

# **SZAKDOLGOZAT**

**Volford Máté**

**2024**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**  
**Szent István Campus**

**Környezettudományi Intézet**

**Hulladékkezelési- és hasznosítási szakmérnök**  
**szakirányú továbbképzési szak**

**A kommunális szennyvíztisztítás során keletkező**  
**hulladék jellemzői, felhasználásának lehetőségei**

*Characteristics of the waste produced during municipal sewage  
treatment and the possibilities of its use*

**Belső konzulens:** dr. Gulyás Miklós  
egyetemi docens

**Intézete/tanszéke:** Talajtani Tanszék

**Készítette:** Volford Máté

**Gödöllő**

**2024**

## Tartalom

1	BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK .....	4
2	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	6
2.1	A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS TÖRTÉNETE .....	6
2.1.1	A SZENNYVÍZELVEZETÉS FEJLŐDÉSE .....	7
2.1.2	A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS KIALAKULÁSA .....	10
2.2	A SZENNYVÍZ.....	12
2.2.1	A SZENNYVÍZ MINŐSÉGI ÉS MENNYISÉGI TULAJDONSÁGAI .....	12
2.2.2	A SZENNYVÍZ TISZTÍTÁSA .....	15
2.2.3	A SZENNYVÍZ TISZTÍTÁSA SORÁN KELETKEZŐ HULLADÉKOK ÉS JELLEMZŐIK.....	19
2.2.4	A SZENNYVÍZISZAPOK MINŐSÉGÉT BEFOLYÁSOLÓ LEGFONTOSABB TÉNYEZŐ .....	21
2.3	JOGSZABÁLYI ÁTTEKINTÉS.....	21
2.3.1	SZENNYVÍZVÍZ FOGALMI KÖRÉNEK JOGSZABÁLYI ÁTTEKINTÉSE.....	22
2.3.2	SZENNYVÍZVÍZTISZTÍTÁS SORÁN KELETKEZŐ HULLADÉKOK FOGALMI KÖRÉNEK JOGSZABÁLYI ÁTTEKINTÉSE .....	23
2.3.3	EURÓPAI UNIÓS DETERMINÁCIÓK .....	25
3	VIZSGÁLATI ANYAG ÉS MÓDSZER.....	27
4	VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	29
4.1	KŐ ÉS KAVICS.....	29
4.2	RÁCSSZEMÉT .....	29
4.2.1	BELSŐ TÉNYEZŐK.....	29
4.2.1	KÜLSŐ TÉNYEZŐK .....	31
4.1	HOMOK.....	33
4.2	OLAJOK ÉS ZSÍROK .....	33
4.3	SZENNYVÍZISZAPOK .....	33
4.3.1	BELSŐ TÉNYEZŐK.....	33
4.3.2	KÜLSŐ TÉNYEZŐK .....	34
5	KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	37
6	ÖSSZEFOGLALÁS.....	38
7	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....	40
8	FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE .....	41

# 1 BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A modern városok ma már élehetetlenek lennének hatékony szennyvízelvezető és -kezelő rendszerek nélkül. Mára elmondható, hogy a világ szennyvizeinek körülbelül a fele valamilyen fokú tisztítási technológián keresztül jut a befogadóba; ez az arány szerencsére folyamatosan növekszik. A változó világunkban új igények és kivások is megjelentek, amelyek közvetve vagy közvetlenül, de érintik a szennyvíz tisztítását.

A szennyvíztisztítást klasszikusan end of pipe, azaz csővégi technológiának tekintették az ezredfordulóig, ez a szemlélet csak fokozatosan változik meg. Véleményem szerint, a XXI. században három jelentős kezdeményezés fogja átformálni a szennyvíztisztítást. Az első a tudatosabb vízfelhasználásra ösztönöz, a másik a már szennyezett vizek újra felhasználására irányul, amely a tisztított szennyvízre, mint víz-erőforrásra támaszkodva mérsékelné az öntözővíz és ipari vizek, esetlegesen még az ivóvíz iránti fokozódó keresletet is. A harmadik törekvés, amely szakdolgozatom témája is egyben, a tisztítás során keletkező anyagok mennyiségének csökkentését és a keletkezők hulladékok felhasználást irányozza elő.

Mind a három kezdeményezés kihívás jelent az új telepek kivitelezésére és a már meglévők üzemeltetésére; az első esetben a csökkentett vízmennyiség a koncentráltabb szennyvizek tisztítását követeli meg; a második esetben a tisztított hulladékvizek felhasználását korlátozzák a felmerülő egészségügyi aggályok, valamint szigorú minőségbéli kritériumok, amelyek a tisztítás mindenkori hatékonyságát és az ellenőrző rendszerek működését és precizitását teszik próbára. A harmadik, és véleményem szerint a legkomplexebb, a hulladékokat és az esetleges felhasználásukat érinti. Tapasztalataim szerint a gazdasági és a politikai kényszer, valamint a társadalmi nyomás a felsoroltak közül az első kettőben ért el olyan jelentős változtatásokat, amelyek technológiai szinten is érintik a tisztítás metódusát. A harmadik esetben a változás kisebb mértékű és jellemzően csak a részterületekre korlátozódik.

Annak ellenére, hogy a kommunális szennyvíztisztítás során keletkező hulladékok évtizedek óta meghatározó mennyiségben vannak jelen, a munkám során szerzett tapasztalatok alapján, a legtöbb hazai városi szennyvíztisztító telepen a tisztítási technológiai soron leválasztásra kerülő anyagok és az esetlegesen biogázt előállító rothasztókból kikerülő iszapok jellemzően deponálásra kerülnek. Véleményem szerint a felhasználásukat számos tulajdonságuk befolyásolja, illetve befolyásolhatja, a humán-egészségügyi és környezeti kockázatokon keresztül a társadalmi elfogadásig, de a megítélésük hulladéktípusonként rendkívül változó.

A kommunális jellegű szennyvizek tisztítása során számos méretű, anyagú és állagú hulladék keletkezik, ezek egy része a bioreaktor védelmének és zavartalan működésének érdekében eltávolításra kerül, még mások gazdasági és környezetvédelmi okból a gázmotorok üzemaganyaként hasznosulnak. Tekintettel arra, hogy változatos tulajdonságokkal rendelkeznek, az egyes típusokat keletkezésük helye szerint csoportosítva jellemzem a SWOT elemzés segítségével az átfogóbb kép megalkotása érdekében. Az elemzés során egy termék mintájára végzem el az adatgyűjtést, mely során a külső és belső tényezők tulajdonságai/lehetőségei adták a csoportosítás alapját.

A szerzett tapasztalatok alapján olyan kérdésekre keresem a választ, hogy melyek azok az esetlegesen kiaknázatlan lehetőségek, technológiák amelyek ezen a területen a hulladékhasznosítást tökéletesíthetik és mik azok a kockázati tényezők, amelyekkel érdemes számolni a hasznosításuk során.

## 2 SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A szakirodalmi áttekintés során arra törekszem, hogy a vizsgálati anyag és módszerek című fejezetben meghatározott SWOT analízishez megfelelő mennyiségű és minőségű ismeretanyagot írjak le olyan formában, melyből a tisztítás során keletkező egyes hulladék fajtákat jellemezhetem külső és belső tényezők alapján, valamint a múlt tapasztalatai és jelen kihívásaiból következtetéseket vonhassak le a jövőre vonatkozóan.

Az első alpontban a szennyvíztisztítás történetében, a szennyezett vizek elvezetésétől egészen az eleveniszapos technológián alapuló szennyvíztisztók megjelenéséig tartó időszakot vizsgálva kívánom azoknak a külső és belső tényezőknek az áttekintését, amelyek a múltban meghatározták a fejlődés útját. Véleményem szerint, azért fontos a múltban akár sikertelenül is alkalmazott műszaki megoldások megismerése, mert a jövőben újra előkerülhetnek az új anyagok és új gyártástechnológiák megjelenésével, valamint a szállítás fejlődésével.

A második alpont tartalmazza a városi szennyvizek és a szennyező anyagok vagy energiák jellemzőit és a tisztítás során általánosan alkalmazott műszaki megoldásokat, valamint a technológiai soron végig haladva keletkezési helyük szerint csoportosítva az egyes hulladékokat.

A harmadik alpont, azoknak a legfontosabb jogszabályoknak az értelmező rendelkezésekben feltüntetett fogalmakkal kívánom ismertetni a hazai jogi környezetet ebben a témában, amelyek elősegítik szakdolgozatom megértését. Továbbá azokat az engedélyezési folyamatokhoz köthető jogszabályokat és törekvéseket mutatom be témaspecifikusan, amelyek részben vagy egészben meghatározzák az alkalmazott tisztítási technológiát a tervezett telephelyek esetében, valamint a fejlesztésekre hatást gyakorolhatnak, ezáltal a keletkező hulladékok mennyiségét, minőségét és felhasználhatóságát is meghatározhatják.

### 2.1 A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS TÖRTÉNETE

A szennyvíztisztítás történetének bemutatása során arra törekszem, hogy a szennyvíz elvezetésének és tisztításának nem lineáris fejlődését időrenden ismertessem és kiemeljem azokat a releváns műszaki megoldásokat, amelyek a modern szennyvízelvezetést és tisztítást megalapozták. Tovább felsoroljam azokat a tényezőket, amelyek a technológiai fejlődés motorját vagy gátját képezték a történelem során és a vízellátás és csatornázás közötti közmű olló záródásában fontos szerepet játszottak.

### 2.1.1 A SZENNYVÍZELVEZETÉS FEJLŐDÉSE

Véleményem szerint ahhoz, hogy a jelenlegi használt technológiákat megértsük, valamint a fejlődés útját láthassuk elengedhetetlen, hogy egy rövid történelmi áttekintés megtörténjen a szennyvízelvezetés kialakulásán keresztül egészen a szennyvíz tisztításáig bezárólag.

Az ókori civilizációk rendszerint a nagyobb, termékeny folyók mellett alakultak ki. A folyók gyakori kiöntése nyomán olyan nagy termőképességű talajok képződtek, melyek lehetőséget adtak a növénytermesztésre, majd általa a tömegek élelmezésére. Juhász (2008) szerint a szennyvíz elvezetésének szükségességét már a korai civilizációk is hamar felismerték, ennek legfőbb oka a szaghatáson vagy az esztétikai kivetnivalókon túl a fertőzések és a járványok gyakori megjelenése volt. A lakosságszám, valamint a népsűrűség rohamos emelkedésével a szennyvíz mennyisége is drasztikusan nőtt. Tekintettel arra, hogy az ivóvizet közvetlenül a folyókból vételezték vagy ásott kutak segítségével a talajból nyerték ki és fogyasztották, az ivóvíz tisztítása sem mechanikai kezeléssel sem biológiai vagy kémiai beavatkozásokkal nem volt biztosított. A lakóházak a szennyvíz keletkezési helyének közelében helyezkedtek el, ezért a széklettel ürülő baktériumok, fertőzésekhez vezettek volna, ha az elvezetésük nem megoldott. Annak ellenére, hogy vírusok és baktériumok világa előttük még rejtve voltak, korán felismerték azt a tényt, hogy szennyvíz kibocsátásnak helye, valamint ivóvíznyerése, egészségügyi szempontból nem kívánatos, ha egybe esik (Lőrinc, 2016a).

A szenny- és csapadékvíz elvezetés legősibb nyomait a mai Pakisztán területén azonosították az Indus-völgyi Mohendzso Daro és Harappa romvárosaiban, korát Krisztus előtt 3-4. évezred közötti időszakra becsülik. A dél-ázsiai civilizációkban ebből az időszakból írásos feljegyzés nem maradt fent, a vízvezető-hálózat működéséről vagy a kiterjedéséről kizárólag a feltárt építmények formája és lejtése az, amelyből funkciójára lehet következtetni. Az öntözőcsatornáiról híres Mezopotámiában Babilon vagy Ninive városainak lakói a Tigris és Eufrátesz folyókból kapták a tiszta vizet. A kiterjedt ivóvízhálózat kiépítése mellett olyan technológiai megoldásokkal, mint a szivárgóaknak alkalmazása, a gravitációs rendszerekkel a szennyvíz és csapadékvíz elvezetéséről is gondoskodtak (Enyedi, 2016; Juhász, 2008).

Az ókori hellén városok közül a kozmopolita jellegű Athén feltárásakor égetett eljárással készült, nagy átmérőjű, üledékes kőzetből készült, összefüggő csatornarendszert találtak, amelyek gyűjtőmedencékben végződtek. Feltételezhető, hogy a szennyvizet a kisebb vízfolyások a városi csatornahálózatba való bevetésével szállították az agyagcsatornákon keresztül a szikkasztási pontig vagy vezették vissza a folyókba. A csatornázás első írásos bizonyítékát az Oroposzban található Amphiaraeión-templom vésetein olvasható, ahol a

csatorna építéséhez szükséges időt és egységárat rögzítettek, valamint a kivitelezésért felelős személyek neveit (Heklet 1931; Juhász, 2008).

A római birodalom csak a második század végére terjedt ki a Dunántúlra, de Krisztus után már az I. század végén, a borostyán-út mentén fekvő városokban, mint Savaria (Szombathely) és Aquincum (Óbuda) már gondos tervezést követően biztosított volt a vízellátás és a szennyvízelvezetés is, de vizek tisztítása nem volt megoldott. A szennyvizet a Pannon provinciákhoz hasonlóan, a közeli folyókba vezették. A Nyugatrómai Birodalom hanyatlását követően a fejlett vízelvezető hálózatok fenntartása megszűnt, állapotuk folyamatosan romlott, még végül használaton kívül lettek helyezve. A kora középkorra az egykor műszaki bravúrral megépített létesítmények funkciójukat elvesztették és lényegében eltűntek (Kovács és munkatársai, 2016; Juhász, 2008).

A középkori városokra jellemző volt, hogy kívülről várfal védte őket, valamint relatíve nagy népsűrűséggel rendelkeztek. Lőrinc (2016b) megállapításai alapján városon belüli szabad terek és művelt parcellák fokozatosan tűntek el az urbanizáció során. A hulladék elszállítása és a szennyvíz elvezetése nem volt megoldott, ezért számos járvány gócpontjai váltak ezek a gyenge higiéniai körülményekkel rendelkező nagyvárosok.

A csatornázási kedv felélédeése egészen a XIX. század közepéig váratott magára, kiindulási pontjának Londont tekintik, valamint az ekkor tomboló járványokat. A hasmenéssel járó fertőző betegségek a század közepén a szennyezett vízzel gyorsan terjedtek a sűrűn lakott nagyvárosban. Ezen időszakban a fekáliával terjedő fertőzésben meghalt emberek száma meghaladta a több tízezret (Juhász, 2008). Az akkor élt tudósok és orvosok annak ellenére rengeteg dokumentált eset és statisztikai adat állt a rendelkezésükre, tévesen úgy vélték, hogy a kolerát, a tífuszt és a pestist a rothadó szerves anyagokból kipárolgó bűzös levegő okozza, csak az 1866-os nagy londoni kolerajárványkor bizonyosodtak meg, hogy valójában a szennyezett víz állt a kiterjedt fertőzések hátterében (Hargittai, 2021).

A járványok megfékezéséhez szükséges védőoltások még nem álltak rendelkezésre, a fertőzött estek számának növekedést a meglévő szennyvízcsatorna hálózatának fejlesztésével és új csatornák létesítésével kívánták mérsékelni, ez azonban számon kihívást jelentett a korabeli építőmérnökök számára, Juhász (2008) megállapításai alapján az angol fővárosban nehézséget jelentett, hogy a szennyvíz Temzébe való bevezetését korlátozta az a jelenség, hogy a folyó vízszintje az apálynak és a dagálynak megfelelően változott. A vezetékekben ciklikus visszaduzzasztás okozta áramláslassulást el kellett kerülni a csatornáknak, a megfelelő áramlásviszonyok biztosítása érdekében.



Végül 1847-ben a kormány szorgalmazta, hogy London teljes vízellátása és szennyvízelvezetése biztosított legyen. Elsőnek a csapadékvizek összegyűjtését, majd WC öblítés céljából való bevezetését irányozták elő az egyes háztartásokban. A hígított szennyvizet céljaik szerint a mezőgazdaság teljes egészében hasznosította volna. A talaj általi szűrést követően a tisztított vizet dréncövek segítségével gyűjtötték össze, majd vezették vissza a folyóba (Juhász, 2008). A városi csatornarendszer átfogó munkálatai csak 1859-ben indultak meg, de már 1875-re el is készültek, amely rövid időtartam a korabeli eszközökkel műszaki bravúrnak minősíthető. A korábbi rendszerekhez képest fontos változást jelentett a nagyatmérőlű gyűjtőcsatornák meghosszabbítása és a meglévők kapacitásának megnövelése, valamint az átemelő szivattyúk általános alkalmazása. A kezdetleges műszaki megoldások gyors sikereket eredményeztek a tífusz és a kolera visszaszorításban (Hargitai, 2021).

Szintén az angol fővároshoz köthető az első elválasztott rendszerű csatornák használata. Praktikumuk két dologban állt. Az első, hogy a szennyvizet és a csapadékvizet külön-külön csatornákkal vezették el, így a két rendszer egymástól függetlenül működhetett, így a hirtelen érkező, nagy mennyiségű csapadékvíz nem befolyásolta a szennyvízcsatorna működését, amennyiben nem történtek illegális rákötések a hálózatra. A második, hogy a két csatornát akár azonos munkagödörbe is lehetett fektetni jelentős egészségügyi kockázat nélkül, szemben az ivóvízvezetékekkel és a szennyvízcsatornával. A hátránya volt, hogy a mázas kőanyag szennyvízcsatorna, annak ellenére, hogy az egyesített rendszerhez képest kisebb átmérővel is kivitelezhető volt, irreálisan drágának bizonyult (Juhász, 2011). Az elválasztott rendszer elterjedése a XIX. század végéhez köthető, amikor a szenny- és csapadékvíz elvezetéséhez új és jelentősen olcsóbb anyagokat, mint a betont, majd műanyagok kezdtek alkalmazni. Mára már elmondható, hogy az Európai nagyvárosokban a vegyes rendszer vált sztenderdé, amely magába foglalja, mind az elválasztott, mind az egyesített rendszert.

A korábban felsorolt műszaki megoldások a szennyvizet gravitációs úton juttatták el a befogadóhoz, azonban a XX. század elején Hollandiában megalkották a kényszeráramlású rendszerek elődjét. A Liernur-rendszer lényege abban állt, hogy a szennyvizet a zárt utcai csatornákból szakaszos zárással, vákuumot előállító szivattyúkkal juttatták el a központi főgyűjtőig (Juhász, 2008). A rendszer gyengesége a vascsatornák anyagában volt, a felületkezelés hiánya rozsdásodást okozott, a kilyukadt csatornák alkalmatlanná váltak arra, hogy akkora vákuumot képezzenek benne, amely elegendő a szennyvíz mozgatásához. A strapabíró és gondozásmentes anyagok, mint a nem korrodáló KG-PVC műanyag csövek megjelenése után terjedt csak el ez a technológia érdemben.

Úgy vélem, hogy ez a példa jól mutatja, hogy egy korábban kudarcot vallott technológia hogyan éledhet fel és hogy, miért is érdemes az akár több évtizeddel ezelőtt használt műszaki megoldások alkalmazását ismételten fontolóra venni; a kényszeráramoltatású szennyvíz-törzshálózati vezetékek építése hazánkban egyre elterjedtebb.

Azokon a területeken, ahol a nyomvonalas létesítmények fektetése a város struktúrája miatt nem volt gazdaságos, ott alkalmazták a hordós (tonnás) gyűjtési módszert. A zárt hordók funkciója és a velük szemben támasztott kritériumok, mint a víz- és bűzzáróság megegyezik a mai gyűjtőedények és konténerekével (Juhász, 2008).

A szennyezett vizek gyűjtése ma már vákuumcsövek segítségével, úgynevezett szippantásos módszerrel valósul meg és nem szükséges a gyűjtő tengelyen történő elszállítása. A munkám során szerzett tapasztalatok alapján a kiskapacitású biológiai és oldómedencés szennyvíztisztító műtárgyak, amelyek létesítése egyre népszerűbb, alternatívaként jelennek meg az emésztőgödörrel és a zárt szennyvíztárolókkal szemben, a közműhálózattal nem rendelkező települések esetében. Az egy-két háztartás szennyvizét fogadó rendszereknél, annak ellenére, hogy többségük a tisztított szennyvizet gyökérszínti öntözéssel hasznosítja, mégis az évenkénti szippantás a javallott. A kistelepülések gyökérszónás szennyvíztisztító telepei esetében szintén szükség van az iszap rendszeres eltávolítására a szeptikus tartályokból és az üleptető tartályokból, a felhalmozódás megelőzése érdekében (Gabriela, 2017). Úgy vélem, hogy a szippantás, majd tengelyen történő anyagszállítás mennyisége csökkenni fog, de nem volt teljesen megszűnni a közeljövőben.

### 2.1.2 A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS KIALAKULÁSA

A szennyvíztisztítás szemben a csatornázással, amely már ötezer éves múlttal rendelkezik, csupán néhány száz éve létezik.

A fordulópontot a 19. század jelentette, a drasztikusan emelkedő lakosságszám és az urbanizáció gyors végbemenetele új környezeti kihívások elé állította kora emberét. Természetesen a technológiai fejlettség régióként egy-egy városra vetítve jelentős különbségeket mutatott, de a tisztítás hiányából adódó nehézségek egyre több embert érintettek. A szennyvizek térben is időben egyre koncentráltabban keletkeztek a városokban a polgári és a munkásosztály térnyerésével, továbbá a mezőgazdaságban dolgozó emberek számának drasztikus csökkenésével (Bácskay, 2016). Az ipari forradalom előtti szemlélet, amely jellemzően kimerült a szennyvizek elszállításban és szabadföldön történő szikkasztásában (öntözés és tápanyagutánpótlás céljából) vagy az élővízbe való bocsátásában, már nem nyújtott

elégséges választ. A vízellátás és a hulladékszállítás, valamint hulladékkezelés mellett megjelent a sürgető igény a szennyvíz nagy mennyiségben történő megtisztítására. A nagyipari tevékenységek kibontakozásával párhuzamosan a természetes befogadó közegben végbemenő anyagváltozások egyensúlyi állapota fölbomlott. Az élőanyag keletkezés és a holtanyag lebontás egyensúlya megbillent, amely a negatív környezeti hatások sorát indukálhatja (Grónás, 2008).

A vízminőségben bekövetkező változások az egészségügyi kockázatok együttesen tették szükségessé a talaj, valamint a felszín feletti és alatti vizek védelmének biztosítását.

Kezdetben a tisztítás kizárólag az első tisztítási fokozatnak, megfeleltethető, mechanikai jellegű beavatkozásokat jelentett, amely során a rácsokon és homokfogókon kívül csak az ülepitésben merült ki a szennyvíz megtisztítása. A homokfogó műtárgyak esetében a Haltinger típusú, vízszintes átfolyásúak mellett, kis számban, de már alkalmazták a kútszerű, úgynevezett függőleges átfolyásúak is. Utóbbiak a ma is széleskörben használatos dorr típusú, sugárirányú átfolyású medencékhez hasonlítottak. A földmederű ülepitőket hamar váltották a beton anyagú műtárgyak, amelyeket kotrószerkezetekkel láttak el az üledék és az uszadék eltávolítása érdekében. Magyarországon leginkább a tolólapos kotróval felszerelt Lipcsei medence terjedt el. A XX. század elején a második tisztítási fokozatnak megfeleltethető biológiai tisztítás a nyitott és a zárt kialakítású oldó medencék megjelenésével valósulhatott meg. A több medencéből álló műtárgyak segítségével a csepegtetőtestes tisztítás olcsón és könnyen üzemeltethető volt (Bognár és munkatársai, 2020; Juhász, 2011).

A konstruktív műszaki megoldások közül az eleveniszapos bioreaktorok használata mérföldkövet jelentett a mai értelemben vett szennyvíztisztításnak. A nagyvárosok számának globális emelkedésével együtt ez a technológiai innováció csak lassan és kiemelten a fejlettebb régiókban terjedt el. Kezdetben az új rendszereknek műszakilag rendkívül instabilak voltak, kivitelezésük és fenntartásuk drága, valamint az üzemeltetésük kellő szakértelmet és precizitást követelt meg, amely a technológia elterjedésének egyik legfőbb gátja volt. Az első eleveniszapos szennyvíztisztító telep Manchesterbe létesült 1914-ben, amely kizárólag lakossági szennyvizet fogadott be. Működés az eleveniszapos technológián alapult. Az érkező szennyvizek szakaszosan kerültek révezetésre a bioreaktorokra. A medencékben a levegőztetett fázis és a nem levegőztetett fázis ciklikusan követték egymást. Ez a megoldás később az üzem szakaszos jellegéből adódóan az „*sequenced batch reactor*” SBR elnevezést kapta meg. Legfontosabb jellemzője, hogy a reakciótér, amelyben a biológia lebontás és az ülepités lezajlik, ugyan azon medencében történik (Bognár és munkatársai, 2020).

Jelenleg főleg az ipari szennyvizek tisztítására használják ezt a technológiát, mert az egyenes átfolyású rendszerekhez képest lényegesen egyszerűbb az üzemeltetésük, kevesebb helyet foglalnak, valamint a terhelés-ingadozásokat jól viselik, valamint távolról történő üzemeltetésük is könnyebben megvalósítható a percíz adagolóknak köszönhetően.

Az ipari forradalommal közel párhuzamosan kezdték el alkalmazni a mezőgazdaságban a növényvédő szereket és a műtrágyákat (szervetlen növényi tápanyag), valamint nagy mennyiségben a detergenset. A nitrogén és foszfor alapú műtrágyák a befogadóba jutva eutrofizáció okozhatnak a túlzott felesleges tápanyagbejutás miatt, ennek megelőzése érdekében, indokoltá vált a bioreaktorokat kiegészítő műtrágyakkal felszerelni. Egyes esetekben szükség lehet több további tisztítási fokozatra is, például a betegséget okozó ágenseknél, amikor az eltávolítani kívánt szennyező degradációval szembeni állóképessége ezt indokolja (Juhász, 2011; Öllös, 2006).

A szennyvíztisztításához használt műszaki megoldások fejlesztése az új típusú vízszennyező anyagok eltávolítása érdekében jelenleg folyamatban van. Véleményem szerint, a kezdetben rendkívül drága eljárások, mint például a membránszűrés, a beruházási és üzemeltetési költségek mérséklődését és a kapacitásuk bővülését követően, idővel akár a negyedik tisztítási fázis alapját is képezhetik a városi tisztító telepek esetében. Ebben az esetben új típusú hulladékok is keletkezhetnek, melyek kezeléséről szintén gondoskodni kell.

## **2.2 A SZENNYVÍZ**

### **2.2.1 A SZENNYVÍZ MINŐSÉGI ÉS MENNYISÉGI TULAJDONSÁGAI**

Véleményem szerint, a szennyvíz és a szennyvíz tisztítása során keletkező hulladékok jogi megfogalmazása nem elegendő ahhoz, hogy átfogóbb képet alkossunk annak tulajdonságiról, ezért ebben az alponban kívánom ismertetni azokat az tényezőket, amelyek meghatározzák.

A jogszabályból következően, szennyvíznek kizárólag olyan vizek minősülnek, amelyek antropogén hatás nyomán szennyeződtek el, ezért az eredeti minőségük környezeti szempontból negatívan megváltozott. A szakdolgozatomban a víziközmű-hálózaton gyűjtött és a nem közműves szennyvíz gyűjtését követően tengelyen szállított kevert városi szennyvizeket jellemzem. Ebben a diszperz rendszerben a diszperziós közeg a víz és a diszperz fázis a benne lévő görgetett kavics és a homok, valamint egyéb vízzel nem elegyedő szilárd anyagok. A szennyvíz az emulziókra jellemző tulajdonságokkal is rendelkezik, hiszen egymásban nem oldódó folyadékfázisokat is tartalmaz (Kárpáti és Vermes, 2011).

A kevert városi szennyvizek rendkívül változatos tulajdonságokkal rendelkeznek, mind időbeli eloszlásukban, mind fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságaikban. Ennek egyik oka, hogy a lakossági szennyvíznek igen magas a szervesanyag-tartalma. Kárpáti és Vermes (2011) alapján az elfogyasztott tápanyag tartalmának közel a negyede kerül a szennyvízbe, nagyrészt már átalakított formában, számos diszpergáló és emulgeáló szerrel együtt. Ezek a szennyezők, ahogyan a táplálékok is, más és más bel tartalmi értékekkel rendelkeznek. További ok, hogy a kommunális jellegű szennyvizek a tisztítás előtt gyakran kiegészülnek előkezelt és nem előkezelt ipari szennyvizekkel, melyek bár szervesanyag tartalmukban elmaradnak az előbbivel szemben, kivéve az élelmiszer: tej, hús- és gyümölcs, konzerviparok szennyvizeit, de tartalmazhatnak toxikus anyagokat (Kárpáti és Vermes, 2011). A szolgáltatások során keletkező szennyezett vizek összetételük alapján hasonlíthatnak a kommunális jellegű szennyvizekre, mint az éttermek, szállodák, egészségügyi intézmények esetében vagy ipari szennyvizekre is, mint a karbantartást és javítást végző cégek esetében.

#### **Simándi (2011) nyomán a szennyező anyagok főbb csoportjai:**

- ❖ **Radioaktív anyagok:** a kevert városi szennyvizek, főleg nagyvárosok esetében tartalmazhatnak a nukleáris medicina, sugárterápia és radioterápia során használt radioaktív anyagokat, amelyek az egészségügyi intézmények által kerültek felhasználásra, illetve kibocsátásra a szennyvízzel együtt.
- ❖ **Hordalékanyag vagy szuszpendált anyagok:** nem oldott formában jelenlévő szilárd szerves vagy szervetlen anyagok. Az egyesített rendszerű szennyvízcsatornáknál a csapadékvízzel érkező talajszemcsék mennyisége kiemelkedően magas. Ezen anyagok közül a szervetlenek eltávolítása jellemzően az első tisztítási fokozatban, a mechanikai kezelés során, a gépi rácsokon, gerebeken és előülepítőben zajlik le, a szerves esetében kisebb mértékben a rácsokon, nagyobb mértékben az előülepítőn.
- ❖ **Szerves vegyületek:** vízben oldódó és nem oldódó olajok, kőolaj származékok és peszticidek. Az olajok és zsírok leválasztása már az olaj- és zsírleválasztón, illetve az előülepítőn is megkezdődhet. A peszticidek esetében, a nagy koncentráció megjelenésekor az eltávolításukra az aktívszenes az adszorpciós reaktorokat vagy fejlett membránszűrőket alkalmazhatnak a negyedik tisztítási fázis részeként.

- ❖ **Szervetlen növényi tápanyagok:** az alaptrágyázás, fejtrágyázás, levéltrágyázás, sortrágyázás stb. során használt műtrágyák származékai, amelyek nitrogént, foszfort, káliumot, kalciumot, magnéziumot tartalmazhatnak. A második, de főleg a harmadik tisztítási fokozattal kerülnek eltávolításra a szennyvízből.
- ❖ **Vízoldható szervetlen anyagok:** savak, sók, toxikus nehézfémek, mint a higany, arzén, ólom, kadmium. A szennyvíziszap vizsgálata során kiemelt figyelmet kell fordítani rájuk. Jellemző rájuk, hogy az élő szervezetekben bioakkumuláció formájában feldúsulhatnak és hosszán kifejtetik negatív hatásukat.
- ❖ **Oxigénigényes hulladékok:** aerob dekomponáló szervezetek által, oxigén jelenlétében, biológiailag lebomló szerves anyagok. Bontásuk az levegőzött medencében vagy térrészben történik a második tisztítási fokozat során.
- ❖ **Betegséget okozó ágensek:** tífuszt, kolerát, dizentéria stb. okozó vírusok, baktériumok, protozoák és bélférgek, amelyeket jellemzően a bélsárral ürülnek és hosszabb ideig fertőzőképesek. A negyedik fokozat a mikroszennyező anyagok eltávolítását és az ágensek roncsolását célozza meg.

A szennyvíz minősége nagyban függ a kibocsátást követő és a tisztítást megelőző tartózkodási időtől, valamint a szállítás módjának egyéb speciális jellemzőitől és ez idő alatt végbemenő biológiai folyamatoktól. A szennyezett vízben a bomlási folyamatok gyorsan megindulhatnak. A magas enzim- és szervesanyagtartalom, a csatorna légterének elégtelen méretezése, a nem ideális hőmérséklet és a csatornában vagy a szennyvízátemelőben eltöltött hosszú tartózkodási idő, olyan körülményeket okoznak, amelyek számos biokémiai átalakulást eredményezhetnek a nyomvonalas létesítményeken belül. A hőmérséklet emelkedésével a bomlási folyamatok sebessége is fokozódik, mely során az egyik legjelentősebb jelenség, hogy az urinából származó nitrogén hidrolízis következtében ammóniává alakul a közcsatornában. A szennyező anyagok részleges átalakulása okán, jelentős különbségek lehetnek a szennyvíz kibocsátáskori minőségében és szennyvíztisztító telepre való beérkezés között; tekintettel arra, hogy a szállítás időtartama 10 km hosszú gravitációs csatornán átlagosan 3-6 órába telik. Ezen időintervallum alatt a szennyvízcsatorna, mint biológiai reaktor is működik és mint a bioreaktorok esetében, itt is képződik szennyvíziszap, amely elszállításra kerül, gyakran ugyan abba a rothasztó toronyba, ami a telepekről származó iszapot is fogadja (Kárpáti és Vermes, 2011; Fazekas munkatársai, 2014).

A kevert városi szennyvíz mennyisége és minősége egyaránt függ az adott napszaktól és évszaktól. Előbbi esetében a társadalom rutitevékenységei befolyásolják a kibocsátás mennyiségét; például a reggeli órákban a hajnalihoz képest sokszorosára nő a kibocsátás, tekintettel arra, hogy az emberek nagy hányada ébredés után elégítik ki biológiai szükségleteiket. Utóbbi esetében az életmódváltás, nyaralás/telelés, home office munkavégzés is befolyásoló tényezőt jelent, hiszen más helyen és időben keletkezik a szennyvíz.

A gyűjtőhálózat rendszere is korlátozza, hogy a szennyvíztisztító telepeknek milyen terheléskülönbségeknek kell megfelelniük, hiszen a szennyvíz átemelőkhöz és végátemelőkhöz lévő szivattyúk véges kapacitással rendelkeznek. Az elválasztott rendszerek esetén a szennyvíz mennyiségének átlaga évszakonként nem mutat jelentős eltérést, mert a csapadékvíz közvetlenül nem hígítja a szennyvizet, ettől függetlenül a napi ingás jelentős. Az egyesített rendszerek esetén a csapadékosabb időszakok alatt olyan mértékű hígítást is kialakulhat, mely során az adott szennyezőanyag a szárazidei értékeinek töredékére is csökkenhet.

Az infiltráció során mindkét rendszerű gyűjtőhálózatról érkező szennyvizek hígulhatnak. Az előregedett, megrepedezett a gravitációs csatornák résein keresztül a talajvízből a szennyvízcsatornába beszivárgó talajvíz a szennyvíz hígítását eredményezi. A műanyag csatornánál jellemzően nem szükséges infiltrációval számolni a fajlagos szennyvízmennyiségnél. Összeségében azonban elmondható, hogy a beszivárgás hatása kisebb, mint az illegális csapadékvíz bekötések miatt bekövetkező hígítás (Pálné, 2007).

## 2.2.2 A SZENNYVÍZ TISZTÍTÁSA

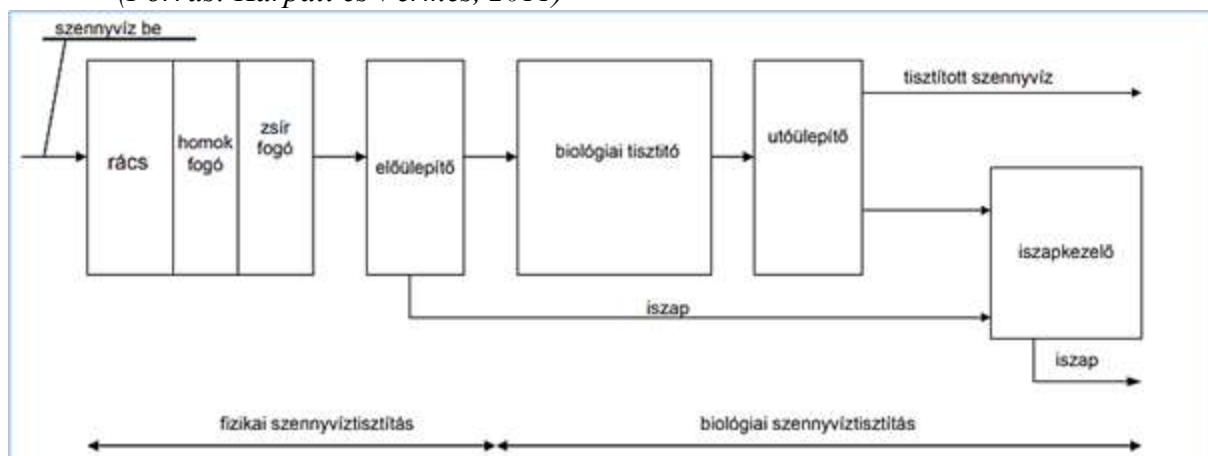
A szennyvíz tisztításának célja, hogy a biológiailag, kémiailag és fizikailag megváltoztatott vizek tisztítást, illetve kezelést követően biztonságosan elvezethetők legyenek a befogadóba vagy újra felhasználhatók legyenek szürke vízként. A hatékony tisztítás elősegítheti a befogadó jó környezeti állapotának fenntartását. Amennyiben a befogadó élővíz, esetlegesen még minőség béli javulást is okozhat megfelelő tisztítás esetén, mert az eutrofizáció elkerülhetővé válik a nitrogén és foszfor előzetes eltávolítását követően. A szennyező anyagtól vagy anyagoktól függően egy, esetleg több tisztítási fokozat is szükséges lehet e cél elérése érdekében. Az iparosodást megelőzően a gépiesített szennyvíztisztítás kizárólag mechanikai kezelést jelentett, amely ugyan alkalmas volt a hordalékanyagok vagy szuszpendált anyagok eltávolítására, de a szerves szennyezőanyag kielégítő mértékű eltávolítására már nem. A XX. századtól a bioreaktorok megjelenésével és széles körben való elterjedésükkel a szerves vegyületek és az oxigénigényes anyagok kezelése is már megtörténhetett.

A szennyvíz minősége az új szennyezők megjelenésével időben még mai is folyamatosan változik, ezért újabb és újabb technológiákat alkalmaznak a tisztítás során, amely érint a keletkező hulladékokat is. Fontosnak tartom megemlíteni, Aubert és munkatársainak (2016) kutatása alapján, hogy Magyarország infrastruktúrája nemzetközi összehasonlításban jelenleg közepesen fejlettnak minősíthető, a közműves vízellátás és a kiépített csatornázás közötti olló záródására vonatkozóan.

A szakdolgozatomban, a magyar nevezéktanban használatos megnevezéseket használom a tisztítási fokozatok megkülönböztetésére, valamint kiegészítem egy véleményem szerint releváns nullaid fokozattal is, amely a hálózaton történő mechanikai tisztítást tartalmazza. A tisztítási folyamatok jellemzésekor olyan eleveniszapos városi szennyvíztisztító telepeket veszek alapul, amely minden tisztítási fokozattal rendelkezik. Amint az 1. ábrán látható, a tisztítási folyamat során a szennyvíztisztító telepre érkező szennyvizek számos műtárgyon keresztülhaladva lesznek megfelelő minőségűek a befogadó való bocsátáshoz.

### 1. ábra: A települési szennyvíztisztítás sematikus ábrája

(Forrás: Kárpáti és Vermes, 2011)



#### 0. Tisztítási fokozat

A szennyvíztisztító telepre a közműhálózatról érkező szennyvizek számos csatornán és szennyvízátemelőn keresztülhaladhatnak, miközben minőségük számos ponton megváltozhat. A hálózatüzemeltetés keretében, a csatornák tisztítása során, a lebegtetett és a görgetett anyagok lerakódása által képzett dugulások megszüntetése nagy mennyiségű csatornaiszap eltávolításával jár. A szennyvízátemelők szivattyúinak védelme érdekében számos esetben alkalmaznak gépi rácsokat, az itt fennakadt anyagok közvetlenül kerülnek elszállításra az átemelőből, ezáltal csökkentve a telepek terhelését. A csatornaiszapot jellemzően közvetlenül juttatják a rothasztó tornyokba, szemben a tengelyen szállított kommunális jellegű szennyvizekkel, ahol az ürítés a technológiai sor elején megy végbe (Kárpáti és Vermes, 2011).



## I. Tisztítási fokozat: mechanikai tisztítás

Az első tisztítási fokozat szolgálja a szennyvíztisztító telep műtárgyainak és az eleven iszapnak a megóvását. A fizikai erőhatások által a nagyméretű lebegtetett vagy görgetett tárgyak és anyagok és a finom lebegő szemcsék, valamint a felúszó, a bioreaktort túlzottan terhelő olajok és zsírok eltávolításra kerülnek. A folyamat során a szennyvíz szervesanyag tartalma is megváltozik.

### Kő- és kavicsfogó

Az egyesített rendszerű szennyvízelvezető-hálózattal rendelkező települések városi szennyvíztisztító telepeinek jellemzően láda formájú műtárgya. Feladata, hogy fizikai tisztítás révén biztosítsa a durva és a finom rácsok védelmét, azáltal, hogy az 5-20 cm nagyságú görgeteget visszatartja (Balázs, 2011).

### Rácsszűrő

A kő- és kavicsfogó műtárgyat közvetlenül követi a kézi vagy gépi tisztítású mechanikai durva rács (pálcaköz: 20–50 mm), esetenként a közepes rács (10–20 mm), majd a finom rács (pálcaköz: 2–10 mm), melyek az úszó és a lebegőanyagokat távolítják el a szennyvízből, az előülepítő védelme és a bioreaktor hatékony működése érdekében. Alternatívaként használhatnak továbbá késes aprítókat, melyek a szálas anyagokat aprítják. Ezen folyamat során keletkező hulladékokat nevezzük összefoglalóan rácsszemétnek (Bognár és munkatársai, 2020).

### Homokfogó

A kotróberendezések védelme érdekében szükséges a homok minél nagyobb fokú eltávolítása, hiszen a koptató hatása révén jelentősen csökkentené a műtárgyak élettartamát, valamint gyors ülepedése által folytonos lerakódásokat okozhatna a medencékben és az őket összekötő csatornáknál. A szervesanyag-terhelésének csökkentéséért a homokfogóra érkező szennyvízből a kisebb méretű ásványi anyagok gravitációs, esetleg centrifugális erő segítségével ülepedésre kerülnek. Kialakításuk szerint lehetnek vízszintes átfolyásúak, függőleges átfolyásúak hidrociklonok és légbefúvásosak (Simándi, 2011). Az eltávolított homok a többszöri mosást és a szeparálást követően, olyan alacsony szervesanyag tartalommal rendelkezik, amely alkalmassá teszi a szennyvízcsatornák ágyzatának kialakításakor használt folyami homok kiváltására.

### Zsírfogó

A zsírok és olaj eltávolítása szintén célszerű, hiszen felesleges többleterhelést jelentene a bioreaktorra nézve, aminek könnyen fonalasodás lehetne az eredménye. A városi szennyvíztisztítótelepen jellemző, hogy kombinált műtárgyakat alakamaznak erre a célra, amely alkalmas a zsírok eltávolításra is, valamint a homok ülepedésére. A műtárgyban a levegő intenzív bevitelével flotálnak, a folyamat során a víznél kisebb sűrűségű apoláris anyagok felúsznak a flotációs hatás révén, miközben a homok frakció ülepedése felgyorsul (Bognár és munkatársai, 2020).

### Ülepítő

Típusuk szerint megkülönböztetünk elő-, közbenső- és utóülepítőket, annak megfelelően, hogy a biológiai tisztítóegység viszonylatában hol helyezkedik el. Átfolyási irányuk szerint lehetnek függőleges átfolyásúak, mint a Dortmundi-medence, hosszanti átfolyású, mint a Lipcsei-medence vagy sugárirányú átfolyású, mint a Dorr-medence. A sűrűségkülönbség elvén működő műtárgyak elsődleges feladata, hogy az ezt megelőző fizikai, kémiai vagy biológiai tisztítási folyamatokat kiegészítsék. A homok és a szerves iszap előülepítése, valamint az olaj és a zsír felúsztatása során a szennyvíz biokémiai oxigénigénye akár 20–50%-os csökkenést is mutathat. Gyakran intenzifikálják az előülepítőket, amely során vegyszeres kezeléssel növelik az ülepedés sebességét a fizikai eljárással nem ülepíthető kolloidok esetében. A közbenső ülepítők a biológiai tisztítóegység között ülepítik a többfázisú tisztítás esetén keletkező iszapokat. Az utóülepítőket a bioreaktort követően helyezik el, feladatuk, hogy a biológiáról elvezetésre került eleveniszap anyag-átalakítását követően biztosítsák a fázisszétválasztást (Berecz és munkatársai, 1998; Bognár és munkatársai, 2020; Simándi, 2011).

### II. Tisztítási fokozat: biológiai tisztítás

A tisztítás második fokozatában, a biológiai szennyvíztisztítás során, a mikrobiális közösségek által történik a szerves anyagok hatékony bontása. Az eleveniszap életközösségek aerob és anaerob folyamatokkeresztül mesterséges körülmények között bontják a szervesanyagokat és távolítják el részben a nitrogént és a foszfort (Bognár és munkatársai, 2020). A hatékony biológiai tisztítás fokozása érdekében az aerob medencéknél levegőztetést alkalmaznak, mely során jellemzően tányér kialakítású, víz alatti membránpárnákon keresztül juttatják ki a kisméretű légbuborékokat, melyek a felszín felé haladva reakcióba lépnek a szennyvízzel. A levegőztetés, az összes tisztítási folyamat tekintetében a legenergiaigényesebb. A telephely

energiafogyasztásának 60-70%-át is kiteheti, ha az iszapkezelés során a rothasztótornyok külső palástjának fűtését nem számítjuk (Michael, 2011).

### III. Tisztítási fokozat: fizikai-kémiai kezelés

A nitrogén és foszfor eltávolítása a regionális szennyvíztisztító telepek esetében gyakran kiegészítő műtárgyakkal valósul meg. Előbbi esetében, a csepegtetőtestes eljárás során, a biofilmréteg által, biológiai úton történik a nitrogén eltávolítása a szennyvízből. Utóbbi esetében kémiai úton, vassók precíziós adagolása által csapattják ki őket a harmadik tisztítási fokozat részeként (Marcos 2007a; Öllös, 2006).

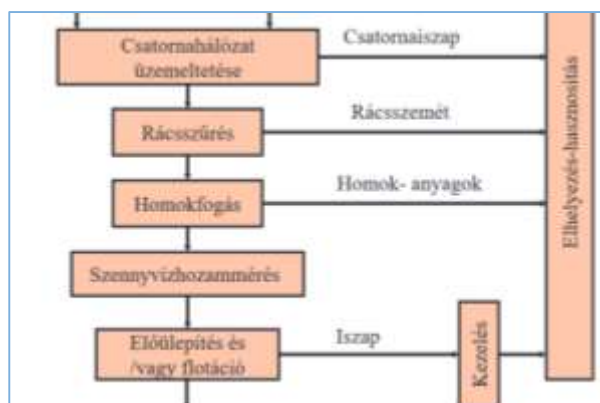
### IV. Tisztítási fokozat: mikroszennyezők eltávolítása

A negyedik tisztítási fokozat során kerülnek eltávolításra a gyógyszermaradványok és más mikroszennyezők és fertőző ágensek, a membránszűrőkön keresztül. Roncsolás esetén az UV-sugárzás vagy ózon általi bontás kezeli a fertőző ágenseket. Tekintettel arra, hogy nagy a beruházási és üzemeltetési költség mellett csak kis kapacitással rendelkeznek, a városi szennyvíztisztító telepek esetében széleskörben még nem terjedt el a használatuk.

## 2.2.3 A SZENNYVÍZ TISZTÍTÁSA SORÁN KELETKEZŐ HULLADÉKOK ÉS JELLEMZŐIK

A szennyvíz gyűjtése, szállítása és tisztítása során számos ponton keletkezik változatos tulajdonságú hulladék. A szakdolgozatomban kiemelten a városi szennyvíztisztító telepeken, a technológiai soron keletkező hulladékokkal foglalkozom behatóbban. Ennek az oka, hogy a telepeken kívül keletkező hulladékok mennyiségi jellemzői kevésbé nyomon követhetők és a minőségükben jelentősen eltérhetnek. A hulladékokat keletkezési helyük szerint a 2. ábra tartalmazza.

**2. ábra:** Az I. tisztítási fokozaton keletkező hulladékok sematikus ábrája  
(Forrás: Bognár és munkatársai, 2020)



### Rácsszemét

A rácsokról, gerebekről és a komminutorokról, azaz késes aprítókról származó rongyokat, papírt, műanyagokat és fémeket, csontot, üveget, ételmaradékokat, növényi részeket, szilárd halmazállapotú hulladékokat összefoglalóan rácsszemétnek nevezzük. Jellemző rájuk, hogy nagy mennyiségű szervesanyagot tartalmaznak, ezért gyorsan bomló, bűzös és fertőző tulajdonságokkal is rendelkeznek. A nedvességtartalmuk akár 85-90% is lehet. Kezelése aprítást követően, főleg a komminutorokról kikerülő hulladékok estében, történhet anaerob rothasztással vagy aerob komposztálással. Aprítás nélkül, mosást és víztelenítést követően energetikai célú hasznosításuk a jellemző. Amennyiben a mosás nem történik meg, az égetési hőmérséklet 800 °C fölött kell tartósan biztosítani. A felsorolt lehetőségek ellenére, hazánkban a legtöbb rácsszemét fertőtlenítést után deponálásra kerül (Nozadik, 2010; Simándi, 2011).

### Lefölözött szerves anyagok

Az olaj- és zsírfogókról eltávolított, valamint az előülepítőkről lefölözött szerves anyagok a biológia védelme és a felesleges bomlási folyamatok elkerülése érdekében kerülnek leválasztásra a szennyvízből. Összetételük változatos, nagy szervesanyagtartalommal rendelkeznek, ezért a bomlási folyamatok enzimek jelenlétében gyorsan megindulhat. Kellemetlen szaghatás jellemezi őket, ezért csak rövid ideig tárolhatók. Gyűjtésüket követően fokozatosan kerülnek adagolásra a rothasztó tornyokba, hol a sűrített fölősiszappal együtt, energiaforrásként hasznosulnak a biogáz előállításánál.

### Ülepített szerves anyagok

Az egyesített gyűjtőrendszer esetén a csapadékvíz által nagy mennyiségű homok kerül a szennyvíztisztító telepre érkező városi szennyvízbe. A homokfogóból és az előülepítőből származó kis szemcseméretű anyagok esetében mosást és szeparálást követően van lehetőség a felhasználásukra. Tekintettel arra, hogy bennük lévő szervesanyag 5% alá is csökkenthető, felhasználhatók, mint a szennyvíz csatornák ágyazati anyaga. További felhasználását korlátozza, hogy fertőtlenítése jelentős többletköltséget generálna.

### Szennyvíziszapok

A szennyvíztisztítás során keletkező hulladékok közül az iszapok kiemelt figyelmet kapnak. Keletkezési helyüket tekintve megkülönböztetünk csatornaiszapokat, melyek a gyűjtőhálózatról kerülnek tengelyen elszállításra a telephelyre. Primer iszapokat, melyek az elő és egyes esetekben a közbenső ülepítőkről származó anyagokat tartalmazzák. A szekunder iszapokat,

melyek az utóülepítőből iszapjait foglalja magába és végül a kirohasztott iszapokat, melyek az anaerob folyamatokat követően csökkent szervesanyagtartalommal rendelkeznek (Marcos, 2007b). A bioreaktorban és az utóülepítőben megtalálható eleveniszap életközösség rendkívül változatos lebontó szervezeteket összességét tartalmazza, megtalálhatók benne baktériumok, szíllós egysejtűek, amőbák, ostoros egysejtűek és többsejtű élőlények is. A lebontás biokémiai folyamatai során megvalósul a szénhidrátok, lipidek és fehérjék bontása (Bognár és munkatársai, 2020)

#### 2.2.4 A SZENNYVÍZISZAPOK MINŐSÉGÉT BEFOLYÁSOLÓ LEGFONTOSABB TÉNYEZŐ

Az eleveniszapos szennyvíztisztítás hatékonyságát és a keletkező iszapok minőségét jelentősen befolyásolja a szennyvizek minőségén belül: az oxigénkoncentráció, könnyen bontható egyszerűcukrok, illó zsírsavak, alkoholok, aminosavak mennyisége, szulfid tartalom, pH, valamint az érkező vizek mennyisége és eloszlása, a hőmérsékletváltozás és az esetleges műszaki hibák, amelyek a bioreaktor normál üzemi működését módosíthatják. Az egyik legfőbb kockázati tényező háttérben a fonalas baktériumok túlszaporodása áll, amely főleg közepes és e fölötti iszapkornál alakul ki. A pehely-képző baktériumok, alaki csoportosításuk szerint a coccusok és a pálcika formájúak szubsztrátért konkurálnak a fonalas baktériumokkal. Utóbbi túlszaporodása esetében a pehelyképződési mechanizmusa nem megy végbe vagy csak korlátozottan valósul meg. Az iszapkor csökkentése ugyan mérsékeli a fonalásodás negatív hatásait, mint a habzást, gázképződést, szaghatást, ugyanakkor az iszap instabil, gyengén sűrítendő, jellemzően magas ammónia tartalmú (Horváth, 2021; Barótfi, 2011).

### 2.3 JOGSZABÁLYI ÁTTEKINTÉS

A jogszabályi áttekintés során arra törekszem, hogy a szennyvíz fogalmát és a típusit, valamint a tisztítási technológia során keletkező hulladékokra vonatkozó hatályos jogszabályok, úgy ismertessem, hogy a rendelkező részt kiegészítve segítsem az értelmezést. Valamit olyan speciális jogalkalmazást ismertessek, mely során a szennyeződhető csapadékvíztisztás, a befogadó védelme érdekében preventíven valósul meg és a szennyvíz fogalma kiegészül a feltételezeten szennyezett vizekkel. Továbbá azt az Európai Unió irányelvet, illetve a kapcsolódó kormányrendeletet ismertetem, amely kihatással van a tisztítás során keletkező hulladékokra azáltal, hogy az elérhető legjobb technológiát, mint a létesítés és ezt követően az üzemeltetés fontos feltételét határozza meg a szennyvíztisztító telepek esetében.

### 2.3.1 SZENNYVÍZVÍZ FOGALMI KÖRÉNEK JOGSZABÁLYI ÁTTEKINTÉSE

A szennyvíz fogalma és az, hogy miként válik szennyezetté, nehezen definiálható, úgy is ismert, mint egy speciális végtermék, amely valamilyen emberi tevékenység nyomán, az eredeti minőségétől elérővé válik. A *felszíni vizek minősége védelmének szabályairól* szóló 220/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet 3.§-a az alábbiak szerint írja le: „*a termelési, szolgáltatási, fogyasztási tevékenység során használt, a használat – illetve az üzemi területen összegyűlő csapadékvizek esetében bemosódás vagy keveredés – következtében fizikai, kémiai vagy biológiai minőségében megváltozott, vízszennyező anyagot tartalmazó víz.*” A vízszennyező anyagok: „*a vizek természetes minőségét hátrányosan befolyásoló olyan anyag vagy hőenergia, amely az emberi tevékenység eredményeként közvetlen, illetőleg közvetett bevezetéssel kerül a befogadóba, és amely káros, illetve káros lehet az emberi egészségre, az élővilágra vagy a környezet más elemeire, illetőleg károsítja, illetve károsíthatja az anyagi javakat.*” A tárgyi kormányrendelet értelmező rendelkezései alapján megállapítható, hogy a szennyvizeket eredetük szerint háromfelé tudjuk felosztani az alapján, hogy mely emberi tevékenység nyomán keletkezi és azt, hogy a szennyező anyagok hátrányosan megváltoztatják a vizek fizikai, kémiai és biológia tulajdonságait. A változtatás mértéke és a befogadó közeg, tágabb értelemben az ökoszisztéma érzékenységének ismeretében megkülönböztetünk vízi rendszereket terhelő és a vízi rendszereket szennyező anyagokat. Utóbbi esetében a szennyező anyag koncentrációja olyan negatív hatásokat okoz, amely már jelentős mértékű változásokat generál az ökoszisztéma egy vagy akár több elemében (Szoboszlai és Kriszt, 2014).

Fontosnak tartom megemlíteni, hogy a jogszabályi környezetben a közvetlen bevezetésnél az egyes gyártási, feldolgozási és tisztítási, tevékenységek folytatása során keletkező használt- és szennyvizek esetében, eltérőek lehetnek a területi határértékek, amelyek a befogadó érzékenységének figyelembevételével, a vízminőségvédelmi területi kategóriáknak megfelelően kerülnek előírásra. A befogadó felszíni és felszín alatti vizek érzékenységének meghatározását jellemzően a vagyonkezelői feladatkörébe tartozik.

Véleményem szerint a szennyvíz fogalmába gondolatjelekkel beékelte kiegészítés magyarázatot érdemel; a csapadékvizek esetében a megkülönböztetünk tiszta csapadékvizeket, mint például a telőfelületi vizek és azon vizek, melyek potenciálisan sem szennyeződhetők; ezek szikkasztása vagy élővízbe bocsátása biztonsággal megtörténhet, valamint azokat melyek, jellemzően a burkolt felületeken összegyűlekeznek és valamilyen szennyezőanyaggal kapcsolatba kerülhetnek. Utóbbi esetében a tisztításuk szükséges, amely lehet például egy parkoló esetében az olajjal szennyeződött csapadékvizek koaleszcencia elvén működő gravitációs olajleválasztó

berendezésen való megtisztítása. A környezeti elemek megóvása a megelőzés elvének figyelembevételével olyan módon biztosított, hogy a műtárgyon belül oleofil tulajdonságú szűrő felületén megtapad az olaj. Azokban az esetekben, amikor a csapadékvízben a szennyezőanyag tulajdonsága vagy a tisztítás alacsony hatékonysága nem teszi lehetővé a befogadó védelme érdekében megállapított területi határértékeknek való megfelelés vagy irreálisan magas beruházási költségeket jelentene, szükséges lehet további tisztítás is az élővízbe való bevezetést megelőzi. Ekkor a közműszolgáltató beleegyezésével és a hatóság jóváhagyásával van lehetőség a szennyezett csapadékvíz egyesített rendszerű közcsatornára bocsátására, amely során az utótisztítást a városi szennyvíztisztító telep végzi el. A tárgyi példa mutatja, hogy a joggyakorlás során, a befogadó preventív védelme érdekében, a szennyeződhető csapadékvizek tisztítása megvalósul. A példa utal a környezet védelmének alapelveinek gyakorlati alkalmazására, amely a *környezet védelmének általános szabályairól* 1995. évi LIII. törvény 6. § (1) pontja és 19. § (1) pontjára, a területi adottságok figyelembevételére.

*A víziközmű-szolgáltatásról szóló 2011. évi CCIX. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról* szóló 58/2013. (II. 27.) Korm. rendelet 3. §-a tartalmazza a szennyvizek csoportosítást: „a települési szennyvíz háztartási, vagy háztartási és ipari szennyvíz, továbbá egyesített elvezető rendszer esetén ezek csapadékvízzel képződött keveréke.” Az ipari vagy kereskedelmi tevékenységből származó szennyvízről elmondható, hogy a befogadóba való közvetett bevezetésnél a közcsatornába bocsátási küszöbértékeknek való megfelelés érdekében számos esetben előkezelő berendezéseken át jutnak a közcsatornába. Ezzel szemben 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.” amely szervesanyagban és élő szervezetekben gazdag, jellemzően nem kerül előkezelésre.

### 2.3.2 SZENNYVÍZVÍZTISZTÍTÁS SORÁN KELETKEZŐ HULLADÉKOK FOGALMI KÖRÉNEK JOGSZABÁLYI ÁTTEKINTÉSE

A hulladék fogalmának meghatározásakor a jogalkotók egy másik szempontrendszer alkalmaztak, mint a szennyvíz esetében. A megközelítés a hulladék tulajdonosa által válik értelmezhetővé, illetve a hulladék és a tulajdonosa közötti viszonytól függ a státusza a legtöbb esetben.

A hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV. törvény (a továbbiakban: Ht.) 3. §-a alapján: „*bármely anyag vagy tárgy, amelytől birtokosa megválnik, megválni szándékozik vagy megválni köteles*”  
A jogszabályváltozások okán fontos kiemelni, hogy Ht. 1. § (2) pontja alapján a hatálya nem terjed ki szennyvízre, de tartalmazza a szennyvíztisztítás során keletkező szennyvíziszapok és a szennyvíziszapkomposzt mezőgazdasági felhasználásának feltételeit és hulladéklerakási járulékait.

Véleményem szerint jelentős gazdasági ösztönző erő képviselhet a hasznosításra e törvény 69. § (6) pontja, amely a hulladéklerakási járulékot 50%-ra mérsékeli abban az esetben, ha a szennyvízből a biogázt és a növények számára hasznosítható tápanyagokat előzetesen kinyerték és a mezőgazdasági területen való kihelyezésre környezeti kockázat okán nincs lehetőség. Bár ebben az esetben az anyag végső fázisában a hulladékpiramis leginkább kerülendő szegmensének lesz a része, de előzetesen az energiavisszanyerés csökkenti a deponálási költségeket. A környezetvédelemmel kapcsolatos jogszabályok tekintetében a Ht. értelmező rendelkezésben hivatkozik a *hulladékjegyzékről* szóló 72/2013. (VIII. 27.) VM rendeletre; amely 1. számú mellékletének tizenkilences azonosító kódú főcsoportja tartalmazza: „*hulladékkezelő létesítményekből, a szennyvizet a képződésük telephelyén kívül kezelő szennyvíztisztítókból, valamint az ivóvíz és ipari víz szolgáltatásból származó hulladék*”-ot. Az egyes hulladékok pontos beazonosítása érdekében a hulladékjegyzék magába foglalja a főcsoportokat, alcsoportokat és egyes hulladéktípusokat meghatározó kódokat, valamint azt, ha a Ht. szerinti veszélyes hulladéknak minősül.

A szennyvíztisztítás során keletkező hulladékok közül kiemelt figyelmet kapnak az iszapok és a belőlük készült komposztok, mind a hazai, mind a nemzetközi viszonylatban. Az Európai Bizottság által kiadott, többszörösen módosított, utoljára a 2018/853 határozattal, a *szennyvíziszap mezőgazdasági felhasználása során a környezet és különösen a talaj védelméről* szóló 86/278/EGK irányelv tartalmazza az iszapok felhasználására vonatkozó legfontosabb célokat. A hazai jogrendben a *szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól* szóló 50/2001. (IV. 3.) Korm. rendelet és a *termőföld védelméről* szóló 2007. évi CXXIX. törvény kihirdetésével lettek integrálva ezek a célok. Előbbi tartalmazza azokat a feltételrendszereket, melyek nélkül nem lenne biztonságos a kezelt és a kezeletlen iszapok és a belőlük készült komposztok, valamint a tisztított szennyvíznek már nem minősülő visszanyert vizek talajjavítás céljából történő kihelyezése. Utóbbi talajvédelmi hatósági eljáráshoz kötött tevékenységként engedélyezi vagy tiltja meg a tárgyi anyagok kijuttatását.



Mind a nemzetközi, mind a hazai jogi szabályzás fokozottan ösztönöz arra, hogy a szennyvíziszapokat, a korábbi gyakorlattól eltérően, komposztálás útján hasznosítsák.

Véleményem szerint a kirohasztott iszapok komponensei talajjavítás célból gyakran kedvezőtlenek, hiszen a bennük lévő szén mennyisége kevés a metanogén mikroorganizmusok miatt, továbbá jelentős kockázattal jár a kihelyezésük, a toxikus nehézfémek miatt, feltételezem, hogy a biogáz előállítás helyett a jövőben a komposztálás lesz a hangsúlyosabb. Czvikovszky és munkatársai (2019) megállapítása alapján, a környezeti hatások szempontjából, a komposztálást az égetéssel szemben kedvezőbb tulajdonságokkal rendelkezik, hiszen nem jár kedvezőtlen és koncentrált füstgázkibocsátással.

### 2.3.3 EURÓPAI UNIÓS DETERMINÁCIÓK

Az Európai Unió tagállamként Magyarország számos kötelezettséget vállal, melyek kihatással vannak az ország politikai, gazdasági és társadalmi folyamataira. Az Európai Bizottság által meghatározott körforgásos gazdaságra vonatkozó átállás előirányzása nagyban érintette és jelenleg is érint a hazai hulladékgazdálkodást és közvetve a szennyvíztisztítás technológiáját is, valamint a már megtermelt hulladék felhasználásának lehetőségeit.

A környezeti teljesítmény fokozására jelentős ösztönző erőt képvisel *az integrált szennyezés-megelőzésről és csökkentésről az Európai Parlament és a Tanács ipari kibocsátásokról* szóló 2010/75/EU irányelv elfogadása, amely szennyező hatásokat környezeti elemenként vizsgálja. Az elérhető legjobb technika alkalmazása a szennyvíztisztítás és a technológiai soron keletkező hulladékok hasznosítása egyaránt megjelenik. A védett természeti területen, Natura 2000 területen, barlang védőövezetén méretmegkötés nélkül, továbbá 15 hektártól természetközeli szűrőmezős elszikkasztó rendszer esetén, 50 hektártól öntözéses szennyvízelhelyezésnél, valamint 10.000 lakosegyenérték-kapacitástól 50.000 lakosegyenértékig, a környezetvédelmi hatóság előzetes vizsgálatban hozott döntésétől függően, de 50.000 feletti kapacitással jellemezhető szennyvíztisztító telepek esetében minden esetben, az üzemeltetés kizárólag *a környezeti hatásvizsgálati és az egységes környezethasználati engedélyezési eljárásról* szóló 314/2005. (XII. 25.) Korm. rendelet alapján kiadott egységes környezethasználati engedély birtokában végezhető. Az engedély kiadása és felülvizsgálata során a természeti erőforrások hatékony felhasználása, valamint a hulladékok keletkezésének minimalizálásának is vizsgálva van a hatáság által, amely ösztönözi a környezethasználatot az elérhető legjobb technológia használatával a környezeti teljesítmény folytonos növelésére. Európa nagyvárosaiban a városi szennyvíztisztító telepeken szinte kizárólag mechanikai, biológiai, esetleg harmadik tisztítási

fokozattal kiegészítve kezelik a települési szennyvizet területi határértéknek való megfelelés érdekében. Várhatóan a negyedik tisztítási folyamat, amely során szűréssel, nanoszűréssel és a fordított ozmózis eljárással távolítják el az esetlegesen visszamaradt szennyezőanyagokat, fog a jövőben az elérhető legjobb technológiák alkalmazásának révén fejlődni.

Véleményem szerint, hazánkban az Európai Unió direktívák nyomán, a szennyvíztisztítás során keletkező hulladékok közül a szennyvíziszap hasznosítása változik legradikálisabban. Ez a változás a több pontban érinti az iszapok minőségi és mennyiségi jellemzőit, valamint a velük való regionális és globális kereskedelmet. Az Európai Közösség vízügyi politikája az 1970-es évek közepén indult meg, melynek része volt a vízszennyezés mérséklése, de valódi áttörés az 1990-es évek közepén következett be, melynek eredménye a vízkeretirányelv megszületése volt (Czékus és munkatársai, 2016). A szennyvíztisztítás során keletkező iszapok esetében az 1991-ben elfogadott *a települési szennyvíz kezeléséről* szóló 91/271 irányelv is már tartalmazta, hogy a szennyvíztisztításból származó iszapot, a környezetet legkevésbé terhelő módon ismét fel kell használni, vizek szennyezéssel szembeni védelme érdekében, azonban a terhelés megítélése idővel jelentősen megváltozott. Az Európai Bizottság 2018. július 4-én elfogadott körforgásos gazdaságra vonatkozó uniós cselekvési terve integrálásra került a hazai hulladékgazdálkodási irányelvben is. Az Országos Hulladékgazdálkodási Terv (2021-2027), a továbbiakban: OHT tartalmazza a Cselekvési Programot, amely a konkrét beavatkozások részleteiről rendelkezik, valamint az Országos Megelőzési Programot, amely a fenntartható gazdasági növekedés megteremtése érdekében tett intézkedéseket vezet be. Annak ellenére, hogy az Európai Unió hulladékgazdálkodási jogszabályának hatálya nem a szennyvízre, tartalmazza a külföldről beérkező szennyvíziszap hulladék mennyiségének korlátozásait, amely korlátozás OHT-ban is megjelenik. A körforgásos gazdaságra vonatkozó cselekvési terv legfőbb kihatása hazánkban a szennyvíziszapok energetikai hasznosítást érinti a tárgyi témában. A kirohasztással előállított biogáz tisztást követően alkalmas villamosenergia és hőenergia előállítására. Előbbi esetben az központi elektromos hálózattól való részleges függetlenség növeli üzemeltetési biztonságot, valamint költségcsökkentő hatással is rendelkezik. Utóbbi esetben a megtermelt hőenergia alkalmas a rohasztótornyok palástjának fűtésére, ezáltal az anaerob folyamatok során olyan magas hőmérséklet eléréséhez, melyet követően a kezelt iszapok termékként való kereskedeleme is humánegészségügyi kockázat nélkül, biztonsággal megvalósulhat. Tekintettel arra, hogy a direktívák nyomán a tárgyi energiavisszanyerési alternatívák a hulladékpiramis leginkább kerülendő szegmensébe lettek besorolva, hasonlóan a lerakáshoz, véleményem szerint a biogázelőállítást negatívan fogja befolyásolni a jövőben.

### 3 VIZSGÁLATI ANYAG ÉS MÓDSZER

A szakdolgozatom elkészítésekor a szennyvíztisztítás során keletkező hulladékok átfogó jellemzéséért, azért a SWOT analízis módszerét választottam, mert általa a tárgyi hulladékokat komplexen jellemezhetem. Tekintettel arra, hogy a tisztítás során keletkező hulladékok közül a rácsszemét és a szennyvíziszap hasznosítása legrelevánsabb, ezekre a hulladékokat vettem alapul a vizsgálat során. Az egyéb hulladékok, mint a kő és kavics, valamint az előülepítőről származó homok, olajok és zsírok esetében egy-egy rövid leírással élek a bemutatásuk során.

A SWOT egy angol mozaikszó, a Strengths – erősségek, Weaknesses – gyengeségek, Opportunities – lehetőségek, Threats – veszélyek kezdőbetűiből épül föl. A magyar nomenklatúrában ugyan megjelenik a GyELV kifejezés, de az angol megfelelője terjedt el, ezért szakdolgozatomban is ezt használom. A SWOT mátrixokat a tisztítás technológiai során végig haladva, keletkezési helyük szerint csoportosítva, egy-egy termék mintájára készítettem el.

A mátrixokban a belső tényezőknek azokat tulajdonságokat tekintetem, amelyek vagy a tárgyi hulladék fizikai, kémiai vagy biológiai sajátosságaiból következnek vagy az adott anyag gyűjtéséhez, szállításához, tárolásához, közvetlen felhasználásához valamint a hulladék és közvetlen környezetének kapcsolatához köthető. A meghatározását követően felosztottam őket pozitív és negatív tulajdonságaik szerint.

A mátrixokon belül a külső tényezőket úgy határoztam meg, hogy pozitív hatásuk esetén lehetőségeknek tekintetem őket. Ilyen lehetőség például a felvásárló piac változása, mely során a hulladékok, mint új energiahordozók is megjelenhetnek az energiasztratégiában, továbbá a társadalmi elfogadás és ösztönzés is a waste-to-energy - hulladékból energiát szemlélet révén. Valamint RDF Refuse Derived Fuel - másodlagos tüzelőanyagok piacának változásakor keletkező lehetőséget, mely során fűtőértéknövelő szerepet tölthetnek be a szennyvíztisztítás során keletkező hulladékok bizonyos típusai.

A bioreaktorok kényes egyensúlyának megbillenésekor vagy az élő szervezetek tömeges pusztulásakor a szennyvíztisztító telepeken az egyéb telepekről származó jó minőségű nem kirohasztott iszapok átadásának lehetőségét, szintén pozitívnak tüntettem fel.

Veszélyeknek azokat a külső negatív tulajdonságokat tekintetem, amelyek vagy a jelenben fennállhatnak, mint például a speciális szállítójárműigényből fakadó problémák vagy a jövőben nagy valószínűséggel be fognak következni, mint a társadalmi elvárásoknak való nem megfelelés, például a szaghatás esetében, ha a város a telephelyet előbb-utóbb körbe öleli.

Tekintettel arra, hogy a szennyvíztisztító telepeken keletkező hulladékokat jelentősen befolyásolja a tisztítandó szennyvíz mennyisége is minősége ezért ezt a tényezőt is a veszélyek közé soroltam az olyan eseményeket, mint a járványok. Hasonlóan ide soroltam azokat a nem körültekintő üzemeltetésből fakadó műszaki jellegű problémákat is, amely az emberi mulasztás következményei és befolyásolják a tisztást és általa a hulladékképződést.

Számos tulajdonság értékelése attól függ, hogy az adott szennyvíztisztító telephely rendelkezik-e a biogáz előállításához szükséges rothasztókkal vagy olyan gépjárműparkkal, melynek részei a folyékony hulladékok elszállításra is alkalmas járművek, illetve attól, hogy a szállítás milyen távolságra történik, ezért az ebből fakadó veszélyeket is meghatároztam.

A SWOT analízist követően, következtetéseket vontam le, melynek célja, hogy az egyes hulladékok felhasználásának jövőjét vetítsem előre, minél nagyobb biztonsággal. A következtetések során figyelembe veszem a jelenlegi politikai és társadalmi igényeket és törekvéseket, valamint az Európai Unió a tárgyi témára vonatkozó legfontosabb determinációit.

## 4 VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A vizsgálati eredmények és értékelésük fejezetben kívánom ismertetni azokat a SWOT analízis eredményeket és egyéb információkat, amelyek a szennyvíztisztítás során keletkező hulladékok jellemzéséhez kapcsolódnak. A tárgyi fejezetben a technológia sornak megfelelő sorrendben jellemzem a hulladékokat, a szakirodalmi áttekintés során szerzett tudás és saját szakmai tapasztalataim szerint.

### 4.1 KŐ ÉS KAVICS

A kő és kavicsfogó műtárgyak által ülepitett nagyméretű szilárd hulladék feldolgozása olyan speciális gépeket igényelne, amelyek beszerzése és üzemeltetése, a keletkező anyagmennyiség vonatkozásában nem lenne gazdaságos. Ezeket a hulladékokat általában méshidráttal porral fertőtlenítik a szállítást és deponálást megelőzően.

### 4.2 RÁCSSZEMÉT

A rácsszemét a mechanikai tisztítás során, a rácsokról, gerebokról és késes aprítókról származó szilárd hulladékok összessége. A SWOT analízis során belső és külső tulajdonságait jellemeztem, majd az 1. táblázatnak megfelelően, egy mátrixban foglaltam össze a tapasztalatokat.

#### 4.2.1 BELSŐ TÉNYEZŐK

A belső tényezők tartalmazzák a rácsszemét keletkezésének módjára, mennyiségére, anyagi minőségére, gyűjtésére, szállítására és tárolására vonatkozó legfontosabb megállapításokat.

##### Mennyiségi jellemzők

Mennyiségük nehezen meghatározható, mert több tényező is aktívan befolyásolja. Elsősorban a szennyvíztisztító telepre érkező szennyvíz mennyiségétől és a szűrés hatékonyságától függ. Másodsorban, kiemelten az egyesített rendszer esetén a csapadékvízzel való hígítás befolyásolja, mert a nagy hígítási aránynál csökken a szennyvízben az egy térfogatra jutó rácsszemét. Mennyiségét befolyásoló egyéb tényező, hogy a rácsszemét egy része a telephelyet megelőzően, még az átemelőaknában szűrésre, majd eltávolításra kerül.

### Víztartalom

Jellemző rájuk, hogy szennyvízből való kiemelésüket követően is nagy mennyiségben tartalmaznak vizet. A víztelenítés egyszerű műszaki megoldásokkal is biztosítható, mint például a préscsiga használata, amely a tárolás helyigényét is jelentősen csökkenti. A rácsszemét vízvisszatartása legfőképpen a szálanyag tartalmától függ, amely a nedves papírtörlőkből, egyéb higiéniai termékből és textilipari termékek maradványaiból képződik. A víztelenítés fokozottan energiaigényes folyamata növeli az üzemeltetés költségét. A térfogatcsökkentés során szükséges biztosítani a keletkező csurgalékvizek folyamatos elvezetését. Ezen vizek általában a fizikai tisztítás sor elejére kerülnek visszavezetésre.

### Szervesanyag tartalom

A rácsszemét eltávolításával a szennyvízből a szervesanyagtartalom 5-6%-a is távozik, ez a mennyiség jelentős kockázati tényező a fertőzések szempontjából, valamint túltárolás esetén számolni kell az oxidációs folyamatok okozta az erős szaghatással. A víztelenített szennyvíziszapokhoz képest a kiporzás elhanyagolható mértékű, ezért nem jelent valós kockázati tényezőt.

### Energetikai jellemzők

A rácsszemét jelentős fűtőértékkel rendelkezhet, tekintettel arra, hogy az energetikai hasznosítás során a víz elpárologtatásához szükséges energiát célszerű megspórolni, a víztelenítés szükséges eljárás a termikus hasznosítás előtt.

### Szűrés és gyűjtés

Tekintettel arra, hogy nagy szemcsemérettel rendelkeznek könnyen szűrhető frakciót képeznek, a gyűjtésük csak kevés energiát igényel, a kézi és a gépi rácok esetében is könnyű a leválasztás. A rácsszemétben található kövek, kavicsok, üvegek destruktív hatása miatt, a rácok, gerebek vagy aprítóberendezések folyamatos mechanikai igénybevételnek vannak kitéve, ezáltal ütemezetten cseréire szorulnak, amely többletköltséget jelent a telephely üzemeltetőjének.

### Tárolás és szállítás

A rácsszemét tárolásánál különös figyelmet kell fordítani, hogy a földtani közeg ne szennyeződhessen el, ezért vízzáró aljzat alkalmazása szükséges vagy olyan gyűjtőrendszer használata, amely biztonsággal felfogja a keletkező csurgalékvizeket.

Hazánkban a legtöbb kis és közepes méretű szennyvíztisztító telephelyen a víztelenített rácsszemét konténerbe kerül elhelyezésre. Szállításuk esetén közvetlenül a konténereket szállítják el, melyhez speciális teherkocsik szükségesek.

#### 4.2.1 KÜLSŐ TÉNYEZŐK

A külső tényezők tartalmazzák a rácsszemét felhasználására, ártalmatlanítására, környezettel való közvetett kapcsolatára, valamint a normál üzemi működéstől eltérő eseményekre vonatkozó legfontosabb megállapításokat, az 1. táblázatnak megfelelően.

**1. táblázat:** SWOT analízis: rácsszemét

	<b>POZITÍV</b>	<b>NEGATÍV</b>	
<b>BELSŐ TÉNYEZŐK</b>	<b>ERŐSSÉGEK</b>	<b>GYENGESÉGEK</b>	
	Könnyen szűrhető és gyűjthető frakciók	Helyigényes tárolás, speciális hulladékra vonatkozó tárolási és szállítási kritériumok	
	Víztelenítése kizárólag mechanikai úton is könnyen megvalósítható	Mennyisége nem egyenesen arányos a beérkező szennyvíz mennyiségével	
	Jelentős fűtőérték	Leválasztó berendezések ütemezett karbantartása szükséges	
	Könnyen szállítható		Energiaigényes víztelenítése
			Változatos összetétel és fűtőérték
Csurgalékvizek technológia sorra való visszavezetése szükséges			
		Szaghatás és fertőzésveszély	
<b>KÜLSŐ TÉNYEZŐK</b>	<b>LEHETŐSÉGEK</b>	<b>VESZÉLYEK</b>	
	Alternatív tüzelőanyagok piacának átalakulása	Nehezen felismerhető meghibásodások	
	Társadalmi elfogadás/ el nem fogadás változása	Társadalmi együttélés nehézségei	
	Lerakás költségének mérséklése	Túltárolás és szaghatás	
		Technológiát érintő haváriaesemény	

#### Hasznosítás és feltételei

A rácsszemét összetételétől függően számos módon, akár energetikai célból vagy talajjavítás céljából is hasznosítható. Nagy aerob biodegradációra hajlamos szervesanyag-tartalom esetén a kalapácsos aprítókon, aprító-rácsokon (komminutor) vagy aprító szivattyúkon áthaladó, csökkentett méretű rácsszemét külön rácsszemét rothasztóban is kezelhető vagy a szennyvíziszaphoz keverve faforgáccsal, szalmával vagy kukoricával kiegészítve, stabilizálást és fertőtlenítést követően komposztálható. Az energetikai hasznosítása esetén szintén a

víztelenítés az első lépést, majd ezt követi az égetőbe való szállítást megelőző fertőtlenítés. Magyarországon, sajnálatos módon, az esetek túlnyomó részében csak deponálásra kerül.

#### Piaci lehetőségek

A rácsszemét hasznosítását számos tényező serkeni. Az első a hazai jogszabályi környezetből és az Európai Unió determinációiból következik. A hulladékhasznosítás ösztönzése érdekében a lerakási költségek mérséklődjen, amennyiben a hulladék valamilyen módon hasznosításra kerül, akár energetikai céllal (talajjavítást megelőzően), akár közvetlenül talajjavítás céljából. Természetesen a környezeti szempontok szigorú figyelembevételével. A másodlagos tüzelőanyagok piacának változása szintén befolyásoló tényezőt jelen, mert a kötelező visszaváltási rendszer keretében begyűjtött palackok, nem kerülnek települési hulladékok közé, ezáltal az égetőművekbe szállított anyagok égéstáplálási képessége csökken. Véleményem szerint, ezt a hiányt részben tudná pótolni a víztelenített és fertőtlenített rácsszemét.

#### Társadalmi elfogadás

A rácsszeméttel kiegészített komposzt termékek tapasztalataim szerint nem váltak közkedvelté a gazdálkodóknál, mert tartanak attól, hogy a hazai szabályozás nem kellően szigorú és számos toxikus anyagot tartalmaz a komposzt, amely a talaj termőképességet negatívan befolyásolja. A műtrágyák drágulása azonban arra kényszeríti a gazdálkodókat, hogy újra mérlegeljék az alternatív megoldásokat. A társadalmi elfogadás másik aspektusa, amely például a Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepet is érinti, hogy a város előbb-utóbb, de közelebb kerül a telepekhez az újonnan beépített telkek által. A tisztítás során keletkező hulladékok bomlása során létrejövő erős szaghatás konfliktust teremthet az érintett felek között.

#### Egyéb humán tényezők

Az egyéb tényezők közé sorolom a Covid19 elnevezésű betegséggel fertőző pandémia tetőzésekor tapasztalható jelenséget, mely során a szennyvízbe jutó szájmascok miatt nőtt a rácsszemét égéshője, ezáltal az termikus hasznosításuk ideiglenesen ugyan, de jelentősen kedvezőbbé vált. Ugyanakkor a rácok tisztításának gyakoriságát növelni kellett, mely a gépelemek élettartamát csökkentette. Az egyéb tényezőket bővíti annak is a veszélye, hogy a karbantartás hiányából vagy a kapacitáson felüli üzemeltetés miatt bekövetkező meghibásodások a rácokon és gerebeken észrevétlenül maradhatnak. A szűrés hiánya miatt a biológiára jutó rácsszemét eltömítheti a fűvókákat, károsíthatja a keverőket és csökkenthetik az átfolyási keresztmetszetet, melyek következményeként csökken a tisztítás hatékonysága.



## **4.1 HOMOK**

Az előüleptetőkből származó homok többszöri mosást és tisztítást követően, már olyan alacsony szervesanyag tartalommal rendelkezhet, hogy alkalmassá válik, hogy felhasználja az építőipar. A Dél-pesti Szennyvíztisztító Telep esetében a mosott homok a csatornafektetés során kialakított ágyazatba kerül elhelyezésre.

## **4.2 OLAJOK ÉS ZSÍROK**

Az olajok és zsírok esetében a lefölezést követően összegyűjtésre kerülnek, majd szakaszosan kerülnek rávezetésre a rothasztó tornyokra, ahol a metánt előállító baktériumok elbontják.

## **4.3 SZENNYVÍZISZAPOK**

Ezen melléktermék esetében a belső és a külső tényezők meghatározásakor a primer iszapokat, a fölős szekunder iszapokat és kirothasztott kezelt iszapokat vettem alapul.

### **4.3.1 BELSŐ TÉNYEZŐK**

A belső tényezőknél összegeztem a szennyvíziszapok keletkezésének vagy előállításának módjára, mennyiségére, minőségére, sűrítésére, szállítására, tárolására és felhasználására vonatkozó legfontosabb megállapításokat.

#### **Mennyiségi jellemzők**

Az előüleptetőből és az utóüleptetőből, valamint a szennyvíztisztító telephelyen lévő nem közműves leürítési pontok aknájából származó primer iszapok, mennyisége hasonlóan nehezen meghatározható, mint a rácsszemét esetében. Független a beérkező szennyvíz mennyiségétől és minőségétől, valamint a szennyvízgyűjtő-hálózatban eltöltött időtől, továbbá azoknak a szedimentációt gyorsító vegyianyagoknak a hatásától, melyekkel katalizálják az ülepedést. Az egyesített rendszerrel a csapadékvízzel való hígítás hasonlóan csökkenti a mennyiségét, mint a rácsszemét esetében.

A rothasztókból származó kezelt iszapok mennyisége ezzel szemben könnyen meghatározható, a feladott anyagmennyiség és a biodegradációs folyamatok során a rendszerből vízgőz, széndioxid és metán formájában távozó anyagok mennyiségének ismeretében.

### Víztartalom

A nyers szennyvíziszapokra jellemző, hogy akár 90% körüli mennyiségben is tartalmazhatnak vizet. A víztelenítés egyszerű műszaki megoldásokkal csak nehezen biztosítható, ezért a legtöbb városi szennyvíztisztító telepen egymásra épülő folyamatokat alkalmaz a művelet elvégzéséhez. A gravitációs vagy flotációs sűrítés során a víztartalom tizedére is csökkenthető, de jelentős energiaszükséglete van a keverő berendezések üzemeltetésének vagy a levegőztetés biztosításának. A sűrítést követi a kondicionálás, amennyiben a telephely rendelkezik rothasztótornyokkal vagy aerob kondicionáló műtárgyakkal. A szennyvíziszapok vagy kezelt szennyvíz iszapok ezután gyakran kerülnek például tálcás sűrítőkre, ahol a préselés mellett polielektrolit granulátumokat is adagolnak hozzá a tökéletesebb víztelenítés és általa a szaghatás és a fertőzőképesség csökkentése érdekében. A víztelenítés, olyan energiaigényes folyamat, amely növeli az üzemeltetés költségét.

### Szervesanyag tartalom és növényi tápanyag tartalom

A nyers szennyvíziszap szervesanyagtartalma 50-80% között változik annak megfelelően, hogy az előülepítőből vagy az utóülepítőből kerül eltávolításra. Jellemző rá, hogy nitrogénben és foszforban gazdag, de toxikus anyagokat, kiemelten a nehézfémeket is tartalmazhat, amely korlátozza a felhasználhatóságát. Hasonlóan a rácsszeméthez a szennyvíziszap is gyorsan bomlásnak indulhat, ami fokozza a szaghatást.

### Gyűjtés, tárolás és szállítás

Tekintettel arra, hogy víznél sűrűbb frakciót képez a szedimentáció után könnyen eltávolítható az ülepítőkből. A folyadékokra jellemző tulajdonságai megkönnyítik a gyűjtést és a szállítást. A gyűjtőedényeknek vízhatlanoknak kell lenniük, továbbá a földtani közeg megóvása érdekében a vízzáró aljzattal és csurgalékvíz elvetető szivárgókkal felszerelt műtágyban történhet a tárolásuk. A kezelt, alacsony nedvesség tartalmú szennyvíziszapok tárolásánál nyáron különösen nagy figyelmet kell fordítani a kiporzás megakadályozására.

### 4.3.2 KÜLSŐ TÉNYEZŐK

A szennyvíziszap esetében a külső tényezők tartalmazzák a hasznosítására, ártalmatlanítására, környezettel való közvetett kapcsolatára, valamint a normál üzemi működéstől eltérő eseményekre és a piaci helyzetére vonatkozó legfontosabb megállapításokat, a 2. táblázatnak megfelelően.

## 2. táblázat: SWOT analízis: szennyvíziszapok

	POZITÍV	NEGATÍV
<b>BELSŐ TÉNYEZŐK</b>	<b>ERŐSSÉGEK</b>	<b>GYENGESÉGEK</b>
	Víztelenítése mechanikai, kémiai megvalósítható	Mennyisége nem egyenesen arányos a beérkező szennyvíz mennyiségével
	Könnyen szállítható	Költséges víztelenítése drága + polielektrolit
		Változatos összetétel
		Változó fűtőérték
	Magas szervesanyag tartalom	Speciális tárolási és szállítási kritériumok
Sok növényi tápanyag (N, P)	Csurgalékvizek technológia sorra való visszavezetése szükséges	
	Szaghatás	
	Fertőzésveszély, nehézfém tartalom	
<b>KÜLSŐ TÉNYEZŐK</b>	<b>LEHETŐSÉGEK</b>	<b>VESZÉLYEK</b>
	Biogáz előállítás	Technológiát érintő haváriaesemény
	Komposztálás	
	Talajjavítás	
	Tartalék iszap (bevételforrás)	Piaci igények gyors változása
Hulladéklerakás költségének csökkenése	Eutrofizáció	

### Hasznosítás és feltételei

A szennyvíziszap hasznosítása történhet energetikai célból, mint például a Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepet esetében, ahol a sűrített iszap kirohasztásra kerül, majd a termelt biogáz motorok üzemanyagaként hasznosul. A folyamat során hőenergia és villamos energia kerül előállításra, mely teljes mértékben fedezi a szennyvíztisztító telep energiaigényét. Feltétele a nagymennyiségű szervesanyag a megfelelően sűrített szennyvíziszapban, valamint a toxikus elemek hiánya.

A szennyvíziszap talajjavítás céljából is alkalmazható, mely során a sűrített nyers iszap és vagy a kirohasztott iszap közvetlenül kijuttatva vagy más természetes eredetű mezőgazdasági anyagokkal történő bekeverés után, esetleg komposztálást követően kerül elhelyezésre a szántóföldeken. A magas nitrogén és foszfortartalom növeli a talajban a makroelemek mennyiségét. Fontos megemlíteni, túlzott mennyiségben veszélyeztetik az élővizet és eutrofizációt eredményezhetnek.

### Egyéb tényezők

Az egyéb külső tényezőket bővíti annak a veszélye, hogy a szennyvíz magas szervesanyag-tartalma miatt a bioreaktorokban és az utóülepítőkből megindul a fonalasodás. Ennek hatására a flokkulációt nem követi a szedimentáció, így az iszappelyhek nem ülepednek le a medencék alján. Ebben az esetben a nitrogénben és foszforban gazdag lebegő iszapok a befogadó élővizet elérve eutrofizációt okozhatnak.

### Piaci lehetőségek

A szennyvíziszap hasznosítását számos tényező befolyásolja, a hazai jogszabályi környezettől és az Európai Unió determinációktól kezdve, egészen a piac keresleti oldaláig. Legfőbb költségcsökkentő tényező, ha a kezelt szennyvíziszap minősége megfelelő és nem szükséges a deponálás költségének kifizetése. A megfelelő hasznosítás esetén a melléktermékből akár piacképes késztermék is kikerülhet.

A nyers szennyvíziszap piaci lehetősége abban áll, hogy a szennyvíztisztító telephelyek bioreaktorait gyakran érik olyan hatások, melyek során a biológia sérül vagy elpusztul. Ekkor más, külső telephelyről származó iszappal kell újraindítani a lebontó folyamatokat, ilyen módon rejtett piaci értékkel is rendelkezik a szennyvíziszap.

## 5 KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A következtetések és javaslatok fejezetben kívánom azokat, a véleményem szerint konstruktív hulladékkezelési megoldásokat ismertetni, amelyek a jövőben jellemezni fogják hazánkban a szennyvíztisztítás során keletkező hulladékok hasznosítását.

A kő- és kavicsfogóról származó kis mennyiségű, de nagyméretű szilárd hulladékok esetében, véleményem szerint, a jelenlegi gyakorlatban nem lesz változás és nem is feltétlenül szükségszerű a változtatás. A deponálás vagy, akár kommunális eredetű hulladékkal való együtt kezelés, megfelelő anyagi minőség esetén, természetesen a fertőtlenítéssel kiegészítve elégséges lehet.

A homokfogóról és előülepítőből származó homok esetébe úgy vélem, hogy a Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepen végzett gyakorlat jó megoldást jelentene a többi telep esetében is, és lehetőséget adhat a terméként való értékesítésre, ezért ezt a gyakorlatot javaslom.

Az olajok és zsírok esetében a rothasztókkal rendelkező telepeknél egyszerű a hulladék kezelése, hiszen közvetlenül rávezethetők az anaerob tornyokra, ha nem rendelkezik az adott telep a biogáz előállításához szükséges rendszerrel, akkor szabályozottan a komposzthoz adagolva is megvalósulhat a kezelés az aerob folyamatok által. A tárolás elkerülése érdekében javaslom, hogy gyűjtésüket követően azonnal kezdődjön meg a felhasználásuk.

A rácsszemétnél érdemes mérlegelni, hogy mekkora fűtőértékkel rendelkeznek, továbbá azt, hogy van-e akkora szervesanyag-tartalma, hogy megérje inkább a komposztálást választani. A deponálás költségének várható emelkedése miatt érdemes, már most beruházni olyan műtárgyakra, melyek a hasznosításhoz szükséges hulladék előkészítést tudják biztosítani.

A szennyvíziszap hasznosítása esetében a legfőbb korlátot, a bennük felhalmozódó toxikus nehézfémek jelentik. Hasznosításuk során ezért számolni kell azzal, hogy a termőföldi kihelyezés esetlegesen nem valósulhat meg. Az energetikai hasznosításuk (biogáz előállítás) és a komposztként való felhasználásuk egymást követően is megtörténhet, azonban a kirothasztott iszapok alacsony szervesanyag-tartalma miatt a termőföldi kihelyezés során a szénformák pótlására nem lesz alkalmas. Véleményem szerint, az újonnan létesülő szennyvíztisztító telepek esetében, a környezeti szempontok alapján érdemes inkább a szennyvíziszapok komposztálását választani a biogáz előállításával szembe.

## 6 ÖSSZEFOGLALÁS

Modern világunk ma már elképzelhetetlen lenne a szennyvíz hatékony megtisztítása nélkül. A városi kommunális szennyvíztisztító telepek magas szintű technológiája, a bioreaktorok széleskörű elterjedésével a 21. századra jelentősen csökkentették a víziközművek környezetre gyakorolt negatív hatásait. A működésük során keletkező hulladékok kezelése, szállítása, elhelyezése a szakirodalomba csak kis mértékben jelenik meg. Szakdolgozatomban erről a kevésbé vizsgált témáról kívántam egy át fogóbb képet alkotni, amely az ilyen típusú hulladékok keletkezésének körülményeiről, gyűjtésük nehézségeiről, előkezelésükben rejlő veszélyekről és felhasználásuk lehetőségeiről és jövőjükről szól.

Elsőnek arra kerestem a választ, hogy mi az oka, hogy a szennyvíz gyűjtése és tisztítása között ekkora időbeli szakadék van, és arra, hogy hogyan fejlődött a szennyvíz tisztása, továbbá hogy ez a folyamat miként fog folytatódni a jövőben. Megállapítottam a szennyvíz tisztításának fejlődését a társadalmi igény hozta el, valamint hogy ez a folyamat még jelenleg is zajlik, ezért csak pár évre, esetleg pár évtizedre érdemes előre megjósolni, azt hogy hogyan alakulnak a jövőben a technológiák.

Következőnek definiáltam azt, hogy a 21. században mit értük szennyvíz fogalma alatt és milyen anyagok, energiák okozzák a víz eredeti minőségének a romlását.

Megállapítottam, hogy minden szennyvíztisztító telep más és más tulajdonságokkal rendelkezik, ezért egy konkrét telephelynek a részletes elemzése nem elegendő az átfogó kép megalkotásához, ezért kiindulási alapnak egy, az átlagosnál több tisztítási fokozattal rendelkező tisztítási sort használtam, melynél jellemeztem az egyes fokozatokat és a keletkező hulladékokat. A kapott eredményeket összevettem a történelmi előzményekkel és az uniós, valamint a hazai törekvésekkel és SWOT analízis alá vettem őket. Az egyes hulladékokra vonatkozóan az alábbi megállapításokra jutottam.

Valamennyi hulladék mennyiségét és minőségét meghatározza a beérkező szennyvíz mennyisége, minősége és a gyűjtőrendszerből következő sajátosságok. A mechanikai tisztás során a kő- és kavicsfogóról eltávolításra kerülő hulladékok hasznosítása kevésbé releváns, elsődleges cél a fertőtlenítés. A homok esetében, véleményem szerint, egy már bevált gyakorlat széleskörű alkalmazása lenne a célszerű, mely során a mosást követően az építőipar használná fel a homokot ágyazati anyagként főként a szennyvízcsatornák esetében.

A rácsszemét hasznosítása elsősorban a szervesanyag-tartalmától és energiatartalmától függ. A legjobban a komposztálás a támogatott, mely gyakran a tárgyi hulladék költséges előkezelését igényli. A termikus hasznosítás ugyan jelenthetne alternatívát, de ebben az esetben számolni kell azzal, hogy jelenlegi Európai Unió direktívák nem támogatják. A deponálás minden általam vizsgált szempont alapján kerülendőnek bizonyult.

A szennyvíziszapok sorsa a leginkább kérdéses, hiszen felhasználásra kerülhetnek talajjavítás céljából vagy energetikai céllal is. Utóbbi esetében, az Európai Unió törekvései alapján, azt gondolom, hogy biogázelőállítás támogatása hazánkban teljes mértékben meg fog szűnni. Ennek ellenére, úgy vélem, hogy a közeljövőben a főleg kogenerációs berendezésekkel rendelkező telepeknél a biogáz előállítás és hasznosítása jelentősen nem fog csökkenni a fokozódó energiaárak miatt. A tényleges változáshoz szükséges lenne, hogy a szennyvízkomposztokat a gazdálkodók felvásárolják, ezáltal olyan plusz bevételeket generáljanak a telehelyek üzemeltetőinek, amely fedezi a külső forrásból származó hő- és villamosenergia árát. A bizalom kiépítése és fenntartása érdekében a hazai joggyakorlatnál átláthatóbb, nyilvános elérésű központi adatbázis kellene vezetni a szennyvíz komposztokról, amely tartalmazza az eredetét és az akkreditált vizsgálati jegyzőkönyveket, mely alapján a gazdálkodók mérlegelni tudják a kockázatokat.

## **7 KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Hálás köszönettel tartozom az egyetemi tanárainknak, Akik nélkül nem valósulhatott volna meg a szakdolgozatom és minden hozzájuk hasonló kiváló személynek, akik hozzájárultak szakmai tudásom bővítéséhez és a szakdolgozatom megírásához.

Köszönettel tartozom továbbá a családomnak és munkatársaimnak, akik mindvégig mellettem álltak és támogattak a céljaim elérésében.



## 8 FORRÁSMUNKÁK JEGYZÉKE

### Szakirodalom

Aubert A., Becsei J., Benovics G., Bokor L., Czigány Sz., Csapó J., Csapó T., Dombrádi E., Dövényi Z., Egedy T., Ekéné Zamárdi I., Erdősi F., Fodor I., Gábris Gy., Gálosi-Kovács B., Geresdi I., Golobics P., Hajdú Z., Horváth F., Horváth G., Jónás-Berki M., Kelecsényi S., Kocsis K., Kovács Z., Kőszegfalvi Gy., Kubassek J., Lóczy D., Marton G., Merza P., Molnár G., Nagy B., Nagyvárad L., Pál V., Pap N., Perczel Gy., Rudl J., Schweitzer F., Szabó J., Szabó P., Szelesi T., Szónoky M., Tóth J., Trócsányi A., Wilhelm Z., Zagy N. (2016): *Világföldrajz*. Budapest. Akadémiai Kiadó.  
<https://mersz.hu/dovenyi-a-karpat-medence-foldrajza/> (2024. 04. 17.)

Bácskay A., Csorba Cs., Hegyi W. Gy., Katona A., Kozári József, Salamon K., Zakar P. (2016): *Világtörténet*. Budapest. Akadémiai Kiadó.  
[https://mersz.hu/hivatkozas/vitort\\_sec2\\_7\\_1\\_2\\_p29/#vitort\\_sec2\\_7\\_1\\_2\\_p29](https://mersz.hu/hivatkozas/vitort_sec2_7_1_2_p29/#vitort_sec2_7_1_2_p29) (2024. 04. 17.)

Balázs T. (2011): *Környezetvédelmi műszaki technológiák* In: *A környezetvédelmi technológiák gépészeti elemei.* (szerk: Horváth Géza). Veszprém. 464- 494. o.;

Barótfi G. (2011): *Környezetgazdálkodás*. Szent István Egyetemi Kiadó. Gödöllő. 102-103. o.;

Berecz E., Kirnérné Kiss A., Montovay T., Péter L., Raisz I., Sipos L., Szita L., Vorsatz B. (1998): *Kémia műszakiaknak*. Budapest. Nemzedékek Tudása Tankönyvkiadó Rt. 588- 592. o.;

Bognár F., Dalkó I., Karches T., Orgoványi P., Papp T., Török L., Vadkerti E. (2020): *Kis kapacitású szennyvíztisztító létesítmények*. Budapest. Ludovika Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft. 13 - 87.o.;

Czékus B., Ferkelt B., Fóti K., Halmai P., Horváth Zs., Hugyecz A., Kengyel Á., Nagy Cs., Szent-Iványi B., Vígh L. (2016): *Az Európai Unió közös politikái*. Budapest. Akadémiai Kiadó.  
<https://mersz.hu/kengyel-az-europai-unio-kozos-politikai/> (2024. 03. 19.)

Czvikovszky T., Mészáros L., Toldy A., (2019): *A fenntartható fejlődés technológiái*. Budapest. Akadémiai Kiadó.  
<https://mersz.hu/a-fenntarthato-fejlodes-technologiai/> (2024. 03. 19.)

Enyedi Gy. (2016): *Városi világ*. Budapest. Akadémiai Kiadó.  
[https://mersz.hu/hivatkozas/dj130vv\\_43\\_p2/#dj130vv\\_43\\_p2](https://mersz.hu/hivatkozas/dj130vv_43_p2/#dj130vv_43_p2) (2024. 04. 14.)

Fazekas B., Kárpáti Á., Kovács Zs. (2014): *Szennyvíztisztítás korszerű módszerei*. Veszprém. Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet. 26- 29. o.;

Gabriela D., Günter L., Pascal M., Jaime N., Jaume P., Otto S., Marcos S. (2017): *Treatment Wetlands*. London. International Water Association Publications.  
<http://iwaponline.com/ebooks/book-pdf/894754/wio9781780408774.pdf> (2024. 03. 04.)

Grónás V. (2008): *Emberi hatások a tájalakulásban*. Gödöllő. Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., 26 - 30. o.;

Hargittai I. (2021): *Londoni séták a tudomány körül*. Budapest. Akadémiai Kiadó.  
[https://mersz.hu/hivatkozas/m897lsatk\\_61\\_p19/#m897lsatk\\_61\\_p19](https://mersz.hu/hivatkozas/m897lsatk_61_p19/#m897lsatk_61_p19) (2024. 03. 17.)

Hekler A. (1931): *Antik művészet*. Budapest. Könyvbarátok Szövetsége. 143. o.;

Horváth G. (2021): *Szennyvíztisztítási alapismeretek*. Fertőszentmiklós. Horváth Gábor Környezetmérnöki Kft. 157- 159. o.;

Juhász E. (2008): *A csatornázás története*. Budapest. Nagy Edit ev., 37 - 47.; o.357 o.;

Juhász E. (2011): A szennyvíztisztítás története. Budapest. Nagy Edit ev., 357 o., 37 - 47. o.;

Kovács B., Görcs N., Gulyás L., Hajdú Z., Horváth F., Izsák T., Saša K., Kocsis K., Kókai S., Komarek L., Kovács I., Kovács J., Kovács Z., Lenner T., Léphaft Á., Marton G., Máthé Cs., Michalkó G., Nagy E., Nagy I., Pál Z., Papp S., Papp-Váry Á., Pozsár V., Radvánszky B., Rakonczai J., Schweitzer F., Somogyi S., Süli-Zakar I., Szabó Gy., Szabó J. Szabó M., Szabó P., Szamborovszkyné-Nagy I., Szederkényi T., Szelesi T., Tiner T., Tóth J., Török I., Trócsányi A., Vajda M., Varga G., Varga Gy., Végh A., Veres V., Wanek F., Weidinger T., Závodszy Sz., Zentai Z., Zubriczky G. (2016): *A Kárpát-medence földrajza*. Budapest. Akadémiai Kiadó.  
[https://mersz.hu/hivatkozas/m21akmf\\_652\\_p1/#m21akmf\\_652\\_p1](https://mersz.hu/hivatkozas/m21akmf_652_p1/#m21akmf_652_p1) (2024. 04. 02.)

Kárpáti Á., Vermes L. (2011): *Vízgazdálkodás –Szennyvíztisztítás*. Veszprém. Pannon Egyetem – Környezetmérnöki Intézet. 40- 235. o.;

Lőrinc L. (2016a): *Életmódtörténet I. Őskor - ókor*. Budapest. Akadémiai Kiadó.  
[https://mersz.hu/hivatkozas/elemod\\_chap07\\_level2\\_sec21\\_p4/#elemod\\_chap07\\_level2\\_sec21\\_p4](https://mersz.hu/hivatkozas/elemod_chap07_level2_sec21_p4/#elemod_chap07_level2_sec21_p4) (2024. 04. 10)

Lőrinc L. (2016b): *Életmódtörténet II. Középkor*. Budapest. Akadémiai Kiadó.  
[https://mersz.hu/hivatkozas/m137e2\\_22\\_p6/#m137e2\\_22\\_p6](https://mersz.hu/hivatkozas/m137e2_22_p6/#m137e2_22_p6) (2024. 04. 10).

Marcos von S. (2007a): *Basic Principles of wastewater Treatment*. London. International Water Association Publications. 71 - 72. o.;

Marcos von S. (2007b): *Activated Sludge and Aerobic Biofilm Reactors*. London. International Water Association Publications. 17 - 19. o.;

Michael R., T., David B. (2011): *Introduction to Wastewater Treatment*. London. K. n.  
<https://ia902306.us.archive.org/4/items/eco-25/ECO25.pdf> (2024. 03. 10.)

Nozaic D., and Freese S. (2010): *Process design guide for small wastewater works*. Pretoria.  
<https://www.wrc.org.za/wp-content/uploads/mdocs/TT%20389.pdf> (2024. 03. 19.)

Öllős G. (2006): *Természetes es antropogén szerves anyagok*. Budapest. Közlekedési Dokumentációs Kft. 307 - 389. o.;

Pálné S. J. (2007): *Közművek*. Pécs. Pécsi Tudományegyetem.  
[https://witch.mik.pte.hu/oktatas/Tanszeki\\_anyagok/Epitomernok\\_Tanszek/Szabo\\_Imre\\_Gabor/Segedlet/HEFOP/Kozmuvek\\_\(KGNB270\).pdf](https://witch.mik.pte.hu/oktatas/Tanszeki_anyagok/Epitomernok_Tanszek/Szabo_Imre_Gabor/Segedlet/HEFOP/Kozmuvek_(KGNB270).pdf) (2024. 03. 26.)

Simándi P. (2011): *Szennyvíztisztítási technológiák I*. Gödöllő. Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft.  
[https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/13409/20100019\\_Szennyviztisztitasi\\_technologia\\_I.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/13409/20100019_Szennyviztisztitasi_technologia_I.pdf?sequence=2&isAllowed=y) (2024. 03. 26.)

Szoboszlai S; Kriszt B. (2014): *Környezeti elemek védelme*. Gödöllő. Szent István Egyetemi Kiadó Nonprofit Kft., 114 - 116. o.;

### Ábrák jegyzéke

- 1. ábra:** A települési szennyvíztisztítás sematikus ábrája..... 16
- 2. ábra:** I. tisztítási fokozaton keletkező hulladékok sematikus ábrája ..... 19

### Táblázatok jegyzéke

- 1. táblázat:** SWOT analízis: rácsszemét..... 31
- 2. táblázat:** SWOT analízis: szennyvíziszap .....35

## NYILATKOZAT

### szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Volford Máté  
A Hallgató Neptun kódja: EPFSKM  
A dolgozat címe: A kommunális szennyvíztisztítás során keletkező hulladék jellemzői, felhasználásának lehetőségei  
A megjelenés éve: 2024  
A konzulens intézetének neve: Környezettudományi Intézet  
A konzulens tanszékének a neve: Talajtani Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat 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 szellemitulajdon-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 eltelté után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: 2024 év 04 hó 16. nap

  
Hallgató aláírása


## NYILATKOZAT

Volford Máté (hallgató Neptun azonosítója: EPFSKM) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő  
védésre javaslom / nem javaslom<sup>1</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem\*<sup>2</sup>

Kelt: 2024. év április hó 16. nap



belső konzulens

---

<sup>1</sup> A megfelelő aláhúzendó.

<sup>2</sup> A megfelelő aláhúzendó.