt tekintve
- 18.ábra: Havi átlagos napi hőmérséklet [$^{\circ}C$] – kiöntözött vízmennyiség [l/m^2 /nap] kapcsolata az összes helyszínt tekintve

19.ábra: 30°C vagy annál magasabb maximális hőmérsékletű napok száma [db/hónap] - kiöntözött vízmennyiség [$l/m^2/nap$] kapcsolata az összes helyszínt tekintve

20.ábra: Havi potenciális párolgás [mm/hónap] – kiöntözött vízmennyiség [$l/m^2/nap$] kapcsolata az összes helyszínt tekintve

21.ábra: Havi potenciális párolgás és havi csapadékösszeg különbség [mm/hónap] – kiöntözött vízmennyiség [$l/m^2/nap$] kapcsolata az összes helyszínt tekintve

22.ábra: Havi potenciális párolgás [mm/hónap] – kiöntözött vízmennyiség [$l/m^2/nap$] kapcsolata illesztett lineáris trendvonalal

23.ábra: Havi potenciális párolgás és havi csapadékösszeg különbség [mm/hónap] – kiöntözött vízmennyiség [$l/m^2/nap$] kapcsolata illesztett lineáris trendvonalal

24.ábra: Havi átlagos napi hőmérséklet [°C] – kiöntözött vízmennyiség [$l/m^2/nap$] kapcsolata az összes helyszínt tekintve az exponenciális görbével együtt

25.ábra: Havi átlagos napi hőmérséklet [°C] – kiöntözött vízmennyiség [$l/m^2/nap$] kapcsolata az összes helyszíntre külön illesztett exponenciális görbével együtt

26.ábra: Tényleges öntözött és a becsült vízmennyiségek viszonya a Bem József tér esetén

Táblázatjegyzék

1.táblázat: Klíma hatása a vízigényre

2.táblázat: Városi gyepek átlagos napi vízigénye [mm]

3.táblázat: Vizsgált zöldterületek

4.táblázat: Helyszínek zöldfelület típusai

5.táblázat: Vizsgált zöldterületek nagysága

6. táblázat: Mérőállomások adatai

7.táblázat: Módosító tényezők egyszerűsítése

8.táblázat: Zöldfelület típusokra vonatkozó módosító tényezők

9.táblázat: Átlagos éves kiöntözött vízmennyiség és becsült vízigény helyszínenként

10.táblázat: Évi átlagos és a 2020-as öntözési vízmennyiségek helyszínenként

11. táblázat: Bem József téren (2020) fajlagosan öntözött vízmennyiségek

12.táblázat: Átlagos éves összes és fajlagos becsült öntözési igény az összes helyszíntre

13.táblázat: Számolt öntözési vízigény adatok a Bem József térre

14.táblázat: Valós és számolt öntözési vízmennyiségek a Bem József tér esetén 2020-ban