

Tudományos Diákköri Konferencia Dolgozat

**A mosonmagyaróvári szennyvíztisztító telep szélsőséges
időjárási jelenségek és zivatarok miatti
terhelésnövekedésének vizsgálata**

Készítette:

LÁSZLÓFFY MÁRTON

Belső konzulens: Dr. habil. Zseni Anikó

Külső konzulens: Szabó László

Széchenyi István Egyetem

Albert Kázmér Mosonmagyaróvár Kar

Alkalmazott Fenntarthatóság Tanszék

Környezetmérnök szak

Mosonmagyaróvár

2024

Tartalomjegyzék

Absztrakt	3
1. Bevezetés.....	4
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1 A Kisalföld éghajlatának bemutatása	5
2.2 A csatornázás bemutatása	7
2.3 Egyesített és elválasztott csatornahálózat.....	8
2.4 A csapadékvíz és szennyvíz elvezetésének történeti áttekintése Mosonmagyaróváron...	9
2.5 Mosonmagyaróvár csatornahálózatának működése	11
2.6 A mosonmagyaróvári szennyvíztisztító telep (Főgyűjtő) bemutatása.....	12
2.7 Iszapvonali technológia.....	13
3. Anyag és módszer.....	16
4. A mosonmagyaróvári csapadékadatok elemzése.....	18
4.1 Az éves és havi csapadékadatok bemutatása.....	18
4.2 A téli-nyári csapadékmennyiségek összehasonlítása.....	20
4.3 Az aszályos időszakok vizsgálata.....	22
4.4 Az extrém csapadékok vizsgálata.....	23
4.5 A csapadékesemények és a szennyvíztisztító telepre érkező szennyvíz mennyisége közti kapcsolat vizsgálata.....	24
5. Javaslatok	29
6. Összegzés	30
Irodalomjegyzék.....	31
Táblázatjegyzék.....	33
Ábrajegyzék	34

Absztrakt

A dolgozat a mosonmagyaróvári szennyvíztisztító telep terhelése és a településen lehulló csapadék mennyisége közti összefüggéseket vizsgálja. A szennyvíztisztító telep jelenlegi paramétereivel 2014 januárja óta működik. Az azóta eltelt időszakban jelentősen megemelkedett a lakosság száma és a szélsőséges időjárási események, ezzel együtt a hirtelen lezúduló csapadékmennyiségek gyakorisága is. Habár a városban és a szennyvízelvezetési agglomeráció másik három településén elválasztott rendszerű csatornahálózat működik, a tapasztalatok alapján esős időszakokban, különösen a hirtelen lezúduló, nagymennyiségű csapadékok esetében olyan terhelésnövekedés alakul ki a szennyvíztelepen, amely a telep energiaszükségletének jelentős növekedését is okozza. A dolgozat célja, hogy feltárja a klímaváltozás következtében előálló többlet csapadékterhelés hatását és annak várható gyakoriságát a mosonmagyaróvári szennyvíztisztító telepre, valamint megoldási javaslatokat fogalmazzon meg a feltárt problémákra. Az adatfeldolgozás során a mosonmagyaróvári meteorológiai állomás napi csapadékadatait 2000. január - 2024. szeptember, a mosonmagyaróvári szennyvíztisztítótelep napi befolyó szennyvízmennyiség adatait 2014. január - 2024. szeptember közötti időszakra vonatkozóan vizsgáltam meg, a két adathalmaz közti összefüggéseket pedig az elmúlt 10 évre vonatkozóan tártam fel. A kutatás részeként elvégeztem a napi csapadékadatok és a szennyvíztisztító telep terhelési adatainak statisztikai elemzését és kiértékelését, valamint azonosítottam a szélsőséges időjárási időpontokat Mosonmagyaróvár területén. Az extrém időjárási események beazonosítása után az időpontokat összevetettem a befolyó szennyvízterhelés adatsorával, felfedve az extrém csapadékhullás és a szennyvíztisztító telep terhelésének változása között kapcsolatokat. Az elemzések alapján megállapítható, hogy egyértelmű kapcsolat van a nagy mennyiségű csapadék lehullása és a telep megnövekedett terhelése között.

1. Bevezetés

Dolgozatomban Mosonmagyaróvár város szennyvíztisztító telepének terhelését vizsgálom extrém csapadékos időjárás esetén. Az elmúlt évek megfigyelései alapján egyre gyakrabban fordulnak elő olyan hirtelen zivatarok, amelyek hatalmas mennyiségű csapadékot zúdítanak le. Ezek az extrém események túlterhelik a város esővízelvezető rendszereit, amik nem tudják megfelelő sebességgel a lehulló csapadékot elvezetni, és ezzel veszélyesebbé teszik vagy ellehetetlenítik a közlekedést a város egyes területein. További problémát jelent, hogy a szennyvíztisztító telep sem tud minden esetben megbirkózni a hirtelen megnövekedett terheléssel.

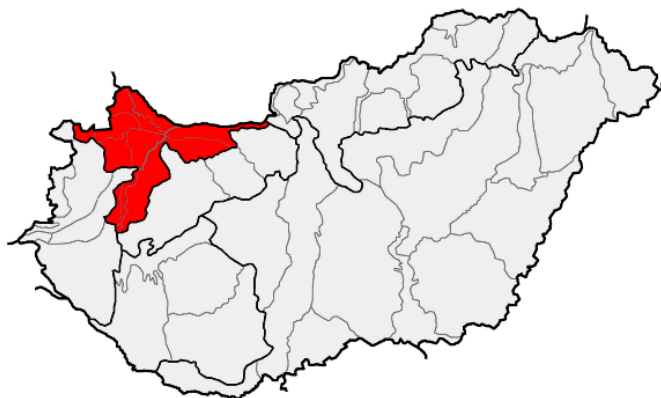
A dolgozatban bemutatom az éves lehullott csapadékmennyiség változását és a napi adatok alapján annak időbeli eloszlásának változását, a téli-nyári csapadékmennyiségek változását egymáshoz viszonyított arányát. Megvizsgálom továbbá a száraz időszakok gyakoriságát és hosszát, valamint az extrém csapadékhullások előfordulásait. Az adatok elemzésével feltárom a lehullott csapadékmennyiség és a szennyvíztisztítótelepre befolyó vízmennyiség kapcsolatát.

A vizsgálatok helyszínéül azért választottam Mosonmagyaróvárt és a mosonmagyaróvári szennyvíztisztító telepet, mert szakmai gyakorlatomat a szennyvíztisztító telepet üzemeltető AQUA Szolgáltató Kft.-nél töltöttem, valamint Mosonmagyaróváron élek.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1 A Kisalföld éghajlatának bemutatása

Kisalföld - régebben Pozsonyi-medence - a szlovák Duna-menti-alföldet, a magyarországi Kisalföldet és az osztrák Seewinkel tájegységet magába foglaló földrajzi terület. Ezen tájak összterülete 9000 km², melyből 4000 km² tartozik Magyarországhoz. Az 1. ábrán pirossal jelzett Kisalföld hazánk legészaknyugatabban elhelyezkedő tája. A Kisalföld Magyarország második legnagyobb alföldje (web-1). Magyarországon az időjárást 3 éghajlat hatásainak kombinációja határozza meg: **nedves** óceáni, száraz kontinentális és mediterrán (Harnos et al., 2008). A táj elhelyezkedésből adódóan közelebb helyezkedik el az Atlanti-óceánhoz, így az óceáni éghajlati hatások erősek a régióban. Ennek következtében gyakrabban borús az idő, kisebb a hőingás és egyenletesebb a csapadékeloszlás az ország más területeihez viszonyítva (web-1). A térségre jellemző a gyakori és erős szeles időjárás is, ami a Dévényi-Kapu közelségének köszönhető.



1. ábra: A Kisalföld elhelyezkedése Magyarország területén (forrás: Wikipédia)

A Kisalföld főbb tájegységei közé tartozik a Szigetköz. A terület – amelyet a 2. ábra jelöl – az ország északnyugati csücskében helyezkedik el, a Duna és a Mosoni-Duna, valamint a Lajta között húzódó területet foglalja magába (ÉDUVIZIG, 2010).

A Szigetköz alegység a Duna kisalföldi hordalékkúpjának gerincén helyezkedik el, és egy szigetekkel, zátonyokkal és folyóágakkal tagolt árteret foglal magába (web-1). Az egész Szigetköz vízháztartása jelentősen függ a Duna vízjárásától, annak közvetlen tájalkító hatása az egész Szigetközben és egyéb határoló területeken, egészen a Mosoni-Duna vonaláig észlelhető (ÉDUVIZIG, 2010). A Szigetközben a mérsékelt meleg nyarak és a száraz nyelvek a jellemzőek. A napsütés évi átlaga 1900 és 2000 óra között mozog, ez az érték nyáron

770 óra, télen pedig 190 óra környéki értéket képvisel. Az évi középhőmérséklet $9,5^{\circ}\text{C}$ körül alakul, tenyészidőszakban $16,0$ és $16,5^{\circ}\text{C}$ közötti az átlaghőmérséklet. Április és október közepe között a napi középhőmérséklet meghaladja a 10°C -ot, és fagypont alá nem csökken a hőmérséklet. Az éves csapadékösszeg általában 650 mm körüli, a tenyészidőszakban 330 mm, a téli félévben 253 mm körül alakul. A legcsapadékosabb hónap a június és a július (átlag 72 mm), a legkevesebb csapadék januárban hullik (ÉDUVIZIG, 2010).



2. ábra: Szigetköz elhelyezkedése (forrás: ÉDUVIZIG, 2010)

A Kisalföld egy másik tájegysége a Mosoni-síkság (a 3. ábrán piros színnel jelölve), ami egy mély fekvésű, folyóvízi hordalékkal feltöltött termékeny terület (web-1). Mosonmagyaróvártól északnyugatra és délkeletre két területet foglal magába az osztrák-magyar, illetve a szlovák-magyar határ közelében. Területe $43,1$ km², a jellemző tevékenységek a vadászat, a mezőgazdálkodás és az erdőgazdálkodás (web-3).



3. ábra: A Mosoni-sík pirossal jelölve Magyarország térképén (forrás: Wikipédia)

Ennek a síknak fővárosa Mosonmagyaróvár (elhelyezkedését a 4. ábrán láthatjuk), ami Győr és Sopron után a 3. legnagyobb város Győr-Moson-Sopron vármegyében. A város jelenleg 34195 lakosnak ad otthont (KSH, 2023). Az ország észak-nyugati csücskében elhelyezkedő város az átlagosnál kevesebb napos órával dicsekedhet, mint hazánk egyéb tájai, 2012-ben és 2013-ban az ország legsötétebb városa volt Mosonmagyaróvár (web-4).



4. ábra: Mosonmagyaróvár elhelyezkedése Magyarország térképén (forrás: google maps saját képkivágás)

2.2 A csatornázás bemutatása

A csatornázás használata régi időkre nyúlik vissza, már az ókori népek, mint például a rómaiak is használták. De a használat módja sokat változott az azóta eltelt idők folyamán. Az 1900-as évek elején az európai nagyvárosokban az éjjeli edények tartalmát még az utcákra ürítették. Szerencsére ma már nem ez a helyzet. Sokkal higiénikusabb és egészségügyi szempontból biztonságosabb elv alapján működő, zárt szelvényeket alkalmazó, hidraulikai rendszer szállítja el a termelőtől a tisztítóba a szennyvizet. Ezen módszerrel gyűjtött szennyvizet korábban tisztítás nélkül a közeli vízfolyásokba vezették. A felszíni vízfolyások elszennyeződése miatt azonban szükségessé vált azok megtisztítása a befogadóba való engedés előtt, és ez a különféle szennyvíztisztítási technológiák kialakulásához és elterjedéséhez vezetett. A csatornák építése során nehéz, mélyépítési típusú, költséges technológiát kell alkalmazni, és a megépített állapot fenntartása is többletköltségekkel jár, mint például a csatornák karbantartása és tisztítása.

Napjainkban már szigorú jogszabályok határozzák meg a közcsonahálózatba engedhető szennyvíz minőségét. A csatornahálózatot pedig úgy kell üzemeltetni, hogy a szennyvíz a tisztítótelepre tudjon érkezni, mielőtt elkezd rothadni. A csatornahálózatnak többféle műszaki és gazdasági elvárásoknak is meg kell felelnie, egy így tervezésekor több szempontra – gazdaságossági követelmények, hidraulikai és szilárdsági méretezés, vízszintes és magassági vonalvezetés – is szükséges odafigyelni. A szennyvízcsatornahálózatok alapját alkotó létesítményegységek közé több létesítmény, úgymint aknák, víznyelők, csatlakozások, elágazások, zsír- és olajfogók, záporkiömlők, elzárószilipek, átemelők, szennyvíztározók tartoznak (Szabó, 2021).

2.3 Egyesített és elválasztott csatornahálózat

Attól függően, hogy a keletkezett szennyvizet és lehullott csapadékvizet együtt vagy elkülönítve vezetik el, 2 csatornahálózat-típust különböztetünk meg: egyesített és elválasztott rendszerek. Van egy harmadik, úgynevezett hibrid megoldás, a vegyes csatorna. Ez az egyesített és elválasztott csatornarendszer ötvözte, ami egy településen belül viseli magán mindkettő előnyeit, hátrányait (Pálné, 2007).

Egy szennyvízelvezetőrendszer megtervezése során fontos figyelembe venni a helyi adottságokat és a gazdaságossági szempontokat. A következő bekezdésben ismertetem az egyesített gravitációs illetve az elválasztott gravitációs csatornahálózat előnyeit és hátrányait, ezzel egy összehasonlítást végezve.

Az egyesített rendszer az úgynevezett hagyományos csatornarendszer, amely a szennyvizet és az időszakosan keletkező, volumenben jelentősen nagyobb csapadékot szállítja ugyanazon csőrendszerben. A főgyűjtő vezetékek ennél a típusnál nagy átmérőjű elemekből épültek, megelőzve a hálózat túlterhelésének bekövetkezését. Ez a rendszer csak gravitációs üzemben működhet.

Előnyei közé tartozik, hogy a hidraulikai viszonyoknak köszönhetően könnyű üzemeltetni, megkönnyíti az épületek hálózatba kapcsolását, nagyobb vezeték méretéből adódóan nagyobb vezetési biztonságot tud nyújtani. Kisebb az egy vezeték helyigénye, ebből adódóan annak fenntartása kisebb költséggel megvalósítható.

Hátrányai között tartjuk nyilván, hogy a mai környezetvédelmi előírásoknak nem felel meg a befogadóba érkező keverékszennyvíz, a szennyvíztisztítótelep terhelése kiegyenlítetlen, és az időszakos csapadék miatt túl is terhelődhet. A hidrológiai viszonyok kedvezőtlen alakulása megnöveli a lefolyási időt, ami rothadáshoz és pangáshoz, ez pedig a rendszer eliszapolódásához vezethet (web-2). A téli időszakban alkalmazott vegyszerek, melyek az út

csúszásmentességéért felelnek, sok gondot okozhatnak a szennyvíztelepeken. Problémát okozhat még az utakról bevezetett csapadékvizek eltérő mértékű szennyezettsége, ami attól is függ, hogy milyen szennyezést mos magával be (Magyar Hidrológiai Társaság, 1973).

Az elválasztott rendszerű csatornahálózatok külön gyűjtik a szennyvizet és a csapadékvizet. A szennyvíz minden esetben felszín alatti csőhálózatban kerül elvezetésre, a csapadékvíz elvezetése akár árokrendszerrel is megoldható. Általában azonban az úttest alá építik a két csővezetékét. A szennyvíz a tisztítótelepre érkezik, de a csapadékvíz a szennyvíztelepet kikerülve a befogadóba vezetődik. Ez az elvezetési módszer korszerűbb és környezetvédelmi szempontokból kedvező. A kisebb szelvénykiépítéssel kiegyenlítettebb a szennyvíztisztító terhelése, és kiegyensúlyozottabbá teszi a hidraulikai viszonyokat, ami csökkenti az eliszapolódás veszélyét. Kis méretéből adódóan közműalagútban is elvezethető. A rendszer hátránya azonban, hogy a kellő öblítési hatásfok eléréhez intenzívebb lejtéssel kell rendelkeznie, mint az egyesített rendszereknek. Emiatt sűrűbben szükséges átemelőket létesíteni a csatorna hosszában. Építési költségei magasabbak, mint az egyesített rendszereké és karbantartása is költségesebb.

Összesítve az egyesített csatornahálózat megépítése, karbantartása és nyilvántartása egyszerűbb, mint az elválasztott rendszerűé. Azonban könnyebben eliszaposodhat a rendszer a nagyméretű csatornaelemek kis lejtést megengedő szerkezete miatt, és könnyebben alakul ki benne pangás valamint eliszapolódás. Extrém csapadékos időjárás esetén túlterhelést okoz a szennyvíztisztító telepen.

Ezzel szemben az elválasztott rendszerű csatornahálózat kiépíthető közműalagútba, mert kisebb átmérőjű csöveket enged használni. Segít kiegyensúlyozottá tenni a szennyvíztisztító terhelését. Biztosítani tudja a kellő lejtést, így az eliszapolódás, rothadás illetve pangás bekövetkezésének lehetősége alacsony. Összesítve az a konklúzió vonható le, hogy a szennyvíztisztítás gazdaságosságának szempontjából az elválasztott rendszerű hálózat optimálisabb.

2.4 A csapadékvíz és szennyvíz elvezetésének történeti áttekintése Mosonmagyaróváron

Mosonmagyaróváron 1994 óta az AQUA Szolgáltató Kft. végzi a csapadék és szennyvíz elvezetését. Ekkor vált függetlenné a Győri Vízműtől, és lett Mosonmagyaróvár város önkormányzatának tulajdona. 1995-ben Levél és Hegyeshalom, majd 2010-ben Máriakálnok és Halászi települések önkormányzatai csatlakoztak a tulajdonosok körébe.

1995-től állami pénzeszközök segítségével megindult a város csatornahálózatának fejlesztése és megvalósult a szennyvíztisztító felújítása. Ezek a beruházások az AQUA Szolgáltató Kft. felügyeletével zajlottak, így lehetőség volt a megfelelő üzemeltetéshez szükséges üzemeltetői elvárások érvényesítésére, megfelelő minőségű és költségtakarékos beruházások megvalósítására. Magyarország 2004-es Európai Unióba történő belépésekor elfogadta az Európai Unió által elvárt környezetvédelmi követelményeket, és vállalta, hogy az előírásoknak megfelelően felzárkózik. Mosonmagyaróvár város önkormányzata 2011-ben elindított egy projektet egy KEOP pályázat segítségével. A pályázatnak köszönhetően képes volt egy olyan új telepet létrehozni, amely a beérkező tisztítatlan szennyvíz megnövekedett szervesanyagtartalma jelentette terhelést megfelelően tudta kezelni. Ez a telep biztosította a kifolyó tisztított víz jogszabályoknak való megfelelését. A 2014 októberében átadott szennyvíztisztító telep Mosonmagyaróvár, Halászi, Máriakálnok, Levél és Mosonudvar települések szennyvizét képes a legmagasabb elvárásoknak megfelelően kezelni. Az 5. ábrán a mosonmagyaróvári víztorony építésének egy pillanatfelvétele látható 1986-ból.



5. ábra: A mosonmagyaróvári víztorony (forrás: AQUA Szolgáltató Kft. honlapja)

Ugyan az 1910-es években megindult a város csatornahálózatának kiépítése, 80 évvel később, 1990-ben a város csatornázottsága még csak 40%-os volt. A közel 100%-os csatornázottságot a 2002-2004 közötti időszakban sikerült elérni, azóta pedig a frissen épülő lakótelepeket sikeresen becsatolják a hálózatba. Az 1. táblázat adatai mutatják a város és ezzel együtt a csatornahálózat bővülését 2014-től napjainkig.

Magyarország 2004-es Európai Unióba történő belépésekor elfogadta az Európai Unió által elvárt környezetvédelmi követelményeket, és vállalta, hogy az előírásoknak megfelelően felzárkózik. Mosonmagyaróvár város önkormányzata 2011-ben elindított egy projektet egy

KEOP pályázat segítségével. A pályázatnak köszönhetően képes volt egy olyan új szennyvíztisztító telepet létrehozni, amely a beérkező tisztítatlan szennyvíz megnövekedett szervesanyagtartalma jelentette terhelést megfelelően tudta kezelni. Ez a telep biztosította a kifolyó tisztított víz jogszabályoknak való megfelelését. A 2014 októberében átadott szennyvíztisztító telep Mosonmagyaróvár, Halászi, Máriakálnok és Levél települések szennyvizét képes a legmagasabb elvárásoknak megfelelően kezelni.

1. táblázat: Mosonmagyaróvár szennyvízelvezetésének adatai (forrás: KSH adatok alapján saját szerkesztés)

Időszak	Lakásállomány (db)	Közcatornahálózat hossza (km)	Szennyvízgyűjtő- hálózatba újonnan bekapcsolt lakások száma (db)	Szennyvízhálózatba kapcsolt lakások száma (db)
2014	14281	148,2	51	13599
2015	14334	150,6	266	13865
2016	14406	150,9	484	14349
2017	14837	151,1	448	14795
2018	15014	151,1	249	15014
2019	15158	151,7	307	15158
2020	15516	153	169	15515
2021	15676	155,8	177	15676
2022	16340	155,8	194	15882
2023	16575	159,3	99	15980

2.5 Mosonmagyaróvár csatornahálózatának működése

A mosonmagyaróvári csatornahálózatot és a szennyvíztisztítótelepet az AQUA Szolgáltató Kft. jogi személy üzemelteti. A szennyvízelvezető rendszer a város földrajzi adottságait kihasználva gravitációsan juttatja el a szennyvizet a befogadóba, elválasztott csatornarendszerben. A Mosonmagyaróvári Szennyvíztisztítótelep – a továbbiakban a dolgozatban Főgyűjtő – 2014. január 21-től fogadja és kezeli a 2. táblázatban feltüntetett települések szennyvizét. Ahogy az 2. táblázatban látható, nem minden településen 100%-os a csatornázottság, ami annak a következménye, hogy az újonnan épülő ingatlanok nem kerülnek bekötésre egyből, vagy olyan helyen épülnek, ahol nincs szennyvízcsatorna. Ezekben az esetekben szippantott szennyvíz keletkezik (Szabó, 2014).

2. táblázat: A Mosonmagyaróvári Főgyűjtő kezelési körzetébe tartozó települések csatornázottsága (forrás: KSH 2023-as adatai alapján saját szerkesztés)

Csatornázott települések neve	Csatornázottsági szint (%)
Mosonmagyaróvár	96
Halászi	82,4
Levél	75
Máriakálnok	100

A Főgyűjtőhöz tartozó csatornahálózat hasonló elven működik, mint a folyók és a hozzájuk tartozó vízgyűjtő területek. A vízgyűjtő területnek az egy szennyvízátemelő egységhez tartozó terület minősül. Az AQUA Szolgáltató Kft. üzemterületén jelenleg 63 átemelő van kiépítve - azaz 63 (szenny)vízgyűjtő terület van Mosonmagyaróváron és az ellátott környező településeken. Ezekre az átemelőkre azért van szükség, mert gravitációs csatornahálózat van kiépítve a városban, és a folyamatos lejtés miatt egyre mélyebbre kell helyezni a csöveket. Egy idő után azonban már túl költséges lenne a megfelelő lejtés biztosításához szükséges mélységbe fektetni a csatornát. Ezért szennyvízátemelő szivattyúkat építettek a rendszerbe, amelyek segítségével „fel lehet hozni” a szennyvizet, és újból a felszín közelből elindulhat a csatorna a szükséges lejtéssel.

A csatornák csőanyaga többségében műanyag, de vannak a hálózatban KG-PVC-ből és betonból készült szakaszok is. Az átlagos csatornaátmérő 200 mm, illetve a rendszerben uralkodó nyomás 4-5 bar között mozog.

2.6 A mosonmagyaróvári szennyvíztisztító telep (Főgyűjtő) bemutatása

A négy település szennyvize két módon tud megérkezni a szennyvíztisztító telepre: közcsatornahálózaton és tengelyen szippantó gépjárművel. A szennyvíz megfelelő tisztítás és kezelés után sodorvonali bevezetéssel a Mosoni-Dunába kerül.

A nyers szennyvíz gravitációs vezetéken érkezik meg a durva, 30 mm pálcaközü rácshoz, ami a telepi szennyvízátemelőt előzi meg. A telep kettő ilyen gépi ráccsal rendelkezik, amelyek egyenként 860 m³/h-s terhelést képesek fogadni. A durva rács megszűri a befolyó szennyvizet a nagyméretű hulladékoktól, a kiszűrt szemetet pedig konténerben gyűjtik, és annak megtelése esetén elszállítatják.

Ezt követően egy finom rácson is keresztül folyik a szennyvíz, ami ezután a homok- és zsírfogó műtárgyhoz érkezik. A szennyvíz a homokfogó után egy vályúszakaszba érkezik, ahonnan egy mennyiségmérő és egy motoros zsilip segítségével kerül a biológiai vonalra. Az osztóműtárgyról gravitációs módon folyik a szennyvíz a C-TECH típusú biológiai reaktorokba.

Ez a típusú reaktor biológiai foszforeltávolítást végez szimultán vegyszeradagolással. A reaktorterek speciális kialakításának, a gondosan tervezett üzemelési ciklusoknak és recirkulációnak köszönhetően az eleveniszap mennyisége állandó.

A 6. ábra a szennyvíztisztító telep miniatürizált modellje, amin sárga színnel jelölve a C-TECH biológiai reaktorok is láthatók. Alaphelyzetben ezek a reaktorok napi 6 ciklusban működnek, ezek a következők:

- 1. töltési, levegőztetési ciklus,
- 2-3. levegőztetési-anoxikus (szimultán, intermittáló denitrifikáció) ciklus,
- 4. üleptési ciklus,
- 5. dekantálási és fölősiszap elvételi ciklus.

Ezt követően a tisztított szennyvíz a Parshall-csatornán keresztül eljut a Mosoni-Dunába.



6. ábra: A mosonmagyaróvári szennyvíztisztító telep modellje (forrás: AQUA Szolgáltató Kft. honlapja)

2.7 Iszapvonalai technológia

Azonban itt még nem ér véget a szennyvíztelep tevékenysége. Az előülepítőben és a biológiai reaktorokban keletkezett iszapot szivattyúval egy 350 m³-es iszaphomogenizálóba helyezik. A homogenizálás után iszapsűrítés következik, amelyet polielektrolit iszaphoz keverésével és egy sűrítógép segítségével valósítanak meg. A sűrítés során keletkezett csurgalékvizet a rendszer elejére vezetik vissza, ahol szükség szerint hozzáadják a befolyó szennyvízhez. A sűrített iszapot pedig összegyűjtik, és az iszaprohasztóba juttatják csigaszivattyú segítségével.

Az iszaprothasztó tornyok rozsdamentes acélból készült WELTECH típusú mezofil iszaprothasztók (7. ábra). A keletkezett biogáz a szennyvíztisztítótelepen felhasználásra kerül. A biogázt az 8. ábrán látható gázmotor használja fel üzemanyagként, áram termelésére.



7. ábra: WELTECH mezofil iszaprothasztók piros színnel bekarikázva (forrás: Szabó László főmérnök fotója alapján saját szerkesztés)



8. ábra: Gázmotor a szennyvíztisztító telepen (forrás: Szabó László főmérnök fotója)

A megtermelt áram a telep energiaigényének 85%-át fedezi. Innen a kirohasztott iszap csigaszivattyúval a kigázosító medencébe kerül, ahol a medence légterét egy aktívszenes szűrőn keresztül szellőztetik ki. Ezután a kigázosított iszap DEWA típusú szalagszűrő présre kerül. Az itt keletkezett magas szárazanyag-tartalmú iszap egy Solar csarnokba kerül. Ide automatikus üzemmódban, ferdetengelyű csigán érkezik meg az iszap, amit ezek a csigák egyenletesen elosztanak a szárító területén. A szétterített iszapot önjáróüzemű terítő-forgató berendezés forgatja a folyamatos és hatékony szárítás érdekében. Végül a száraz iszapot elszállítják a telepről (Szabó, 2014).

3. Anyag és módszer

A dolgozatban a mosonmagyaróvári meteorológiai állomás és a mosonmagyaróvári AQUA Szolgáltató Kft. által rendelkezésemre bocsátott adatokat használtam. A meteorológiai állomás csapadékkal kapcsolatos adatait Dr. Varga Zoltán egyetemi docens révén sikerült megszerezni. Az adatsor 2000. január 1-től 2024. szeptember 31-ig tartalmazza a napi lehullott csapadékmennyiségeket (ezeket az adatokat a 9. és 10. ábrán látható eszközzel mérték a szakemberek).



9. ábra: A manuális csapadékmérő műszer a mosonmagyaróvári meteorológiai állomáson (forrás: Zseni Anikó fotója)



10. ábra: Az automata meteorológiai állomás, benne a csapadékmérő műszerrel a mosonmagyaróvári meteorológiai állomáson (forrás: saját fotó)

Mosonmagyaróvár város szennyvíztisztító telepének terhelési adatait Szabó László főmérnök segítségével sikerült megszerezni. Ez a sor 2014. január 21-től 2024. szeptember 10-ig tartalmazza a szennyvíztisztító napi terhelési adatait m³-ben, valamint a napi működéshez szükséges elhasznált energiamennyiséget is tartalmazza kWh-ban. Továbbá rendelkezésemre bocsátották Levél település fő átemelőjének napi terhelési adatait 2022-2024 között, Máriakálnok fő átemelőjének napi terhelési adatait 2018-2024 között, Mosonmagyaróvár legnagyobb terhelését viselő Ligeti szennyvízátemelő napi terhelési adatait 2018-2024 között, és a második legnagyobb terhelést viselő Kender utcai szennyvízátemelő napi terhelési adatait 2020-2023 között.

Az említett adatsorokat csv excel fájlformátumban kaptam meg. Így adott volt, hogy adatsorokat az excel táblázatkezelő számítógépes programban elemeztem és értékeltem ki. A kiértékelés során a napi csapadékadatokból havi összegeket, átlagokat és maximumokat számoltam, az időbeli változások kimutatásához trendvonalakat illesztettem. Elkülönítettem és vizualizáltam az aszályos és az extrém csapadékos időszakokat. A csapadékadatokat ezután összevetettem a szennyvíztisztító telep terhelési adataival.

4. A mosonmagyaróvári csapadékadatok elemzése

Mosonmagyaróvár hazánk északnyugati csücskében helyezkedik el, ezért az óceáni éghajlat hatása erősebben befolyásolja a lehullott csapadék mennyiségét a városban és környékén, mint az ország más területein. A következő részben bemutatom azokat az adatokat és összefüggéseket, melyeket a nyers adatok felhasználásának eredményeként kaptam.

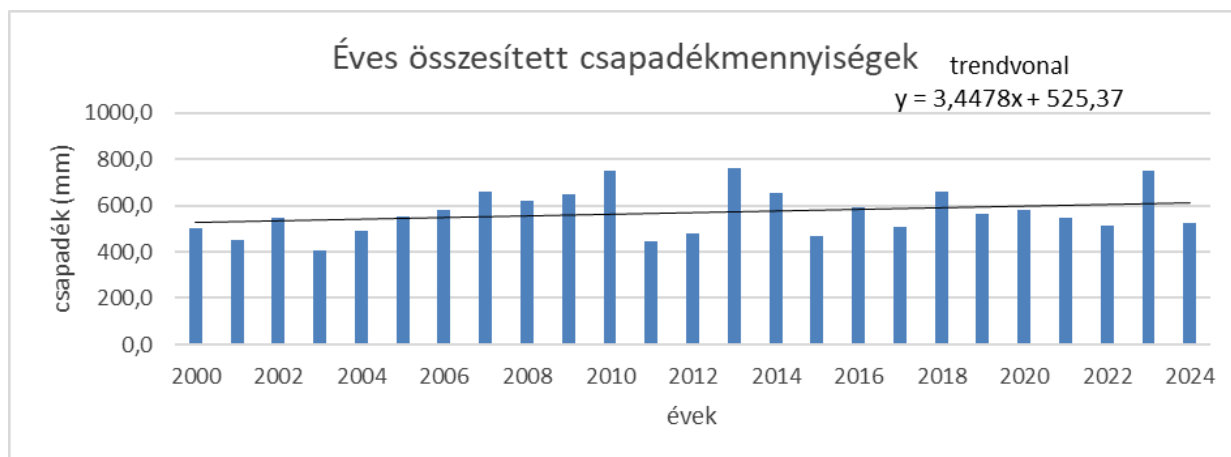
4.1 Az éves és havi csapadékadatok bemutatása

A 3. táblázatban a vizsgált évek hónapjaiban lehullott összesített csapadékmennyiségeket mutatom be. Az utolsó oszlopban összesítettem az adott évben lehullott csapadék mennyiségét, ezt követően ezekből az éves összegekből átlagot számoltam, és azt kaptam, hogy a vizsgált 24 évben átlagosan éves szinten 570,2 mm csapadék hullott. Ez jóval kevesebb, mint a Szigetköz éghajlatának ismertetése során közölt 650 mm-s érték. A 3. táblázat minden hónapjának oszlopán elvégeztem egy összegzést, és azt kaptam, hogy a legszárazabb hónapok ebben a 24 éves ciklusban a február és április hónapok voltak. Az adatok alapján a legtöbb csapadék júniusban hullott, de megfigyelhető, hogy májustól szeptemberig minden évben átlagosan 60 mm feletti csapadék hullott.

3. táblázat: A vizsgált időszak éveinek havi csapadékmennyiségei, (forrás: mosonmagyaróvári meteorológiai állomás adatai alapján saját szerkesztés)

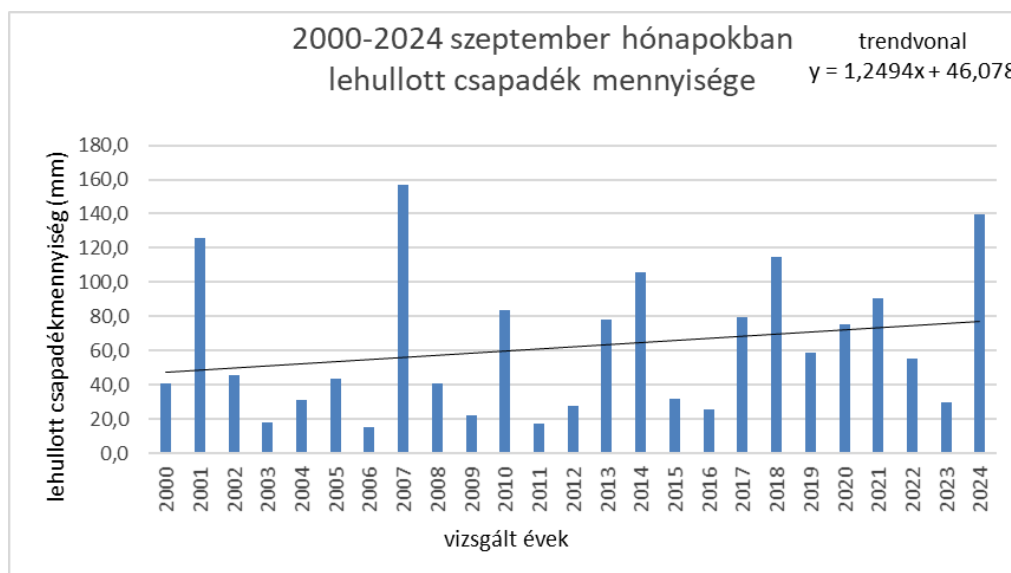
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	összesen:
2000	46,4	22,9	86,1	46,4	21,3	9,6	60,4	28,3	41,0	44,0	52,6	43,2	502,2
2001	12,7	12,1	51,3	22,3	17,3	30,3	61,0	39,9	126,1	9,1	37,0	33,5	452,6
2002	13,5	24,1	47,1	31,9	25,9	40,2	42,5	86,7	45,6	81,0	52,0	57,5	548,0
2003	37,9	0,8	3,2	24,9	57,0	59,4	62,9	40,1	18,4	57,0	21,9	22,3	405,8
2004	37,5	30,6	64,8	49,4	58,8	95,8	17,2	11,6	31,1	39,2	39,9	16,1	492,0
2005	34,7	43,1	26,5	54,9	38,9	33,9	78,0	151,9	43,9	2,6	41,5	71,3	549,9
2006	61,1	31,8	35,8	91,7	90,0	59,1	28,2	98,2	15,6	22,6	30,5	13,9	578,5
2007	31,3	34,9	70,7	0,0	38,4	100,3	44,8	49,0	156,8	60,7	47,7	27,2	661,8
2008	33,2	6,2	61,4	29,6	52,7	89,1	145,5	57,9	40,9	18,9	34,9	49,3	619,6
2009	34,2	59,9	73,3	5,3	35,5	134,9	75,9	57,0	22,1	42,8	62,3	45,7	648,9
2010	39,5	16,6	15,5	72,4	150,3	100,0	54,2	107,5	83,9	29,6	46,3	31,4	747,2
2011	16,5	5,6	37,4	18,9	31,9	131,7	72,4	52,1	17,2	43,6	0,0	19,0	446,3
2012	52,5	18,8	6,2	25,0	37,0	55,3	108,6	13,4	28,1	61,8	35,6	35,1	477,4
2013	81,9	88,0	90,6	18,8	125,9	42,2	21,4	93,7	78,4	18,0	94,1	9,2	762,2
2014	14,4	46,1	10,0	58,7	88,8	25,8	105,0	69,2	105,9	49,6	25,9	52,0	651,4
2015	63,1	35,0	23,7	20,4	78,0	18,7	26,7	61,1	32,3	73,4	24,9	11,8	469,1
2016	48,7	75,2	10,6	14,6	75,2	58,5	121,3	23,7	25,8	68,5	62,6	7,8	592,5
2017	14,6	24,4	26,6	34,5	26,7	40,0	50,2	40,4	79,6	61,3	45,3	63,6	507,2
2018	24,0	45,2	38,8	26,6	67,8	113,6	57,8	48,0	114,8	16,6	47,0	61,2	661,4
2019	45,1	16,8	15,1	16,7	134,4	60,1	19,7	48,3	59,0	25,5	79,4	42,8	562,9
2020	28,0	21,5	39,5	3,0	39,8	92,2	27,4	77,8	75,4	115,7	18,7	43,5	582,5
2021	33,0	20,9	2,6	31,7	48,6	2,2	144,8	61,6	90,8	25,5	46,4	40,4	548,5
2022	11,7	16,3	11,9	18,6	60,2	117,6	63,3	56,6	55,2	13,6	29,6	56,9	511,5
2023	65,0	21,2	12,8	75,5	86,1	66,4	29,5	105,2	30,2	86,5	80,9	92,4	751,7
2024	29,2	20,2	38,2	81,7	65,7	102,6	12,7	33,4	139,9				523,6

A 11. ábrán az éves összesített csapadékmennyiségeket ábrázoltam. A grafikonról leolvasható, hogy a vizsgált időszakban a 2013-as esztendő volt a legcsapadékosabb. A trendvonal alapján 0,66%-os növekedés mutatható ki az elmúlt 24 év csapadékmennyiségeiben bekövetkezett változásra. Ez viszont ellentmond annak amit Brunetti et al. publikált 2004-ben. Brunetti et. al. kutatási eredményei alapján azt konklúziót vonta le, hogy a csapadék mennyisége csökkenni fog a csapadékos napok számával egyetemben.



11. ábra: Éves összesített csapadékmennyiségek és trendvonaluk (forrás: mosonmagyaróvári meteorológiai állomás adatai alapján saját szerkesztés)

A 12. ábrán a vizsgált időszak éveinek szeptember hónapokban lehullott csapadékösszegei láthatók grafikonon ábrázolva.



12. ábra: Szeptember hónap lehullott csapadékmennyiségének változása a vizsgált időintervallum alatt (forrás: mosonmagyaróvári meteorológiai állomás adatai alapján saját szerkesztés)

A grafikonra illesztett trendvonal segítségével van lehetőségünk százalékos változást számolni. A mesterséges intelligencia, melyet felhasználtam, a következő módszert alkalmazta a számítások elvégzéséhez. Trendvonalunk jelen esetben az $y = 1,2494x + 46$. A trendvonal alapján a százalékos növekedés meghatározásához a meredekséget kell vizsgálnunk. A meredekség (1,2494) azt mutatja, hogy az x változó minden egyes egységnyi növekedésével az y változó átlagosan 1,2494 egységgel nő. Ahhoz, hogy ezt százalékos növekedésként fejezzük ki, a meredekséget el kell osztanunk az y változó kezdeti értékével (amikor $x = 0$), majd meg kell szoroznunk 100-zal. Az y változó kezdeti értéke az egyenletből kiolvasható, ez az y tengelymetszet, ami 46. Azaz a százalékos növekedés: $(1,2494/46) * 100 = 2,72\%$. Ez azt jelenti, hogy az x változó minden egyes egységnyi növekedésével az y változó átlagosan 2,72%-kal nő.¹ A számítás alapján tehát a vizsgált intervallumban a csapadékmennyiség 2,72%-kal növekedett szeptember hónapban. A grafikonról pedig leolvasható, hogy 3-7 évenként jön egy olyan szeptember, ahol 100 mm-t is meghaladja a lehullott csapadékmennyiség.

Az 1. számú melléklet tartalmazza azt a két grafikont, illetve a hozzájuk tartozó táblázatot, mely a száraz és nedves napok számának változását ábrázolja a vizsgált időszakban. Az eredmények azt mutatják, hogy a száraz napok száma csökkent. Ebből kövезik, hogy a nedves napok száma növekedett. Nedves napnak olyan napot számítok ahol legalább 3 mm csapadék lehullott. Fontos megkülönböztetni, hogy csapadékos vagy nedves időszakról beszélünk. Ugyanis éghajlatunkon a nyári hónapok a legcsapadékosabbak, azonban a tartós magas hőmérséklet miatt a lehullott csapadék gyorsan elpárolog. Míg télen a kevesebb lehullott csapadék tovább megmarad a talajban az alacsony hőmérsékletnek köszönhetően. Ezzel a téli évszakunk válik a legnedvesebb évszakká.

4.2 A téli-nyári csapadékmennyiségek összehasonlítása

Miután mind a 24 év csapadékadatát feldolgoztam, készítettem egy összesítést, ahol a 24 év csapadékadatát egymáshoz hasonlítottam. Készítettem 12 darab olyan grafikont, amelyek mindegyike az egy-egy kiválasztott hónapban lehullott összes csapadékmennyiség adott évben való alakulását ábrázolja az elmúlt 24 évben. Ezen grafikonok mindegyikén trendvonalat vettem fel, de elsősorban a nyári és téli hónapok csapadékoságának összehasonlítása volt a célom, ezért csak ezen hónapok trendvonalait vizsgáltam meg. Nyári csapadékként június és július hónapok csapadékát vettem, míg téli csapadékként novembertől egészen március végéig

¹ A megoldási módszer leírását az Opera webböngésző Aria mesterséges intelligencia alapú szoftverével fogalmaztattam meg.

terjedő időszakot figyeltem (Nicholas et. al, 1994 alapján). De a teljes nyári időszak vizsgálatának érdekében augusztus hónapot is a vizsgált hónapok közé vettem.

A 4. táblázat tartalmazza a vizsgált hónapok trendvonalait és a trendvonalak alapján számolt százalékos változást az adott hónapokban lehullott csapadékmennyiségében.

4. táblázat: A vizsgált hónapok és trendvonalai (forrás: mosonmagyaróvári meteorológiai állomás adatai alapján saját szerkesztés)

Hónap neve	Trendvonal	Növekedés/Csökkenés mértéke (%)
november	$y = 0,5316x + 37,397$	1,42
december	$y = 0,8775x + 28,493$	3,08
január	$y = 0,1242x + 34,774$	0,36
február	$y = 0,2187x + 26,685$	0,82
március	$y = 0,9565x + 54,745$	-2,88
június	$y = 0,9565x + 54,745$	1,75
július	$y = -0,2227x + 64,151$	-0,35
augusztus	$y = -0,021x + 60,777$	-0,035

A 4. táblázat Növekedés/Csökkenés oszlopa alapján elmondhatjuk, hogy a téli csapadék mennyisége növekedett a vizsgált időszakban. A legerősebb növekedés december hónap esetén volt megfigyelhető, míg március hónapban egy közel 3%-os csökkenés következett be. A nyári hónapok csapadékossága június hónap esetén növekedést, július esetén egy enyhe, közel 0,5%-os csökkenést mutat, augusztus hónap csapadékosságának csökkenése szinte elhanyagolható.

Az 5. táblázatban éves szinten lebontva a téli és nyári összes csapadékmennyiségek szerepelnek. Ennél az összehasonlításnál nem Nicholas et. al módszerét alkalmaztam. Téli hónapoknak december, január és február, míg nyári hónapoknak június, július és augusztus hónapokat vettem. Amennyiben összeadjuk az éves lehullott téli csapadékmennyiségeket, 2595 mm-t, nyári csapadékok összege esetén pedig 4723,5 mm kapunk. Ezen értékek alapján kimondható, hogy a 24 év alatt nyáron lehullott csapadékok mennyisége majd 1,8-szor nagyobb, mint ugyanebben az intervallumban a télen lehullott csapadékok összege. Az 5. táblázatban feltüntetett értékeket a 2. számú mellékletben található grafikonokon ábrázoltam. Mindkettő évszak esetén növekedés figyelhető meg az évszakai lehullott csapadék mennyiségében. A téli időszak esetén ez az érték $(0,7548/93,987)*100=0,8\%$. Nyár esetén $(0,7128/179,67)*100=0,4\%$.

5. táblázat: 2000-2024 időszakban a téli és nyári hónapok összesített csapadékmennyisége (forrás: mosonmagyaróvári meteorológiai állomás adatai alapján saját szerkesztés)

évek	téli csapadék (mm)	nyári csapadék(mm)
2000	112,5	98,3
2001	58,3	131,2
2002	95,1	169,4
2003	61,0	162,4
2004	84,2	124,6
2005	149,1	263,8
2006	106,8	185,5
2007	93,4	194,1
2008	88,7	292,5
2009	139,8	267,8
2010	87,5	261,7
2011	41,1	256,2
2012	106,4	177,3
2013	179,1	157,3
2014	112,5	200,0
2015	109,9	106,5
2016	131,7	203,5
2017	102,6	130,6
2018	130,4	219,4
2019	104,7	128,1
2020	93,0	197,4
2021	94,3	208,6
2022	84,9	237,5
2023	178,6	201,1
2024	49,4	148,7
összesen:	2595,0	4723,5

4.3 Az aszályos időszakok vizsgálata

A száraz időszakokat is vizsgáltam a meteorológiai állomástól szerzett adatsor segítségével. Azért fontos a száraz időszakokkal is foglalkozni, mert egy hosszabb száraz időszak után hirtelen lezúduló és nagymennyiségű csapadék nagy részben a csatornarendszerbe fog kerülni a városban, ugyanis ilyenkor a talaj össze van tömörödve, és a csapadék nem tud beszívódni a pórusokba. Az olyan időszakokat, amikor nem hullik huzamosabb ideig csapadék, aszálynak hívjuk. Az egyik legrombolóbb tartós természeti csapás. „A vízhiány ezen túlmenően a társadalom életének szinte minden területén kisebb-nagyobb gondot okoz, s az emberek jólétét, az életminőséget rontja” (Szabó, 2018). Arról, hogy mikor kezdődik, vagy milyen hosszú az időtartama, vitáznak a szakemberek (Tamás, 2017). Ugyanakkor többféle aszályról is tudunk beszélni, ilyen például a meteorológiai, hidrológiai vagy mezőgazdasági aszály. Definíciójuk mind eltérő, de abban mind hasonlóan, hogy valamilyen viszonyítási alaphoz képest a szükséges nedvesség hiányát jellemzik, másik közös jellemzőjük pedig, hogy nincsen egy kimondott időtartam, amelynek eltelése után aszályról beszélhetünk.

Füzi et al. (2018) a Soproni borvidék évi csapadékeloszlását vizsgálták 1957-2016 között. A tanulmány az adatsor elemzése után arra az eredményre jutott, hogy 1957 és 2016 között a leghosszabb nyári aszályos időszak 15,79 nap hosszú volt. Ezen szakirodalmi forrás alapján

úgy döntöttem, hogy 15 nap vagy annál hosszabb, csapadék nélküli időszak a dolgozatban a számolások és elemzések során aszálynak/száraz időszaknak fog minősülni.

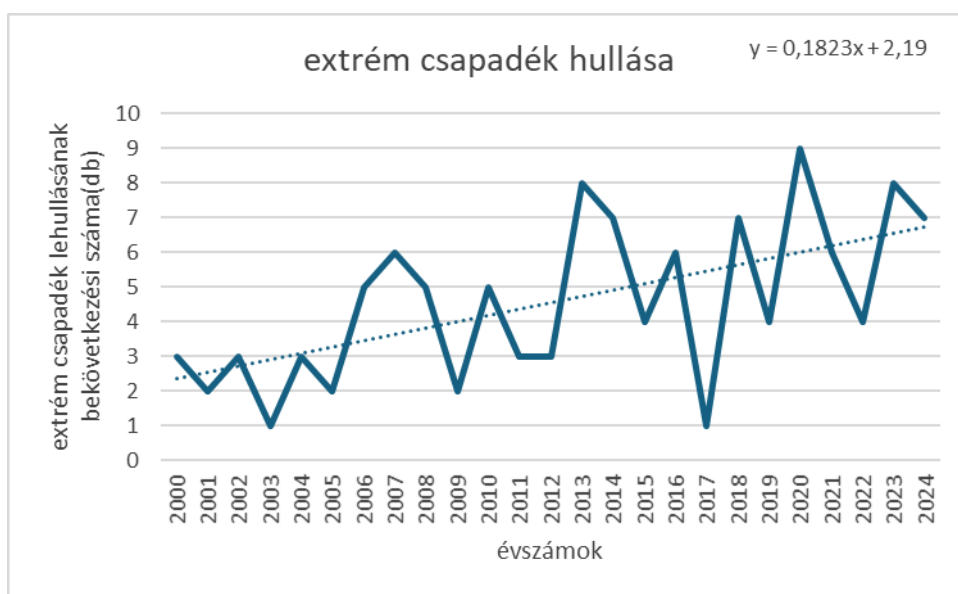
Következő lépésként megszámloltam a csapadék nélküli napok hosszát, és feljegyeztem azokat, amelyek 10, 11, 12, 13, 14, 15 napig vagy hosszabb ideig tartottak. A 24 év száraz időszakainak megjelenítését egyedi módon oldottam meg. Táblázatom sorai az év napjai, az oszlopok pedig maguk az évek voltak. A könnyű átláthatóság érdekében a 15 vagy annál több napig tartó szárazságot piros színezéssel, a 10-14 napig tartó aszályt pedig sárga színezéssel jelöltem. Ez a színes táblázat a 3. számú mellékletben található. A vizsgált időszak alatt 48 db olyan száraz időszak következett be Mosonmagyaróváron és környékén, ahol legalább 10 napig nem hullott csapadék. A 3. melléklet színes táblázata alapján elmondható, hogy 3 időszakra jellemző az aszály. Az első ilyen időszak február elejétől április végéig tart, a következő időszak június elejétől július közepéig tart. A harmadik időszak pedig augusztus közepétől október végéig húzódik.

4.4 Az extrém csapadékok vizsgálata

A dolgozat célja a mosonmagyaróvári szennyvíztisztítótelepen jelentkező terhelésnövekedés vizsgálata. Alapfeltevésem az volt, hogy a hirtelen lezúduló nagymennyiségű csapadék megnöveli a szennyvíztelep terhelését a befolyó vízmennyiség szempontjából. Annak érdekében, hogy megtudjam, mely napokon érdemes a szennyvíztisztítótelep terhelését megvizsgálni, először azonosítani kell az úgynevezett extrém időjárási eseményeket, amikor hirtelen nagymennyiségű csapadék hullik le. Mi számít extrém csapadékmennyiségnek? Szakirodalomban és az interneten arra vonatkozó egyértelmű és konszenzusos kijelentést nem találtam, ami leírta volna, hogy mekkora lehullott csapadékmennyiségtől beszélhetünk extrém csapadékhullásról hazai viszonyok között. Ezért konzulensemmel az adatok feldolgozásához és elemzéséhez ezt az értéket 20 mm-ben határoztuk meg. Ez azt jelenti, hogy minden nap, amikor 20 mm vagy annál több csapadék hullott, azt extrém csapadékos napként könyveljük el. Ilyen napból a rendelkezésre álló adatsorban 114 darabot tudtam kimutatni. Az extrém csapadékos eseményeknek sorszámot adtam 1-114 között, majd ezután grafikonon ábrázoltam az extrém eseményeket és a hozzájuk tartozó csapadéértékeket. Az említett grafikont és trendvonalát a 4. számú melléklet tartalmazza. A trendvonal segítségével kiszámítottam, hogy az extrém csapadékos események csapadékmennyisége lényegesen nem növekedett (0,14%-s növekedés).

Ezt követően az extrém események gyakoriságát vizsgáltam. Az előzetesen dátummal összegyűjtött extremitásokat évszám szerint csoportosítottam, majd a 13. ábrán látható

grafikont kaptam az ábrázolt értékekből. A trendvonal meredeksége szabad szemmel láthatóan is nagymértékű növekedést sejtet. Az extrém csapadékhullás bekövetkezése az elmúlt 24 év alatt 8,3%-kal növekedett. Az általán kiszámolt növekedés beleillik az Észak-Európa vonatkozó regionális klímamodellbe. Ez a modell azt jósolja, hogy a nagy intenzitású és szélsőséges időjárási események gyakorisága tovább fog növekedni az elkövetkezendő időszakban, és a gyakoriság növekedése annál magasabb lesz, minél extrémebb az adott esemény (EASAC, 2014). Továbbá egyezést mutat még a Pécs Pogány állomáson végzett mérésekkel, amik szintén azt mutatják, hogy „a rövid idő alatt lehullott, rendkívül nagy értékek visszatérési periódusa rövidült” (Lakatos és Hoffmann, 2017).



13. ábra: Az extrém események előfordulásának gyakorisága a vizsgált időszakban (forrás: a mosonmagyaróvári meteorológiai állomás adatai alapján saját szerkesztés)

4.5 A csapadékesemények és a szennyvíztisztító telepre érkező szennyvíz mennyisége közti kapcsolat vizsgálata

Mosonmagyaróváron elválasztott csatornarendszert üzemeltet az AQUA Szolgáltató Kft., ezáltal csak a szennyvíznek szabadna eljutnia az átemelők és csatornacső szakaszokon keresztül a szennyvíztisztítóba. A csapadékvíz több helyen pedig bevezetésre kerül a Mosoni-Dunába. A szennyvíztisztítótelep 3 másik településről is fogad szennyvizet, ezek a települések Levél, Máriakálnok és Halászi. Halászi település szennyvize a máriakálnoki átemelőbe folyik, és az onnan együtt továbbítja a két település szennyvizét a Főgyűjtő felé. A Halásziról érkező szennyvízmennyiség a Ligeti szennyvízátemelőnél kerül be Mosonmagyaróvár szennyvízhálózatába. A Kender utcai és a Ligeti szennyvízátemelők a Szent István Király úti

főgyűjtő csatornába adják tovább a városból összegyűjtött vizet. Az elválasztott csatornahálózat előnye, hogy a szennyvíztisztító telep nincs kitéve a hirtelen lezúduló extrém csapadékok okozta terhelésnövekedésnek. Azonban a tapasztalatok alapján minden nagyobb esőzés hatása érződik a telepen a befolyó szennyvíz mennyiségén. Felmerül a kérdés, hogy ez mégis hogyan történhet meg, hiszen nem szabadna esővíznek a szennyvízelvezető csatornába kerülnie. A csapadék több módon is be tud jutni a szennyvízhálózatba. Az egyik problémát a szennyvízhálózatra történő illegális rákötés jelenti, ami elsősorban a családiházak övezetek esetén fordul elő, ahol a házak tetejéről és az azt övező területről lefolyó csapadékvizet illegális módon a szennyvízcsatornába vezetik a lakosok. A másik út, amin keresztül az eső a szennyvízcsatornába jut, a lyukas csatornafedelektől, valamint a rendszer korából eredően a csővezetékrendszerben is jelen vannak repedések, ahol a csapadékvíz képes befolyjni a szennyvízvezetékbe. Ezen felül az átemelő aknában is van lehetősége a csapadéknak a szennyvíz vonalba bejutni.

Levél felől napi szinten átlagosan $168,6 \text{ m}^3$, Máriakálnok és Halászi felől összesítve 500 m^3 szennyvíz érkezik a mosonmagyaróvári főgyűjtőbe. Ezt a két értéket összeadva $668,6 \text{ m}^3$ -t kapunk. Ez 2024-ben a szennyvíztisztító telepre átlagosan beérkező napi szennyvízmennyiségnek a 8,6%-a. Vagyis a szennyvíztisztító telep terhelése 91,4%-ban a Mosonmagyaróváron összegyűjtött szennyvíztől, és egyes esetekben összegyűjtött csapadékviztől függ. A számításokat a 7. számú melléklet tartalmazza. Ezzel kizárható, hogy a szennyvíztisztítási agglomerációban levő feltételezett illegális csapadékrákötések okoznák a szennyvíz telepen a terhelésnövekedést extrém csapadékhullás esetén.

Extrém csapadékhullás során a szennyvíztisztító telep terhelése megnövekszik, ezt már megállapítottam. A következő megválaszolandó kérdés az, hogy mennyivel. Az utolsó 3 évre számítottam egy átlagot arról, hogy hány %-kal növekszik meg a szennyvíztisztító telep terhelése extrém csapadékos idő esetén (6. táblázat). Ezen számítások alapján átlagosan egy extrém mennyiségű csapadékhullás esetén 31,3%-kal növekszik a szennyvíztisztító telepre érkező szennyvíz mennyisége.

Ehhez a befolyó szennyvízterhelés-növekedéshez az energiafelhasználásban egy 11,7%-os növekedés kapcsolódik. Ezt az értéket úgy számoltam, hogy 2021-től kezdve az extrém eseményekkor mekkora volt a szennyvíztisztító telep energiafelhasználása. Ezekből az értékekből számítottam átlagot, majd a normál üzemű működés során felhasznált energiamennyiségek összegeiből számítottam átlagot. Ezt követően a 7. táblázat harmadik sorában látható képlet segítségével kaptam meg a 11,7%-ot.

6. táblázat: Az extrém csapadék hullása esetén történő százalékos terhelésnövekedés kiszámításához használt táblázat
(forrás: a napi szennyvízterhelési adatok alapján saját szerkesztés)

dátum	átlagterhelés m ³	extrém terhelés m ³	%-s eltérés	
2021.VII.18.	7344,9	8595,0	17,0	
2021.IX.27.	7344,9	10134,0	38,0	
2021.X.06.	7344,9	7609,0	3,6	
2022.VI.06.	7503,8	13834,0	84,4	
2022.VII.05.	7503,8	10748,0	43,2	
2022.VIII.21.	7503,8	8142,0	8,5	
2022.XII.09.	7503,8	10415,0	38,8	
2023.I.09.	7629,4	9181,0	20,3	
2023.IV.14.	7629,4	13308,0	74,4	
2023.V.16.	7629,4	10296,0	35,0	
2023.VI.06.	7629,4	8746,0	14,6	
2023.VIII.28.	7629,4	7829,0	2,6	
2023.X.24.	7629,4	7895,0	3,5	
2023.XII.23.	7629,4	12881,0	68,8	
2023.XII.24.	7629,4	10413,0	36,5	
2024.III.11.	7750	9357,0	20,7	
2024.IV.15.	7750	9610,0	24,0	
2024.VI.25.	7750	7969,0	2,8	
2024.IX.09.	7750	10512,0	35,6	
2024.IX.12.	7750	8746,0	12,9	
2024.IX.13.	7750	14331,0	84,9	
2024.IX.14.	7750	9216,0	18,9	
			31,3	átlag

7. táblázat: Extrém csapadékhullás okozta szennyvízterhelés feldolgozásához szükséges energiatöbblet (forrás: a mosonmagyaróvári szennyvíztisztító összes hasznos energiafelhasználási adatai alapján saját szerkesztés)

extrém eseménykor összes hatékony energiafelhasználás/nap átlaga	normál működéskor összes hatékony energia felhasználás/nap átlaga	
7677,3	6876,6 kWh	
$[(7677,3-6876)/6876,6] * 100$	11,7 %	

A 114 darab extrém csapadékos napot összevettem a 2014. január 21-től kezdődő napi szennyvízterhelési adatsorral, és végül 63 napra csökkent azoknak a napoknak a száma, amelyekről mind szennyvízterhelési, mind csapadékadattal is rendelkezem. Ezt követően egy új munkafüzetben felvettem a 63 extrém csapadékos napot, külön oszlopban sorszámot adtam minden napnak, majd hozzáadtam a táblázathoz az extrém csapadékos napokon lehullott csapadékmennyiségét és az aznapi szennyvízterhelést. Ezen felül megjelenítettem még minden év átlagterhelését, és az extrém napi terhelés illetve évi átlagterhelés oszlopok segítségével egy átlagtól való eltérést is számoltam. Ez a táblázat arra jó, hogy megmutassa, hogy extrém csapadék lehullása esetén ténylegesen az átlagos szennyvízterheléshez képest nagyobb mennyiség folyik be szennyvízből a Főgyűjtőbe. Ezt a táblázatot az 5. számú melléklet tartalmazza.

Voltak azonban olyan napok is, amikor extrém csapadékmennyiség hullott, de a terhelés nem haladta meg az adott évi átlagot, sőt még annál kisebb értéket mutatott. Így annak érdekében, hogy bizonyítsam, hogy van kapcsolat a lehullott csapadék mennyisége és a szennyvíztisztító

telep terhelésének növekedése között, korrelációs számításokat végeztem a vizsgált időszak minden napjának aktuális szennyvízterhelése és az aznap esett csapadék mennyisége között.

Új munkafüzeti lapon felvettem 2014. január 21-től a csapadék és a napi szennyvízterhelési adatsorokat. Az előzetes szemrevételezés alapján nem fűztem sok reményt az úgynevezett nyers adatokon történő korrelációs koeficiens függvény lefuttatására. Köszönhetően annak, hogy a napi csapadékadatok jelentős része 0 mm, és a szennyvíztisztítótelep ettől függetlenül akkor is kap szennyvizet, amikor nem hullik a csapadék. A lefuttatás meg is hozta a várt eredményt, nem kaptam kimutatható összefüggést a lehullott csapadékmennyiség és a szennyvíztisztítótelep terhelése között. A korreláció lefuttatásából kapott értékeket a 8. táblázat tartalmazza.

8. táblázat: A napi szennyvízterhelés és napi lehullott csapadékmennyiség korrelációs eredményei (forrás: a szennyvízterhelési és csapadékmennyiség adatsorok alapján saját szerkesztés)

évszámok	korreláció nyers adatokra
2014	0,105531548
2015	0,079799371
2016	0,04343284
2017	0,093675631
2018	0,22793357
2019	0,039888616
2020	0,096128199
2021	0,034990306
2022	0,090704154
2023	0,097669914
2024	-0,086380489

Ezt követően, hogy közelebb kerüljek a célként kitűzött kapcsolat kimutatásához, finomítottam a napi terhelési adatokon. Mind a 10 évre számoltam napi átlagterhelési értéket. Ezt követően minden nap esetén az adott napi terhelés értékéből kivontam az arra az évre vonatkozó átlag napi terhelést. Az így kapott terhelési adatokra és a lehullott csapadékmennyiségre futtattam le újra a korrelációs függvényt. Azonban még ebben az esetben sem kaptam meg az összefüggést indikáló számokat. Ez annak volt köszönhető, hogy a napi terhelési adatok több esetben meghaladták az átlag értéket, amit az adott évre számítottam, és a negatív értékek rossz irányba befolyásolták a korrelációs számítást. A korreláció lefuttatásából kapott értékeket a 9. táblázat tartalmazza. A fenti információk ismeretében kiderült, hogy a lehullott csapadékmennyiség és a szennyvíztisztítótelep terhelése közötti összefüggés felfedéséhez a negatív értékeket el kell távolítani a terhelési adatok közül. De ezt úgy kell megtenni, hogy közben ne befolyásoljuk a korrelációs számítást. Azon napokon, amikor negatív értéket kaptam, az adott napi terhelés és az átlagterhelés különbségére kimondhatjuk, hogy

átlagon aluli terhelés volt. Mivel a lehullott csapadék terhelésnövelő hatását szeretnénk kimutatni, ezért nem jelent problémát, ha a negatív eredményeket semlegessé, azaz 0-vá tesszük, így eltávolítva a korrelációs számítást akadályozó tényezőt. Ezt követően lefuttattam a korrelációs számítást a javított szennyvízterhelési és az adott napokhoz tartozó lehullott csapadék adatsorára. A korreláció lefuttatásából kapott értékeket a 10. táblázat tartalmazza.

9. táblázat: A napi terhelés-átlagterhelési értékek és a napi csapadéértékekre lefuttatott korrelációs függvény végeredményei (forrás: a szennyvízterhelési és csapadékmennyiség adatsorok alapján saját szerkesztés)

évszámok	korreláció átlagtól való eltérés értékeivel
2014	0,103000551
2015	0,019080941
2016	-0,063160059
2017	0,169033292
2018	-0,026216137
2019	-0,157393958
2020	0,1529815
2021	0,094221807
2022	0,266793249
2023	0,142554905
2024	0,118843185

10. táblázat: A végső korrelációs függvény lefuttatásának táblázatba rendezett eredménye (forrás: a szennyvízterhelési és csapadékmennyiség adatsorok alapján saját szerkesztés)

évszámok	korreláció, eltérés az átlagterheléstől, negatív értékek 0- ra javítva
2014	0,774542094
2015	0,53745516
2016	0,587094621
2017	0,683293133
2018	0,608115161
2019	0,599677378
2020	0,550854576
2021	0,578885289
2022	0,593075049
2023	0,583307799
2024	0,566379632

A lehullott csapadék és a napi terhelési értékeket ábrázoltam grafikonon minden évre külön-külön. A szemléletesség megtartásához a napi terhelési értéket elosztottam 1000-rel. A korrelációs számítást mintegy megerősítve látható a 6. számú mellékletben megtalálható grafikonon, hogy amikor nagyobb mennyiségű csapadék hullik, a szennyvíztelep terhelése megnövekszik.

5. Javaslatok

A dolgozat felfedte az összefüggést a lehulló extrém mennyiségű csapadék és a megnövekedő szennyvízterhelés között. A legvalószínűbb okokat is felmértem. Ezen információk alapján a következő ajánlásokat teszem. 1. Az illegális esővízrákötések felszámolása. 2. Olyan csatornafedelelek feltétele, melyek nem engedik be a szennyvízcsatornahálózatba az úttestről a csapadékot. 3. A szennyvízcsatornahálózat és az esővízelvezető hálózat felújítása, ezzel a repedések megszüntetése.

Más irányban is megfogalmazok egy javaslatot. A dolgozatban említettem, hogy ugyan a nyári hónapokban hullik a legtöbb csapadék, mégis ez az időszak a legszárazabb az egész évben. Ilyenkor a városüzemeltetőnek öntöznie kell a város zöld területeit, hogy azok ne száradjanak ki. Azt javaslom, hogy a Mosoni-Dunába vezetés helyett legyenek esővíztározók létesítve az esővízcsatorna kifolyóknál, amikbe bele tud folyni a városban összegyűjtött esővíz. Ezt a vízmennyiséget pedig nyáron fel tudja használni a városüzemeltető a zöld területek öntözésére. Ezzel a város csatlakozna a Nyugat-Európában már nagyon divatos esővíz recirkuláltatásának gyakorlatához.

6. Összegzés

A dolgozat elsődleges célja a mosonmagyaróvári szennyvíztisztítótelep terhelésnövekedésének vizsgálata extrém csapadékos időjárás esetén. A korrelációs számítás és a grafikon, amin a napi terhelési adatokat illetve a lehullott csapadékot ábrázoltam, kimutatták a keresett összefüggést. Annak ellenére, hogy elválasztott szennyvízcsatornahálózat van kialakítva Mosonmagyaróváron, a nagymennyiségű, legalább 20 mm csapadékot hozó eső esetén a szennyvíztisztító telep terhelése az utolsó 3 év (2021-2024) átlaga alapján 31,3%-kal megnövekszik. Ez az az esővízzel hígított szennyvíz megtisztítása miatt fellépő terhelésnövekedés pedig 11,7%-kal növeli meg a szennyvíztisztító telep energiaigényét a normál terhelés megtisztításának energiaigényéhez képest.

A 2000-2024 időszakban az éves átlagos lehullott csapadékmennyiség 570,2 mm volt, ez az érték a Szigetközre általánosan jellemző 650 mm-hez képest kevés. A lehullott csapadék éves mennyiségében 0,66%-os növekedés tapasztalható. Mind a téli, mind a nyári időszakban lehullott csapadék mennyiségében növekedés tapasztalható. Mosonmagyaróváron az elmúlt 24 esztendőben az extrém csapadékkal járó esős napok száma 114 darab volt. Az ilyen típusú esemény előfordulásának gyakorisága a vizsgált időszak alatt 8,3%-kal növekedett. Ezzel igazolva a 2014-es EASAC-jelentést, mely szerint a nagy intenzitású és szélsőséges időjárási események gyakorisága növekedni fog.

Az aszályos időszakok száma a vizsgált időintervallumban 138 nap volt. Ezeknek az aszályos időszakoknak az előfordulási gyakoriságában 0,44%-os növekedés tapasztalható. Az adatok alapján azonban kimondható, hogy az individuális száraz napok száma csökkent, míg a nedveseké nőtt. Ezen jelenséggel Mosonmagyaróvár ellent mond a nemzetközileg elfogadott trendnek, ami azt jósolja, hogy a száraz napok száma növekedni fog, míg a lehullott csapadék mennyisége a csapadékos/nedves napok számával egyetemben csökkenni fog.

Összességében tehát kijelenthető, hogy az extrém csapadékos napok egyre gyakrabban fognak előfordulni, ezáltal egyre gyakrabban fog mind befolyó szennyvízmennyiségben, mind energia felvételben többletterhelést okozni a szennyvíztisztító telepen a szennyvízcsatornahálózatba kerülő csapadékvíz. Ezáltal a szennyvíztisztító telep energiafelhasználása garantáltan növekedni fog, amennyiben nem eszközölnék valamilyen megoldást a korábbi fejeztben említett javaslatok közül.

Irodalomjegyzék

- Bihari et al. (2018). *Éghajlat*. Magyarország Nemzeti Atlasza - Természeti környezet, Budapest, MTA CSFK Földrajtudományi Intézet. elérhetőség: https://www.nemzetiAtlasz.hu/MNA/MNA_2_5.pdf [olvasva: 2024.11.03.]
- Brunetti et al. (2004): Temperature, precipitation and extreme events during the last century in Italy. *Global and Planetary Change* 40, 141–149.
- EASAC (2014). *Szélsőséges időjárási jelenségek Európában és hatásuk a nemzeti, valamint az uniós alkalmazkodási stratégiákra*. EASAC 22. sz. szakpolitikai jelentés. Magyar Tudományos Akadémia. elérhetőség: https://easac.eu/fileadmin/PDF_s/reports_statements/Extreme_Weather/Extreme_Weather_Hungarian.pdf [olvasva: 2024.11.03.]
- Füzi et al. (2018). Az évi csapadékeloszlás változásának elemzése indikátor-analízissel a soproni borvidékre vonatkozóan az 1957-2016- os időszakban rögzített napi adatok alapján. *Légkör*, 63. évfolyam, 2. szám. pp. 92-95. elérhetőség: https://epa.oszk.hu/03900/03956/00051/pdf/EPA03956_legkor_2018_2_092-095.pdf [olvasva: 2024.11.03.]
- Harnos, Zs., Gaál M. és Hufnagel L. (2008). *Klímváltozásról mindenkinek*. Budapesti Corvinus Egyetem, Kertészettudományi Kar, Matematika és Informatika Tanszék, Budapest
- Lakatos, M., és Hoffmann, L. (2017). Növekvő csapadékkéntesség, magasabb mértékadó csapadékok a változó klímában. Országos Települési Csapadékvíz-gazdálkodási Konferencia tanulmányai. *CUM SCIENTIA PRO AQUIS HUNGARIAE*. elérhetőség: https://vtk.uni-nke.hu/document/vtk-uni-nke-hu/Kézikönyv_csapadék.pdf [olvasva: 2024.11.03.]
- Pálné, S. J. (2007). *Közművek*. Pécsi Tudományegyetem, Pollack Mihály Műszaki Kar, Közmű, Geodézia és Környezetvédelem Tanszék, elérhetőség: [https://witch.mik.pte.hu/oktatas/Tanszeki_anyagok/Epitomernok_Tanszek/Szabo_Imre_Gabor/Segedlet/HEFOP/Kozmuvek_\(KGNB270\).pdf](https://witch.mik.pte.hu/oktatas/Tanszeki_anyagok/Epitomernok_Tanszek/Szabo_Imre_Gabor/Segedlet/HEFOP/Kozmuvek_(KGNB270).pdf) [olvasva: 2024.11.03.]
- Nicholas et al. (2007) 1994: Diseases and pests. Grape Production Series, Winetitles, Adelaide, 106. SEG, 2007: Confronting Climate Change: Avoiding the Unmanageable and Managing the Unavoidable, [http:// www.unfoundation.org/files/pdf/2007/SEG_Report.pdf](http://www.unfoundation.org/files/pdf/2007/SEG_Report.pdf)
- Szabó et al. (2018). *Természeti veszélyek*. Magyarország Nemzeti Atlasza, - Természeti környezet. Budapest, MTA CSFK Földrajtudományi Intézet. elérhetőség: https://www.nemzetiAtlasz.hu/MNA/MNA_2_13.pdf [olvasva: 2024.11.03.]

Szabó, L. (2021). *Észak-szigetközi szennyvízelvezető-hálózat hidraulikai ellenőrzése*. Széchenyi István Egyetem, Építész-, Építő és Közlekedésmérnöki Kar, Közlekedésépítési és Vízmérnöki Tanszék

Szabó, L. (2014). Főgyűjtő üzemelési szabályzat. AQUA Kft. belső dokumentum.

Tamás, J. (2017). *Az aszály*, Magyar Tudomány, 10. évfolyam elérhetőség: https://mersz.hu/dokumentum/matud_11/#matud_9 [olvasva: 2024.11.03]

VKKI, ÉDUVIZIG (2010). *1-1 Szigetköz. A Víz Keretirányelv hazai megvalósítása VÍZGYŰJTŐ-GAZDÁLKODÁSI TERV*, elérhetőség: http://www2.vizeink.hu/files3/1_1_Szigetkoz.pdf [olvasva: 2024.11.03.]

Internetes források:

Web-1 https://asztivaniskola.lapunk.hu/dokumentumok/a_kisalfold_tajai.pdf [olvasva: 2024.11.03.]

Web-2 <https://dugulas-elharitasa.hu/csatornarendszer/> [olvasva:2024.11.03.]

Web-3 Magyar Madártani és természetvédelmi Egyesület honlapja, Mosoni-sík jellemzése, elérhetőség: <https://mme.hu/mosoni-sik> [olvasva:2024.11.03.]

Web-4 HungarMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. weboldala, elérhetőség: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evek_ido_jarasa/ szélsőségek menüpont 2012-2013 [olvasva: 2024.11.03.]

Táblázatjegyzék

1. táblázat: Mosonmagyaróvár szennyvízelvezetésének adatai (forrás: KSH adatok alapján saját szerkesztés).....	11
2. táblázat: A Mosonmagyaróvári Főgyűjtő kezelési körzetébe tartozó települések csatornázottsága (forrás: KSH 2023-as adatai alapján saját szerkesztés)	12
3. táblázat: A vizsgált időszak éveinek havi csapadékmennyiségei, (forrás: mosonmagyaróvári meteorológiai állomás adatai alapján saját szerkesztés)	18
4. táblázat: A vizsgált hónapok és trendvonalai (forrás: mosonmagyaróvári meteorológiai állomás adatai alapján saját szerkesztés).....	21
5. táblázat: 2000-2024 időszakban a téli és nyári hónapok összesített csapadékmennyisége (forrás: mosonmagyaróvári meteorológiai állomás adatai alapján saját szerkesztés).....	22
6. táblázat: Az extrém csapadék hullása esetén történő százalékos terhelésnövekedés kiszámításához használt táblázat (forrás: a napi szennyvízterhelési adatok alapján saját szerkesztés).....	26
7. táblázat: Extrém csapadékhullás okozta szennyvízterhelés feldolgozásához szükséges energiatöbblet (forrás: a mosonmagyaróvári szennyvíztisztító összes hasznos energiafelhasználási adatai alapján saját szerkesztés).....	26
8. táblázat: A napi szennyvízterhelés és napi lehullott csapadékmennyiség korrelációs eredményei (forrás: a szennyvízterhelési és csapadékmennyiség adatsorok alapján saját szerkesztés).....	27
9. táblázat: A napi terhelés-átlagterhelési értékek és a napi csapadékértékekre lefuttatott korrelációs függvény végeredményei (forrás: a szennyvízterhelési és csapadékmennyiség adatsorok alapján saját szerkesztés)	28
10. táblázat: A végső korrelációs függvény lefuttatásának táblázatba rendezett eredménye (forrás: a szennyvízterhelési és csapadékmennyiség adatsorok alapján saját szerkesztés).....	28

Ábrajegyzék

1. ábra: A Kisalföld elhelyezkedése Magyarország területén (forrás: Wikipédia).....	5
2. ábra: Szigetköz elhelyezkedése (forrás: ÉDUVIZIG, 2010).....	6
3. ábra: A Mosoni-sík pirossal jelölve Magyarország térképén (forrás: Wikipédia).....	6
4. ábra: Mosonmagyaróvár elhelyezkedése Magyarország térképén (forrás: google maps saját képkivágás).....	7
5. ábra: A mosonmagyaróvári víztorony (forrás: AQUA Szolgáltató Kft. honlapja).....	10
6. ábra: A mosonmagyaróvári szennyvíztisztító telep modellje (forrás: AQUA Szolgáltató Kft. honlapja).....	13
7. ábra: WELTECH mezofil iszaprohasztók piros színnel bekarikázva (forrás: Szabó László főmérnök fotója alapján saját szerkesztés).....	14
8. ábra: Gázmotor a szennyvíztisztító telepen (forrás: Szabó László főmérnök fotója)	14
9. ábra: A manuális csapadékmérő műszer a mosonmagyaróvári meteorológiai állomáson (forrás: Zseni Anikó fotója).....	16
10. ábra: Az automata meteorológiai állomás, benne a csapadékmérő műszerrel a mosonmagyaróvári meteorológiai állomáson (forrás: saját fotó).....	16
11. ábra: Éves összesített csapadékmennyiségek és trendvonaluk (forrás: mosonmagyaróvári meteorológiai állomás adatai alapján saját szerkesztés)	19
12. ábra: Szeptember hónap lehullott csapadékmennyiségének változása a vizsgált időintervallum alatt (forrás: mosonmagyaróvári meteorológiai állomás adatai alapján saját szerkesztés).....	19
13. ábra: Az extrém események előfordulásának gyakorisága a vizsgált időszakban (forrás: a mosonmagyaróvári meteorológiai állomás adatai alapján saját szerkesztés).....	24