

SZAKDOLGOZAT

Cartoletti Jonatán

2023



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Szent István Campus
Környezettudományi Intézet
Környezetmérnök BSc

**A tisztított szennyvizek szikkasztásos előtisztítása és
öntözéses hasznosítása**

Belső konzulens: Dr. Waltner István
Tanszékvezető

Külső konzulens: Sütő Vilmos
Szakmai tanácsadó

Készítette: Cartoletti Jonatán

Gödöllő
2023

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	4
1.1 A témaválasztás indoklása.....	4
1.2 Célkitűzés, felépítés	4
2. Szakirodalmi áttekintés	6
2.1 Fogalmak.....	6
2.2 Nemzetközi kitekintés / háttér.....	7
2.3 Rövid összefoglaló a tisztított szennyvizek múltbeli hasznosításáról.....	7
2.4 Külföldi tapasztalatok	8
2.5 Magyar tapasztalatok.....	10
2.6 Tisztított szennyvizek hasznosítása a világban	15
2.7 A tisztított szennyvíz vizsgálata, öntözéses hasznosítása	16
2.8 A szennyvízben lévő anyagok hatása a talajokra és a növényekre	17
2.9 Mikroműanyagok, gyógyszermaradványok	17
3. Alkalmazott módszerek (anyag és módszer)	22
3.1 A kecskeméti öntöző és hasznosító telep működése 1972-1984 között.....	22
<i>Összefoglalás</i>	25
3.2 Kecskeméti élelmiszeripari (Kecskeméti Konzervgyártó Kft.; Univer-Product Zrt.) technológiai használtvizek öntözéses hasznosításának lehetőségei tanulmány (2017) értékelése	26
<i>Előzmények</i>	26
<i>Megoldás keresése</i>	26
<i>Összefoglalás</i>	28
3.3 „Kommunális szennyvizek és szennyvíziszapok energia- és nyersanyagtartalmának innovatív hasznosítása” GINOP pályázati projekt ismertetése, értékelése	29
<i>Összefoglalás</i>	30

3.4 „A tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetésének stratégiája” tanulmány értékelése, amely az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) főigazgatójának megrendelésére készült, Leitner László és OVF, Bácsvíz, MaVíz szakemberei által	31
<i>Összefoglalás</i>	35
3.5 A kecskeméti szennyvíztisztító telep technológiai leírása	35
<i>Összefoglalás</i>	39
4. Eredmények és értékelés	40
A kecskeméti szennyvíztisztító telepen keletkező napi 16.000 m ³ tisztított szennyvíz mikroműanyagok, gyógyszermaradványok miatti szikkasztásos előtisztítás és ipari növény öntözésére való hasznosítás tanulmányterve	40
<i>A IV. tisztítási fokozat értékelése, mint lehetséges megoldás</i>	40
<i>A javasolt műszaki megoldás méretezése</i>	43
<i>Egy javasolt energianövény jellemzői, költségei és haszna Ligetvári (2022) alapján</i>	46
<i>A tanulmánytervhez szükséges további javasolt fontos elemek</i>	49
<i>A terület kialakítása, beüzemelése</i>	50
<i>Összefoglalás</i>	51
5. Következtetés és javaslat	52
6. Összefoglalás	53
7. Köszönetnyilvánítás	54
8. Irodalomjegyzék	55
9. Ábrák és táblázatok jegyzéke	62

1. Bevezetés

1.1 A témaválasztás indoklása

A szakdolgozatom témája a tisztított szennyvizek szikkasztásos előtisztítása és öntözéses hasznosítása. Azért választottam ezt a témát, mert a tanulmányaim során felkeltette ez a terület az érdeklődésemet, valamint szakmai gyakorlatok során számos szennyvíztelepen is járhattam, ahol még inkább belátást nyerhettem a szennyvizek kezelésébe, hasznosításába.

Az aktualitását a témaválasztásomnak az is indokolja, hogy az időszakos vízfolyásokban -főleg nyári kánikulában - jellemzően ritkán van víz, így annak hígító hatása már nem érvényesül, valamint a mezőgazdaságnak egyre nagyobb a vízigénye, így ezek okán is szeretném részletesebben körbejárni a témát és megvizsgálni a lehetőségeket, valamint megoldásokat keresni a felmerülő kérdésekre, problémákra.

A témaválasztásomnak azért van jelentősége, mert a szennyvizekben a gyógyszermaradványokat, mikroműanyagokat már egyre többen vizsgálják és egyre nagyobb kihívást jelent a szennyvízkezelésben, ezért szeretnék utánajárni a szennyvíztisztítás módjának és ennek érdekében megnéztem a még gyerekcipőben járó kutatásokat.

Magyarországon közel 600 millió m³/év tisztított szennyvíz keletkezik, ezek jó része hasznosítható lenne (*http1*).

1.2 Célkitűzés, felépítés

A vizsgálataimnak és elemzéseimnek a célja, hogy szakirodalmi, gyakorlati tapasztalatok felkutatása alapján a téma fontosságát értékeljem. A dolgozatomban többek között arra szeretnék választ kapni, hogy mennyire jellemző a tisztított szennyvizekben a mikroműanyagok és gyógyszermaradványok jelenléte, mekkora mennyiségben vannak jelen, illetve milyen fajtái fordulnak elő.

A dolgozatom felépítése a következő: a szakirodalmi áttekintés során többek között a szennyvízhez kapcsolódó néhány fogalom rögzítése mellett szeretném bemutatni az élelmiszeripari, kommunális szennyvizek hasznosítására tett múltbéli lépéseket, kísérletezéseket, illetve néhány külföldi példát, valamint Magyarország e téren szerzett tapasztalatait, gyakorlatait is bemutatom különböző szakirodalmakban megjelent példákon keresztül.

Ezen kívül a tisztított szennyvizek öntözéses hasznosításáról is írok, valamint a szennyvíztisztításban nagy kihívást jelentő mikroműanyagokról, gyógyszermaradványokról is megosztok néhány információt.

A dolgozatom második részében a Kecskeméten 1970-80-as években már alkalmazott energianövényes öntözéses szikkasztásos tisztítási módszert értékelem, azért mert ennek jó gyakorlatát felhasználom a tényleges saját munkám során. „A kecskeméti élelmiszeripari (Kecskeméti konzervgyártó kft.; Univer-Product Zrt.) technológiai használtvizek öntözéses hasznosításának lehetőségei” tanulmányt is értékelem, mert ez a munka a használtvíz keletkezésétől az öntözés hasznosításáig részletesen végigvette a folyamatot.

Emellett a „kommunális szennyvizek és szennyvíziszapok energia- és nyersanyagtartalmának innovatív hasznosítása” GINOP pályázati projektből a nitrogén és foszfor kiszűrés és műtrágya gyártás érdekében történő töményítését tanulmányozom.

Ezt követően a tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetésének stratégiája tanulmányból feldolgozom a jelen szakdolgozathoz kapcsolódó részeket. Ezen kívül ismertetem a kecskeméti szennyvíztelep technológiai felépítését.

Ezután az eredmények és értékelés részeként a kecskeméti tisztított szennyvíz szikkasztásos előtisztítására és mezőgazdasági előntözésére vonatkozó saját tanulmányt készítem el számításokkal és átnézeti helyszínrajzzal, amit a Bácsvíz egy pályázati lehetőség esetén hasznosítani tud. Emellett az esetleges hasznosítási lehetőségeket felmérem, értékelem, köztük az energianövények alkalmazását, új műszaki megoldásokat.

Ezután következtetéseket vonok le, illetve javaslatot teszek, majd a dolgozatomat a végén összefoglalással zárom.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1 Fogalmak

A **szennyvíztisztító telep** a víziközmű szennyvíztisztítási feladatait szolgáló önálló része, amelyek szennyvizek mechanikai, biológiai, esetleg harmadik tisztítási fokozattal történő tisztítását biztosítja, a kapcsolódó iszapkezelési technológiával együtt (*http2*).

A **háztartási szennyvíz** rendszeres emberi tartózkodás céljára szolgáló területről származó szennyvíz, ami az emberi anyagcseréből és háztartási tevékenységből származik, és nem tartalmaz talajvizet vagy csapadékvizet, továbbá nem minősül veszélyes hulladéknak (*http2*).

Az **ipari szennyvíz** minden olyan szennyvíz, amely ipari vagy kereskedelmi tevékenységből származik, és nem minősül háztartási szennyvíznek vagy csapadékvíznek és nem veszélyes hulladék (*http2*).

A **tisztított szennyvíz** a szennyvíztisztítás után keletkező hasznosítható tápanyagokat tartalmazó víz, amely a szennyvíztisztító telepre előírt határértékek alatti mennyiségben tartalmaz egyéb összetevőket (*http3*).

A **szennyvízhasznosítás** a szennyvíztisztítás során keletkező olyan víz használatát foglalja magába, amely az egészségügyi és környezeti kockázatok, illetve a vonatkozó nemzeti és uniós jogszabályok figyelembevételével megfelel a felhasználási cél szerint meghatározott minőségi előírásoknak (*Kolossváry, 2017*).

Az **újrahasznosítás** a tisztított szennyvízben található hasznosítható anyagoknak, és magának a víznek az ismételt felhasználása. Az integrált vízgazdálkodás a tisztított szennyvíz helyben tartását, hasznosítást célozza, így kímélve a befogadót és elősegítve a körforgásba közvetlen úton történő visszavezetést, megoldást nyújtva a vízkészletek pótlására, miközben akár a víz, akár a vízben lévő tápanyagok hasznosítása megtörténik (*http4*).

2.2 Nemzetközi kitekintés / háttér

Becslések szerint a Föld vízkészlete 1400 millió köbkilométer, az édesvízkészletek pedig korlátozottak. Az összes vízkészlet csupán 2,5%-a édesvíz, és ennek a hatalmas mennyiségnek – mintegy 45 000 köbkilométer – csak 0,003%-át lehetne felhasználni ivásra, higiénias, mezőgazdasági és ipari célokra (a többi gleccserekben, állandó hótakarókban vagy a légkörben van) (*http5*). Ez a tény még indokoltabbá teszi a dolgozatom fő témáját, hogy a tisztított szennyvizet hasznosítani kell, hiszen az öntözésre alkalmas vízkészletek fogynak.

Az Európai Bizottság uniós cselekvési terve az ehhez kapcsolódó jogszabály kidolgozását jelöli meg elsődleges feladatként: a „A Bizottság több fellépéssel is élni fog a tisztított szennyvíz újrafelhasználásának megkönnyítése érdekében; ez magában foglalja a (például öntözés vagy talajvíz-visszatáplálás céljából) újrafelhasznált vízre vonatkozó minimumkövetelményekről szóló jogalkotási javaslatot is” (*http6*). A dolgozatomhoz abban a tekintetben kapcsolódik a cselekvési terv tartalma, hogy Kecskeméten én is azt szeretném elősegíteni, hogy a tisztított szennyvíz újra fel legyen használva elsősorban öntözés formájában.

2.3 Rövid összefoglaló a tisztított szennyvizek múltbeli hasznosításáról

A tisztított szennyvizek újrahasznosítása visszanyúlik egészen az ősi kultúrákig, városokig, többek között az ősi Rómáig. Az ősi Rómában például a szennyvíz egy részét csatornákon keresztül gyűjtötték össze, míg a fennmaradó részt emésztőgödörökben gyűjtötték össze. Az itt felgyülemlett szennyvizet megpróbálták a mezőgazdaságban újrahasznosítani, felhasználni.

A 19. században az iparosításnak, valamint az egyre nagyobb méretek öltő járványok megfékezése céljából tett intézkedéseknek köszönhetően új szintre lépett a szennyvíztisztítás, illetve a tisztított szennyvizek hasznosítása. Az első igazán nagyméretű városi szennyvíztisztító rendszer kiépítése 1842-ben, Hamburgban kezdődött. A múlt században elsősorban a rossz ételmezeirellátottság miatt nagy igény jelentkezett a tisztított szennyvizek, szennyvíziszap hasznosítására (*http7*).

Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy akkoriban számos kérdés és probléma jelentkezett a hasznosítást illetően. Az egyik nagy hátrány a városok közelében a szabad területek hiánya volt, vagy meg lehet még említeni a szennyvíz mezőgazdasági igény szerinti felhasználásának kérdését. Emellett a fertőzésveszély is kihívást jelentett a szakemberek számára, valamint további gondot okozott a toxikus vagy nehezen lebontható szennyező anyagok koncentrációja a talajban, növényekben (*http7*).

Ami a 20.század élelmiszeripari tisztított szennyvizek hasznosítását illeti, kiemelhető a keményítő-gyártás szennyvizeinek hasznosítása. Nagyon sok országban a burgonya-keményítő gyártás szennyvizének, de más keményítő-gyártások hulladékainak az ilyen mezőgazdasági hasznosítása is évtizedeken keresztül gyakorlat volt. A cukorgyári vagy éppen a len feldolgozásából adódó szennyvizeket is óriási szennyvíz tavakba gyűjtötték össze, amit aztán a megfelelő időszakban elöntöztek (*http7*).

Az idő előrehaladása és a műszaki területeken történő fejlődések magukkal hozták az öntözőrendszerek fejlődését és a tisztított szennyvizek nagyobb arányban történő felhasználását. A második világháború kezdetéig a tisztított szennyvizeket halastavakban is hasznosították vagy éppen a halastavakat használták fel a tisztításra. Ez a fajta hasznosítás azonban nem volt hosszú életű, ugyanis a téli időszakokban rendkívül gyenge volt a tisztítási hatékonyság (*http7*).

Ez a fejezet információt nyújt többek között az élelmiszeripar szennyvizének múltbeli hasznosításáról, amely részben kapcsolódik az 3.2 fejezethez, ahol kecskeméti példán mutatom be az élelmiszeripari szennyvíz hasznosítását.

2.4 Külföldi tapasztalatok

Indiában a keletkező szennyvíznek körülbelül a 30%-át tisztítják meg, a többi kezeletlenül kerül a víztestekbe (*http8*) 73 000 ha-t pedig szennyvízzel öntöznek (*Singh et al., 2022*). Izrael kiemelkedő példája tisztított szennyvíz felhasználásának, ugyanis a termelt szennyvizének 86%-át újra felhasználta az öntözési célú vízigények kielégítésére (*Tal, 2016*).

Az 1980-as években Tunézia (Észak-Afrika) olyan víz-újrahasználati politikát hajtott végre, amely az összes keletkezett szennyvíz 25%-át tudta felhasználni öntözésre (*Ait-Mouheb et al., 2018*). Peking (Kína) szintén támogatja a szennyvíz újrafelhasználását, és az elhasznált víz mintegy 22%-át használja fel öntözési forrásként (*Lyu et al., 2016*). Dél – Európában a szennyvíz mintegy 44%-át mezőgazdasági öntözésre használják fel (*Ricart and Rico, 2019*).

A világ egyes részein a szennyvíz újrafelhasználása nem előnyös, a gyűjtési gyakorlatok rosszul szervezett hálózatai miatt (*Ait-Mouheb et al., 2018*). A világon Ausztrália szembesül a legnagyobb vízterheléssel, aminek többek között az is oka, hogy ez a legszárazabb kontinens, illetve a domborzata is kedvezőtlen a vizek megtartása szempontjából. Ezen tények is hozzájárulnak ahhoz, hogy a termények és a gyapot öntözésére évente mintegy 106 millió m³ tisztított szennyvizet használnak fel (*Chen et al., 2013*).

Spanyolországban a tisztított szennyvíz 77%-át az olajfaültetvények öntözésére használják. A világ egyik legnagyobb városa Mexikó, gyakorlatilag az összes megtermelt szennyvizét mezőgazdasági öntözésre hasznosítja a Mezquital-völgyben. A szennyvizet több mint 100 éve használt csatornákon vezetik a völgybe (*Contreras et al., 2017*).

A vízhiány jelentős probléma Cipruson, ugyanis az ország vízigényének kielégítése a csapadéktól függ, mivel a felszín alatti és felszíni vízkészletek korlátozottak, és gyakran szenved aszályoktól, amelyek idővel egyre nagyobb mértékűek és gyakoribbak. Ennek következtében 2005-ben Ciprus meghatározta a szennyvíz újrafelhasználására vonatkozó vízminőségi előírásokat, és egyike lett azon tagállamoknak, amelyek a települési szennyvíz kezelésére és elvezetésére vonatkozó nemzeti jogszabályokba teljes mértékben beépítették a víz újrafelhasználására vonatkozó rendelkezéseket. Ezenkívül az ország nemzeti célkitűzése, hogy a mezőgazdasági édesvízszükséglet 40%-át visszanyert vízzel helyettesítse. Jelenleg a tisztított szennyvizet mezőgazdasági területek, parkok, kertek és közterületek öntözésére használják fel. A tisztított szennyvízzel való öntözés tilos a nyersen fogyasztott leveles zöldségek, hagymák és gumók, exportra szánt növények és dísznövények esetében. Franciaországban csak bizonyos régiókban, csekély arányban hasznosítják a tisztított szennyvizet és elsősorban golfpályákat öntöznek tengerparti területeken. Franciaországban a városi felhasználást, a tűzvíz célú hasznosítást akarják erősíteni, de vizes élőhelyek fejlesztését is tervezik, ezen kívül vetőmagkukorica termesztés esetében kifejezetten jó a tapasztalataik vannak (*Bíró, 2022*).

A víz újrafelhasználásának foratókönyve az elmúlt néhány évtizedben megváltozott. A World Water Development 2017-ben publikált egy cikket, amelyben a szennyvizet erőforrásként ismerte el *Wastewater: The Untapped Resource* néven, ami forradalmi változást hozott a víz újrafelhasználási gyakorlatában (*WWAP, 2017*). A terményöntözés az egyik leggyakrabban használt módszer a tisztított szennyvíz újrafelhasználására. Az Egyesült Nemzetek Szervezetének 2017-es jelentése szerint (*WWAP, 2017*) világszerte csaknem 50 országban használnak tisztított szennyvizet öntözésre. Naponta körülbelül 15 millió m³ visszanyert vizet használnak fel mezőgazdasági öntözésre világszerte (*Elgallal et al., 2016*).

Az alábbi táblázat az egyes országok tisztított szennyvíz felhasználását mutatja:

Ország	Beszámolási év	Szennyvíz újrafelhasználása (%)	Ország	Beszámolási év	Szennyvíz újrafelhasználása (%)
Brazília ^a	2008	0.1	Mexikó ^a	2010	5.4
Egyesült Királyság ^h	2009	0.1	Japán ^e	2017	7
Franciaország ^c	2014	0.1	Irán ^a	2010	9.3
Dél-Afrika ^a	2009	0.2	Peru ^a	2011	11.5
Irak ^a	2012	0.9	Ausztrália ^b	2010	14
Libanon ^a	2011	1	Spanyolország ^f	2018	22
Görögország ^b	2010	1.1	Tunézia ^g	2008	25
Algéria ^a	2012	1.2	Szaúd-Arábia ^a	2010	34.6
Marokkó ^a	2010	2	Pakisztán ^a	2006	44
India ^a	2010	2	Egyesült Államok ^{és}	2012	46
			Kalifornia , Florida		44

1. ábra: Szennyvíz újrafelhasználása (százalékban) a növények öntözésére világszerte, és a jelentési év ugyanerre vonatkozóan (Forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277280992300028X#bib664>, <http9>).

2.5 Magyar tapasztalatok

Magyarországon korábban az 1970-es, 1980-as években alkalmazták kísérleti jelleggel a tisztított szennyvíz felhasználását, a gyulai mintaterületen, nyárfás terület öntözésére. A gyulai területtel közel egyidejűleg, a kecskeméti modelltelepen, a nyárfás öntözés mellett már más növénykultúrák öntözésére is sor került. A kezdeti kísérletek a rendszerváltás közeledtével, valószínűsíthetően a tulajdonviszonyok változásával és a támogatottság hiányában fokozatosan megszűntek. Kecskeméten jelenleg a Kecskeméti Konzervgyártó Kft. használt technológiai vizét öntözik el a nyárfásban. A nagykállói szennyvíztisztító telep közelében korábban szintén történt nyárfás hasznosítás. A szennyvíztisztító telepet 2014-ben a „Nemzeti Települési Szennyvízelvezetési és -tisztítási Megvalósítási Program”-ban felújították. A tervek szerint, az elfolyó szennyvíz vegetációs időszakban egy energiafűz ültetvényre, vegetációs időszakon kívül pedig a másodlagos befogadó vízfolyásba került volna (<http10>).

A szennyvíztisztító telep közvetlen közelében elhelyezkedő öntözésre alkalmas terület önkormányzati tulajdonban van és egy részét 2015-ben betelepítették energiafűzrel, amely 2016-ban kiszáradt (<http10>).

A terület gyenge termőképességű homokos talaja elméletben alkalmas lenne az energiafűz termesztésére. Az önkormányzat az energiafűz újratelepítését tervezi, amely a megfelelő technológia alkalmazásával alkalmas lehetne a környékbeli közintézmények fűtésére a téli időszakban. Magyarország területének kb. 42%-a (38 962 km²) az ún. potenciálisan öntözhető területek közé tartozik. A Magyarországon képződő tisztított szennyvizek hasznosításában rejlő lehetőségek kihasználásával hozzájárulhatnánk a Víz Keretirányelv (VKI) célkitűzéseinek eléréséhez. A tisztított szennyvíz Magyarország egyes területein alkalmas lehet különböző növénykultúrák öntözésére (*http10*).

Az energianövények, ezen belül a nyár, fűz és akác tulajdonságait, hasznosságát, élőhely szerepét, üzemi nyereségét, társadalmi értékét és számos már paramétert részletesen vizsgált a Dr. Gyuricza Csaba által vezetett „Új fás szárú energiaültetvény technológiája és hasznosításának komplex kidolgozása teljes termékpálya mentén” című projekt már 2007-2009. évben. A projekt szerint energiafűznél egy hektáron 12.000 - 18.000 dugvánnyal lehet számolni, ha az 1-2 éves letermelést célozzuk meg (*Gyuricza, 2008 alapján*).

A fás szárú energianövények közül a fűz nedvességtartalma 48-50%. Az ültetvény a néhány fajos mezőgazdasági termelésben plusz táplálékforrás jelentkezik, mely elősegíti a rovarok számának emelkedését, ezáltal nyújtva táplálékforrást a madarak és a biológiai növényvédelemben elengedhetetlen hasznos szervezetek számára. A fűz, illetve nyárfaultetvények fontos méhészeti jelentőséggel is bírnak. A fűz fajok az egyik legjobb korai pollentermelő fajok közé tartoznak, míg a nyár fajok a propolisz termeléshez nyújtanak kiváló alapanyagot. A fogoly és fácán a fűzesekben szívesen tartózkodik és szaporodik, mert itt alkalmas búvóhelyet, valamint terített asztalt is találnak. Mivel energetikai faültetvények többnyire kedvezőtlen adottságú termőhelyeken létesülnek, továbbá a talajkárok kisebbek, mint a legtöbb hagyományos szántóföldi növények termesztése során, ezért a területhasználat e formája az erózió elleni hatékony védekezési módszert is jelent. A megújuló energiaforrások több kisebb erő-, illetve fűtőműben való felhasználásának előnye, hogy helyben van szükség munkaerőre, lokális munkaerőt igényel, hozzájárulhat a vidék népességmegtartó képességéhez. Az energetikai ültetvények vidékfejlesztésben betöltött szerepe a kedvezőtlen adottságú termőhelyek hasznosításában, az olcsóbb energia előállításában, és az energiafüggőség csökkentésében rejlik (*Kondor, 2015 alapján*).

Ezen kívül meg kell jegyezni, hogy a mikroműanyagok, gyógyszermaradványok egy olyan területe a tisztításnak, amely jelentős kihívást okoz a szakembereknek és egyre inkább a szennyvíztisztító telepeknek is, hiszen ezek felhalmozódva a növényekben, élő szervezetekben komoly problémákat okozhatnak, emellett csökkentik a tisztított szennyvíz, szennyvíziszap felhasználási területeit, lehetőségeit.

A következő táblázatban, illetve két ábrán az Eurofins Hungary által a kecskeméti szennyvíztelepről elfolyó tisztított szennyvízből vett minták mérési eredményei láthatóak mikroműanyagokra. Ezek a táblázatok is bizonyítják, hogy egyre inkább foglalkozni kell a problémával.

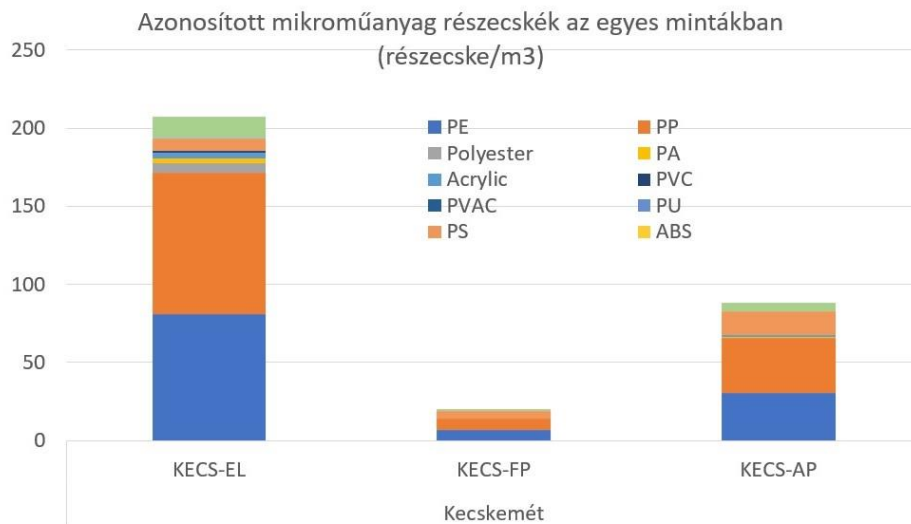
Az alábbi táblázatban a kecskeméti szennyvíztelepről elfolyó (KECS-EL) tisztított szennyvíz és a Csukás-érbe beengedett (felette – KECS-FP, alatta – KECS-AP) tisztított szennyvízben kimutatott különböző mikroműanyag részecskék mennyisége látható részecske (db)/m³ mintában, amik közül ötnek az értéke kiemelkedik:

Kecskemét				
	Mintajel	KECS-EL	KECS-FP	KECS-AP
Azonosított mikroműanyagok (részecske/m ³)	PE	80,7	6,6	30,5
	PP	90,6	7,6	35,5
	Polyester	6,0	0,0	0,0
	PA	3,0	0,0	0,5
	Acrylic	4,0	0,0	1,0
	PVC	1,0	0,0	0,0
	PVAC	0,0	0,0	0,0
	PU	0,0	0,0	0,0
	PS	8,0	4,7	15,0
	ABS	0,0	0,0	0,0
	Polycarbonate	0,0	0,0	0,0
	PTFE	0,0	0,0	0,0
	Cellulose acetate	1,0	0,0	0,0
	Alkyd	12,9	0,9	5,5
	Összesen	207,2	19,9	88,0

1. táblázat: Azonosított mikroműanyagok (részecske/m³) (Forrás: Eurofins Hungary, 2022)

Az alábbi ábra a 1. táblázat eredményeit szemlélteti

(függőleges tengelyen a darabszámok láthatók):

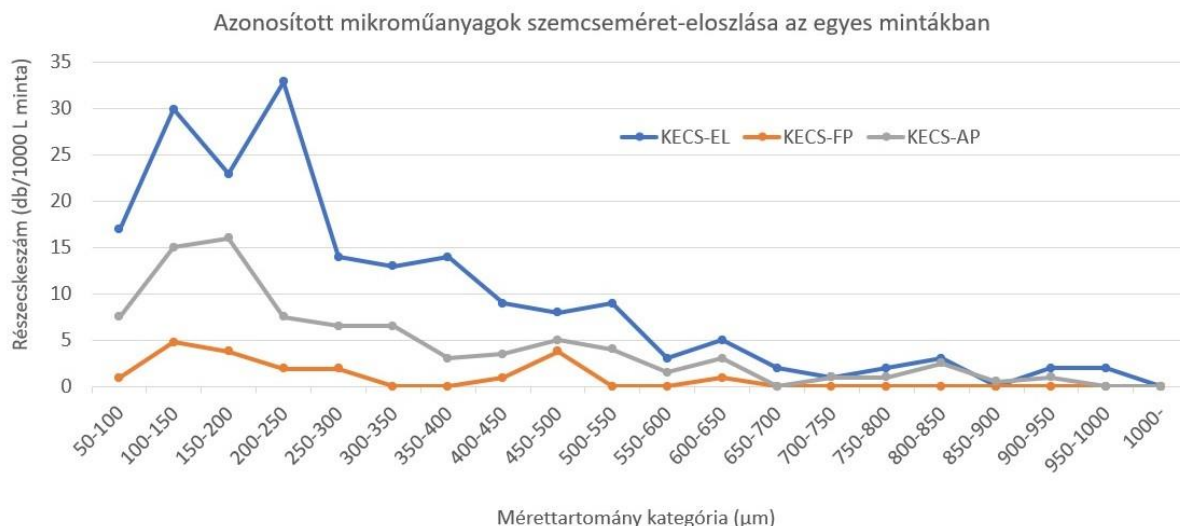


2. ábra: Azonosított mikroműanyag részecskék az egyes mintákban (részecske/m³)
(Forrás: Eurofins Hungary, 2022)

A diagramot elemezve (2.ábra) világosan látható, hogy a két meghatározó mikroműanyag az elfolyó szennyvízben a polietilén és a polipropilén. A polietilén legnagyobb felhasználója a csomagolóipar, a termékek közül pedig leginkább a műanyag táskákban jelenik meg ([http11](#)).

A polipropilén hőre lágyuló polimer, a vegyipar állítja elő és széles körben használják például csomagolásban, műanyag alkatrészekhez, autóiparban ([http12](#)). Ezeket a termékeket az emberek a mindennapjaik során használják, így előbb-utóbb hulladékká válnak és a mikroműanyag részecskék bekerülnek a szennyvizekbe.

Az alábbi ábrán az összes azonosított mikroműanyag szemcseméret-eloszlása látható db/1000 liter mintában:



3. ábra: Azonosított mikroműanyagok szemcseméret-eloszlása az egyes mintákban (Forrás: Eurofins Hungary, 2022)

A 3. ábrát elemezve érdekes módon az alacsony mérettartományban lévő mikroműanyagok jelentős darabszámban vannak jelen az elfolyó szennyvízben, míg a nagyobb mérettartományban lévő részecskékről ez nem mondható el.

Az alábbi táblázatban a kecskeméti szennyvíztelepen vett minta vizsgálati eredménye látható négy kiemelkedő gyógyszermaradványra:

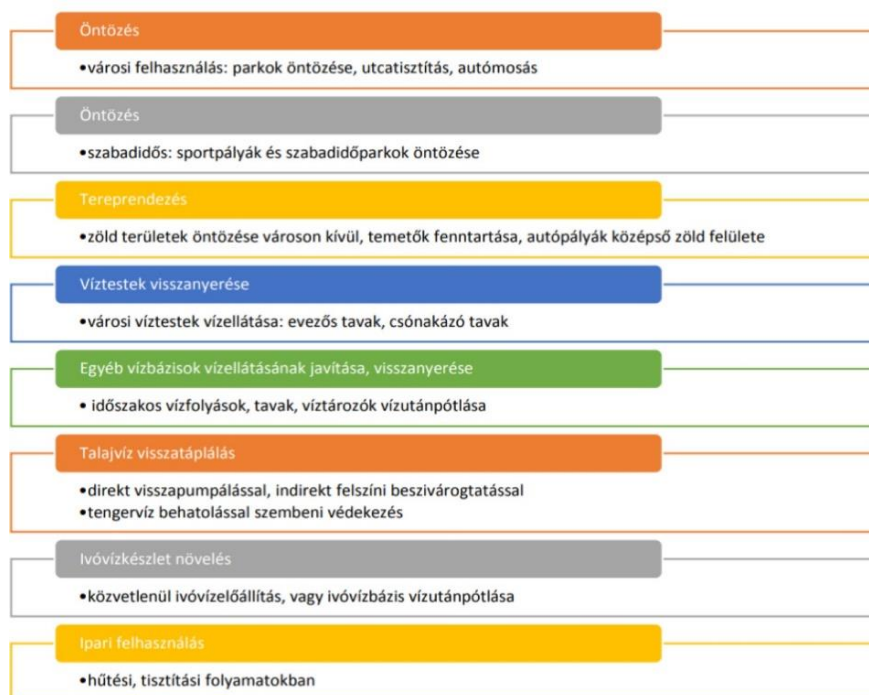
Vizsgált paraméter	Mértékegység	Minta jele		
		KECS-EL	KECS-AP	KECS-FP
Famotidin	µg/dm ³	1	1,4	0,004
Morfin	µg/dm ³	3,3	0,006	<0,001
Jopromid	µg/dm ³	5	4	<0,01
Metoprolol	µg/dm ³	1,3	1,3	0,005

2. táblázat: Vizsgálati eredmények gyógyszermaradványokra (Forrás: Saját szerkesztés Eurofins Hungary (2022) adatok alapján)

2.6 Tisztított szennyvizek hasznosítása a világban

A tisztított szennyvizet világszerte jellemzően erőművekben hasznosítják hűtésre, golfpályák öntözésére, épületek építésére, tűzoltásra és autómosásra (Zabalaga et al., 2007, Katsoyiannis et al., 2017, Yang et al., 2017). Tanulmányok szerint a világ tisztított szennyvizének 1,6–6,3%-át mezőgazdasági területek öntözésére használják (Ungureanu et al., 2018). A tisztított szennyvíz újrafelhasználása táplálhatja a növényeket, megakadályozhatja a felszíni és felszín alatti víz szennyeződését, és csökkentheti az édesvízkészletek terhelését. A tisztított szennyvíz használatának egy másik hatékony módja a mezőgazdasági termelékenység megőrzése száraz területeken (Tal, 2016, Jaramillo és Restrepo, 2017, Dery et al., 2019, Gargouri et al., 2022). Izrael például 1600%-kal növelte termelését, és a világ etalonjává nőtte ki magát (Tal, 2016).

Az alábbi ábra a tisztított szennyvíz felhasználási lehetőségeit szemlélteti:



4. ábra: A tisztított szennyvíz felhasználási lehetőségei

(Forrás: http://hidrologia.hu/vandorgyules/37/word/0313_kun_agnes.pdf, <http13>)

Ez a fejezet bővítette az ismereteimet a tisztított szennyvizek felhasználásáról és alapul szolgált az eredmények és értékelés fejezethez.

2.7 A tisztított szennyvíz vizsgálata, öntözéses hasznosítása

A tisztított szennyvizek öntözésre kívánt felhasználását minden esetben vízminőségi vizsgálatok alapján kell megállapítani. Ezeket a vizsgálatokat a területileg illetékes vízminőség vizsgáló laboratóriumok végzik. A tisztított szennyvíz öntözéssel való hasznosítása különböző ágazatok együttműködésével valósítható meg. Szintén fontos tényező, hogy a felhasználás előtti vizsgálatoknak ki kell terjedniük a környezeti tényezőkre is, mint például a csapadékra, hőmérsékletre, széljárásra, stb. Emellett agrotechnikai szempontokat is figyelembe kell venni, mint például azt, hogy a művelési ágakat, vetésszerkezetet jól kell megválasztani. Tisztított szennyvízzel elsősorban azokat a növényeket célszerű öntözni, amelyeknek mind a víz-, mind a tápanyag igénye nagy. Ilyen növény például a takarmányrépa, repce, kender, len, stb. Szennyvízöntözésre mind a felületi (barázdás, sávos, csörgedezettő, rövid idejű árasztó), mind az esőszerű öntözési mód megfelel. Gyakori a felületi és az esőszerű öntözés együttes alkalmazása, amit a szennyvízöntözés követelményei tesznek indokolttá. A felületi módok közül az árasztást rét-, legelő- és erdőterületeken, valamint a téli öntözések esetén lehet alkalmazni (*Ligetvári, 2008*).

A barázdás öntözés során a növénsorok között húzott barázdákban vezetett vízzel áztatjuk a talajt. Barázdásan öntözhető a kukorica, burgonya, cukorrépa, napraforgó stb. A felületi öntözésnél gravitációs úton, a talaj felületén vezetve juttatják el az öntözővizet a növényhez, tehát a talajt hosszabb-rövidebb időre összefüggő vízréteg borítja. Előnye, hogy a víz mozgatása alacsony energiaköltséggel jár, ugyanakkor hátránya a nagy vízvesztés, az egyenetlen vízkijuttatás és az előzetes tereprendezés szükségessége. Az esőszerű öntözés a változatos domborzatú és méretű területeken biztosítja az egyenetlen vízkijuttatást. Előnye, hogy bármilyen talajadottság mellett alkalmazható, hátránya pedig többek között a párolgási veszteség (*http14*).

A folyamatosan termelt szennyvíz hasznosítása esetén szükség van a víz tenyésztésén kívüli elhelyezésére is. Ilyenkor elsődleges cél a szennyvíz elhelyezés és minél több trágyaanyag kijuttatása az öntözendő területekre. Ezért télen minél töményebb szennyvizek kijuttatására kell törekedni. Télen általában felületi öntözéseket végeznek, a víznek a táblához való vezetéséhez azonban gyakran alkalmaznak csővezetéseket (*Ligetvári, 2008*).

2.8 A szennyvízben lévő anyagok hatása a talajokra és a növényekre

A felhasználás mellett viszont rendkívül fontos a vizsgálatok, mérések előzetes elvégzése. *Kalavrouziotis et al. (2012)* azt vizsgálták, hogyan halmozódnak fel a nehézfémek, és hogyan jutnak el az ehető növényi részekbe, például a gyümölcsökbe. Kockázatként jelentkezik, hogy a szennyező anyagok, nehézfémek és kórokozók bekerülhetnek a táplálékláncba, ha szennyezett vízzel gazdálkodnak, és szennyezett növényeket és élelmiszereket fogyasztanak (*Farhadkhani et al., 2018 ; Diaz-Sosa et al., 2020 ; Rose et al., 2022b*). A szennyvíz gazdaságos és fenntartható újrafelhasználási technikáihoz pontos kezelési stratégiákra van szükség – elsősorban a talaj minőségének, a természetű növényeknek, valamint az embereket és a környezetet fenyegető veszélyeknek a gyakori ellenőrzésére.

A talajra jelentős hatást gyakorol a szennyvíz öntözésre való felhasználása, mivel makro- és mikroelemeket biztosít nitrogén (N), foszfor (P), kálium (K), vas (Fe), cink (Zn), réz (Cu) és mangán (Mn) formájában (*Morgan and Connolly, 2013; Hao et al., 2022*).

A nitrogén szimbiotikus rögzítés vagy műtrágya révén van jelen a talajban. Mivel a tisztított szennyvíz kiváló nitrát- és ammóniumszállító, más műtrágya-alkalmazások (szervetlen nitrogén) életképes helyettesítője lehet. A szennyvíz felgyorsíthatja a mineralizációs folyamatot és növelheti a nitrogén felszívódását is a növényekben (*Quemada et al., 2016*).

Ezért a szennyvíz ígéretesen további nitrogént adhat a növényekhez, és javíthatja a fenntarthatóságot és az élelmezésbiztonságot.

Ez a fejezet szintén alapul szolgált az eredmények és értékelés részhez és valamilyen szinten kapcsolódik a mikroműanyagok, gyógyszermaradványok című 2.9 fejezethez, amelyeknek a felhalmozódása szintén probléma.

2.9 Mikroműanyagok, gyógyszermaradványok

Mikroműanyagoknak nevezzük az 5 mm-nél kisebb műanyag részecskéket, amelyek közvetlenül vagy közvetve kerülnek a környezetbe, vagy ott műanyagból képződnek (polimerek -szilárd, polimerek folyékonyak, bio és mesterséges polimerek stb.) (*http15*).

Természetes vizeinkbe lényegében két fő úton tudnak bekerülni a mikroműanyagok: a szintetikus szövetből készült ruhák mosásából és a kozmetikai szerekből (ezekbe szándékosan tesznek apró műanyaggyolyócskákat), valamint a környezetben jelen lévő műanyag hulladékok (például az autógumi, szigetelések) fizikai-kémiai aprózódása útján (*http15*).

Azzal, hogy a tisztított szennyvizet bevezetjük a vízfolyásokba, terhelik, megváltoztatják a vízi ökoszisztémát és kihatással vannak az élőlények (beleértve az ember) életminőségére és szaporodására. Az Európai Unióban (pl. Németországban) már jogszabályi kötelezettséget írnak elő többek között a mikroműanyagok, gyógyszermaradványok eltávolítására (IV. tisztítási fokozat megépítése), de hazánkban még a III. tisztítási fokozat kiépítését is be kell fejezni megközelítőleg 200 szennyvíztisztító telepen. A mikroműanyag méréséhez szükséges laboratóriumi vizsgálati eszközök, eljárások fejlesztése napjainkban zajlik vagy a jövő feladata. Számos anyagfajta mérési módszere nem kidolgozott, kimutatási határa pedig olyan alacsony, hogy csak egyes víz típusokban (pl. ivóvízben, felszíni vízben, míg szennyvízben, szennyvíziszapban nem) tudják megbízhatóan a fejlett vizsgálólaboratóriumok kimutatni jelenlétüket, mennyiségüket (*A tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetésének stratégiája tanulmány, Leitner 2022*).

Ausztriai mintavétel alapján a Duna mikroműanyag-hozama évi 1500 tonnára becsülhető. A szennyvízben koncentrálódó anyagokat a tisztítási folyamat sem távolítja el, jelen vannak az elfolyó szennyvízben is, így a szennyvíztisztító telepek koncentrált mikroműanyag szennyezőforrások (100-1500 részecske/m³). Ehhez annyit tennék hozzá, hogy jelenleg a ceglédi szennyvíztelepen dolgozok, ahol fejlesztések zajlanak, ugyanis egy újfajta membrántechnológiára fognak átállni, és ennek kapcsán a telepvezető elmondta, hogy ezzel a membránnal a mikroműanyagok 90%-át meg fogják tudni szűrni, és a megfogott mikroműanyag az iszapba jut. Viszont a 0,04 mikrométer alatti ún. nanoműanyagokat már nem képesek kiszűrni, ami a jövő kihívása lesz, hogy megoldás szülessen rá ([http15](#)).

A tápláléklánc elején elhelyezkedő szervezetek (planktonok, kagylók, halak) táplálkozási módjukból kifolyólag véletlenszerűen fogyasztják el a mikroműanyagokat, amelyek a tápcsatornájukban gyulladáshoz vezető reakciókat válthatnak ki és az egyed pusztulását is okozhatják, ugyanis nagy a mikroműanyagok az abszorpciós felülete és ezáltal megköti a fehérjéket. Franciaországban a hazánkban is előforduló fenékjáró küllő (*Gobio gobio*) egyedeiben találtak mikroplasztikokat ([http15](#)).

Például a saláta képes felvenni a nanoműanyagokat a talajból, és átjuttatni a táplálékláncba ([http16](#)), ami véleményem szerint egészségügyi szempontból komoly veszélyt jelenthet az ember számára.

Nem csak a fogyasztásukból eredő fizikai sérülések jelentenek kockázatot, de a vizekbe és az élőlények szervezetébe is egyaránt szivároghatnak káros vegyületek a műanyagokból ([http15](#)).

Tipikusan ilyenek a gyártás során használt toxikus vagy hormonháztartást zavaró anyagok (biszfenol-A, ftalátok és polibrómozott-difenil-éter égészátlók). A mikroműanyagok már anyagukban is kémiai veszélyt hordoznak, ám mivel képesek a vizekben jelen lévő szerves szennyezők megkötésére, így azokat koncentráltabb formában juttatják az élőlények szervezetébe. Átlagosan 1 m³ ivóvízben 7 mikroműanyag darabot azonosítottak német vízművekben. Valószínűsíthető, hogy ezek a vízkezelési technológia során kerültek bele, nem pedig a vízadóból származnak. „Kísérleti úton bizonyították, hogy egyes műanyag adalékok képesek hormonháztartást zavaró hatást kiváltani emlős tesztszervezetekben, sőt megjelenésüket már emberek szervezetében is ki lehet mutatni” Egyelőre sajnos semmilyen szabály nem vonatkozik az Európai Unióban a mikroműanyagokra, pedig a tengeri műanyag hulladékok kérdéséről és a kozmetikumok mikroműanyag-tartalmáról élénk politikai vita övezi ([http15](#)).

Véleményem szerint ebben sürgősen változásra van szükség, mert amíg nincsenek szabályok, határértékek meghatározva, addig érdemben nem lehet nagyot előre lépni a probléma megoldásában.

A legtöbbet vizsgált környezeti elem jelenleg a víz, de szennyvizek, üledékek, vízi élőlények és élelmiszerek vizsgálata is egyre inkább a figyelem középpontjába kerül. A szennyvíztisztító telepeken alkalmazott mintavételi eljárás során 1 m³ szennyvizet szivattyúznak át egy szűrőn, ugyancsak a térfogatcsökkentés céljából, míg az üledék-mintavétel során a térfogat csökkentése már nem cél, hiszen ilyen esetben eleve szilárd anyagból indulnak ki. A mikroműanyagokra vonatkozó jogi szabályozás első lépése lehetne a mikroműanyagok, mint környezeti jellemzők monitorozásának beemelése a Víz Keretirányelvbe (20/60/EC). Ennek szükségszerűségét az is alátámasztja, hogy a problémakört már leírták az Európai Tengervédelmi Stratégiáról Szóló Keretirányelvben (2008/56/EC). A további szennyezés megelőzése érdekében csökkenteni kell a felhasználást, és növelni az újrahasználat és újrahasznosítás arányát. Jó példa, hogy világszerte több országban korlátozzák a műanyagszennyezéshez nagymértékben hozzájáruló műanyagzacskók (hivatalos elnevezéssel: vékony falú műanyag hordtáskák) használatát (pl. Kína, India) ([http15](#)).

Az Amerikai Egyesült Államokban több megyében (főként Kalifornia és Hawaii államban) totális tiltást alkalmaznak. Olaszországban csak lebomló alapanyagból előállított bevásárlótáskák használhatók 2011-től ([http15](#)). Úgy gondolom, hogy ez helyes irány és további intézkedések szükségesek.

Hazánkban az Eurofins Analytical Services Hungary által végzett vizsgálatok a következő eredménnyel zárultak: az eredmények szerint a Tiszában köbméterenként 4,9 db 300 mikrométernél nagyobb, de 2 mm-nél kisebb, míg 62,5 db 15 és 300 mikron közé eső részecske található. Ezek az adatok a nemzetközi eredmények tükrében is jelentősek, hiszen a 300 mikrométernél nagyobb tartományban a Duna ausztriai szakaszán 0,3 részecskét, olaszországi tavakban 1-4 részecskét, míg a Rajna iparosodott szakaszán 15-20 részecskét mutattak ki köbméterenként. A leggyakoribb kimutatott műanyagfajták a polipropilén, politetrafluoretilén (teflon) és a polietilén voltak (*http15*).

Gyógyszermaradványnak nevezünk a környezetbe kijutó minden olyan kémiai szennyezőanyagot, amely különböző gyógyszerhatóanyagokat, valamint azok bomlástermékeit (metabolitokat) tartalmazza. Ide sorolhatjuk a gyógyászatban jelenleg nagy mennyiségben használt különböző fájdalomcsillapítókat, gyulladáscsökkentőket, hormonokat, antibiotikumokat, vizelethajtókat, kontrasztanyagokat, nyugtatókat, stb (*http17*).

A Fővárosi Vízművek laboratóriuma és a Budapesti Műszaki Egyetem szakértőinek bevonásával egy K+F program keretében végzett mérések eredményeiből megállapítható, hogy a leggyakrabban használt gyógyszerek – szteroidhormonok (ösztrol, 17 α -ösztadiol, 17 α -etinil-ösztadiol, ösztrol) és nem szteroid jellegű vegyületek (ibuprofen, ketoprofen, diklofenak, naproxen). A természetes vizek szennyezettsége jellemzően igen kicsi (kb. 100 ng/l, a nanogram a gramm egymilliomod része), a kezelt vizeké pedig jellemzően még kisebb (50 ng/l alatti). Az egyes vízbázisok szennyezettsége azonban nagymértékben eltér. A vizekbe kerülő gyógyszer mennyiség szempontjából a legfontosabb tényező a térség népsűrűsége, illetve a gyógyszeripar esetleges jelenléte. A természetes vizekben a hatóanyagok koncentrációját a hígulás mértéke és az alkalmazott szennyvíztisztítás befolyásolja (*http17*).

Balázs (2014) szennyvíztisztítással kapcsolatos zárójelentésében írja, hogy az Európai Unióban körülbelül 3000 különböző gyógyszerhatóanyagot használnak, beleértve fájdalomcsillapítókat, antibiotikumokat, diabétesz elleni készítményeket, béta-blokkolókat, fogamzásgátló szereket, lipid-anyagszere szabályzókat, valamint antidepresszánsokat. Ezek a vegyületek átalakulnak a szervezetben. A változatlanul maradt gyógyszerek és a keletkezett metabolitjaik kombinációját a szervezetünk kiüríti. A kiválasztott gyógyszermaradványok a vizelettel és salakanyaggal bekerülnek a nyers szennyvízbe. Ha ezek a gyógyszermaradványok (vegyületek) csak részben távolítjuk el a szennyvízből, akkor a maradék mennyiség bejuthat a környező vizekbe és a talajvízbe.

Mostanára a megfigyelések alapján kiderült, hogy egyes hatóanyagok már ng/ml koncentrációban is megváltoztatják a természetes életműködést (*Balázs, 2014*).

Jelenleg nem létezik egységes tudományos álláspont az ivóvízbe esetlegesen nagyon kis mennyiségben bekerülő gyógyszerhatóanyagok szervezetünkre gyakorolt hatásáról. A folyadékkromatográfiás tömegspektrométer (LCMS) módszer több mint 100 különböző gyógyszermolekula kimutatására (ivóvizekből, felszíni vizekből) alkalmas nagyon alacsony (1-10 ng/l) koncentrációtartományban. Felszíni vízmintákban több, különböző terápiás csoportba tartozó gyógyszerhatóanyagot mutattak ki, a meghatározott komponensek 1-200 ng/l koncentráció tartományban voltak jelen a vizekben. Ivóvízminták analízise során nem találtak az akkreditált alsó méréshatárt meghaladó mennyiségben gyógyszerhatóanyagokat (*http17*).

Véleményem szerint a gyógyszermaradványok koncentrációját jelentősen csökkenteni lehetne a szennyvizekben, ha például a gyógyszergyártók jogszabályban szabályozott módon kötelezve lennének a lejárt és fel nem használt gyógyszerek visszagyűjtésére.

Ez a fejezet rávilágít arra, hogy a mikroműanyagok, gyógyszermaradványok egyre növekvő száma miatt megoldás lehet a természetközeli tisztítás alkalmazása, illetve az energianövények öntözése, amit magam is javaslok a 4. fejezetben.

3. Alkalmazott módszerek (anyag és módszer)

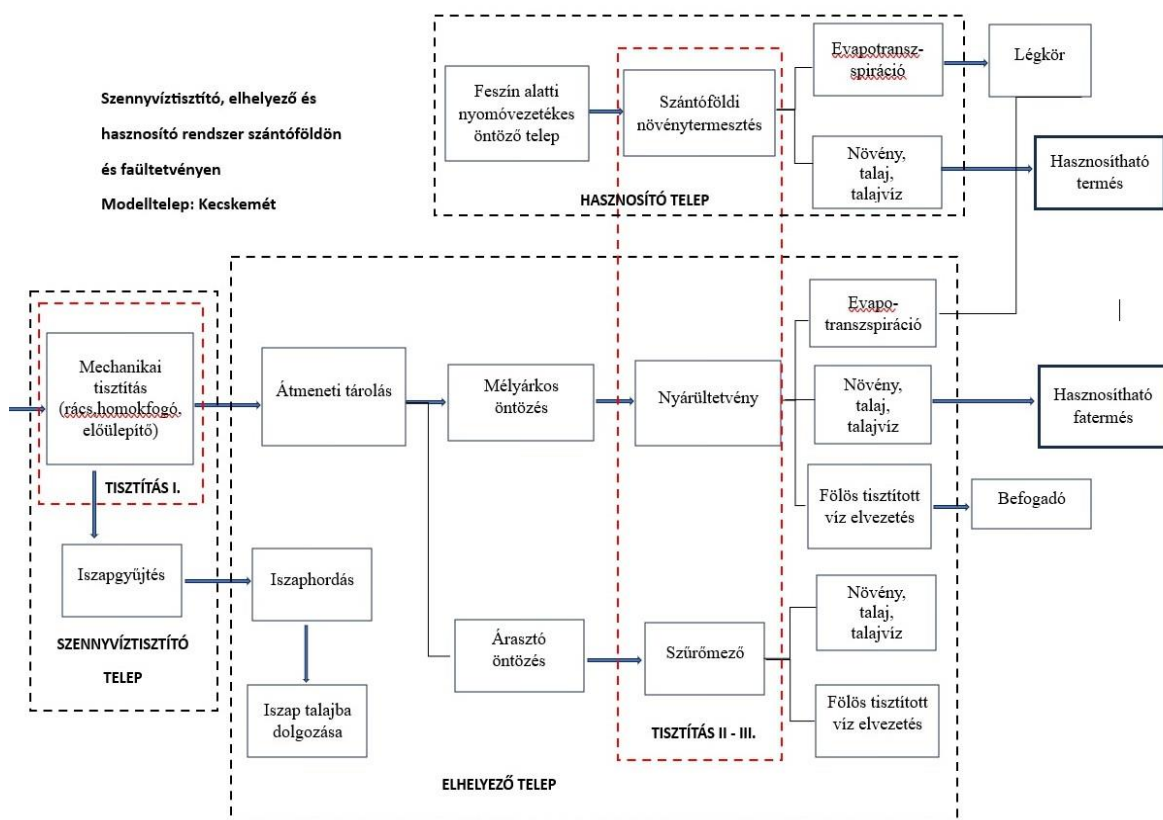
A célok teljesítéséhez az adatgyűjtés módszereit az interneten tanulmányozott szakcikkek, illetve a külső konzulensnél meglévő helyi és országos kutatások, tervek képzik.

A feldolgozás módszere az, hogy az Eurofins Hungary által megmért, a tisztított szennyvízben lévő mikroműanyagok és gyógyszermaradványok fajtáit, mennyiségét és az azok eltávolítására alkalmas technológiákat vizsgálom.

Az értékelés módszere, hogy kiválasztok egy energianövényvel (energiafűz) történő hasznosítási módszert.

3.1 A kecskeméti öntöző és hasznosító telep működése 1972-1984 között

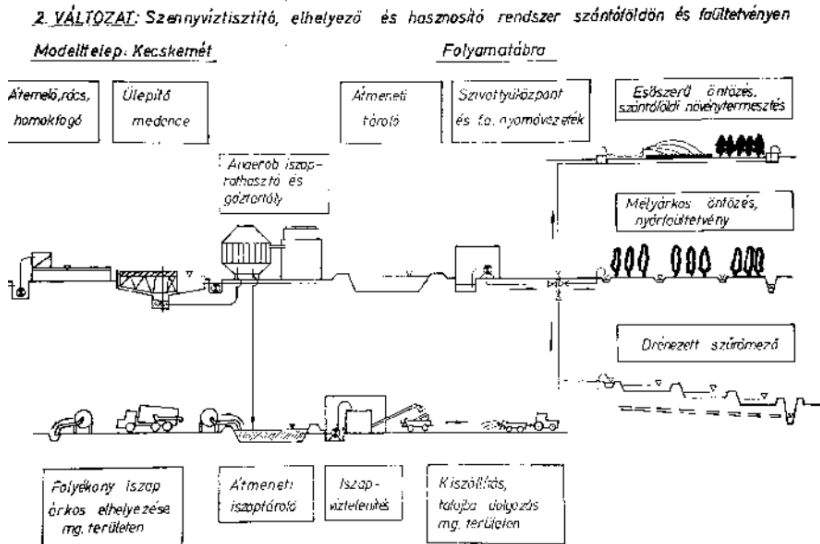
Az alábbi ábra a telep működését mutatja be az említett időszakban:



5. ábra Kecskeméti öntözőtelep működése 1972-1984 (Forrás: Saját szerkesztés Vermes L. (2017) – Öntözés-e a szennyvízöntözés? előadás alapján)

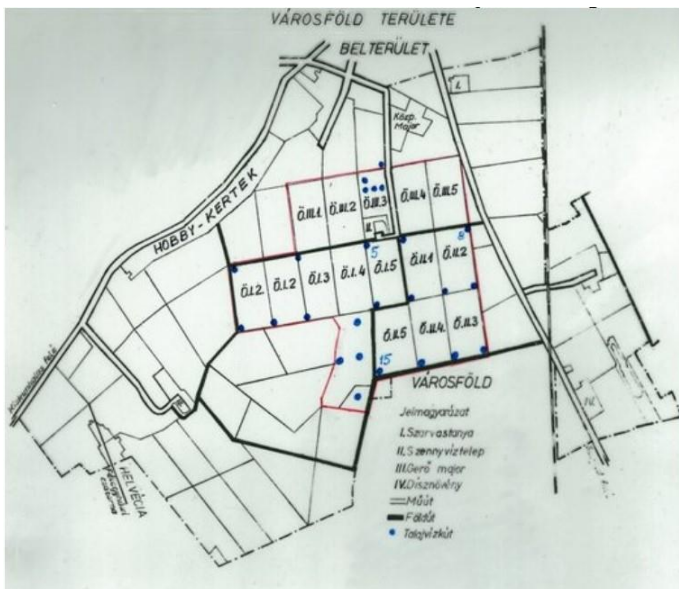
Az alábbi ábra a kecskeméti szennyvíz tisztításának és öntözéses hasznosításának

hossz-szelvénye az 1972-1984 közötti időszakra vonatkozóan:



6. ábra: A kecskeméti szennyvíz tisztításának és öntözéses hasznosításának hossz-szelvénye (Forrás: Vermes L. (2017) – Öntözés-e a szennyvízöntözés? előadás)

Az alábbi ábrán Kecskemét Városi Szennyvíz Elhelyező és Hasznosító Rendszer helyszínrajza látható:



7. ábra: Kecskemét Városi Szennyvíz Elhelyező és Hasznosító Rendszer helyszínrajz (Forrás: Vermes L. (2017) – Öntözés-e a szennyvízöntözés? előadás)

1972-1985 között hozták létre több lépcsőben a Kecskeméti Kísérleti Szennyvízöntöző Telepet. A szennyvíztisztítás, -elhelyezés és -hasznosítás olyan rendszere alakult ki, amelyik logikailag érthető és jól követhető. A komplex technológia 4 jellegzetes szakaszra bontható: az előkezelés, az átmeneti tárolás, a kijuttatás és szétosztás, végül az elhelyezés és hasznosítás (Vermes, 2017).

730 ha szántón esőztető öntözés történt, 76 hektáron nyárfaultetvény volt mélyárkos, barázdás öntözéssel, 7 hektáron pedig szűrőmezőt alkalmaztak kazettás árasztó öntözéssel. Az éves átlagos vízborítás szántón 160 mm, nyárfásban 1500 mm, biztonsági szűrőmezőn 4000 mm volt. A termesztett növények hibridkukorica vetőmag, lucerna, takarmány gabona, gyepnövények voltak. 1973-1986 között összesen több mint 30 millió m³ szennyvizet hasznosítottak (szántón), és helyeztek el nyárfásban és a szűrőmezőn (Vermes, 2017).

Az alábbi képen az akkori szennyvíztározó látható:



8. ábra: Szennyvíztározó (Forrás: Vermes L. (2017) – Öntözés-e a szennyvízöntözés? előadás)

Az alábbi képen a nyárfás öntözőtelep



9. ábra: Nyárfás öntözőtelep (Forrás: Vermes L. (2017) – Öntözés-e a szennyvízöntözés? előadás)

Az alábbi képen az akkori teraszos, gyepes szűrőmező látható:



10. ábra: Teraszos, gyepes szűrőmező (Forrás: Vermes L. (2017) – Öntözés-e a szennyvízöntözés? előadás)

Gazdaságosság szempontjából a kecskeméti telepről elmondható, hogy 1987-ben végzett fitoproduktív mérések szerint a hibridkukoricában az egyedszám csökkenés csak 7%-os volt, szemben az öntözetlen állomány 10 %-os értékével. A föld feletti részek fito-tömege az öntözött állományban 3,7 t/ha-ral volt több mint az öntözetleneké, míg a szárazanyag-produktív mérések az öntözött állományban 17,7 t/ha maximumot mutattak az öntözetlen 14,0 t/ha értékével szemben. A csövenkénti szemszám 21,3 %-kal, a szemtömeg pedig 34,4 %-kal haladta meg az öntözetlen kontroll értékeit (Vermes, 2017).

Összefoglalás

Az 1972-1984 között Kecskeméten működő öntöző és hasznosító telepet értékelve összességében szerintem a telep egy minta, példa lehet arra, hogy napjainkban hogyan és mit kéne tenni a jelenleg működő szennyvíztelepeink nagy részével, ugyanis a már korábban említett mikroműanyagok, gyógyszermaradványok miatt változtatásra lesz szükség. Véleményem szerint a kecskeméti telep összességében eredményesen működött, ugyanakkor egy idő után nem volt elég támogatottság mögötte, valamint a tulajdonviszonyok is változtak, így teljesen háttérbe szorult, majd meg is szűnt. A gazdaságosság szempontjából leírt számok is bizonyítékok arra, hogy a tisztított szennyvízzel öntözött növényeknél jobb termésátlagok születtek. Az a tanulság számomra, hogy ebbe a tisztítási és öntözési módszerbe érdemes befektetni, mert fenntartható, átláthatóbb és egyszerűbb a napjainkban működő technológiáknál, a mérések pedig bizonyítják, hogy a megtisztított szennyvízzel öntözött növények jobb eredményeket mutattak, mint azok, amelyek öntözetlenül maradtak.

3.2 Kecskeméti élelmiszeripari (Kecskeméti Konzervgyártó Kft.; Univer-Product Zrt.) technológiai használtvizek öntözéses hasznosításának lehetőségei tanulmány (2017) értékelése

Előzmények

A Kecskeméti Konzervgyártó Kft. az élelmiszerek előállításából keletkező technológiai mosóvizet a belterületi lakóterületektől délre a Kecskeméti Öntöző Szövetkezet öntöző (hasznosító) telepén keresztül a környező mezőgazdasági területeken öntöz ki, azaz hasznosít nyíltárkos árasztásos módon és esőztető berendezéssel. A keletkező technológiai vizek nem minősülnek veszélyes hulladéknak, a hasznosításra pedig az engedélyt megadta a Bács-Kiskun Vármegyei Kormányhivatal.

A kihelyezésre 214, 2 ha vehető igénybe, melyre 315.810 m³/év vízmennyiség helyezhető ki. 2017-ben készült egy tanulmány, amikor a kihelyezéssel érintett mezőgazdasági területek közvetlen közelében zajlottak a Mercedes gyárhoz kapcsolódó ipari beruházások, melyek az előzetes becslések szerint érintik a mezőgazdasági területek egy részét is. Ezen kívül a tanulmány kitér arra is, hogy az elmúlt években időszakonként bűzpanasz volt a használtvizek kiöntözésével és havária tározóban történő átmeneti tározásával kapcsolatosan. Ennek következtében a hatóság előírta, hogy a mosóvíz mezőgazdasági területen történő hasznosítási engedélyének megújításáig a BAT előírásoknak teljes egészében megfelelő hasznosítást és öntözőrendszert kell kiépíteni.

Mindközben tárgyalások kezdődtek el a szomszédos telephelyen üzemelő Univer-Product Zrt.-vel, mert a paradicsom feldolgozó technológiájuk kapacitását jelentős mértékben tervezték növelni a közeljövőben, ami miatt a technológiai használtvizük növekedni fog, amit mezőgazdasági területen szándékoztak hasznosítani a magas csatornadíjak miatt.

Megoldás keresése

Kecskemét belterületétől D-DK-re a Szeged-Kecskemét vasútvonal – 44.sz. főút – Alsó záportározó – Csukáséri-főcsatorna és Kecskemét közigazgatási területhatára által határolt mezőgazdasági területen volt tervbe a hasznosítható terület kialakítása.

A jobb oldali képen látható az említett terület:



11. ábra: A hasznosítható mezőgazdasági terület
(Forrás: tanulmányból, saját fotó)

Ezen a területen a két vállalat (Univer-Product Zrt., Konzervgyártó Kft.) használt technológiai vizei kerülnének kihelyezésre (hasznosításra). A két cég hasznosítandó vízmennyisége a távlati elképzeléseket is figyelembe véve megközelítőleg 1.000.000 m³/év. Lebontva ez júniusban, júliusban és októberben nagyjából 3000 m³/nap, míg augusztusban és szeptemberben maximum 11.000 m³/nap. A kihelyezésre 650-700 ha szántóterület vehető igénybe.

A kihelyező terület térségében monitoring hálózat üzemel a talajvíz minőségének ellenőrzésére és az eredmények azt mutatták, hogy a talajvíz minőségét nem befolyásolja a vízkihelyezés.

A használtvizet, hogy ki lehessen juttatni a területre, új nyomóvezeték épülne a telephelyektől mintegy 6 km hosszon a kihelyező terület ÉK-i oldalának közepéig, ahol kialakításra kerülne egy zárt fogadó akna és a nyomásközpont, majd ebből a központból épülnének ki a nyomóvezetékek a területen a hidrásokig (a felszín alatti öntözővezetékekből a talajszint fölé emelkedő, gyorskapcsolókkal ellátott függőleges cső, amelyre az öntözőberendezés csatlakozóvezetéke szerelhető).

A jobb oldali képen látható a tervezett nyomóközpont és a tározók helyszíne:



12. ábra: A nyomóközpont és a tározók helyszíni
megjelölése

(Forrás: tanulmányból, saját fotó)

A tanulmány szerint a víz kijuttatása csévélődobos öntözőgépekkel és/vagy lineár körforgó öntözőgépekkel történne szórófejeken, vízágúkon keresztül, ami a saját javaslatom elkészítése szempontjából (lásd 4. fejezet) nem lényeges, hiszen ott árasztó öntözést javaslok, így ezekkel az öntözési módokkal (csévélődobos, lineár, körforgó) nem foglalkozom a továbbiak során.

A tanulmány kitér rá, hogy havária tározó nem épül a területen a bűzproblémák elkerülése végett. Ehelyett az öntözőtelepen történő havária esetén a Bácsvíz Zrt. fogadná a vizeket a városi szennyvíztisztító telepen a havária megszüntetéséig, azaz alkalmanként maximum két-három napig. Ezzel a megoldással tudják biztosítani, hogy mindenkor a keletkezést követően néhány órán belül még a bomlási folyamatok megindulása előtt kihelyezésre kerüljön a technológiai víz a mezőgazdasági területekre. A kihelyező terület térségében csak néhány tanya található, illetve a fogadó akna és a nyomásközponttól 900 m-en belül nincs lakóépület. Ezen kívül a kihelyező területen és néhány km-es körzetében védett természeti területek és Natura 2000 területek sem találhatóak. Egyedül a Csukáséri-főcsatorna mentén húzódó az országos ökológiai hálózat övezetébe tartozó folyosó és magterületek érintik a kihelyező területeket.

A Bácsvíz Zrt. megvizsgálta a konzervgyári szennyvíz és a kukorica csuhéj fogadásának lehetőségeit és feltételeit. Ez alapján a Bácsvíz a technológia szennyvíz fogadására a következő ajánlatot tette: mindösszesen 25 napra, 1500 m³/d-re 33.966.800 Ft + Áfa költséggel kell számolnia a konzervgyárnak, amely árban benne van az egyszeri díj teljes szezonnra (keményítő bontó gomba készítménnyel történő egyszeri beoltás költsége), a vegyszerek napi költsége, a tisztítási költség, a többlet villamos energia költsége, a többlet iszapkezelés költsége. Továbbá a Bácsvíz Zrt. a kukorica csuhéj rothasztóban való fogadását is átgondolta és arra az eredményre jutott, hogy a technológiájuk nem alkalmas annak fogadására.

Összefoglalás

A tanulmányt olvasva, értékelve összességében pozitív véleményem van a leírtakról. Véleményem szerint mindenképpen jó irány, hogy a jelen tanulmányban megemlített két vállalat a technológiai használt vizét tisztítást követően mezőgazdasági területen szándékozza hasznosítani és emellett együttműködést mutatott a hatóságokkal, a Bácsvíz Zrt.-vel és keresték közösen a megoldást többek között a megfelelő terület kiválasztására, a használtvíz hatékony felhasználására.

A használtvíz elhelyezése, felhasználása során ügyeltek arra is, hogy ne veszélyeztessen védett természeti területeket, lakóövezeteket sem.

A terv szerint csemegekukoricát termesztettek volna és ehhez át kellett volna adni a területet. A tervezett projekt végül nem valósult meg, mert a felek nem írták alá a megállapodást. A Konzerv Kft. továbbra is kiengedi a technológia mosóvizét a Mercedes gyár melletti területre, míg az Univer-Product Kft. szennyvizét a kecskeméti szennyvíztelep fogadja.

Véleményem szerint mindennek ellenére most és a jövőben is minden eszközzel keresni kell a lehetőségeket, megoldásokat arra, hogy a keletkező tisztított szennyvizeket például mezőgazdasági területen országszerte az előírásoknak megfelelően hasznosítsuk és ennek lehetőségeiről, előnyeiről legyenek tájékoztatva az illetékes cégek is.

3.3 „Kommunális szennyvizek és szennyvíziszapok energia- és nyersanyagtartalmának innovatív hasznosítása” GINOP pályázati projekt ismertetése, értékelése

A Bácsvíznek a projekttel a célja egy komplex, a szennyvízkezelést integráltan kezelő új technológia fejlesztése volt, mely a kommunális szennyvizek és szennyvíziszapok energia- és nyersanyag-tartalmának hasznosítását célozza. A kutatási tervek szerint a fejlesztett prototípusok, illetve technológiák használatával a képződött fölösiszapot sűrítést követően mikroaerob termofil fermentációval előhidrolizálják és víztelenítik (speciális fermentációs membrán bioreaktorban) – hidrolizáló prototípus. Ezt követően a hidrolizált iszapot anaerob rothasztóra juttatják, ami a biogáz kihozatalt és a szennyvízből kitermelhető energiamennyiséget megnöveli. A reaktor csurgalékvizében nagy koncentrációban jelen levő szerves-, és növényi tápanyagokat (N, P, K, és mikroelemek) desztillációval választják el egymástól – párologtató/desztilláló prototípus. Az eljárással illékony, rövid szénláncú szerves savakat állítanak elő, melyek szénforrásként a rothasztóban biogázhozam növelése céljából hasznosíthatók, illetve ipari alapanyagként is értékesíthetők. A rothasztott iszap csurgalékvizét korszerű membrántechnológiával kezelik (FO-RO prototípus), így az abban lévő tápanyagokat kinyerve csökkenteni tudják a telep nitrogén- és foszforterhelését, valamint további műtrágya képződik (*A prototípus technológiák integrálása a szennyvíztisztító telepen dokumentáció alapján, 2022*).

Az alábbi három képen a projekt során alkalmazott néhány berendezés látható:



13. ábra Mini hidrolizáló berendezés
(Forrás: A prototípus technológiák integrálása a szennyvíztisztító telepen dokumentációból)



14. ábra A FO-RO technológia konténere (Forrás: A prototípus technológiák integrálása a szennyvíztisztító telepen dokumentációból)



15. ábra A bepárló berendezés
(Forrás: A prototípus technológiák integrálása a szennyvíztisztító telepen dokumentációból)

Az üzemeltetés tapasztalatai és eredményei alapján az UTB Envirotec Zrt. felépítette azt a módszertant, amelynek segítségével a hidrolizáló technológia bármely magyarországi szennyvíztisztító telepre adaptálható és optimalizálható, ugyanakkor Kecskemét esetében megállapították, hogy nem hozná a várt eredményeket a technológia. Ugyanakkor a Bácsvíznek tervei, céljai vannak, melynek részeként 2020. március-április során elkészültek az ipari méretű hidrolizáló technológia alapozását adó beton alaptestek. A továbbiakban ezek alkalmasak lehetnek arra, hogy a megfelelő mértékben léptéknövelt hidrolizáló technológia telepítése során használatba vehetők legyenek (*A prototípus technológiák integrálása a szennyvíztisztító telepen dokumentáció alapján, 2022*).

Összefoglalás

Véleményem szerint nagyon fontos és szükséges ezzel a technológiával kísérletezni és ezáltal kihasználni minden lehetőséget arra, hogy a keletkező szennyvizek és szennyvíziszap energiatartalmát valamilyen módon hasznosítsuk. A fő cél, hogy a keletkező iszapot, ami sok esetben hulladék lenne, valamilyen módon hasznosítva legyen és szerintem ez egy olyan módszer, amit mindenképpen alkalmazni és fejleszteni kell, hogy minél szélesebb körben alkalmazható legyen. A saját megoldási javaslatom szempontjából ez a rész indifferens, ugyanakkor számos hasznos és fontos információval gazdagodtam a szennyvíziszap hasznosítást illetően.

3.4 „A tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetésének stratégiája” tanulmány értékelése, amely az Országos Vízügyi Főigazgatóság (OVF) főigazgatójának megrendelésére készült, Leitner László és OVF, Bácsvíz, MaVíz szakemberei által

A tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetése az Európai Unió Parlamentje és az Európai Unió Tanácsa a 2020/741-es „A víz újrafelhasználására vonatkozó minimumkövetelményekről” szóló rendelete 2023. június 26. napjától alkalmazandó az Európai Unió tagállamaiban, így hazánkban is. Az egész stratégiának az az alapja, hogy egy szemléletváltásra van szükség, ugyanis az elsődleges cél az lenne, hogy a tisztított szennyvizet mezőgazdasági célokra használjuk és csak a legvégső esetben engedjük be időszakos vízfolyásokba, élővizekbe a kezelt szennyvizet. Az emberiség fejlődése, növekedése és a jólét egyre több helyen történő kialakulása szinte törvényszerűen hozta magával a növekvő szennyezést, ami sajnálatos módon a vizeinkben is megjelent és ma már komolyan kell foglalkozni a szennyvizeink tisztításával, hasznosításával.

A tanulmány szerint vannak fizikai (hő -, sószennyezés) és kémiai szennyezők (szerves-, szervesetlen szennyezők), amelyeknek a mennyisége, tulajdonságai nagyban befolyásolják a tisztított szennyvíz minőségét. A szennyvizet csoportosíthatjuk eredetük szerint, mint kommunális, ipari és mezőgazdasági szennyvizek, ami a dolgozatomban szempontjából is fontos, ugyanis az egyik legnagyobb kibocsátó a mezőgazdasági termékeket feldolgozó konzervipar, ugyanakkor a megtisztított szennyvizet, illetve a szennyvíziszapot pont a mezőgazdaság tudná a leginkább hasznosítani.

Magyarországon átlagosan 100 l/fő/nap a keletkező szennyvíz mennyisége, illetve a felhasznált ivóvíz 80-95%-ból szennyvíz lesz, amivel bizony foglalkozni kell. A tanulmány külön fejezetet szán a mikroműanyagoknak, gyógyszermaradványoknak, hiszen napjainkban ez jelenti az egyik legnagyobb kihívást a szennyvíztisztításban, ugyanis amíg ezeket a szennyezőket nem tudjuk megfelelő módon kiszűrni, addig a tisztított szennyvíz, illetve szennyvíziszap felhasználása is kérdéseket vet fel. Amit megtudtam a mikroműanyagokról a szennyvizek esetében, hogy a nyers szennyvízben megjelenő MP-részecskeszám eléggé tág határok között mozog: 1–10.044 db/l, míg az elfolyó tisztított szennyvízben ez 0–447 db/l értéktartományba esik, aminek az oka többek között az eltérő mintavételek, vizsgálati módszerek.

Véleményem szerint egyre nagyobb hangsúlyt kell fektetni az ún. újfajta szennyezők kezelésére a szennyvizekben azért, hogy nyugodtabb szívvel lehessen ajánlani például a mezőgazdaság számára a hasznosításukat és ezáltal nagyobb mértékben lehessen felhasználni ahelyett, hogy elégetnénk, ahogy ezt teszi több nyugat-európai ország is.

Az elmúlt évek során az Európai Unió különböző döntéshozó szervei számos szabályozást írtak elő a szennyvizek, szennyvíziszapok felhasználásáról, kezeléséről. A Víz Keretirányelv az egyik ilyen, melynek alapvetése, hogy a víz nem szokásos kereskedelmi termék, hanem örökség, amit ennek megfelelően szükséges óvni. Úgy gondolom, hogy ez egy nagyon fontos lépés volt, ugyanis nagy hangsúlyt helyez az irányelv a hasznosításra, mint például arra, hogy műtrágya helyett előtérbe kell helyezni a komposztot, fermentációs maradékokat.

Ahogy a tanulmányaim során a víziközmű gyakorlatban is láttam, a legtöbb szennyvíztisztító telepen mindent megtesznek annak érdekében, hogy a szennyvizet a lehető legjobb hatásfokkal tisztítsák, ezért próbálnak folyamatosan kísérletezni, próbálkozni különböző módszerekkel (pl.: YDRO – Kunszentmiklós), illetve a szennyvíziszapkezelés egyik végtermékeként biogáz formájában hasznosítani, amit többek között a helyi telep villamosenergia igényeinek kielégítésére tökéletesen fel tudnak használni, ezzel vásárolt villamos energiát, költséget is spórolnak. Az YDRO lényege, hogy egyes baktériumok olyan enzimeket termelnek, amelyek a többlet szerves anyagot lebontják. A fölösiszap csökkentése, lebontása a cél. Az YDRO a zsírokat is lebontja, csökken a KOI, illetve a szaghatás is, ha a hálózaton adagoljuk.

A tanulmány kitér arra hazánk esetében, hogy bizonyos szabályokon szükséges lenne változtatni, amivel én teljes mértékben egyet tudok érteni. Az egyik ilyen terület, ahol változás szükséges, az a mikroműanyagok esete, hiszen itt nincsenek kidolgozott határértékek, ami véleményem szerint jelentős gátló tényező a tisztítás és felhasználás szempontjából.

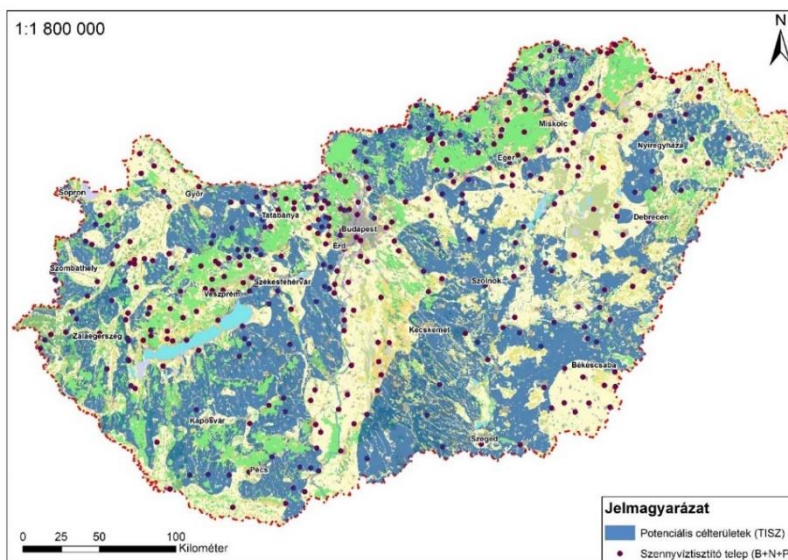
A másik a bírságok területe. Jelenleg az üzemeltető köteles akkor is bírságot fizetni, ha tőle független okok miatt következik be a szennyezés. mint például a csapadék illegálisan bejut a szennyvízcsatornába, onnan a szennyvíztisztító telepre és mivel az elkerülő vezeték jelenleg tiltott, kimossa a technológiából az eleveniszapot a befogadóba. Ez véleményem szerint így nem igazán ésszerű, illetve sokszor az ilyen bírságok emésztik fel a szolgáltatók kiadásainak egy részét, pedig számos más területre lehetne költeni a bevételeket, mint például a tisztítási hatékonyság növelésére, a technológiák fejlesztésére.

Jó hírként jelzem, hogy e probléma megoldására – miszerint a megkerülővezeték tervezését és kivitelezését, és szabályzott használatát kötelezővé kell tenni – a tanulmány 2022-ben már az Országos Vízügyi Főigazgató asztalára került.

E két területtől eltekintve a tanulmány alapján megállapíthatom, hogy összességében Magyarországon a szennyvíztisztítás, elhelyezés jól szabályozott, valamint nem a bírságolás kerül előtérbe, hanem a megelőzés.

A tanulmányt készítő munkacsoport felmérte az igényeket a gazdálkodók részéről, ami jól mutatja, hogy nagy igény van egyrészt az öntözésre és az öntözésfejlesztésre. Öntözővízként szolgálhat a jól megtisztított szennyvíz egy felszíni vízbe bevezetve, és azt utána a felszíni vízből kivéve, de így a szennyvizekben lévő N és P mezőgazdasági hasznosulása nem valósul meg a felszíni vizek ökológiai állapotának megőrzési kötelezettsége miatt. Egy térinformatikai adatbázison megvizsgálták, hogy mely szennyvíztelepek rendelkeznek alkalmas technológiával és azok közül mennyi esik a potenciális öntözési célterületre (összes szennyvíztisztítótelep 10%-a).

Az alábbi ábrán ezeket a potenciális területeket lehet látni:



16. ábra: Öntözésre potenciálisan alkalmas területek hazánkban

(Forrás: A tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetésének stratégiája tanulmány, 2022)

A projekt összegzése: a III. tisztítási fokozattal bíró szennyvíztisztítók 5 km-es körzetében a tisztított szennyvízzel öntözhető területek Magyarország területeinek 2%-át adják szántó és energiaültetvény besorolású területeken, s ez az érték 10 km-es körzetre bővítve is csak 6%.

Tehát a tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való visszavezetése Magyarországon csak csekély mértékben tud megvalósulni. Véleményem szerint a nem túl biztató eredmény ellenére sem tanácsos elvetni a lehetőségeket és mind egyéni, mind állami szinten fontos lenne, hogy egyre nagyobb hangsúlyt és támogatást kapjon ez a terület is, hiszen mindannyiunk érdeke, hogy ilyen módon is egyrészt óvjuk a környezetünket, másrészt a pazarlás és káros tevékenységek helyett felhasználjuk mindazt, amit a jelenlegi technológia segítségével lehetséges.

Ami még fontos kérdés, hogy a tisztított szennyvizet, szennyvíziszapot hol tudjuk hasznosítani, elhelyezni. Hazánkban egyesek az aszályos területeken történő elhelyezést, a gyengébb termőképességű, rossz vízháztartású, élelmiszernövények termesztésére nem alkalmas, gyengébb minőségű homoktalajokat tekintik alkalmasnak.

A jelenlegi hozzáállás alapján élelmiszeri és takarmányozási célú növények termesztése esetén nem ajánlatos tisztított szennyvíz öntözést használni.

Amiben én magam is nagyobb lehetőséget látok, az az energetikai célú növénytermesztés, amire alkalmas például az olasz nád, japánfű, energiafűz. Ezzel el tudjuk érni a nagy gyökértömeg kialakulását a talajban, aminek hatására a talajvízbe nem szivárognak szennyeződést okozók (nitrát, nitrit, fémek, mikrobák).

Például a nagy vízigényű energiafűz alkalmazása jelentősen csökkenteni tudja az I. zóna (részletesen a 4. fejezetben) szükséges méretét. A méret meghatározásánál arra is figyelni kell, hogy az energiaültetvényen megtermesztett növények értékesítése (villamos energiaként, vagy önmagában faként) elegendő bevételt hozzon a rendszer fenntartására és hasznot is termeljen. Az energiaültetvényeket a rosszabb minőségű termőterületeken érdemes létesíteni, ahol ma kicsi a mezőgazdasági terméshozam. Pozitív hatás, hogy az adott nagyságrendű mezőgazdasági területnek a hektáronként haszna jelentősen megnő. Emiatt a mezőgazdasági gazdálkodók bevonása könnyebben átfordítható a jelenlegi energianövényekkel szembeni bizalmatlanságból.

Magyarországra nézve több lehetőséget is rejteget ennek a technológiának az előtérbe helyezése. Hazánk energetikai szuverenitása növekedne, a terméshozam szintén növekedne az öntözött területeken, a kutatás-fejlesztés területe pedig fejlődne (*A tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetésének stratégiája tanulmány, Leitner 2022*).

Összefoglalás

Összefoglalva az elmúlt évtizedek alatt rengeteget változott a világ, az emberiség számos fejlődésen, változáson ment és megy át, ami egyrészt kihívást jelent, másrészt egyre sürgetőbbé válik a változás szükségessége. A szennyvizek tisztítása hazánkban megfelelőnek mondható, ugyanakkor szükség van a folyamatos fejlesztésekre és új technológiák bevezetésére. A mikroműanyagok, gyógyszermaradványok kezelése szennyvízben szinte az egész világon jelenleg még bizonyos mértékben kihívást jelent, de vannak már jó példák is, amelyek motiválóak lehetnek hazánk számára.

Magyarországon a tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetése a kutatások alapján csak csekély mértékben tud megvalósulni, ugyanakkor a tanulmányt megismerve a tanulság számomra az, hogy komolyabban kell venni a problémát és szerintem minden lehetőséget ki kell aknázni, hogy az energetikai célú növénytermesztés előtérbe kerüljön, ugyanis ez lehetőségeket rejt, amibe érdemes befektetni.

3.5 A kecskeméti szennyvíztisztító telep technológiai leírása

A kecskeméti szennyvíztisztító telep technológiai felépítést *a prototípus technológiák integrálása a szennyvíztisztító telepen dokumentáció (2022)* tanulmányozása, illetve személyes tapasztalataim alapján írom le.

A telepre a nyers szennyvíz három fő ágból érkezik be, míg a tengelyen érkező szennyvizet (tartálykocsi szállítás) egy beöntő műtárgytól külön vezetéken vezetik a telepi átemelő műtárgyba. A telepi átemelő kapacitás hat darab, három különböző típusú szivattyú kapacitásából adódik össze.

A szennyvíztisztító telepre beérkező nyers szennyvíz mennyiségét áramlásmérő méri és regisztrálja, az így rögzített információ a számítógépes kontroll felületeken valós időben elérhető az irányítási rendszer segítségével, valamint rögzítésre és eltárolásra kerül, így később dátum és időpont szerint kereshető és újra leolvasható.

A telepre érkező szennyvíz tisztítása a fizikai tisztítással kezdődik. Az első lépés a ráccsal történő tisztítás, amely a szennyvízben található makro szennyeződések távolítja el. A szennyvízben található makro szennyeződések eltérő méreteihez igazodva a fizikai tisztítás is többféle méretű rácsközű ráccsal történik.

A tisztítási folyamat következő fokozata a homokfogóval történő tisztítás, ahol már vegyszeradagolás is történik. A homokfogó elsődleges célja a nagyszemcsés ásványi szennyeződések gravitációs és flotálás elvein alapuló leválasztása, ahol a flotáláshoz szükséges sűrített levegőt két darab levegőfúvó biztosítja. A vegyszeradagolás célja a szennyvíz foszfortartalmának leválasztásának előkészítése. A homokfogót követi a négy darab előülepítő medence, melyből azonban a normál üzem mellett csak három funkcionál folyamatosan ülepítőként. A negyediket a biológiai tisztító medencékből elvett fölösiszap tárolására és sűrítésére alkalmazzák. Az ülepedés folyamata során képződő ülepített nyersiszapot a medence gyűjtőteréből egy zsiliptolózár segítségével vezetéken keresztül az iszapvíztelenítő gépházba továbbítják. Az ülepített szennyvíz két aknán keresztül a biológiai tisztító eleveniszapos medencék osztóműtárgyába kerül tovább vezetésre, ahol gravitációsan kerül szétosztásra a szennyvíz a négy ágra. Itt található az az akna, amely havária jellegű hidraulikus túlterheléses eseménynél lehetőség van a befolyó szennyvíz megkerülő ágra terelésére is. A levegőztető medencék térfogata egyesével 3.000 m^3 . A biológiai tisztító medencékben levegő befúvó berendezések működnek, melyeket a medencéktől biztonságosan elkülönített levegőztető gépészet lát el sűrített levegővel.

A biológiai medencéket követően az ezekből elfolyó szennyvíz a 4 darab, azonos felépítésű utóülepítő medencébe kerül. Ezek úgynevezett Dorr-ülepítők. Az ülepítő medencék térfogata egyesével $V=2.750 \text{ m}^3$. Az ülepítőkből összegyűlt iszapot forgókotrók segítségével visszavezetik a levegőztető medencékbe.

A telep hatékonyságának szempontjából is fontos kiemelni, hogy az iszapelvétele folyamatosan mérve van. Az utóülepítőből az átbukással elvett, tisztított szennyvíz az R3 jelű aknába kerül. Innen vagy az R4 jelű mosóvíz aknába halad a vezeték, vagy az R5 tisztított szennyvíz elvezető aknába. Az R4 akna látja el az üzem különböző részeit mosóvízzel (ezek közé tartozik a gázmotor gépház, iszapsűrítő gépház, iszapkezelő gépház). Az R5 aknából a szennyvíz először a fertőtlenítő medencébe lép be, ahova a klórozóból vezetéken keresztül klórt adagolnak. A nyers iszap az elősűrítőként használt I. előülepítő medencéből és a fölösiszap az utóülepítőkből érkezik az iszapkiegyenlítő aknába. A telepre vezetett szennyvíz tisztítása során, normál üzemállapotok mellett a keletkező iszap napi mennyisége átlagosan $Q = 500 \text{ m}^3/\text{d}$. Az iszapot az iszapsűrítő gépházba továbbítják. Az iszapsűrítőkről lejtő sűrített iszap egy iszapgyűjtő tartályba, majd pedig az iszaprohasztókra jut.

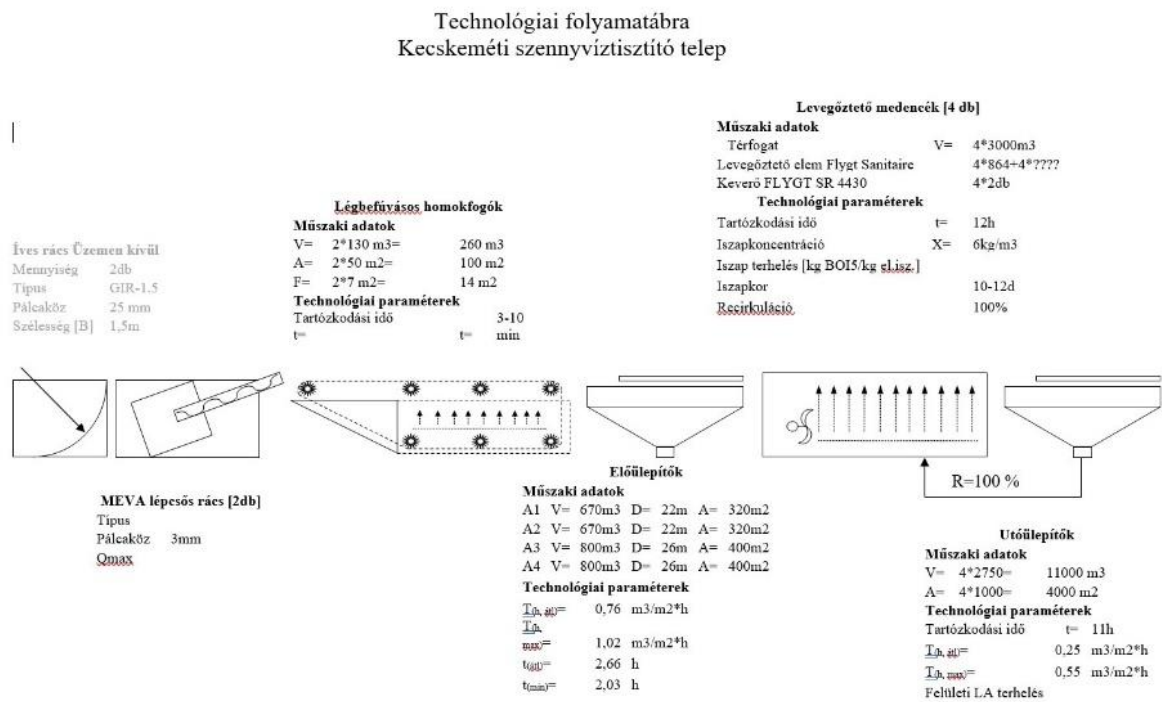
A sűrítőről dekantált csurgalékvíz (dekantvíz) közvetlenül, míg az iszapgyűjtő tartály csurgalékvíze egy átemelő szivattyú segítségével a telepi csurgalékvíz csatornába folyik, ami a szennyvíztisztítási folyamat elejére, a telepi átemelőbe vezeti vissza a csurgalékvizet.

Az iszapkezelés következő fázisa a sűrített iszap anaerob rothasztása, aminek célja a szervesanyagok stabilizálása, patogének csökkentése, illetve biogáz termelése. A telepen 3 db mezofil rothasztó létesült, amiből két darab 1350 m³-es és egy darab 2 460 m³ térfogatú. Az iszapkezelő gépház kigázosító medencéjéből két darab 40 m³/h kapacitású iszapszivattyú továbbítja a rothasztott iszapot az iszapvíztelenítő gépház kiegyenlítő medencéjébe. A rothasztó tornyokban keletkező biogáz gázharangokban gyűlik össze. A gázharangok mosóvízesatlakozással rendelkeznek, amelyek elfolyója a csurgalékvízzel a telepi átemelőbe távoznak.

A három rothasztótorony gázharangjaiból a biogázvezetékek az iszapkezelő gépház emeleti szintjén egyesülnek, és a keletkező gázt a gerincvezetékben két darab kompresszor juttatja a gázmotor- és fűvógépházba. A gázmotor- és fűvógépházban két gázmotor található, amik villamos energia előállítására, valamint kapcsolt hőenergia hasznosításra tudják a biogázt felhasználni. A nem tárolt gáz egy 140 m³/h biztonsági fáklyán és egy 100 m³/h kapacitású biztonsági gázlefúvatón keresztül távozik. A kazánházba a gáztározóból jut biogáz, ami mellett földgázzal is ellátható. A gáztartályban keletkező víz a csurgalékvízes csatornába jut.

A rothasztókról távozó iszapot az iszapkezelő gépház kigázosító medencéjéből két darab iszapszivattyúval vezetik az iszapvíztelenítő gépház előtti 50 m³ térfogatú kiegyenlítő medencébe. A túlfolyó iszapvíz az iszapvíztelenítő gépház csurgalékvízcsatorna aknájába kerül, ahonnan az a telepi átemelő aknába folyik le. Mivel ebben a műtárgyban sűrített és rothasztott iszap keveredik, fokozottan bűzös a légtére. A külső levegő felé ezért egy 5000 m³/h kapacitású légfúvóval ellátott biofilter szellőzteti. A centrifugákkal nyert 20-25% szárazanyag tartalmú víztelenített iszap egy 15 m hosszú, 6 m³/h kapacitású iszapszállító csigán keresztül jut a komposztálóba. A centrifugáról elfolyó csurgalékvíz (szűrletvíz) és az iszapvíztelenítő gépház padlóösszefolyójában összegyűlő szennyvíz telepi csurgalékvíz csatornába jut, ami a szennyvíztisztítási folyamat elejére, a telepi átemelőbe vezeti vissza a csurgalékvizet (A *prototípus technológiák integrálása a szennyvíztisztító telepen dokumentáció alapján, 2022*).

Az alábbi ábrán a kecskeméti szennyvíztisztító telep technológiai folyamatábrája látható:



17. ábra: Kecskeméti szennyvíztisztító telep technológiai folyamatára (Forrás: A prototípus technológiák integrálása a szennyvíztisztító telepen dokumentáció, 2022)

Néhány saját fotó a kecskeméti telepről:



18. ábra: Kifolyó szennyvíz (Forrás: saját fotó)



19. ábra: Levegőztető medencék (Forrás: saját fotó)



20. ábra: Dorr-típusú utóülepítő (Forrás: saját fotó)



21. ábra: Rothasztótornyok (Forrás: saját fotó)

Összefoglalás

A telep működéséről személyes tapasztalat alapján is elmondhatom, hogy összességében jól működik és hatékonyan tudják tisztítani a napi 16.000 m³ beérkező szennyvizet. Külön előnye a telepnek, hogy a keletkező iszaptól biogázt állítanak elő, ami fedezi a telep villamos energia szükségleteit, ami véleményem szerint környezetvédelmi szempontból is kiemelendő.

4. Eredmények és értékelés

A kecskeméti szennyvíztisztító telepen keletkező napi 16.000 m³ tisztított szennyvíz mikroműanyagok, gyógyszermaradványok miatti szikkasztásos előtisztítás és ipari növény öntözésére való hasznosítás tanulmányterve

A korábban leírt szakirodalmakat átolvasva, illetve a különböző tanulmánytervek értékelése alapján, valamint Sütő Vilmos külső konzulensemmel, a Bácsvíz nyugalmazott főmérnökével egyeztetve, ebben a fejezetben írom le, készítettem el a kecskeméti szennyvíztelepen naponta keletkező 16 000 m³ tisztított szennyvíz szikkasztásos előtisztítása és öntözéses hasznosításának tanulmánytervét, amely a konkrét javaslataimat is tartalmazza.

A tisztított szennyvíz öntözés a már felhasznált víz újrahasznosítását jelenti. Tekintettel a várható klíma változásra ennek nagyon nagy jelentősége lesz.

Kecskeméten a tisztított szennyvíz visszavezetése az időszakos vízfolyásba azért probléma, mert a jelenlegi tisztítási technológiával nem lehet eltávolítani a szennyvízből, az oldott állapotban lévő gyógyszermaradványokat, hormonok és hormonhatású gyógyszerek maradványait (fogamzásgátlók), ezekkel azonos hatású kémiai anyagokat (xenobiotikumok mennyisége a szennyvízben az előbbieknél több ezerszerese), drogmaradványokat. Az utóbbi időben az érdeklődés központjába kerültek a mikroműanyagok is.

A fentiek alapján is ezek az anyagok egyre nagyobb mennyiségbe kerülnek az élővizekbe. Az élővíz ezeket nem semlegesíti, így károsítják annak élővilágát. A legnagyobb probléma azonban az, hogy ezek a rendkívül káros, anyagok az ivóvízzel az emberek szervezetébe kerülve, lassan kialakuló, de maradandó, visszafordíthatatlan károsodást okoznak.

A IV. tisztítási fokozat értékelése, mint lehetséges megoldás

Napjainkban a világ néhány országában zajlanak kísérletek többek között a mikroműanyagok kiszűrésére az úgynevezett IV. tisztítási fokozattal. Jelenleg a poliszacharidok közé tartozó ciklodextrinek (rövidítés: CD) mutatnak ígéretes lehetőséget a kis mennyiségben jelen lévő xenobiotikumok kiszűrésére ([http18](http://18)).

A ciklodextrinek üreges szerkezetű molekulák, melyek az üreg belsejében másodrendű kötésekkel megkötik, gyakorlatilag „becsapdázzák” az eltávolítandó szerves komponenseket. A ciklodextrineknek több fajtája is létezik, melyek más és más molekulaméretű szennyezőanyag-molekulákat képesek megfogni. A téma jelenleg még kutatás alatt áll, így a gyakorlati alkalmazás későbbre várható. Egy másik lehetőség a membrános tisztítás (nanoszűrés, illetve fordított ozmózis), mellyel gyakorlatilag ivóvíz tisztaságú (emberi fogyasztásra is alkalmas!) vizet lehet előállítani a szennyvízből (*http18*).

A fenti módszert elvetem és a következőkben indoklom: alkalmazására elsősorban vízhiányos területeken (például Izrael) látok lehetőséget. Jelenleg kisebb berendezések már üzemelnek, viszont nagyon drága a telepítésük és üzemeltetésük (*http19 alapján*), éppen ezért az alább kidolgozott megoldási javaslatomban ezzel a tisztítási fokozattal / móddal nem foglalkozom.

A kecskeméti telepre általam javasolt műszaki megoldások főbb elemei

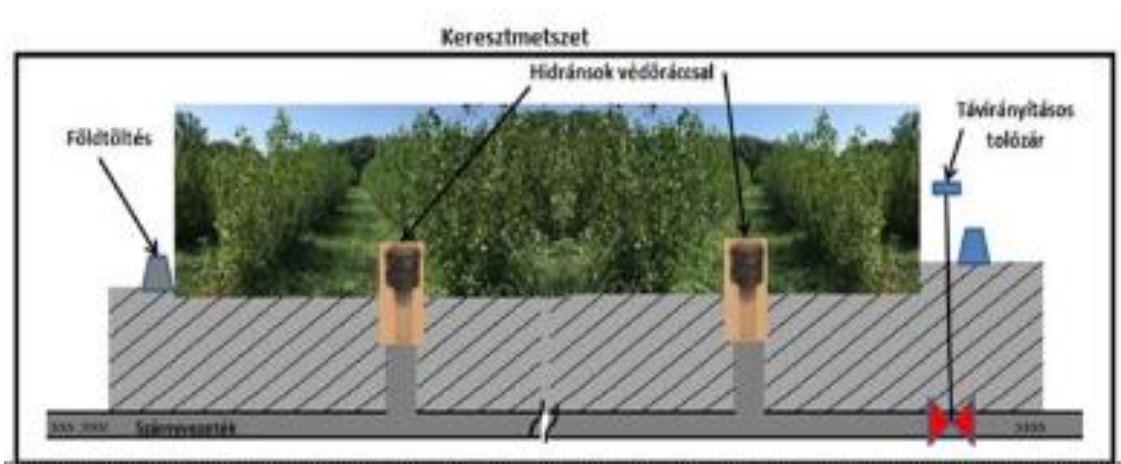
A III. tisztítási fokozatú szennyvíztelep tisztított szennyvizének elvezetése a kijelölt terület I. zónájába (lásd 44. oldal) kell, hogy megtörténjen. Az I. zónában a környezeti kockázatok felmérése, a talajszerkezet ismeretében műszaki védelemmel vagy anélkül egy energianövény zónát javaslok kialakítani, ahol biztosítjuk, hogy a talajvíz ne szennyeződjön el, illetve az energiaültetvényen átszivárgó vizet kollektor csövön gyűjtenénk össze.

Az energianövényes részt elárasztanánk a tisztított szennyvízzel. A telepítés előtti komplex vizsgálatok alapján kiválasztott energianövényt rendszeresen, minimum évenként „aratni/letermelni szükséges” -vigyázva, hogy a levelek ne terheljék a talajt- majd a területről letermelt anyagot deponálás és száradás után fűtőműbe szállítjuk égetésre, majd az ebből származó használati és fűtési melegvíz előállításra.

A gyökérezónákon átszivárgott visszanyert vizet ezután összegyűjtenénk a kollektorcsöveken, majd ezt a II. zónában öntözésre használnánk.

A II. zónában olyan a mezőgazdaságban hasznos, de nem közvetlenül emberi fogyasztásra alkalmas növények termesztését javaslom, melynek a felvevő piacát részben a piaci folyamatok, részben állami garanciavállalás mellett mindenkor biztosítjuk (például len, kender).

Az alábbi ábrán a javasolt szabad kifolyású (árasztó) öntözés keresztmetszete látható:



22. ábra: Árasztó öntözés keresztmetszet (Forrás: Ligetvári, 2022)

Ennek a módszernek a beruházási igénye minimális. Szakaszos öntözést is lehetővé tesz. A magas növésű energiafűz esetében véleményem szerint ideális megoldás.

Az energiaültetvény-rendszert folyamatosan kontrolláljuk (üzemeltető) a telepítéstől számított 20 éves időszakban. Amennyiben bármilyen műszaki probléma történik és pl. a talajvízben valamelyik tisztított szennyvízből származó szennyezőanyag megjelenik, akkor a szükséges beavatkozásokat haladéktalanul el kell végezni. Az I. zóna üzemeltetését a szennyvíztelep üzemeltetője látná el vagy egy arra feljogosított szervezet.

Az energiaültetvények hasznosságán túlmenően a javaslatom fontos eleme, hogy a tisztított szennyvízből az I. zónán való átvezetése alatt a mikroműanyagok, gyógyszermaradványok jelentős része eliminálódik, így a visszanyert víz kockázat nélkül és a mezőgazdaság számára a felszíni és felszín alatti víznél hasznosabb összetétellel biztosíthatja az öntözővizet. Feltételezhetően -, de ezt mintaprojektben vizsgálni és bizonyítani kell - az így visszanyert vizet korlátlanul lehet majd öntözésre használni (A tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetésének stratégiája tanulmány alapján, Leitner 2022).

A javasolt műszaki megoldás méretezése

Magyarországon az éves csapadékvíz mennyisége területtől függően átlagosan 500-800 mm (*http20*), és ezt úgy veszem figyelembe, hogy ez a mennyiség az előntözött mennyiségen túl jelentkezne. A mezőgazdaságban az átlagértéknél magasabb lenne a vízigény, azaz ilyen csapadékvíz mennyiség mellett is kénytelen öntözni. Ez azt jelenti, hogy a 1000 mm/év körüli csapadékvíz terhelés a mezőgazdasági termesztés számára biztosan nem okoz túlterhelést.

A szennyvíztelepre naponta 16.000 m³ szennyvíz érkezik be, amiből kiindulva kiszámoltam, hogy mekkora területet igényelne a megvalósítás az I. -és II. zóna esetében. A 20-25% szárazanyagtartalmú iszap napi mennyisége 30m³, ami elhanyagolható.

A tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetésének stratégiája tanulmány alapján a mezőgazdasági terület 1.000 mm/év terhelésével számolva a szükséges elméleti terület (teljes terület locsolása esetén) (16.000 m³/nap x 365 nap/év): $1 \text{ m/év} = 5\,840\,000 \text{ m}^2 = 584 \text{ hektár}$.

Szintén a tanulmányra alapozva az 584 hektár 10%-a lenne az **I. zóna**, tehát **58,4 hektár** lenne a javaslatom (műszaki védelem, dréncszövezés, energiaültetvény).

Az „új fás szárú energiaültetvény technológiája és hasznosításának komplex kidolgozása teljes termékpálya mentén” című projekt (*Gyuricza, 2008*) megállapításai alapján hektáronként **17.800** fűtő elültetését javaslom. Egy fűtőnek a projekt szerint 15 liter/nap a párologtatási mennyisége, azaz összesen 267 m³/nap /hektár párologtatási értéket vettem figyelembe.

Az I. zónában az energianövények vízfelvétele, párologtatása tehát 267 m³/nap/ha, azaz 58,4 ha x 267 m³/nap=15.592 m³/nap tisztított szennyvízből származó víz (párologtatás + vízfelvétel összes mennyisége).

Az I. zóna végén visszanyert víz mennyisége: $16.000 \text{ m}^3/\text{nap} - 15.592 \text{ m}^3/\text{nap} = 408 \text{ m}^3/\text{nap} + 16,4 \text{ m}^3/\text{nap}$ esővíz (0,6 m átlagos csapadékmennyiség évente, amit figyelembe veszek x 1 ha (10 000 m²) = 6000 m³ esővíz/év/ha. $6000 \text{ m}^3 / 365 \text{ nap} = 16,4 \text{ m}^3/\text{nap}/\text{ha}$). A 16,4 m³/nap/ha értékkel a továbbiakban nem számolok, mert elhanyagolható. Ez a mennyiség részben elpárolog majd, részben pedig a talajvizet fogja gazdagítani.

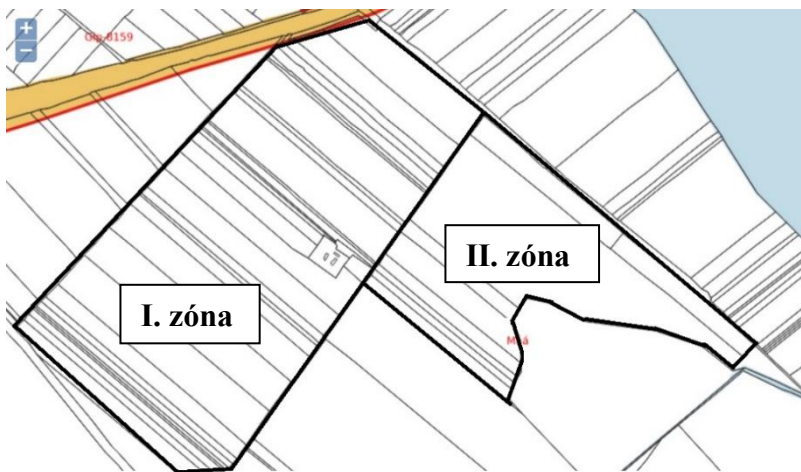
II. zóna: Az öntözött haszonnövény és a talaj folyamatos vízutánpótlása érdekében 5 l/m²/nap mennyiségű öntözővízzel öntöznénk a II. zóna területén, így 50 m³/ha öntözővízzel számolhatunk, azaz $408 \text{ m}^3/\text{nap}$ keletkező víz / $50 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{nap}$ öntözővíz igény = 8,16 ha.

A II. zóna javasolt területe (öntözött haszonnövények) **8,16 hektár**. Az I. zónán a teljes vízmennyiséget átvinnék, és a maximális mennyiségű energianövényt ültetnék.

Az energiaültetvényen a példában a fűz telepítésével, vízfelvételeivel és azon belül csak az elpárologtatott víz mennyiségével számolok egész évre átlagosan.

A tisztított szennyvíz terhelésnél csúcs kapacitásra számolok a biztonság miatt. Mintaprojektekben kell majd tisztázni a korrekt méretezési számokat, jelenleg csak az elv kerül bemutatásra.

Az alábbi ábrán látható az a két potenciális terület (I. és II. zóna), amit a technológia megvalósítására javaslok:



23. ábra: Javasolt alkalmas terület a megvalósításra (Forrás: Saját szerkesztés kecskeméti TRT (2023) alapján, http21)

Az alábbi ábrán nagyított nézetben, barna nyíllal megjelölve látható a javasolt terület:



24. ábra A javasolt terület nagyított nézetben (Forrás: Saját szerkesztés kecskeméti TRT (2023) alapján, http21)

Az alábbi táblázat a kecskeméti szennyvíztelep napi 16 000 m³ szennyvíz terhelésnél az általam javasolt területigényét adja meg:

Keletkező szennyvíz m³/nap (Kecskemét)	16 000
Átlagos ellátott lakosság fő	120 000
I. zónába kijuttatható szennyvíz mennyisége m ³ /nap	16 000
I. zóna hektárigénye	58,4
I. zóna javasolt nagysága (ha)	58,4
I. zóna hasznosított vízmennyisége m ³ /nap	15 592
II. zónára maradó öntözővíz mennyisége m ³ /nap	408
II. zóna öntözhető terület ha-ban	8,16
Összes területigény ha-ban (I + II zóna)	66,56

3. táblázat: 16 000 m³ szennyvíz terhelésnél javasolt területigénye a technológiának

(Forrás: Saját szerkesztés a tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetésének stratégiája tanulmány (2022) alapján)

A II. zónában éves viszonylatban a tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetésének stratégiája tanulmány alapján 50 m³/hektár öntözési értéket vettem figyelembe. A területi értékeket csúcsterhelésre számoltam ki, így azok a napok, amikor terhelés nincs a jelenlegi jogszabályok (dec. 1-febr. 15. között tilos a kihelyezés) vagy esetleges havária helyzet miatt nem kerülnek levonásra. Minél nagyobb valós szennyvíz terhelésű egy szennyvíztisztítótelep, annál nagyobb I. zónára lesz szükség. Ezt a kérdést úgy célszerű megoldani az egybefüggő földmerek korlátozottsága miatt, hogy például, ha 50 hektár I. zóna területre van szükség, akkor azt 5 db 10 hektáros terület kialakításával lehet létrehozni.

Természetesen, ha egy-egy szennyvíztelepnél szerencsésen egybefüggő, megszerezhető 50 hektáros terület van, akkor azt érdemes választani, de ezt már mindig az adott helyi körülmények határozzák meg. 10-10 hektáros terület azonban minden érintett szennyvíztelep 10km-es körzetében elérhető.

Az I. és II. zóna méretének meghatározása: az öntözővíz igény, energianövény típusa, vízfelvevő képessége, az energianövényből tervezett gazdasági haszon, szennyvízteleptől mért távolság, elérhető földterület nagysága komplex szempontrendszerének optimalizálása alapján tervezhető meg. A fenti táblázatban szereplő számokkal egy potenciális megoldás értékeit mutatom be a méretek műszaki becsülhetősége érdekében.

Ahhoz, hogy tapasztalati értéken alapuló számok álljanak rendelkezésre mindenképpen szükséges egy mintatelep létrehozása. Várhatóan ennek tapasztalatai alapján tovább csökkenthető a szükséges terület az I. zónában, és a II. zónában a haszonnövények termesztése szélesebb körű lehet. Az is tovább csökkentheti az első zóna területét, hogy milyen növényeket alkalmazok.

Ma még nem tudom pontosan, hogy a gyökérzónán keresztül átszivárgó víz milyen tisztaságú, de várhatóan egy jól bedolgozott energiaültetvény rendszer I. zónájából kikerülő visszanyert víz már nem fog tartalmazni mikroműanyagokat, gyógyszermaradványokat és káros mikroorganizmusokat. Az öntözés vízmennyiségéből becsülve az I. zóna 98%-os hatékonyságú lesz.

Egy javasolt energianövény jellemzői, költségei és haszna Ligetvári (2022) alapján

Ligetvári Ferenc, aki vízgazdálkodási szakmérnök, egyetemi tanár, az MTA doktora, kutatási területe pedig többek között a mezőgazdasági vízgazdálkodás, a saját kutatásait összegyűjtve egy 2022-ben megtartott előadása alapján (interneten nem fellelhető), az ő személyes jóváhagyásával, az energiafűzt (*salix viminalis*) javaslom ültetésre, mert ez az egyik legígéretesebb energianövény a termesztésre és hasznosításra.

Előnye, hogy magas energia tartalommal rendelkezik (jó tüzelhetőség), magas száraanyag hozama van (50 t/ha/2év); víznyomásos, belvizes területeket kedveli; jól gépesíthető, de kézi munkával is termeszthető; nehézfémekkel fertőzött területek rehabilitációjára is alkalmas; az esetlegesen felvett káros vagy fertőző anyagok nem okozhatnak környezeti károkat, mivel az egész növényt elégetjük; hosszú élettartamú (25-30 év) és több célra is hasznosítható.

Az energiafűz ültetvények egyéb haszna, hogy az 1 ha energiafűz éves átlagban 25 t kiváló égési tulajdonságú száraanyagot szolgáltat. Ezen kívül energiafűzzel olyan területek is gazdaságosan hasznosíthatók, amelyeken biztonságosan, eredménnyel más gazdasági növény nem termelhető (árterek, belvizes területek, stb.). Az ültetvény hosszú élettartama alatt olyan talajtakarást biztosít, hogy alatta a gyomok nem tudnak életben maradni (gyomfertőzöttség csökkentése). A talajt az ültetvény élettartama alatt nem „bolygatjuk”, ez pedig bizonyítottan talajszerkezet javulással jár. Különös jelentősége lehet a kisebb települések esetében annak, hogy az ültetvény munkái foglalkoztatást is biztosítanak, illetve ezek önkormányzatai saját erőből tudják megoldani a szociálisan rászoruló családok tűzifa ellátását.

Energiafűzből ültetésre Gyuricza (2008) alapján Kecskemétre tehát 17.800 dugvány/ha-t javaslok. A vegetációs időszak végére kedvező termőhelyi és időjárási feltételek mellett az energiafűz eléri a 3,5-4 m-es magasságot (Kondor, 2015).

Az alábbi képen a javasolt energiafűz látható növekedés közben:



25. ábra: Növekvő energiafűz (Forrás: http://acta.bibl.u-szeged.hu/62735/1/nagyalfoldi_007-389-396.pdf, <http22>)

A telepítést követő második év végére a vesszők átmérője 60-90 mm lesz és magasságuk 3,5 – 4 m. A betakarítást Járva szecskázóval (Herwestor) javaslok. Az apríték felhasználható biomassza erőművekben, vagy nagyobb közösségi biomassza fűtőművekben. Az aprítékot a szabadban lehet tárolni.

A megfelelő rézsűvel kialakított prizmába a csapadék csak a legfelső rétegbe hatol be, a keletkező belső hő biztosítja a száradást, 4– 6 hét alatt a víztartalom pedig a szabadban is 30% alá fog esni. Lehetséges további feldolgozása (pelettálás) amely már kiskereskedelemben is forgalomképes.

A bal oldali képen egy betakarítás látható, amit én is javaslok, a jobb oldalin pedig a majdani felhasználható apríték:



26. ábra: Betakarítás (Forrás: http://acta.bibl.u-szeged.hu/62735/1/nagyalfoldi_007-389-396.pdf, http22)



27. ábra: Felhasználható apríték / szecska (Forrás: http://acta.bibl.u-szeged.hu/62735/1/nagyalfoldi_007-389-396.pdf, http22)

Ami az éves költségeket illeti, *Ligetvári (2022)* adatai alapján számításokat végeztem és a következő eredmények születtek: a műtrágyázás 32 000 Ft/év/ha, a növényvédelem költsége 19 000 Ft/ha/év, a betakarítás 60 000 Ft/ha/év, az öntözés 75 000 Ft/ha/év. Összességében 186 000 Ft/év költséggel számolhatunk. Emellett egyszeri költségként jelentkezik a telepítés, ami 695 000 Ft/ha, illetve a majdani felszámolás, ami pedig 100 000 Ft/ha (nem veszem figyelembe a bevétel számításánál). Ezen kívül még az első három évben talajművelési költséggel is számolni kell, ami 16 000 Ft/ha-t jelent. A bevétel az első évben tervezetten 0 Ft lenne, majd a második és harmadik évben 810 000 Ft, a negyedik és ötödik évben 1 890 000 Ft. Ezt a tendenciát követve a huszadik évre a bevétel elérné a 12 690 000 Ft-ot, amiből a tervezett költségeket levonva 8 227 000 Ft bevétellel számolhatunk a huszadik évre, ami átlagosan évente 411 350 Ft/ha bevételt jelent.

A jelenlegi szennyvíztisztítási technológiával az a baj, hogy a tisztítás során keletkező iszapot csak nagy energiaráfordítással és légszennyezéssel tudják kezelni. A cél az lenne, hogy a keletkező iszapot a mezőgazdaságban lehessen felhasználni, emellett pedig a szennyvizet egy egyszerű mechanikai előtisztítás után hasznosítsuk, öntözzük ki megfelelő növénykultúrákra.

Az említett energiafűz szennyvízzel való öntözésének több haszna is lenne, mint például, hogy a szennyvízben oldott állapotban lévő hasznos anyagok egészében azonnal felvehetőek (nincs tisztítási veszteség). Megszűnne az élővizek gyógyszer, hormon, xenobiotikum, és mikroműanyaggal való szennyezése (*Ligetvári 2022 alapján*).

A tanulmánytervhez szükséges további javasolt fontos elemek

A telepítendő energiafűz előnyös és hátrányos tulajdonságait egy mintaprojektben, üzemi körülmények között össze kell hasonlítani, és az eredmények alapján meghatározható, hogy a tervezők milyen értékekkel számoljanak a későbbiekben.

A mintaprojektben fontos lesz majd meghatározni a növények növekedésének mértékét, a tisztított szennyvíz felszívó képességét, a gyökeresedést, a visszanyert víz összetevőit, a mikroműanyagok, gyógyszermaradványok eltávolítási határfokát és azt, hogy az élőlények (pl. méh, madarak) mennyire szeretik az adott növényt, illetve azt is, hogy milyen műszaki védelemre van szükség.

A javasolt megoldásom a mezőgazdaság számára előnyökkel és hátrányokkal is rendelkezhet.

Előnye, hogy nitrogén és foszfortartalmú öntözővíz állhat rendelkezésre, a jelenlegi negatív folyamat pedig megállítható, visszafordítható. A növényhozam és ezáltal a haszon a visszanyert vízből öntözött területen biztosan magasabb lesz, illetve a méhlegelők számára is hasznos.

Egyszeri projekt keretén belüli (támogatott) kiépítés mellett a teljes földterület öntözése megvalósulhat és nem kell „3-4 naponta átállni”, valamint a mintaprojekttekkel várhatóan bizonyítható lesz, hogy a visszanyert víz az I. zóna optimális megválasztásával minden növényre alkalmas lesz, és jobb növényhozam értékeket fog mutatni, mintha a felszín alatti vízből történt volna az öntözés.

Hátránya a javasolt megoldásnak, hogy az I. zónára használt földterület kiesik más haszonnövények termesztéséből, valamint az erdősítéssel szemben a domboldali lejtős területek nem alkalmasak az I. zóna kialakítására. Ezen kívül a visszanyert víz egész évben (kivételem a téli időszak: dec.1-febr. 15.) keletkezik, azaz folyamatosan öntözni kell: a klímaváltozás hatására ez sem biztos, hogy hátrány lesz, de most még ide lehet sorolni.

Az érintett II. zóna területeken, ha az I. zóna mérete miatt a visszanyert víz minőségénél nem igazolható, hogy közvetlen emberi fogyasztásra alkalmas növényeket is lehet vele öntözni, akkor a termesztendő növények köre szűkül (*A tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetésének stratégiája tanulmány alapján, Leitner 2022*).

A terület kialakítása, beüzemelése

A javaslatom alapján a jelenlegi élővízbe vezetett tisztított szennyvizet az év nagy részében részben vagy teljes egészében az újonnan kialakított I. zónába vinnénk át. Csak a csapadékos időszakban a hígított csapadékvíz-szennyvíz elegyet és a téli időszakban (javaslatom szerint kizárólag a talaj lefagyása esetén, de a jelenlegi törvények szerint dec. 1-febr 15. között) engedné a szabályozás a kiépített, működő rendszer esetén az élővízbe/időszakos vízfolyásba való bevezetést, egyéb időszakban, azaz a jelenlegi terhelési időszak több, mint minimum 90%-ban a körkörös gazdaság elvei alapján a mezőgazdasági területeken lenne hasznosítva, ami 3,29 m talajvíz szint emelkedést jelent: $[(120 \text{ nap} \times 16 \text{ 000 m}^3) / 58,4 \text{ ha} (584 \text{ 000 m}^2)] = 3,29 \text{ m}$.

Tekintettel arra, hogy a talajvízrendszerek összeköttetésben vannak egymással, az itt jelentkező talajvíz (3,29 m) táplálni fogja a messzebb, mélyebben lévő talajvízszinteket is.

A beüzemelés időszakában viszont csak fokozatosan szabad lecsökkenteni az élővíz terhelését és megnövelni az energiaültetvény terhelését.

Első lépésként fel kell mérni azokat a területeket a szennyvízteleptől maximum 15 km távolságba, amelyek esetleg most tájsebek, illetve megfelelő vízzáró réteggel rendelkeznek.

A magas talajvízű területeket (a talajvíz szintje a terepszinttől 1,5 m mélységben, vagy annál sekélyebben található) ki kell zárni. Lehetőség szerint a mezőgazdasági termelés szempontjából a legalacsonyabb értékű területeket kell kiválasztani.

A második lépés, hogy ki kell választani az alkalmazni kívánt energianövényt, illetve a feldolgozás módját (égetés, közösségi épületekben hasznosítás, értékesítés).

Harmadik lépésként a kiválasztott területen ki kell alakítani azt a műszaki védelmet, ami biztosítja, hogy a tisztított szennyvíz ne, vagy csak elhanyagolható mennyiségbe szivároghon le a talajvízbe. Lehetőség szerint olyan területet kell keresni, ahol regionális kiterjedésű, összefüggő, kellő vastagságú és kedvezőtlen vízáteresztő képességű, közelítőleg homogén agyagréteg van elérhető közelségben (-1,0-3,0 méter mélyen).

Ha ilyen nincs akkor el kell távolítani a mostani humusz réteget, (melynek egy részét más területekre fel lehet használni, a többit a végén vissza kell teríteni) és maximum 1,5 m mélyen ki kell alakítani a dréncső rendszert, majd vissza kell termelni a kitermelt talajt az eredetinek megfelelő rétegrendben (ennek pontos módját a mintaterület kialakításakor ki kell kísérletezni).

A negyedik lépés a terület felső rétegének a kialakítása oly módon, hogy a kiválasztott energianövény telepíthető legyen bele, illetve a terület tisztított szennyvízzel való terhelésének feltételeit (először locsolás, majd, elárasztásos technika) ki kell építeni. Ötödik lépésben az energianövények elültetése, a tisztított szennyvízzel történő locsolás megindítása történik meg.

Hatodik lépésként az öntözendő területek kiválasztása, az öntözés feltételeinek kialakítása, a megfelelő növénykultúrák kiválasztása valósulna meg, majd hetedikként fokozatosan növeljük az energiaültetvény növényeinek növekedésének függvényében a vízterhelést, míg végül várhatóan a 2. év nyarán elérjük a maximális terhelést és azt, hogy keletkezik visszanyert víz. Végezetül pedig rendszeresen vizsgáljuk a dréncsövek által összegyűjtött visszanyert vizek minőségét, figyeljük, hogy mikor kapjuk a legtisztább visszanyert vizet. Ennek megfelelően állítjuk be a terhelést az I. zónában (*A tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetésének stratégiája tanulmány alapján, Leitner 2022*).

A letermelt fűzfák évenként 25 t/ha ($58,4 \times 25 \text{ t} = \mathbf{1460 \text{ t}}$ összesen) kiváló égési tulajdonságú szárazanyagot adnak, amit a Termostar Kecskeméti fűtőműbe adnánk át energetikai hasznosításra, ami véleményem szerint példaként szolgálhat más szennyvíztelepek számára is, hogy megállapodást kössenek a közelükben található fűtőművekkel.

Összefoglalás

A fentiekben összefoglalt folyamatot a terület kialakításánál a terület adottságainak, méreteinek és a tisztított szennyvíz minőségének megfelelően részletesen ki kell dolgozni, erre viszont ma sablont nem lehet még megadni. A növények kiválasztása, a terület kialakítása és a beüzemelés a későbbi működtetés szempontjából a fontos lépés, ezért pontosan meg kell tervezni és úgy kivitelezni. Összességében viszont én úgy gondolom, hogy a fent leírt javasolt folyamat, technológia környezetvédelmi szempontból megfelelő, van benne jövő és mindenképpen alkalmazni kell. A folyamat során megtermelt energiafűz sokasága a fűtőmű számára energiaforrás, ráadásul így nem kéne külön erdőket kiírtani, ami csak rombolja a környezetet.

5. Következtetés és javaslat

A mezőgazdaságnak egyre nagyobb a vízigénye többek között az éghajlatváltozás miatt, amiből arra következtetek, hogy a jövőben biztosan növekedni fog a tisztított szennyvíz szerepe. Ezen kívül egyre több kutatás szól arról, hogy a vizeinkben és ezáltal a szennyvízben is egyre nagyobb mértékben jelennek meg a mikroműanyagok, gyógyszermaradványok, így nagy esély van rá, hogy hamarosan a befogadókba már nem lesz engedélyezett a megtisztított szennyvíz beengedése, ezáltal az energianövényes öntözéses hasznosítás szerepe még inkább előtérbe fog kerülni.

A dolgozat konklúziója, hogy a tanulmányban szereplő adatok igazolására, bizonyítására a telep védterületén $274 \text{ m}^3/\text{d}$ ($16.000 \text{ m}^3 / 58,4 \text{ ha}$) szennyvízmennyiségre a tanulmányterv alapján célszerű lenne Kecskeméten beállítani 1 hektár I-es zónát és 0,2 hektár II-es zónát félüzemi kísérletként és amennyiben ez a tanulmányterv állításait igazolja, akkor pályázati támogatással kiépíthető a teljes mennyiséget utótisztító és hasznosító öntözőrendszer.

6. Összefoglalás

A szakdolgozatom témája a tisztított szennyvizek szikkasztásos előtisztítása és öntözéses hasznosítása. A témaválasztásomat az is indokolta, hogy az időszakos vízfolyásokban -főleg nyári kánikulában - már időszakosan is ritkán van víz, így annak hígító hatása már nem érvényesül, valamint a mezőgazdaságnak egyre nagyobb a vízigénye, még mikro öntözés esetén is. Azt várom, hogy az általam kidolgozott tanulmányt a Bácsvíz Zrt. későbbi felhasználásra alkalmasnak találja, és a közeljövőben megvalósítja/megvalósíttatja.

A munka során ismertettem a szennyvízzel kapcsolatos főbb fogalmakat, bemutattam konkrét példákon keresztül, hogy hazánk és néhány külföldi ország milyen módon és arányban hasznosítja a megtisztított szennyvizét, emellett kitértem a mikroműanyagokra, gyógyszermaradványokra is, és szakirodalmi cikkek alapján leírtam az általuk a szennyvíztisztításban várható következményeket, hatásokat.

A konkrét megoldási javaslatom megalapozásához bemutattam a kecskeméti öntöző és hasznosító telep korábbi működését (1972-1984), emellett értékeltem, áttanulmányoztam a kecskeméti élelmiszeripari (Kecskeméti Konzervgyártó Kft.; Univer-Product Zrt.) technológiai használtvizek öntözéses hasznosításának lehetőségei tanulmányt, ami segített abban, hogy lássam a lehetőségeket, a folyamat részleteit arra nézve, hogy miként lehet hasznosítani többek között élelmiszeripari szennyvizet. Továbbá értékeltem a Bácsvíz „Kommunális szennyvizek és szennyvíziszapok energia- és nyersanyagtartalmának innovatív hasznosítása” GINOP pályázati projektjét is, ami azért volt lényeges, mert a fő cél, hogy a szennyvíztisztítás során keletkező iszapot, ami sok esetben hulladék lenne, valamilyen módon hasznosítva legyen és ennek megismeréséhez egy átfogó képet kaphattam. Emellett értékeltem „a tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetésének stratégiája” tanulmányt is, amely egyrészt kitért a jelenkor szennyvíztisztításának egyik fő kihívására, a mikroműanyagokra, gyógyszermaradványokra, másrészt a konkrét megoldási javaslatomhoz nyújtott információt, ugyanis bemutatta hazánk potenciálisan öntözhető területeit és kiderült számomra, hogy milyen arányban vannak azon szennyvíztelepek, amelyek alkalmas technológiával rendelkeznek az energianövények öntözéséhez. Ezen kívül részletes leírást adtam a kecskeméti szennyvíztisztító telep technológia felépítéséről, működéséről is, majd a kecskeméti szennyvíztisztító telepen keletkező napi 16000 m³ tisztított szennyvíz mikroműanyagok, gyógyszermaradványok miatti szikkasztásos utótisztítás és ipari növény öntözésére való hasznosításhoz dolgoztam ki a konkrét megoldási javaslatomat, amely alapul szolgálhat elsőként a kecskeméti telepnek és egy pályázat esetén ezt meg lehetne valósítani/valósíttatni.

7. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani Dr. Waltner István belső konzulensemnek, hogy vállalta a felkérést, illetve, hogy segítette, valamint figyelemmel kísérte a munkámat és tanácsokkal látott el.

Továbbá szeretnék köszönetet mondani Sütő Vilmos külső konzulensemnek, aki rengeteget segített abban, hogy a dolgozatom összeálljon, emellett hétről hétre figyelemmel kísérte a munkámat, ezáltal motivált is. Ezen kívül ötletekkel, információkkal látott el, illetve bármilyen kérdésem esetén szinte azonnal rendelkezésemre állt.

8. Irodalomjegyzék

Kolossváry G. (2017), Körforgásos gazdaság tisztított szennyvíz öntözési célú hasznosítása c. előadása, Lajosmizse, Forrás: <https://docplayer.hu/153349939-Korforgasos-gazdasag-tisztított-szennyviz-ontozesi-celu-hasznositasa.html>, (Letöltés dátuma: 2023.10.05.)

P. Haksar, P. Nagora A. Rani, G. Singh (2022), Species influenced growth, biomass allocation and productivity in wastewater irrigated plants in sandy soils of Indian desert, *Irrig. Sci.*, 40 (6) (2022), pp. 829-843, DOI: [10.1007/s00271-022-00809-8](https://doi.org/10.1007/s00271-022-00809-8)

A.Tal (2016), Rethinking the sustainability of Israel's irrigation practices in the drylands, Israel, *Water Res.*, 90 (2016), pp. 387-394, DOI: [10.1016/j.watres.2015.12.016](https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.12.016)

A. Bahari, B. Benyahia, G. Bourrié, B. Cherki, N. Condom, R. Declercq, A. Gunes, J. Harmand, M. Héran, N. Kitir, B. Molle, N.Ait-Mouheb, D. Patureau, A. Pollice, A. Rapaport, P. Renault, K. Riahi, B. Romagny, T. Sari, C. Sinfort, J.-P. Steyer, S. Talozzi, B.B Thayer, B. Topcuoglu, M. Turan, N. Wéry, E. Yıldırım (2018), The reuse of reclaimed water for irrigation around the Mediterranean Rim: a step towards a more virtuous cycle?, France, *Environ. Chang.*, 18 (2018), pp. 693-705, DOI: [10.1007/s10113-018-1292-z](https://doi.org/10.1007/s10113-018-1292-z)

Chen, S., Fan, Y., Jiao, W., Lyu, W., Zhang, W. (2016), Wastewater reclamation and reuse in China: opportunities and challenges. *J. Environ. , China, Sci.* 39, 86–96., DOI: [10.1016/j.jes.2015.11.012](https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.11.012)

S. Ricart, A.M. Rico (2019), Assessing technical and social driving factors of water reuse in agriculture: a review on risks, regulation and the yuck factor, *Agric. Water Manag.*, 217 (2019), pp. 426-439, DOI: [10.1016/j.agwat.2019.03.017](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.017)

Z. Chen, W. Guo, H.H. Ngo (2013), A critical review on the end uses of recycled water, Australia, *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, 43 (2013), pp. 1446-1516, DOI: [10.1080/10643389.2011.647788](https://doi.org/10.1080/10643389.2011.647788)

R.I. Amieva, J.D. Contreras, S. Rodríguez-Dozal, S.G. Solano-Gálvez, M. Mazari-Hiriart, M.A. Silva-Magaña, R. Meza, G. Castillo-Rojas, N. Vázquez-Salvador, C. Siebe, Y.A. López-Vidal (2017), Health risks from exposure to untreated wastewater used for irrigation in the Mezquital Valley, Mexico: A 25-year update, (USA), *Water Research*, 123 (2017), pp. 834-850, DOI: [10.1016/j.watres.2017.06.058](https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.058)

Bíró T. (2022), Az európai szennyvízöntözési jó gyakorlat, Baja, Forrás: <https://vtk.uni-nke.hu/document/vtk-uni-nke-hu/1%20B%C3%ADr%C3%B3%20Tibor.pdf>, (Letöltés dátuma: 2023.04.25.)

WWAP - UNESCO World Water Assessment Programme (2017). The United Nations World Water Development Report, Wastewater: The Untapped Resource, UNESCO, Paris (2017), p. 2017, Forrás: <https://www.unep.org/resources/publication/2017-un-world-water-development-report-wastewater-untapped-resource>, (Letöltés dátuma: 2023.10.13.)

M. Elgallal, B. Evans, L. Fletcher (2016), Assessment of potential risks associated with chemicals in wastewater used for irrigation in arid and semiarid zones: a review, United Kingdom, *Agric Water Manag*, 177 (5) (2016), pp. 419-431, DOI: [10.1016/j.agwat.2016.08.027](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.027)

Gyuricza Cs. (2008), Új fás szárú energiaültetvény technológiája és hasznosításának komplex kidolgozása teljes termékpálya mentén, Forrás: <https://docplayer.hu/17322610-Uj-fas-szaru-energiaultetveny-technologiaja-es-hasznositasanak-komplex-kidolgozasa-teljes-termekpalya-menten.html>, (Letöltés dátuma: 2023.10.27.)

Kondor A. (2015), A földhasználat átalakításának lehetősége az „energiafűz” (salix viminalis l.) termesztésbe vonásával Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében, Forrás: <https://dea.lib.unideb.hu/bitstreams/99c3ab80-867a-4bf8-8b37-ee3245a64e8f/download>, (Letöltés dátuma: 2023.10.27.)

Eurofins Hungary (2022) adatok, Mérési eredmények mikroműanyagokra, gyógyszermaradványokra, Forrás: Excel táblázat, Sütő Vilmos külső konzulenzstól

Leitner László és Országos Vízügyi Főigazgatóság, Bácsvíz, MaVíz szakemberei (2022), A tisztított szennyvíz körkörös gazdaságba való bevezetésének stratégiája tanulmány, Budapest, Forrás: Sütő Vilmos külső konzulensztől

Amy, G., von Münch, E., Zabalaga, J., (2007), Evaluation of agricultural reuse practices and relevant guidelines for the Alba Rancho WWTP (primary and secondary facultative ponds) in Cochabamba, Bolivia, *Water Sci. Technol.* 55, 469–475., DOI: [10.2166/wst.2007.045](https://doi.org/10.2166/wst.2007.045)

F. Cartechini, M. Castellana, P. Gkotsis, I.A. Katsoyiannis, A.I. Zouboulis (2017), Production of demineralized water for use in thermal power stations by advanced treatment of secondary wastewater effluent, Singapore, *J. Environ. Manage.*, 1 (190) (2017), pp. 132-139, DOI: [10.1016/j.jenvman.2016.12.040](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.040)

P. Cao, Y. Gao, R. Jia, W. Wang, J. Yang (2017), The reliability evaluation of reclaimed water reused in power plant project, Greece, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 100 (2017), Article 012189, DOI: [10.1088/1755-1315/100/1/012189](https://doi.org/10.1088/1755-1315/100/1/012189)

N. Ungureanu (2018), Reuse of wastewater for irrigation, a sustainable practice in arid and semi-arid regions, Romania, *Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD)*, Drobeta-Turnu Severin, Romania (2018), pp. 379-384

M.F. Jaramillo, I. Restrepo (2017), Wastewater reuse in agriculture: a review about its limitations and benefits, *Columbia, Sustainability*, 9 (2017), p. 1734, DOI: [10.3390/su9101734](https://doi.org/10.3390/su9101734)

N. Brassill, J.L. Dery, R.R. Goldstein, C. Onumajuru, C.M. Rock, M.R. Suri, S. Zozaya, (2019), Understanding grower perceptions and attitudes on the use of nontraditional water sources, including reclaimed or recycled water, in the semi-arid Southwest United States, *Environ. Res.*, 170 (2019), pp. 500-509, DOI: [10.1016/j.envres.2018.12.039](https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.12.039)

M. Bouaziz, S. Ben Brahim, B. Gargouri, W. Kujawski, F. Marrakchi, B. Ben Rouina (2022), Impact of wastewater spreading on properties of tunisian soil under arid climate, Tunisia, *Sustainability*, 14 (6) (2022), p. 3177, DOI: [10.3390/su14063177](https://doi.org/10.3390/su14063177)

Ligetvári F. (2008), Öntözés, Gödöllő, Forrás:
<http://www.ontozesmuzeum.hu/download/ontozeslig.pdf>, (Letöltés dátuma: 2023.09.29.)

I.K. Kalavrouziotis, P. Koukoulakis, E. Kostakioti (2012), Assessment of metal transfer factor under irrigation with treated municipal wastewater, Greece, *Agric. Water Manag.*, 103 (2012), pp. 114-119, DOI: [10.1016/j.agwat.2011.11.002](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.11.002)

M. Farhadkhani, M. Hatamzadeh, M. Nikaeen, H. Pourmohammadbagher, H.R. Rahmani, Z. Sahbaei, G. Yadegarfar (2018), Effects of irrigation with secondary treated wastewater on physicochemical and microbial properties of soil and produce safety in a semi-arid area, Iran, *Water Res.*, 144 (2018), pp. 356-364, DOI: [10.1016/j.watres.2018.07.047](https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.047)

D.L. Cardenas-Chavez, M. Tapia-Salazar, V.R. Diaz-Sosa, J. Wanner (2020), Monitoring and ecotoxicity assessment of emerging contaminants in wastewater discharge in the City of Prague (Czech Republic), *Water*, 12 (4) (2020), p. 1079, DOI: [10.3390/w12041079](https://doi.org/10.3390/w12041079)

S.B. Dhull, M.K. Kidwai, P.K. Rose (2022), Food Industry Waste: Potential Pollutants and Their Bioremediation Strategies, India, S.B. Dhull, A. Singh, P. Kumar (Eds.), *Food Processing Waste and Utilization*, CRC Press (2022), pp. 343-359

E.L. Connolly, J.B. Morgan (2013), Plant-soil interactions: nutrient uptake, USA, *Nat. Educ. Knowl.*, 4 (8) (2013), p. 2

P. Han, X. Hao, A. Khan, J. Li, N. Li, H. Luo, F. Shi, X. Shi, Y. Tian, J. Wang (2022), Industrial organic wastewater through drip irrigation to reduce chemical fertilizer input and increase use efficiency by promoting N and P absorption of cotton in arid areas, China, *Agriculture*, 12 (12) (2022), p. 2007, DOI: [10.3390/agriculture12122007](https://doi.org/10.3390/agriculture12122007)

A. Delgado, L. Mateos, M. Quemada, F.J. Villalobos (2016), Nitrogen fertilization I: the nitrogen balance, Spain, F.J. Villalobos, E. Fereres (Eds.), *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture*, Springer International Publishing AG (2016), DOI: [10.1007/978-3-319-46116-8_24](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_24)

Balázsy S. (2014), Kutatás-fejlesztési program a szennyvízből és a szennyvíziszap-komposztból történő gyógyszermaradvány eltávolításra, Nyíregyháza, Forrás: https://www.nye.hu/agrtud/sites/www.nye.hu.agrtud/files/konyvek/1_%20szennyvizes_TAM_OP_kiadvany_2015.pdf , 59. oldaltól, (Letöltés dátuma: 2023.10.08.)

Vermes L. (2017), Öntözés-e a szennyvízöntözés? című előadás, Budapest, Forrás: http://moe.hu/wp-content/uploads/eloadas_szennyvizontozesrol_2017.pdf, (Letöltés dátuma: 2023.09.29.)

Győri Tamás, Sütő Vilmos, Kovács János (2017), Kecskeméti élelmiszeripari (Kecskeméti Konzervgyártó Kft.; Univer-Product Zrt.) technológiai használtvizek öntözéses hasznosításának lehetőségei tanulmány, Kecskemét, Forrás: Sütő Vilmos külső konzulensztől

UTB Zrt. (2022), A prototípus technológiák integrálása a szennyvíztisztító telepen, Kecskemét, Forrás: Sütő Vilmos külső konzulensztől

Ligetvári F. (2022), Egy ígéretes energianövény a Salix viminalis (energiafűz) című előadása, Budapest, Forrás: Sütő Vilmos külső konzulensztől

Internetes források

http1: Magyar Mérnökakadémia: Globális és helyi fenntarthatóság, környezetmenedzsment, Forrás: <https://mernokakademia.hu/hirek/2021/LIGETVARI.pdf>, Letöltés dátuma: 2023.11.01.

http2: 58/2013. (II. 27.) Korm. rendelet a víziközmű-szolgáltatásról szóló 2011. évi CCIX. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról, Forrás: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1300058.kor>, Letöltés dátuma: 2023.10.06.

http3: A szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól szóló 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet módosítása, Forrás: https://jogkodex.hu/jsz/2023_7_korm_rendelet_8327656, Letöltés dátuma: 2023.10.06.

http4: Magyar Víz- és Szennyvíztechnikai Szövetség Lapja 2017/4. szám, Forrás: https://www.maszesz.hu/tevekenysegeink/kiadvanyaink/download/151_23a4ea2d45561902a7fbdec142dd8335, Letöltés dátuma: 2023.04.25.

http5: Nemzeti Agrárgazdasági Kamara: Meat the facts IV., Forrás: <https://www.nak.hu/kiadvanyok/kiadvanyok/4113-pdf-european-livestock-voice-kampany-meat-the-facts-iv/file>, Letöltés dátuma: 2023.09.28.

http6: European Commission, Forrás: [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2015\)614&lang=en](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2015)614&lang=en), Letöltés dátuma: 2023.10.08.

http7: Pureaqua: A szennyvíztisztítás kialakulása, fejlődése napjainkig, Forrás: https://www.pureaqua.hu/letoltes/technologia/A_szennyvizisztitas_kialakulasa_fejlodes_e_na_pjainkig.pdf, Letöltés dátuma: 2023.06.12.

http8: Indiaspend: 70% Of Urban India's Sewage Is Untreated, Forrás: <https://www.indiaspend.com/70-of-urban-indias-sewage-is-untreated-54844/>, Letöltés dátuma: 2023.11.01.

http9: Sciencedirect: Use of treated sewage or wastewater as an irrigation water for agricultural purposes- Environmental, health, and economic impacts, Forrás: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S277280992300028X#bib664>, Letöltés dátuma: 2023.10.09.

http10: Hadmérnök: A tisztított szennyvíz mezőgazdasági hasznosítására alkalmas területek meghatározása Magyarországon, Forrás: <http://www.hadmernok.hu/>, Letöltés dátuma: 2023.04.25.

http 11: Bunzl Magyarország : Polietilén zsák, Forrás: <https://www.bunzl.hu/termekadatlap/pe-zsak-60x80cm-pe-25-mikron/>, Letöltés dátuma: 2023.10.13.

http12: Gumex: Polipropilén, Forrás: <https://www.gumex.hu/termek/polipropilen-pp>, Letöltés dátuma: 2023.10.13.

http13: Hidrológia: Használt vizek öntözési célú felhasználásának aktuális kihívásai a mezőgazdaságban, Forrás: http://hidrologia.hu/vandorgyules/37/word/0313_kun_agnes.pdf, Letöltés dátuma: 2023.06.12.

http14: Vizek: Vízjogi engedélyezés, Forrás: <https://vizek.gov.hu/agazati-informaciok>,
Letöltés dátuma: 2023.11.01.

http15: Mikroműanyag: Mi az a mikroműanyag?, Forrás: <https://mikromuanyag.hu/Mi-az-a-mikrom%C5%B1anyag>, Letöltés dátuma: 2023.09.30.

http16: Sciencealert: Study Shows How Microplastics Can Easily Climb The Food Chain. Should We Be Worried?, Forrás: <https://www.sciencealert.com/study-shows-how-microplastics-can-easily-climb-the-food-chain-should-we-be-worried>, Letöltés dátuma: 2023.11.01.

http17: Fővárosi Vízművek: Őszintén a gyógyszermaradványokról, Forrás: <https://www.vizmuvek.hu/files/public/new/altalanos-pdf/meg-tobb-reszlet-gyogymaradvanyokol.pdf>, Letöltés dátuma: 2023.09.30.

http18: Wapp: Biológiai szennyvíztisztítás, Forrás: <https://wapp.hu/technologiak/biologiai-szennyviztisztitas/>, Letöltés dátuma: 2023.10.19.

http19: Magyar Víz -és Szennyvíztechnikai Szövetség: Szennyvíztisztító telepek, Forrás: https://maszesz.hu/tudastar/download/330_44d8496b348a7325d8fb322ebd7ade30, Letöltés dátuma: 2023.11.01.

http20: Országos Meteorológiai Szolgálat: Magyarország csapadék viszonyai, Forrás: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/csapadek/
Letöltés dátuma: 2023.10.20.

http21: Kecskeméti Településrendezési Terv (TRT), Forrás: <https://terkep.kecskemethu/gisapp/lakossag?public=on>, Letöltés dátuma: 2023.10.20.

http22: Szegedi Tudományegyetem: Az „energiafűz” (salix viminalis l.) termesztése szabolcs-szatmár-bereg megyében, Forrás: http://acta.bibl.u-szeged.hu/62735/1/nagyalfoldi_007-389-396.pdf, Letöltés dátuma: 2023.11.02.

9. Ábrák és táblázatok jegyzéke

1. Ábra: Szennyvíz újrafelhasználása (százalékban) a növények öntözésére világszerte, és a jelentési év ugyanerre vonatkozóan	10. oldal
2. Ábra: Azonosított mikroműanyag részecskék az adott mintákban	13. oldal
3. Ábra: Összes azonosított mikroműanyag szemcseméret-eloszlása	14. oldal
4. Ábra: A tisztított szennyvíz felhasználási lehetőségei	15. oldal
5. Ábra: A kecskeméti öntözőtelep működése 1972-1984 között	22. oldal
6. Ábra: A kecskeméti szennyvíz tisztításának és öntözéses hasznosításának hossz-szelvénye az 1972-1984 közötti időszakra vonatkozóan	23. oldal
7. Ábra: Kecskemét Városi Szennyvíz Elhelyező és Hasznosító Rendszer helyszínrajz	23. oldal
8. Ábra: Szennyvíztározó	24. oldal
9. Ábra: Nyárfás szennyvízelhelyező telep	24. oldal
10. Ábra. Teraszos, gyepes szűrőmező	24. oldal
11. Ábra: A hasznosítható mezőgazdasági terület	27. oldal
12. Ábra: A nyomóközpont és a tározók helyszíni megjelölése	29. oldal
13. Ábra: Mini hidrolizáló berendezés	30. oldal
14. Ábra: A FO-RO technológia konténere	30. oldal
15. Ábra: A bepárló berendezés	30. oldal
16. Ábra: Öntözésre potenciálisan alkalmas területek hazánkban	33. oldal
17. Ábra: Kecskeméti szennyvíztisztító telep technológiai folyamatára	38. oldal
18. Ábra: Kifolyó szennyvíz	38. oldal
19. Ábra: Levegőztető medencék	38. oldal
20. Ábra: Dorr-típusú utóülepítő	39. oldal

21. Ábra: Rothasztótornyok	39. oldal
22. Ábra: Árasztó öntözés keresztmetszet	42. oldal
23. Ábra: Javasolt alkalmas területek a megvalósításra	44. oldal
24. Ábra: Javasolt alkalmas területek nagyított nézetben	44. oldal
25. Ábra: Növekvő energiafűz	47. oldal
26. Ábra: Betakarítás	48. oldal
27. Ábra: Felhasználható apríték/szecska	48. oldal
1. Táblázat: Azonosított mikroműanyag részecskék az egyes mintákban (részecske/m ³)	12. oldal
2. Táblázat: Vizsgálati eredmények néhány gyógyszermaradványra µg/dm ³ -ben	14. oldal
3. Táblázat: 16.000 m ³ szennyvíz terhelésnél javasolt területigénye a technológiának	45. oldal

NYILATKOZAT

a záródolgozat/szakedolgozat/diplomadolgozat/portfólió¹ nyilvános hozzáféréseről és eredetiségéről

A hallgató neve: CARTOLETTI JONATAN
A Hallgató Neptun kódja: AMOPPM
A dolgozat címe: A tisztított szennyvizek szilobastásos előtisztítása és öntözőes hasznosítása
A megjelenés éve: 2023
A konzulens intézetének neve: MATE Környezetudományi Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Vizgazdálkodási és Klímaadaptációs Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott záródolgozat/szakedolgozat/diplomadolgozat/portfólió² egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2023 év 10 hó 31 nap

Cartoletti Jonatan
Hallgató aláírása

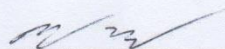
NYILATKOZAT

Cartoletti Jonatán (név) (hallgató Neptun azonosítója: AMOPPM) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a záródolgozatot/szakedolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót¹ áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakedolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom².

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*3}

Kelt: 2023 év 10 hó 31 nap


belső konzulens