

**Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei**

**SZENNYVÍZTELEPI TECHNOLÓGIÁK GAZDASÁGI ÉRTÉKELÉSE,  
VALAMINT SZEREPE AZ ENERGIA-, TÁPANYAG- ÉS  
SZÉNDIOXID-GAZDÁLKODÁSBAN**

**Gabnai Zoltán**

Témavezető:

**Prof. Dr. Bai Attila**

egyetemi tanár



**DEBRECENI EGYETEM**

Ihrig Károly Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola

Debrecen, 2019

# **1. A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI, CÉLKITŰZÉSEI ÉS A KUTATÁSI HIPOTÉZISEK BEMUTATÁSA**

A fenntarthatósággal, megújuló energiaforrásokkal kapcsolatos kutatási tevékenységet 2009-ben kezdtem meg. A bioenergetika, azon belül a fás szárú energetikai ültetvények lehetőségeire, gazdasági vonatkozásaira irányuló kutatómunkámat fokozatosan bővítettem egyéb alternatív energiaforrások, valamint a hulladékgazdálkodásra vonatkozó kutatási területekkel. Így az utóbbi időszakban a szennyvíztisztítás és a hozzá kapcsolható kiegészítő lehetőségek energia-, tápanyag- és széndioxid-gazdálkodásban betöltött szerepével és lehetőségeivel foglalkoztam, a körforgásos gazdasághoz és fenntarthatósági célokhoz illeszkedően.

A gazdasági fejlődéssel és az életkörülmények javulásával párhuzamosan a felhasznált víz, így a keletkező szennyvíz mennyisége is folyamatosan nő. Emiatt nagy fontossággal bír a megfelelő tisztító hatást kifejtő, modern, hatékony, ugyanakkor környezetileg is előnyös technológiák alkalmazása, mint a fenntartható vízgazdálkodás felé tett lépések.

Világszerte tapasztalható, hogy a népesség egyre nagyobb része költözik városokba és egyre nagyobb mennyiségű hulladékot termel, melynek jelentős (és nehezen kezelhető) része folyékony formában képződik. A kisebb településekkel szemben az itt működő ipari üzemek is nagy mennyiségű szervesanyag-mennyiséget bocsátanak ki, melynek kezelését a lakossági szennyvízzel együtt – lehetőleg automatizált és költséghatékony módon – kell megoldani, melynek során anaerob erjesztéssel és egyéb technológiai megoldásokkal megújuló energia is előállítható. Emellett komoly lehetőség rejlik a telepre érkező szennyvíz szerves anyagainak, makro- és mikroelem-tartalmának hasznosításában is. Értekezésemben – a témakört a körforgásos gazdaság koncepcióján keresztül megközelítve – elsődlegesen ezen városi szennyvíztelepek energiatermelésben és tápanyag-gazdálkodásban betöltött lehetőségeivel és sajátosságaival foglalkozok, kitérve a szén-dioxid-kibocsátás csökkentésben betöltött szerepükre. A víz-energia-tápanyag hármassal mindegyikéhez szorosan kapcsolódik a szennyvíztisztító tevékenység, így a tisztító tevékenység hatékonysága, minősége és egyéb jellemzői ráhatással vannak a környezetre, a társadalomra és a gazdaságra is.

Disszertációmban célom egy olyan – a fenntarthatósági törekvések támogatására összpontosító – elemzés megvalósítása, amelyben a meghatározott terület fókuszpontba állításával egyidejűleg érvényesülnek a „hulladékból érték” és a „kötelezettségből lehetőség” irányelvek, összefüggések.

Az előzőekben részletezett témakörhöz illeszkedően **kutatásom fontosabb célkitűzései:**

1. Milyen lehetőségek állnak rendelkezésre a hagyományos eleveniszapos technológián alapuló, továbbá az élőgépes és a természetközeli tisztító technológiák esetében energetikai önellátás részleges/teljes megvalósítása vagy piacképes termék-előállítás céljából, kapcsolódva a körforgásos gazdaság koncepciójához? Milyen hatással van az üzemméret és a technológia a vizsgált témakörökre?
2. Milyen előnyei és hátrányai, valamint környezeti és gazdasági sajátosságai vannak az egyes kiegészítő technológiáknak és eljárásoknak a szennyvíz-gazdálkodásban energetikai, tápanyag-gazdálkodási és károsanyag-kibocsátási szempontból?
3. Milyen potenciál rejlik országos szinten a feltérképezett kiegészítő eljárásokban az energia-tápanyag-károsanyag hármast tekintve?
4. Milyen feltételek mellett ártalmatlanítható a legnagyobb arányban alkalmazott eleveniszapos technológiájú telepeken keletkező szennyvíziszap, a lehető legteljesebb mértékben hozzájárulva a fenntarthatósági törekvésekhez?

A célkitűzésekkel összhangban a **hipotéziseim** a következők:

**H1** – A hagyományos technológiájú szennyvíztisztító telepek gazdaságos működése jellemzően nagyvárosi környezetben, illetve méretekben képzelhető el a teljeskörű termékhasznosítás és a méretgazdaságosság miatt. Továbbá ezeken a telepeken legkedvezőbbek a lehetőségek az energia-tápanyag-károsanyag hármast tekintve.

**H2** – A szennyvíztisztítási tevékenység gazdasági és környezeti fenntarthatósága jelentős mértékben javítható – üzemmérettől függően különböző – kiegészítő technológiák rendszerbe integrálásával, és ezek lehetővé teszik a körforgásos gazdaság koncepciójának megvalósítását.

**H3** – A kiegészítő technológiák közép- és hosszú távon hozzájárulnak az országos klímavédelmi törekvésekhez és a gazdasági fenntarthatósághoz is.

**H4** – A szennyvíziszap-hasznosítás és ezzel egyidejűleg az energetikai önellátás leghatékonyabban fás szárú energetikai ültetvényekkel oldható meg.

**A kutatási célokhoz rendelt feladatok a célkitűzések sorrendjében az alábbiak:**

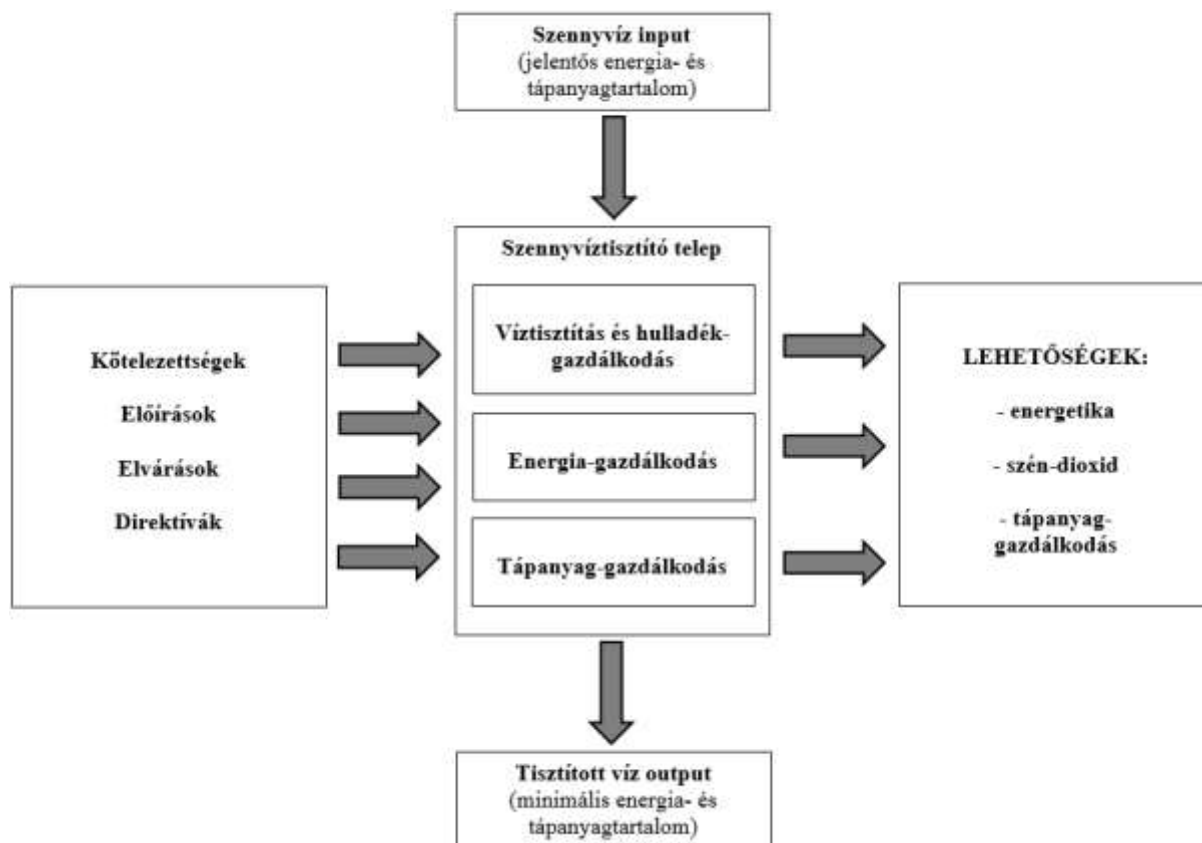
1. A szennyvíztisztítási tevékenység világszintű és hazai viszonyainak, helyzetének és sajátosságainak feltárása. A szennyvíz és szennyvíziszap átlagos összetételének, valamint az alaptevékenység(ek)re jellemző technológiai fajlagosok, input és output árak összegyűjtése.
2. A lehetséges kiegészítő tevékenységek feltérképezése, az eljárások sajátosságainak, technológiai fajlagosainak, továbbá az input és output árak összegyűjtése.
3. A telepméret befolyásoló hatásának, valamint a kiegészítő lehetőségek hazai létjogosultságának megítélése korábbi kutatások alapján, és ezek alapján egy újszerű komplex rendszer, körfolyamat megtervezése a keletkező iszap hasznosítása és egyéb lehetőségek rendszerbe integrálása által.
4. Gazdasági modellépítés, kapcsolódási lehetőségek, alternatívák kiválasztása és azok értékelése, elemzése.
5. A fentiek alapján potenciál-becslés egységmétré vetítve és gazdasági elemzések (költség-haszon elemzés, beruházás-gazdaságossági elemzés, komparatív analízis, érzékenység-vizsgálat, küszöbérték-vizsgálat) elvégzése a szennyvíz-gazdálkodás bizonyos technológiai elemeire vonatkozóan.
6. Energia-önellátási és -termelési, valamint tápanyaghasznosítási, károsanyagkibocsátás-csökkentési lehetőségek elemzése.
7. A szennyvíz-gazdálkodás lehetséges hazai szerepének meghatározása, becslések elvégzése a fenntarthatósági, energetikai és károsanyagkibocsátás-csökkentési célokhoz kapcsolódóan.
8. Annak becslése, hogy a keletkező szennyvíziszap-mennyiség teljes egészének komposztként történő hasznosítása mekkora területen valósítható meg energetikai növénytermesztés céljából.
9. Az energiaültetvényes és napelemes energiatermelés lehetőségei és korlátai, valamint a lehetséges hatások számszerűsítése a szennyvíztisztító tevékenységhez kapcsolódóan.

## **2. ADATBÁZIS ÉS AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK ISMERTETÉSE**

Kutatómunkámat szekunder adatgyűjtéssel, a releváns hazai és nemzetközi szakirodalmak áttekintésével és feldolgozásával kezdtem, kitérve a szennyvíztisztítási tevékenység jellemzőire és sajátosságaira, fejlődési irányaira. Ennek során kiemelt figyelmet szenteltem a tevékenység körforgásos gazdasághoz és fenntarthatósághoz való kapcsolódására. Mivel az energia, tápanyag és károsanyag-kibocsátás „hármass” szervesen kapcsolódik az általam vizsgált területhez, így az ezekre vonatkozó törekvéseket és célkitűzéseket tágabb (globális, EU-s és magyarországi) és szűkebb (tisztító telepekhez közvetlenül kapcsolódó) értelemben is áttekintettem, összefoglaltam.

Ezt követően – primer adatgyűjtés keretében a különböző típusú és méretű tisztítótelepeken tett látogatásaimat, valamint a témakör szakértőivel való személyes konzultációimat követően – azonosítottam a tisztítótelepek méretéből adódó, illetve alaptechnológiájához kapcsolható telepi, valamint „telepen kívüli” lehetőségeket az energia/tápanyag/károsanyag témakörök vonatkozásában. A technológiák közül egyértelműen a hagyományos eleveniszapos rendszerhez kapcsolható a legtöbb kiegészítő alternatíva, elsődlegesen annak nagyobb tisztítási kapacitásából kifolyólag.

Ahogy az 1. ábrán látható, a szennyvíztelepek működésébe a szennyvíz megtisztításán kívül sok egyéb (kiegészítő) tevékenység is integrálható.



**1. ábra: A szennyvíztisztítási tevékenység alapfunkciója és kiegészítő lehetőségei**

*Forrás: saját szerkesztés*

Kutatómunkám során kalkulációimat egységméretre, átlagértékek (átlagos hazai input, output és egyéb technológiai fajlagosok) figyelembe vételével végeztem, ugyanakkor munkám során azonosítottam a legfontosabb – méretből adódó – módosító és befolyásoló tényezőket mind az alaptechnológiára, mind a lehetséges kiegészítő technológiákra vonatkozóan.

Az egységméretet 100.000 LEÉ (lakosegyenérték) méretben határoztam meg. Az említett méret meghatározásának okai:

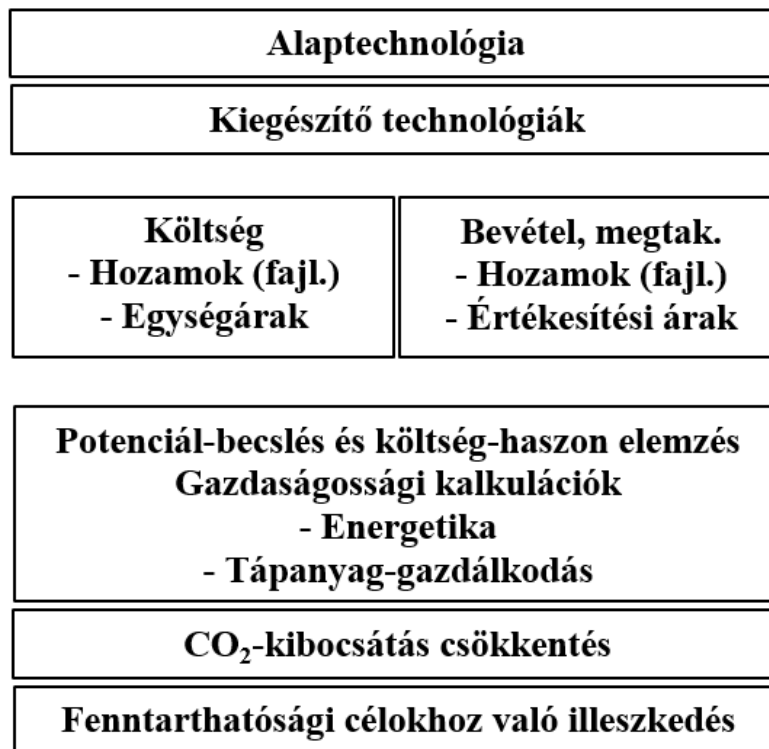
- hazánkban a hasonló (100.000 LEÉ és attól nagyobb) kapacitású telepek felelősek a keletkező szennyvíz döntő hányadának tisztításáért,
- méretükből kifolyólag gazdaságosan megvalósítható a szennyvíziszap-rothasztás (KÁRPÁTI, 2016)

Vizsgálatomat átlagos szennyvíztelepi input, output és egyéb technológiai fajlagosokat alapul véve végeztem el, annak érdekében, hogy egységtelepre, valamint országos szintre

vetített becsléseket tudjak adni az egyes alternatívák lehetséges hatásaira, eredményeire vonatkozóan, a telepméretből adódó legfontosabb módosító hatások beépítésével.

## 2.1. A számítások menete

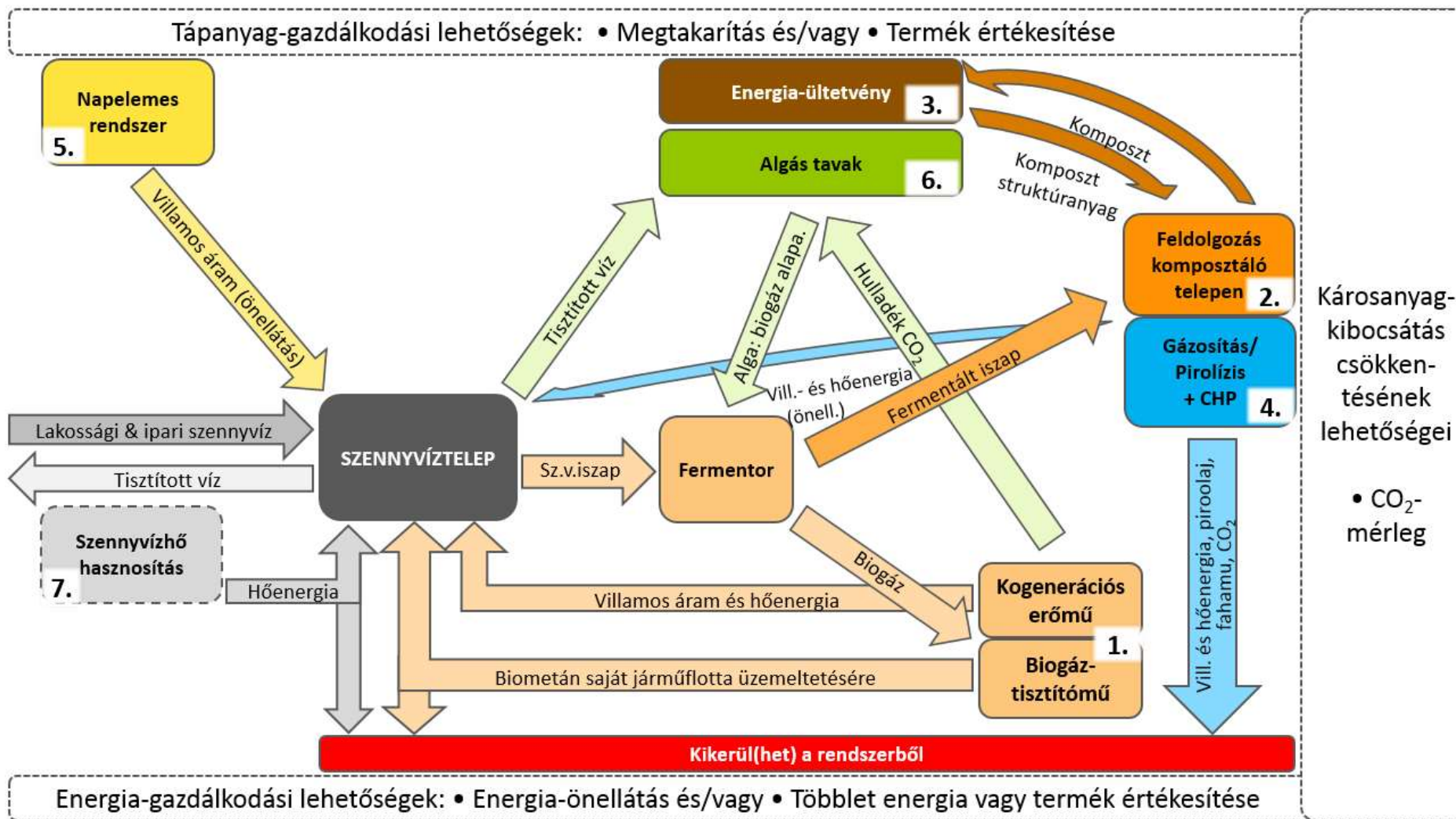
Számításaim menetét az egyes vizsgált részterületeken a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: A számítások menete

*Forrás: saját szerkesztés*

Munkám során egy teljes technológiai körfolyamatot összeállítva becsléseket végeztem az egyes alap- és kiegészítő technológiák energia-, tápanyag- és CO<sub>2</sub>-gazdálkodásban betöltött lehetséges szerepére, valamint elvégeztem egyes kiegészítő technológiák gazdasági elemzését. A CO<sub>2</sub>-kibocsátás esetében a közvetlen kibocsátások számszerűsítésére szorítkoztam. Az általam összeállított – körforgásos gazdaság elvén alapuló – koncepcióban a potenciál-becslés és a részletes gazdaságossági kalkulációk során figyelembe vett technológiai elemeket és azok kapcsolódási lehetőségeit szemléltetem az alábbi, 3. ábrán.



3. ábra: A szennyvízre alapozott körfolyamat lehetőségei

Forrás: saját szerkesztés

A technológiákra jellemző fajlagos adatokat egy Excel alapú, determinisztikus modellben összegeztem. A modell alkalmas az alaptermék és az azon alapuló kiegészítő (technológiai) lehetőségek költség-haszon, valamint gazdaságossági elemzésének komplex értékelésére, figyelembe véve az input- és output tényezők alakulásait.

## 2.2. Az alkalmazott módszerek

Doktori kutatómunkámban az alábbi módszereket alkalmaztam (1. táblázat).

**1. táblázat: Az alkalmazott módszerek összefoglalása**

<b>Módszer</b>	<b>Részterület, cél</b>
<b>Költség-haszon elemzés</b>	A biogáz-felhasználás költség-haszon elemzése
	A kiegészítő technológiák költség-haszon elemzése
<b>Komparatív analízis</b>	Egyes kiegészítő technológiák egymással történő összehasonlítása az elvégzett gazdaságossági elemzésre alapozva
<b>Beruházás-gazdaságossági elemzés</b>	Egyes kiegészítő technológiák beruházás-gazdaságossági elemzése
<b>Érzékenységvizsgálat</b>	A legfontosabb input- és output tényezők, egységárak, valamint önköltségek gazdaságosságot módosító hatásának számszerűsítése
<b>Küszöbérték-vizsgálat</b>	A legfontosabb input- és output tényezők, egységárak, valamint önköltségek minimumértékének meghatározása a gazdaságosság függvényében
<b>Potenciál-becslés</b>	Az egyes alap- és kiegészítő technológiák lehetséges szerepe az energia-, tápanyag- és CO <sub>2</sub> -gazdálkodásban egységméretre vetítve, valamint országos szinten

*Forrás: saját szerkesztés*

### 3. AZ ÉRTEKEZÉS FŐBB MEGÁLLAPÍTÁSAI

Primer és szekunder adatgyűjtésem alapján megállapítottam, hogy az energiatermelési, tápanyag-gazdálkodási és CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentési lehetőségek feltételei – döntően azok méretéből és technológiai sajátosságaiból adódóan – a három vizsgált alaptechnológia közül egyértelműen az eleveniszapos technológiánál teljesülnek teljeskörűen. A természetközeli (vizsgálatomban elsősorban gyökérszén) telepeken – habár kellő nagyságú terület és precíz megvalósítás esetén jó minőségű, költséghatékony tisztításra képesek – minimális lehetőség van a kiegészítő technológiák rendszerbe integrálására. Élőgépes technológia esetében – mely üvegház jellegű épületben, speciális medenceterek kialakításával és különböző növény-, illetve állatfajok beiktatásával kiváló minőségű tisztító hatást ér el – kisebb-közepes kapacitása miatt általánosságban nincs megvalósítva a szennyvíziszap rothasztására alapozott energiatermelés. Emellett a szakemberek elmondása alapján a keletkező szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosítása is legtöbb esetben akadályba ütközik az engedélyeztetési folyamat nehézségei, valamint az ehhez kapcsolódó szigorú előírások miatt. Így az ezeken a telepeken keletkező szennyvíziszap, információim szerint, legnagyobb hányadban nagyobb regionális tisztító telepekre kerül elszállításra, illetve feldolgozásra.

Ennek megfelelően, az élőgépes technológiára vonatkozó napelemes energia-önellátás lehetőségeinek, gazdaságosságának ismertetése mellett elsődlegesen az eleveniszapos technológiához kapcsolható kiegészítő elemekkel foglalkoztam.

Következtetéseimet és javaslataimat a „Témafelvetés, célkitűzések” fejezetben meghatározott célkitűzésrendszerhez igazodóan és azok sorrendjében ismertetem.

**1. Milyen lehetőségek állnak rendelkezésre a hagyományos eleveniszapos technológián alapuló, továbbá az élőgépes és a természetközeli tisztító technológiák esetében energetikai önellátás részleges/teljes megvalósítása vagy piacképes termék-előállítás céljából, kapcsolódva a körforgásos gazdaság koncepciójához? Milyen hatással van az üzemméret és a technológia a vizsgált témakörökre?**

Kutatómunkám során áttekintettem a legszélesebb körben elterjedt eleveniszapos technológia, az élőgépes technológia és a természetközeli (elsődlegesen gyökérszén)

technológiák jellemzőit és azonosítottam azok korlátait. Mindezek alapján megállapítottam, hogy a technológiák sajátosságából adódóan az általam vizsgált kiegészítő megoldások az eleveniszapos technológiához illeszthetők legnagyobb mértékben. Ebben alapvető befolyásoló szerepe van a telepméretnek. Kijelenthető, hogy a tisztítótelep mérete – a méretgazdaságosság elvének megfelelően – alapvetően befolyásolja az energia- és tápanyag-gazdálkodási lehetőségeket, továbbá a fajlagos beruházási és működési költségeket, így a gazdaságosságot is. A kisebb (kb. 50 000 LEÉ kapacitás alatti) telepeken részben a csekély keletkező iszapmennyiség, részben az előállított komposztra vonatkozó szigorú előírások miatt gazdaságtalan, illetve problémás az energetikai vagy tápanyag-gazdálkodási célból történő hasznosítást lehetővé tevő megoldások alkalmazása. A tisztítás határfokával kapcsolatban megemlíthető, hogy a kisebb (10 000 LEÉ alatti kapacitású) telepeknek a 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet alapján az összes foszforra és összes nitrogénre vonatkoztatva sincs kibocsátási határérték megszabva. Ez lehetővé teszi ezek működését, ugyanakkor környezeti szempontból kockázatokat rejt magában.

A vizsgált kiegészítő lehetőségeket tekintve a következő kritériumok jelölhetők meg:

- Szennyvíziszap-rothasztás és kogeneráció vagy biometán-előállítás és -felhasználás: alsó mérethatára a negyven-ötvenezer LEÉ méretű telepek. A kogenerációs energiatermeléssel 60% körüli villamosenergia-, míg 100% körüli hőenergia-önellátás érhető el egy 100 000 LEÉ kapacitású telepen. Ettől nagyobb telepméret esetén a mutatók még kedvezőbbek (300 000 LEÉ-nél 82% és 138%, 500 000 LEÉ-nél 92%, ill. 156%). A biogáz tisztítása, majd biometán előállítása és felhasználása a jelenlegi gazdasági környezetben, abban az esetben indokolható, ha az energetikai önellátás megvalósításra került és/vagy nem biztosított a keletkező hulladék hő hasznosítása, értékesítése.
- Szennyvíziszapkomposzt-hasznosítás és tápanyag-gazdálkodás: Az átlagos minőségű szennyvíziszap-komposzt felhasználásával jelentős mennyiségű nitrogén és foszforműtrágya (valamint ezek előállításához szükséges CO<sub>2</sub>-mennyiség) váltható ki. Alkalmazását elsődlegesen a nem élelmiszercélú növénytermesztésben, energetikai ültetvényeken javaslom. Az anaerob technológia meglehetősen kedvezően hat a szennyvíziszap minőségére a hőkezelés miatt, amely ezáltal könnyíti, illetve gyorsíthatja a biztonságos felhasználást.

- Energiaültetvényes biomassza-termelés és hasznosítás: a fás szárú energiaültetvények hozamát kedvezően befolyásolja a szennyvíziszap-komposzt kijuttatása, emellett az energiaültetvények hozzájárulnak a nehézfém-szennyezett talajok tisztításához is. A biomassza felhasználásával megtermelt energia hozzájárulhat a tisztítótelep energia-önellátásához, illetve többletenergia értékesítéséhez is. Energia-önellátás céljából a vizsgált módszerek közül legkedvezőbb megoldás a CHP egységgel felszerelt faelgázosító berendezés telepítése.
- Napelemes energiatermelés: az iszaprohasztás gazdaságos megvalósításának mérethatárát el nem érő telepek, vagy a szennyvíziszap komposztként történő felhasználásának akadályoztatása esetén kedvező megoldás lehet a napenergia-alapú villamosenergia-önellátás megvalósítása.
- Tisztított szennyvíz és füstgáz CO<sub>2</sub>-tartalmának hasznosítása algás tavakban: a füstgáz hasznosítása céljából hatékony megoldás lehet az algás hasznosítás (kiváltképp a félintenzív vagy intenzív technológiák), amely ugyanakkor jelentős tőkeigénnyel jellemezhető. Az algatermesztés alkalmazása kizárólag a nagyobb tisztítókapacitású telepeken indokolható, jelenleg más algatermesztési módokkal nem versenyképes.
- Szennyvízhő hasznosítása: elsődlegesen a nagyobb – négy-ötszázezer LEÉ méretnél, vagy az attól nagyobb tisztító telepeken történhet fenntartható módon, a hatékony és gazdaságos tisztítási tevékenység (vagyis a szükséges szennyvízhőmérséklet fenntartásának) veszélyeztetése nélkül. Hazánkban csak a fővárosban van ilyenre példa.

A kogenerációs energiatermelés során termelt hulladékhő hasznosítása, esetleg a termelt biometán hasznosítása, valamint a hőszivattyús hőkinyerés esetében hasonló rendszerek gazdaságos üzemeltetése elsődlegesen város vagy ipartelep közelségében biztosítható.

**H1** – A hagyományos technológiájú szennyvíztisztító telepek gazdaságos működése jellemzően nagyvárosi környezetben, illetve méretekben képzelhető el a teljeskörű termékhasznosítás és a méretgazdaságosság miatt. Továbbá ezeken a telepeken legkedvezőbbek a lehetőségek az energia-tápanyag-károsanyag hármast tekintve.

**Igazoltam.**

## **2. Milyen előnyei és hátrányai, valamint környezeti és gazdasági sajátosságai vannak az egyes kiegészítő technológiáknak és eljárásoknak a szennyvíz-gazdálkodásban energetikai, tápanyag-gazdálkodási és károsanyag-kibocsátási szempontból?**

A gazdaságossági sajátosságok meghatározásán keresztül módomban volt számszerűsíteni a kiegészítő technológiák gazdasági fenntarthatóságához való hozzájárulását. Ugyanakkor fontos megemlíteni, hogy – habár a szennyvíztelepek és csatornarendszer a közjavak csoportjába tartoznak – az általam elvégzett elemzésben az externális hatások számszerűsítésétől – a kapcsolódó módszertanok becslési bizonytalanságainak ismeretében – eltekintettem. Az előzőekből is kifolyólag a jelenlegi gazdasági környezetben az externális hatások nincsenek kellő mértékben figyelembe véve. Az egyes kiegészítő eljárások sajátosságait és gazdaságossági részleteit a korábban ismertetett sorrendben fejtem ki az alábbiakban.

- Szennyvíziszap-rothasztás és kogeneráció vagy biometán-előállítás és felhasználás: A kogenerációs energiatermelés, valamint a biometán-tisztítás és -hasznosítás hazánkban egymást kizáró technológiai lehetőségek. Előbbi alacsonyabb beruházási költséggel (az egységmértékű telepre vetítve 81,3 M Ft a kogenerációs egység) éves szinten 27,7 M Ft profitot képes termelni, míg a biogáz-tisztító berendezés töltőállomással 235 M Ft, anélkül 204 M Ft befektetési költség mellett éves szinten hajtóanyagként értékesítve 61,8 M Ft profitot, földgázhálózatba táplálva 7,6 M Ft veszteséget termel. A CO<sub>2</sub>-kibocsátás-megtakarítást tekintve a kogenerációs energiatermelés a legelőnyösebb megoldás, 1 790 t CO<sub>2</sub>/év mennyiséggel (12,4 M Ft értékkel).
- Szennyvíziszapkomposzt-hasznosítás és tápanyag-gazdálkodás: A fermentált iszap komposztálásával jelentős mennyiségű tápanyag válik felhasználhatóvá. Ennek mennyisége egy 100 000 LEÉ telep esetében éves szinten 24 t nitrogén, illetve 12 t foszfor hatóanyag (5,3 M Ft/év és 3,9 M Ft/év értékkel). Az így kiváltott műtrágya előállítás CO<sub>2</sub>-kibocsátásának értéke 1,9 M Ft/év.
- Energiaültetvényes biomassza-termelés és hasznosítás: Az energetikai ültetvények a kedvezőtlen adottságú területeken is kedvező hozam produkálására képesek gyors növekedésüknek köszönhetően, emellett akár jelentős mértékben csökkenthetik a

talaj nehézfém-tartalmát. A keletkező – kétéves vágásforduló esetén hektáronként az ültetvény életkorától függően 16 – 24 a.t. – biomassza faelgázosítóhoz vagy pirolízis műhöz kapcsolt kogenerációs erőművel az energia-önellátás, valamint többlet villamos- és hőenergia értékesítése által járulhat hozzá a szennyvízgyártás gazdaságosságának javításához. Az ültetvény NPV-je a teljes életciklusra (15 év) vetítve kéthektáros területen 754 ezer Ft, 24%-os belső megtérülési rátával. Az ültetvény energiamérlege a szállítási távolság (10 – 40 km) függvényében 1:36 – 1:21. 30 km-es szállítási távolság esetén az NPV már a negatív tartományba esik. Számításaim szerint a 100 000 LEÉ méretű telepen a teljes energiaönellátás megvalósításához (a kogenerációt kiegészítve) 92 hektáros területre lenne szükség. Az ehhez szükséges faelgázosító+CHP rendszer 7 év alatt térülhet meg. Amennyiben az összes szennyvíziszap komposztálásra kerülne, a maximálisan kijuttatható hatóanyag-mennyiséggel (nitrátérzékeny területen 170 kg N hatóanyag/év/ha) kalkulálva 290 hektáros területre lenne szükség. Az erre méretezett 360 kW<sub>el</sub> teljesítményű CHP egység, és az azt kiszolgáló faelgázosító kazán megtérülési ideje 7,4 év, 19%-os belső megtérülési rátával. A gazdaságos működtetés saroktényezőjét a biogázra, valamint a faelgázosításra alapozott kogenerációs energiatermelés esetén is a megtermelt energia mintegy 55-60%-át kitevő hulladékhő hasznosítása jelenti. A hulladékhő hatékony és teljes körű felhasználását nehezíti, hogy a nyári időszakban nemcsak a telepi hőenergia-önfogyasztás csökken, hanem a termelődött biogáz mennyisége is nagyobb a téli félévhez képest, így meglehetősen problematikus a folyamatos és teljes körű hőhasznosítás megtervezése. Ehhez természetesen hozzájárul az is, hogy a nyári időszakban a lakossági hőigény is lecsökken. Ebben az időszakban lehetőségként vehető fel az iszapszárítás vagy termelő üzemek technológiai hőigényének kielégítése, továbbá a távhűtésben való hasznosítás. A pirolízis technológiájának alkalmazása megoldás lehet a termelt hulladékhő - elsősorban nyári időszakban történő - hasznosításának nehézségeire, ugyanakkor fűtőanyagként történő felhasználása mellett számos egyéb alternatíva említhető. Ezen eljárások természetesen további feldolgozási, finomítási költséget vonnak maguk után.

A jelentős tőkeigény, a komoly logisztikai kihívások, valamint az üzembiztonság miatt célszerűnek tartanám először a kisebb, energia-önellátásra méretezett rendszer kiépítését. A rendszer kapacitása ezt követően bővíthető, és ezzel párhuzamosan az energiaültetvényeken megtermelt biomassa mennyisége is nő az ültetvények életkorából kifolyólag. Több egymást követő évben történő ültetvény-telepítés egyszerűbben kivitelezhető (tőkeigénye eloszlik), amely hozzájárul a megtermelt faapríték mennyiségi ingadozásának csökkentéséhez is.

- Napelemes energiatermelés: Az egységméretű telepre vetítve, a kogenerációs energiatermelést kiegészítve, a teljes villamosenergia-önellátás egy kb. 870 kW<sub>el</sub> rendszerrel valósítható meg. Számításaim szerint a beruházás 13,5 év alatt térül meg (17,7 M Ft NPV). Amennyiben viszont a napelemek hasznos élettartamára vonatkozóan végezzük el a beruházás-elemzést, úgy 183 M Ft-os pozitív NPV adódik. Egy 50 000 LEÉ méretű telepen – ahol a feltételezés szerint nem került kialakításra anaerob rothasztásra alapozott kogenerációs energiatermelés – 332 M Ft-os beruházási költség mellett 13,3 éves megtérülési idő, és 229 M Ft-os NPV adódik, a beruházás-elemzést 30 évre elvégezve. A napelemes energiatermelés esetében – több okból kifolyólag – mindenképpen a szinkron üzemmód javasolható: (1) a szennyvíztelepek eredetileg csatlakoztatva vannak a közcélú elektromos hálózathoz; (2) a napelemes rendszerrel megtermelt energia nem csak a felhasználás idejében áll rendelkezésre; továbbá (3) így elkerülhető a jelentős költség-igényű akkumulátorok beruházása is.
- Tisztított szennyvíz és füstgáz CO<sub>2</sub>-tartalmának hasznosítása algás tavakban: A füstgáz CO<sub>2</sub>-tartalmára méretezve az algás hasznosítást, félintenzív üvegház esetében 6 hektár, extenzív mesterséges tónál pedig 4 hektár területre lenne szükség. A beruházás értéke igen jelentős: 950 M Ft, illetve 328 M Ft. Ezzel együtt a CO<sub>2</sub>-kiváltás, valamint az alga hasznosításával előállítható biodízel értéke éves szinten összesen 179 M Ft, illetve 9 M Ft. Így az algatermesztést csak jelentős állami támogatás igénybe vételének lehetősége mellett javaslom.
- Szennyvízhő hasznosítása: Megfelelő (nagyvárosi) környezetben, illetve szennyvízhozam mellett – a vonatkozó szakirodalmi források és elemzések alapján – kiépítése esetén megtérülési ideje igen kedvező (új építés esetén akár 3-4 év),

köszönhetően kedvező COP-értékének. A sokszázézes vagy akár milliós nagyságrendi kapacitású telepeken igen kedvező gazdaságosság és CO<sub>2</sub>-megtakarítás érhető el, hazánkban azonban csak a fővárosban található ilyen rendszer. Emellett elmondható, hogy a hőszivattyús rendszerek nem a telepi energia-önellátáshoz, hanem a vezetékrendszer vonalán lévő irodaházak vagy üzemek fűtési és használati melegvíz-ellátását hivatottak biztosítani.

A felépített rendszerben megjelenő körfolyamatban egyértelműen érvényesülnek a körforgásos gazdaság alapelemei (3R: reduce, reuse és recycle – csökkentés, újrafelhasználás és reciklálás), emellett megvalósul a veszteségek minimalizálásának elvárása is: a rendszerből a tisztított vízen kívül az esetlegesen túlzott nehézfém-tartalmú fahamu, a CO<sub>2</sub> algás tavak által nem felhasznált része, valamint az előállított (energia-önellátás igényét meghaladó mennyiségű) villamos- és hőenergia, vagy egyéb (energiacélú) termék távozik. Ezek alapján elmondható, hogy minimális mennyiségű hulladék termelődik a körfolyamatok kihasználása által.

**H2** – A szennyvíztisztítási tevékenység gazdasági és környezeti fenntarthatósága jelentős mértékben javítható – üzemmérettől függően különböző – kiegészítő technológiák rendszerbe integrálásával, és ezek lehetővé teszik a körforgásos gazdaság koncepciójának megvalósítását. **Igazoltam.**

### **3. Milyen potenciál rejlik országos szinten a feltérképezett kiegészítő eljárásokban az energia-tápanyag-károsanyag hármast tekintve?**

A szennyvíztisztításra – mint kötelezően elvégzendő feladatra – és az annak során keletkező melléktermékekre számos kiegészítő eljárás alapozható. Mindezek egyértelműen hozzájárulhatnak az aktuális nemzeti célkitűzésekhez a megújuló energetika, a CO<sub>2</sub>-kibocsátás-csökkentés, valamint a fenntartható tápanyag-gazdálkodás terén.

Magyarország Megújuló Energia Hasznosítási Cselekvési Tervében – az EU 13%-os elvárását is meghaladó mértékű – 14,65%-os célérték került kitűzésre 2020-ra a megújuló energiaforrások részarányát illetően a bruttó energiafelhasználásban. Bár a célértéket a hazai háztartások fűtési célú energiafelhasználásának egy uniós rendelet (Európai Bizottság 431/2014) miatt történő újraszámítását követően 2017-ben már közel elértük (10,3%-ról

14,5%-ra ugrott az érték), ez a tapasztalatok szerint bizonyos mértékben vissza is vetette a megújuló beruházásokra irányuló pályázati kiírások számát. Mivel az EU-s „Tiszta energia csomag” alapján 2030-ra már a teljes energiafogyasztás 32%-át megújuló energiaforrásból kell majd fedezni EU-s szinten, így az egyes tagállamoknak is szükséges lesz tovább növelniük a megújuló alapú energiatermelést 2020-at követően is. Ehhez meglátásom szerint hozzájárulhatnak a dolgozatomban ismertetett, szennyvíztelepekhez kapcsolódó kiegészítő eljárások is. Számításaim szerint a szennyvíztisztításhoz kapcsolt kogenerációs energiatermelés és -felhasználás országos szinten évente 85 millió kWh villamos energiának, valamint 344 TJ hőenergiának megfelelő energiamennyiséggel járulhat hozzá a megújulóenergia-termeléshez, míg a szennyvíziszap-komposzttal trágyázott energetikai ültetvényeken termelt faapríték felhasználásával ez 132 millió kWh és 792 TJ. Ezáltal a kogenerációs energiatermelés 0,27%-kal, az energiaültetvényes energiatermelés pedig további 0,41%-kal növelné a megújuló alapú villamosenergia-termelést. A hőenergiát is hozzávéve az országos primer energiafelhasználás mennyiségéhez (ami 1,081 millió TJ) összesen 0,18%-kal (kb. 1 920 TJ) járulhat hozzá az országos megújuló energetikai célkitűzésekhez.

A CO<sub>2</sub>-kibocsátás csökkentésében a kvótarendszer kibővítése tervben van a jövőre vonatkozóan. A szennyvíz-gazdálkodás terén elérhető károsanyagkibocsátás-csökkentés számszerűsítése céljából meghatároztam ennek mennyiségét és értékét is. A 18 db hazai telepre vetítve a kogenerációs energiatermelés 69,2 ezer t (480 millió Ft/év), míg az energiaültetvényes faapríték-termelés és felhasználás rendszerbe integrálása 124 ezer t CO<sub>2</sub> (860 millió Ft/év) kibocsátás megtakarítást eredményezhet. Ez az országos bruttó széndioxid-kibocsátás 0,41%-ának megfelelő mennyiség.

A tápanyag-gazdálkodásban a szennyvíziszap-komposzt kihelyezéssel 1 175 t N és 560 t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> hatóanyag takarítható meg, 254 millió Ft és 190 millió Ft értékben, míg a tisztított vízben lévő mennyiség 3 430 t N (740 millió Ft/év) és 228 t P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (77,5 millió Ft/év). Utóbbi hasznosítására kínálhat lehetőséget az algatermesztés, kedvező (70-90%-os) makroelem-hasznosítási hatásfokkal.

A fentiekre tekintettel kijelenthető, hogy a szennyvíztisztításhoz kapcsolt energetikai és tápanyag-gazdálkodási megoldások a körfolyamatokban rejlő lehetőségek kiaknázásával hozzájárulhatnak mind a megújuló energiaforrásból előállított energia arányának

növeléséhez, mind az energia-importfüggőség (~56%) csökkentéséhez, továbbá a károsanyag-kibocsátási célok eléréséhez is.

**H3** – A kiegészítő technológiák közép- és hosszú távon hozzájárulnak az országos klímavédelmi törekvésekhez és a gazdasági fenntarthatósághoz is. **Igazoltam.**

#### **4. Milyen feltételek mellett ártalmatlanítható a legnagyobb arányban alkalmazott eleveniszapos technológiájú telepeken keletkező szennyvíziszap, a lehető legteljesebb mértékben hozzájárulva a fenntarthatósági törekvésekhez?**

A szennyvíztelepeken egyre nagyobb mennyiségben keletkező szennyvíziszapok hasznosításának céljából kalkulációkat végeztem a víztelenített iszap komposztálására, valamint fás szárú energetikai ültetvényekre történő kihelyezésének tervezésére irányulóan. A feldolgozott külföldi és hazai szakirodalom alapján a szennyvíziszap-komposzt kedvező hatással van a talajéletre, és megfelelő dózisban történő alkalmazása a talaj makroelem-tartalmának megőrzése mellett jelentős biomasszahozam-növekedést is eredményez. A fás szárú energiaültetvényeknek pedig – közel egész éves talajfedést biztosítva – talajvédő hatásuk van, emellett eredményesen termeszthetők a kedvezőtlen adottságú területeken is. Ez hozzájárul az élelmiszer-energia ellentmondás feloldásához is. Számításaim szerint egy 100 000 LEÉ méretű telepnél összesen kb. 290 ha energiaültetvényen lenne lehetőség az összes keletkező szennyvíziszap elhelyezésére. Amennyiben az összes 100 000 LEÉ kapacitás feletti, rothasztást is alkalmazó (18 db, 4 815 000 LEÉ összkapacitású) tisztítótelepen megoldható lenne a komposztálás és energiaültetvényes hasznosítás rendszerbe illesztése, úgy a szennyvíziszap-komposzt hasznosítására (lehetőleg két vagy több egymást követő évben történő telepítéssel) összesen nagyságrendileg 14 ezer ha energiaültetvényre lenne szükség. Erre – a vonatkozó előírások betartása mellett – alkalmasak lehetnek az erózióra és deflációra hajlamos (hazánk szántóterületének kb. 60%-a), illetve kedvezőtlen adottságú területek (összesen 883 558 ha, azaz Magyarország összterületének 9,5%-a, a teljes megművelt terület 14%-a). Primer és szekunder adatgyűjtésekre alapozott kalkulációim alapján – összefüggésben a Szennyvíziszap Hasznosítási Stratégiában megfogalmazottakkal – meglátásom szerint a keletkező szennyvíziszap komposztálása a leginkább előnyös megoldás, melynek energetikai

ültetvényeken történő felhasználásával számos kedvező hatás érvényesülhet. A megvalósíthatóság szempontjából azonban korlátozó tényező lehet az esetleges túlzott nehézfém-akkumuláció a fák gyökérrendszerében, vagy pedig az adott tisztító telep esetében rendelkezésre álló – optimális szállítási távolságon belül lévő – területek rendelkezésre állása. Utóbbival kapcsolatosan megemlíthető a tisztító telepek városszéli elhelyezkedése.

**H4** – A szennyvíziszap-hasznosítás és ezzel egyidejűleg az energetikai önellátás leghatékonyabban fás szárú energetikai ültetvényekkel oldható meg. **Részben igazoltam.**

#### **4. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ, ILLETVE ÚJSZERŰ EREDMÉNYEI**

A szennyvíztisztítási tevékenység alaptermológiáinak, valamint egyes kiegészítő lehetőségeinek feltérképezését követően meghatároztam, hogy az egyes alaptermológiákhoz – a telep méret figyelembe vételével – mely kiegészítő elemek kapcsolódhatnak. A szennyvíztelepi energia-önellátás és bevétel-maximalizálás, valamint a hulladéktermelés minimalizálása céljából felvázoltam egy koncepciót, amely a körforgásos gazdaság elvén a lehető legteljesebb mértékben hasznosítja a telepre érkező hulladék/melléktermék energia- és tápanyagtartalmát. Kutatásaim során hasonló – a szennyvíztelepet, mint tisztítóegységet, egyben nyersanyag-lelőhelyet középpontba állító – koncepció meglétéről és hasonló, többszempon t ű vizsgálatáról nem értesültem. A körfolyamat felépítését követően megvizsgáltam, hogy energia-, tápanyag- és szén-dioxid-gazdálkodás szempontjából az egyes elemeknek milyen jellemzőik, sajátosságaik vannak. Ezek alapján újszer ű eredményeim a következőkben foglalhatók össze.

1. Azonosítottam a felépített rendszer jellemzőit és lehetőségeit a körforgásos gazdaság alapelemeivel (3R: reduce, reuse és recycle – csökkentés, újrafelhasználás és reciklálás) összefüggésben. Ez alapján a rendszerből a tisztított vízen kívül fahamu, a CO<sub>2</sub> fel nem használt része, valamint az előállított (energia-önellátás igényét meghaladó mennyiségű) villamos- és hőenergia, vagy egyéb (energiacélú) termék hagyja el. Ezáltal a rendszer hozzájárul a veszteségek és a környezetszennyezés minimalizálásához is.
2. Igazoltam, hogy a megvizsgált energiatermelési és tápanyag-hasznosítási lehetőségek megvalósíthatósága és gazdaságossága szempontjából az üzemméret döntő fontosságú. Az algás hasznosítást magas tőkeigénye és a termesztéstechnológia érzékenysége miatt nem tartom célszerűnek. Teljes energia-önellátás céljából a komposzttal trágyázott energiaültetvényeken előállított biomassza alapú energiatermelés alternatívája lehet a napelemes energiatermelés, amennyiben nem megoldható a szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosítása. Ezen rendszerek megtérülése jóval kedvezőbb a vásárolt villamos áramhoz képest, tehát megfelelő feltételek mellett célszerű ezzel kiegészíteni az alaptermológiát.

3. Meghatároztam egy képletet a telep mérettől függő fajlagos energiafelhasználás becslésére – a magyarországi üzemek jellemzői alapján – amely a telep méret függvényében kalkulálja a villamos- és hőenergia-felhasználást:

$$y = 1,909x^{-0,24}$$

ahol:  $y$  = telep fajlagos energiafogyasztása (kWh/m<sup>3</sup>),  $x$  = a szennyvíztelep kapacitása (100 m<sup>3</sup> szennyvíz/nap mennyiségben)

Ilyen módon lehetőségem nyílt megbecsülni a kogenerációs energiatermelés és energia-önellátás mértékét különböző kapacitású telepekre vonatkozóan. Ez alapján egy 100 000 LEÉ egység méretű eleveniszapos telep esetében 63%-os villamos-, valamint 106%-os hőenergia-önellátást kalkuláltam.

4. Igazoltam, hogy gazdaságilag és környezetileg (ÜHG-kibocsátás) is a kogenerációs energiatermelés a leginkább előnyös megoldás (a termelt hulladékhő teljes mennyiségének hasznosíthatósága esetén), összevetve a biometán földgáz hálózatra táplálásával vagy hajtóanyag célú hasznosításával. A megvizsgált alternatívák közül a hulladékhő teljes mennyiségének felhasználhatósága esetén a kogenerációs technológia a leghatékonyabb környezeti és gazdasági szempontból is. Részbeni hőhasznosítás esetén – különösen nagyobb üzem méretben – a hajtóanyagkénti hasznosítás versenyképes lehet a kogenerációval, míg a biometán földgáz hálózatra táplálása a legkevésbé előnyös megoldás.

5. Meghatároztam a napelemes rendszerek beruházási költségfüggvényét a napelemes energiatermelés (és energia-önellátás) lehetőségeinek számszerűsítése céljából – aktuális piaci rendszer költségek alapján – a teljes rendszerre vonatkozóan:

$$y = - 23,51 x^2 + 330 368 x + 1 000 000$$

ahol:  $y$  = a rendszer beruházási költsége (Ft),  $x$  = a rendszer beépített teljesítménye (kW<sub>el</sub>)

Az ismertetett képletben az  $x$ , vagyis a rendszer kW-ban kifejezett teljesítményének értelmezési tartománya:  $10 \leq x \leq 5 000$  (a képlet számszakilag helyes eredményt a 10 kW<sub>el</sub> és 5 MW<sub>el</sub> napelemes rendszerek esetében ad).

A napelemes rendszerrel történő elektromos energiatermelés abban az esetben javasolható, amennyiben a rothasztott iszap energiaültetvényen történő hasznosítása a nem megfelelő minőség vagy egyéb tényező miatt akadályoztatva van.

6. Szakirodalmi hozamgörbék és saját adatgyűjtés alapján meghatároztam a szennyvíziszap-komposzt kihelyezéséhez szükséges fás szárú energiaültetvények gazdaságossági és energiahatékonysági jellemzőit. Összeállítottam a termesztéstechnológiát és költség-haszon elemzést végeztem az ültetvényre vonatkozóan – beépítve a szennyvíziszap-komposzt felhasználását. A faapríték szennyvíziszap-komposzt hasznosításával adódó önköltsége 16.380 Ft/a.t. (ami 18%-kal alacsonyabb a piaci árnál), energiamérlege 1:36. A szennyvíziszapkomposzt-felhasználást gazdaságilag és környezetileg is érdemes integrálni az energiaültetvényen történő faapríték-termeléssel.
7. Az általam vizsgált leghatékonyabb rendszerek alkalmazásával országos szinten 0,41% CO<sub>2</sub> megtakarítás, megújuló energetikai szempontból pedig 0,18%-os növekedés érhető el a kötelező hulladékgazdálkodási feladatok ellátásán túlmenően.

## **5. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA**

Kutatómunkám reményeim szerint hozzájárul a fenntarthatóbb és gazdaságosabb szennyvízgyógykezelés eléréséhez, elősegíti a Magyarország esetében aktuális szennyvíztisztítási és -kezelési kötelezettségek minél hatékonyabb, sikeres teljesítését, elsődlegesen a legszélesebb körben alkalmazott (eleveniszapos) alaptechnológiát kísérő kiegészítő tevékenységekre vonatkozóan. A megalkotott modell lehetővé teszi, hogy bármely érintett informálódhasson arról, hogy adott feltételek mellett melyik alternatívát érdemes alkalmazni vagy támogatni környezeti és gazdasági szempontból. A kapott eredmények szemléltető formában történő megjelenítésével céloim hozzájárulni a hallgatói szemléletformáláshoz is, bemutatva a hulladékgyógykezelési, szennyvíztisztítási tevékenységben rejlő energia-, tápanyag-gyógykezelési és károsanyagkibocsátás-csökkentési lehetőségeket. Jelenleg is folyamatban van egy speciális felület fejlesztése, amely különböző tényezők figyelembe vétele mellett alkalmas a fenntarthatósághoz és körforgásos gazdasághoz kapcsolódó lehetőségek, kedvező hatások szemléltetésére. A vizsgált területeket érintő nemzetgazdasági előnyök számszerűsítése hozzájárulhat ahhoz, hogy a szennyvíztisztítási tevékenységre irányuló beruházások, fejlesztések állami támogatása a leginkább hatékony módon valósuljon meg.

## 6. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓK



**DEBRECENI  
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM  
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400

Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/255/2019.PL  
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Gabnai Zoltán  
Neptun kód: G5WSSP  
Doktori Iskola: Ihrig Károly Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola  
MTMT azonosító: 10051638

### A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

#### Folyóiratcikkek, tanulmányok (9)

1. Bai, A., **Gabnai, Z.**: The possible role of large-scale sewage plants in local transport.  
In: Transportation, IntechOpen, London, United Kingdom, "Közlésre elfogadva", 1-24, 2019.  
ISBN: 9789535168775
2. Nagy, D., Balogh, P., **Gabnai, Z.**, Popp, J., Oláh, J., Bai, A.: Economic Analysis of Pellet Production in Co-Digestion Biogas Plants.  
*Energies*. 11 (5), 1-21, 2018. EISSN: 1996-1073.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/en11051135>  
IF: 2.676 (2017)
3. **Gabnai, Z.**: Energy alternatives in large-scale wastewater treatment.  
*Apstrakt*. 11 (3-4), 141-146, 2017. ISSN: 1789-221X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.19041/APSTRACT/2017/3-4/19>
4. Bai, A., Popp, J., Pető, K., Szőke, I., Harangi-Rákos, M., **Gabnai, Z.**: The Significance of Forests and Algae in CO<sub>2</sub> Balance: a Hungarian Case Study.  
*Sustainability*. 9, 857, 2017. ISSN: 2071-1050.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su9050857>  
IF: 2.075
5. **Gabnai, Z.**, Gál, B. S.: A szennyvíziszap-hasznosítás energetikai és egyéb lehetőségei.  
*Journal of Central European Green Innovation*. 4 (1), 13-30, 2016. ISSN: 2064-3004
6. Bai, A., Popp, J., Balogh, P., **Gabnai, Z.**, Pályi, B., Farkas, I., Pintér, G., Zsiborács, H.: Technical and economic effects of cooling of monocrystalline photovoltaic modules under Hungarian conditions.  
*Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 60, 1086-1099, 2016. ISSN: 1364-0321.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.003>  
IF: 8.05





7. Zsiborács, H., Pályi, B., Pintér, G., Popp, J., Balogh, P., **Gabnai, Z.**, Pető, K., Farkas, I., Hegedűsné, B. N., Bai, A.: Technical-economic study of cooled crystalline solar modules. *Solar Energy*. 140, 227-235, 2016. ISSN: 0038-092X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.11.009>  
IF: 4.018
8. **Gabnai, Z.**: A faapriték-termelés és az önkormányzati energia-gazdálkodás rendszerszemléletű gazdasági elemzése esettanulmány alapján. *Gazdálkodástudományi Közlemények*. 3 (1), 57-63, 2011. ISSN: 2061-2443.
9. **Gabnai, Z.**: Rövid vágásfordulójú nemesnyár energiaültetvények gazdasági értékelése Hajdú-Bihar megyében. *Gazdálkodástudományi Közlemények*. 3 (1), 19-25, 2011. ISSN: 2061-2443.

#### Konferenciaközlemények (3)

10. **Gabnai, Z.**, Bai, A.: A szennyvíztisztítás és a hajtóanyagcélú biogáz-hasznosítás. In: Felmelegedés Ökolábnyom Élelmiszerbiztonság : LVIII. Georgikon Napok. 2016. szeptember 29-30, Keszthely. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 111-115, 2016. ISBN: 9789639639850
11. Bai, A., **Gabnai, Z.**: Energianyeréssel kombinált innovatív szennyvízkezelési eljárások. In: LVI. Georgikon Napok, Nemzetközi Tudományos Konferencia: Programfüzet, Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Keszthely, 25-34, 2014. ISBN: 9789639639591
12. **Gabnai, Z.**: Innovatív szennyvíztisztítási módszerek komplex elemzése. In: Környezettudatos energiatermelés és -felhasználás : III. Környezet és Energia Konferencia. Szerk.: Szabó Valéria, Fazekas István, MTA DAB Megújuló Energetikai Munkabizottság, Debrecen, 160-165, 2014. ISBN: 9789637064319

### **További közlemények**

#### Folyóiratcikkek, tanulmányok (10)

13. **Gabnai, Z.**, Müller, A. É., Bács, Z., Bácsné Bába, É.: A fizikai inaktivitás nemzetgazdasági terhei. *Egészségfejlesztés*. 60 (1), 20-30, 2019. ISSN: 1786-2434.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.24365/ef.v60i1.308>
14. Müller, A. É., Bolega, S., **Gabnai, Z.**, Bácsné Bába, É., Pfau, C.: A BMX, és egyéb extrém sportok választásának motivációs tényezői. *International Journal of Engineering and Management Sciences*. 3 (4), 426-441, 2018.  
EISSN: 2498-700X.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2018.4.35>





15. Müller, A. É., Pfau, C., **Gabnai, Z.**, Bácsné Bába, É., Borbély, A., Pető, K.: A gyógy-, wellness- és sportszolgáltatások fejlesztési lehetőségei a gyógyturizmusban egy hazai kutatás tükrében. *International Journal of Engineering and Management Sciences*. 3 (4), 101-114, 2018. EISSN: 2498-700X. DOI: <http://dx.doi.org/10.21791/IJEMS.2018.4.10>
16. Müller, A. É., **Gabnai, Z.**, Pfau, C., Pető, K.: A magyarok táplálkozási szokásainak és tápláltsági állapotának jellemzői: szakirodalmi áttekintés. *Táplálkozásmarketing*. 5 (2), 45-55, 2018. EISSN: 2064-8839. DOI: <https://doi.org/10.20494/TM/5/2/4>
17. Zsiborács, H., Bai, A., Popp, J., **Gabnai, Z.**, Pályi, B., Farkas, I., Hegedűsné, B. N., Veszelka, M., Zentkó, L., Pintér, G.: Change of real and simulated energy production of certain photovoltaic technologies in relation to orientation, tilt angle and dual-axis sun-tracking. A case study in Hungary. *Sustainability*. 10 (5), 1394, 2018. EISSN: 2071-1050. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10051394> IF: 2.075 (2017)
18. Zsiborács, H., Pintér, G., Bai, A., Popp, J., **Gabnai, Z.**, Pályi, B., Farkas, I., Hegedűsné, B. N., Gützer, C., Trimmel, H., Oswald, S., Weihs, P.: Comparison of thermal models for ground-mounted south-facing photovoltaic technologies: a practical case study. *Energies*. 11 (5), 1114-1-18, 2018. EISSN: 1996-1073. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/en11051114> IF: 2.676 (2017)
19. Kurucz, E., Fári, M., Antal, G., **Gabnai, Z.**, Popp, J., Bai, A.: Opportunities for the production and economics of Virginia fanpetals (*Sida hermaphrodita*). *Renewable & Sustainable Energy Reviews*. 90, 824-834, 2018. ISSN: 1364-0321. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.007> IF: 9.184 (2017)
20. **Gabnai, Z.**, Bai, A.: Városi szennyvíztelepek energetikai önellátása. In: *Arccal vagy háttal a jövőnek? : 60 éves a Georgikon Napok Konferencia*. Szerk.: Csányi Szilvia, Pannon Egyetem, Keszthely, 510-514, 2018. ISBN: 9789639639928
21. Mézes, L., Bai, A., Nagy, D., Cinka, I., **Gabnai, Z.**: Optimization of Raw Material Composition in an Agricultural Biogas Plant. *Trends in Renewable Energy*. 3 (1), 61-75, 2017. ISSN: 2376-2136. DOI: <http://dx.doi.org/10.17737/tre.2017.3.1.0031>
22. Popp, J., Harangi-Rákos, M., **Gabnai, Z.**, Balogh, P., Antal, G., Bai, A.: Biofuels and Their Co-Products as Livestock Feed: Global Economic and Environmental Implications. *Molecules*. 21 (3), 285-1-26, 2016. EISSN: 1420-3049. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/molecules21030285> IF: 2.861





Konferenciaközlemények (2)

23. Bai, A., Szöke, I., Nagy, D., **Gabnai, Z.**: Mezőgazdasági üzemek biomassza-alapú energetikai önellátása.

In: LIX. Georgikon Napok Nemzetközi Tudományos Konferencia 2017. szeptember 28-29., PE Georgikon Kar, Keszthely. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 8-14, 2017.

24. **Gabnai, Z.**: Mezőgazdasági melléktermék-hasznosításon alapuló élelmiszer- és energiatermelés lehetőségei kisüzemi méretekben.

In: LVII. Georgikon Napok. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem, Georgikon Kar, Keszthely, 122-129, 2015. ISBN: 9789639639829

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 33,615**

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):  
16,819**

A DEENK a Jelölt által az IDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2019.06.06.

