

A szennyvízből és szilárd szerves hulladékokból származó magyarországi metánkibocsátás csökkentése legalább 30%-kal 2030-ig

Készítette: Dr. Nagy Gábor

Miskolci Egyetem, Energia-, Kerámia- és Polimertechnológiai Intézet



2025.02.06.

Tartalomjegyzék

Vezetői összefoglaló.....	3
1. Bevezetés.....	4
2. Szerves hulladékok hazai viszonylatban	4
2.1. Települési szilárd hulladékok	5
2.2. Települési folyékony hulladékok	7
3. Hulladékok kezelése és hasznosítása	8
3.1. Települési szilárd hulladékok hasznosítása	8
3.2. Települési folyékony hulladékok	11
4. A metánkibocsátás becslése	13
4.1. A hulladékszektor kibocsátása.....	16
4.2. A szennyvíztisztításhoz köthető további lehetséges emisszióforrások.....	19
4.3. A szennyvízhálózat metánkibocsátása	20
4.3. A hazai szennyvízhálózatból származó metánemisszió becslése.....	23
4.3.1. Hazai rendszerüzemeltetési tapasztalatok metánemisszió kapcsán	29
4.4. A szennyvíztisztítók iszapkezelésével kapcsolatos metánemisszió	30
4.5. Szennyvíziszap alapú biogáz előállításához kapcsolódó metánemisszió	30
4.5.1. Szennyvíziszap alapú biogáz-előállítás hazai vonatkozásai.....	32
5. Fontosabb megállapítások és javaslatok	33
6. A teljes metánkibocsátás-csökkentés becslése	34
7. Időigény és költségek.....	34
8. Szabályozási és törvényi háttér átalakítása.....	36
9. Ellenőrző és monitoring mechanizmusok.....	36

Vezetői összefoglaló

Az Európai Unió egyik célja, hogy Európa 2050-re klímasemleges kontinenssé váljon, melyhez az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése elengedhetetlen. Ugyan a metán légkörbe bocsátott mennyisége lényegesen kisebb a szén-dioxidhoz képest, a nagyobb üvegház hatása miatt ezen komponens kibocsátásának mérséklése is egyre inkább előtérbe kerül. Jelen tanulmány a szilárd szerves hulladékokból és a szennyvízből származó magyarországi metánkibocsátás csökkentésével foglalkozik, mélyebben a szennyvíz témakörére fókuszálva.

Magyarország az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény és a Genfi egyezmény részeként évente elkészíti az üvegházhatású gázok és a légszennyező anyagok kibocsátási leltárát, amely jelentést be kell nyújtani az Európai Unió és az ENSZ számára. Ezen leltár alapján a *hulladékszektor* legjelentősebb kategóriája a *hulladéklerakás*, amely a szektor kibocsátásainak 86%-át tette ki 2021-ben. Ezt követi a *szennyvízkezelés* 9%-os részaránnyal, majd a *hulladékok biológiai kezelése*, ami 4%-ot tesz ki. Habár a Nemzeti leltár megállapításai szerint ez utóbbi két terület kibocsátásai nem jelentősek, az itt elért kibocsátás csökkentés is hozzá tud járulni az országos metánemisszió kívánt szintre mérsékléséhez.

Szakirodalomkutatás alapján a szennyvízhez kapcsolódva három olyan területet dolgoz fel ezen tanulmány, amelyen látható mértékben csökkenthető a metánemisszió. Ezek a csatornahálózat metánkibocsátása, a szennyvíztisztító telepen belüli iszaptárolás metán emissziója és a szennyvíziszap alapú biogáz előállító rendszerek szivárgásai.

A csatornahálózathoz kapcsolódó metánemisszió számításához szakirodalomban fellelhető egyenleteket és Szeged, Debrecen, illetve Pécs szennyvízhálózatának rendelkezésemre bocsátott adatait használtam fel, ezek alapján következtetve az ország teljes csatornahálózatában képződő metán mennyiségre. Számításaim összhangban állnak a szakirodalommal, hazai tekintetben a *szennyvízkezelésből* származó metán emissziójának 45-70%-a képződhet a csatornahálózatban, ami összhangban áll a szakirodalommal. Itt meg kell jegyezni, hogy az üvegházhatású gázok leltárának számítási módszere nem tér ki a szennyvízhálózatra, így a jelenleg alkalmazott módszerrel számított leltár szerinti emisszió nem fog csökkenni a csatornahálózaton alkalmazott beavatkozások hatására sem.

A szakirodalom szerint a szennyvíziszapból termelt biogáz 3-5%-a az iszap tárolása során a légkörbe távozik. Az iszaptárolók zárt rendszerűvé alakításával ez a gázmennyiség visszavezethető a hasznosítási rendszerbe, elkerülve a metánemissziót. Ha a *hulladékok biológiai kezelése* kategória emissziójához hasonlítjuk, hazánk esetén ez 10-15%-os tételt jelent a kibocsátás csökkentésben.

A harmadik terület, a szennyvíziszap alapú biogáz előállítás. Ezzel kapcsolatban legfőbb metán forrásként a karbantartások elmaradásából adódó szivárgások kerültek beazonosításra. Ezen a téren nagyon kevés, illetve eltérő adatok állnak rendelkezésre, melyek szerint a szivárgás a vizsgált üzemek alapján a biogáz termelés 0,1-13,7%-a volt. A *hulladékok biológiai kezelése* kategória emissziójához hasonlítva Magyarország tekintetében ez a kibocsátás 0,5-65%-a. Emellett meg kell jegyezni, hogy a tanulmány ide vonatkozó részei az egyéb alapanyagokat felhasználó biogáz üzemek üzemeltetése során is alapul vehetők.

Amennyiben a fenti három területen a metánemisszió a bemutatott mértékű csökkenése bekövetkezik, az a teljes *hulladékszektor* esetén 3-9%-os kibocsátás csökkentést jelent.

1. Bevezetés

Jelen korunk egyik legnagyobb horderejű feladata a gyorsuló éghajlatváltozás mérséklése, amely globális mértékű intézkedéseket tesz szükségsszerűvé. Az éghajlatváltozás jelentős hajtóereje az üvegházhatású gázok egyre nagyobb mértékű kibocsátása, melynek eredményeként légkörünk egyre nagyobb mértékben akadályozza a Földre érkező napenergia világűrbe történő visszasugárzását. Ez a Föld átlaghőmérsékletének növekedését eredményezi. Az Európai Unió eltökélt az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése vonatkozásában, célja, hogy Európa 2050-re klímasemleges kontinenssé váljon¹, ezáltal segítve elő a visszafordíthatatlan éghajlati károk megelőzését.

Az üvegházhatást okozó gázok közül a legnagyobb jelentősége a szén-dioxidnak (CO₂) van, ami 2021-ben az EU üvegházhatású gáz kibocsátásának közel 80%-át tette ki. Ezt a komponenst a metán követi, melynek részaránya meghaladja a 12%-ot². Emiatt egyre nagyobb figyelem fordul a metán kibocsátásának mérséklése felé is³.

Mivel az üvegházhatású gázok eltérő mértékben befolyásolják a globális felmelegedést, az összehasonlíthatóság érdekében bevezetésre került a globális felmelegedési potenciál (Global Warming Potential – GWP). A legutóbbi, 2014-ben kiadott IPCC Fifth Assessment Report⁴ szerint a metán GWP értéke 28, így üvegházhatása számottevően nagyobb a szén-dioxidhoz képest (GWP_{CO2}=1). Ezáltal annak ellenére, hogy a metánkibocsátás a szén-dioxidhoz képest számottevően kisebb, jelentős eredményeket lehet elérni a metánemissziók csökkentése által is. Ezen témakörben fontos megemlíteni a szén-dioxid-egyenérték fogalmát, mely a kibocsátott gáz tömegének és globális felmelegítő potenciáljának (GWP) szorzata, ennek segítségével meghatározható az adott évben kibocsátott üvegházhatású gázok légkörre gyakorolt felmelegítő hatása⁵.

2. Szerves hulladékok hazai viszonylatban

A továbblépéshez első körben szükséges definiálni a szerves hulladékok fogalmát. A szerves vegyületek és anyagok kifejezés többféle módon is értelmezhető. Különböző területeken többféle meghatározással is találkozhatunk (pl. szerves vegyületnek számít az anyag, ha C-C kötést tartalmaz, vagy ha C-H kötések tartalmaz). Lehetnek természetes (pl. növényi részek) vagy mesterséges (pl. műanyagok)

¹ Európai zöld megállapodás. COM(2019) 640. Európai Bizottság, Brüsszel, 2019.
https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_hu

² Klímaváltozás: a globális felmelegedést okozó üvegházhatású gázok. Európai Parlament, 2023.
<https://www.europarl.europa.eu/topics/hu/article/20230316STO77629/klimavaltozas-a-globalis-felmelegedest-okozo-ueveghazhatasu-gazok>

³ Methane Roadmap Action Programme (M-RAP), 2022.
<https://www.ccacoalition.org/projects/methane-roadmap-action-programme-m-rap>

⁴ Myhre, G. et al.: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf

⁵ Üvegházhatású gázok – HungaroMet.
<https://legszenyyezettseg.met.hu/kibocsatas/trendek/ueveghazhatasu-gazok>

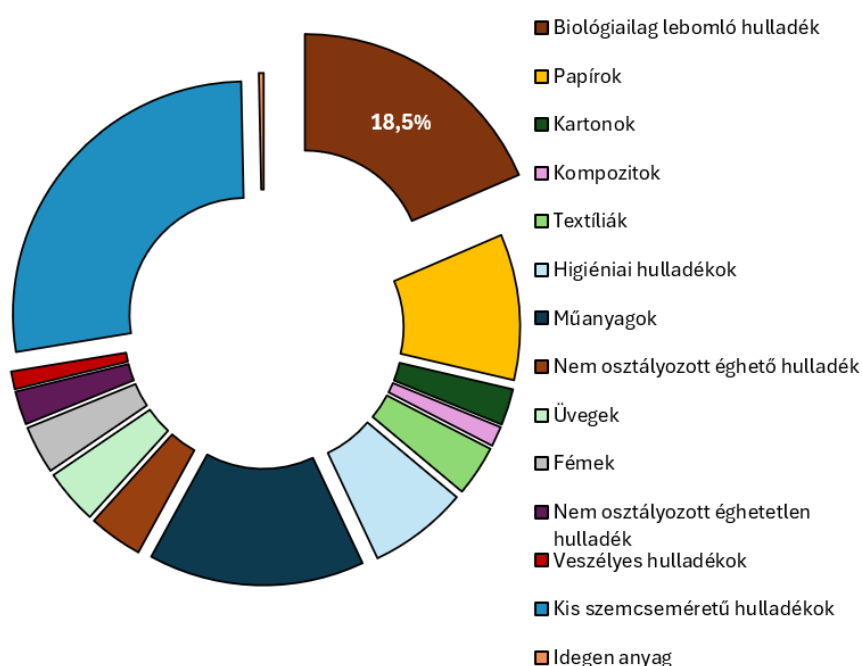
eredetűek, illetve megkülönböztethetők biológiailag lebomló és nem lebomló anyagok, attól függően, hogy ezek az anyagok a természetben hogyan viselkednek.

Jelen tanulmányban szerves anyag/hulladék kifejezés alatt a biológiailag lebontható frakció értendő. Ezen belül is a lakosság által termelt hulladékok kerülnek a fókuszba. Ezen hulladékoknak két fő típusát lehet elkülöníteni, ezek a szilárd települési (kommunális) hulladékok, illetve a folyékony települési hulladékok (szennyvíz).

2.1. Települési szilárd hulladékok

A hulladékról szóló, 2012. évi CLXXXV. törvény értelmében települési hulladéknak nevezzük a háztartási és a háztartási hulladékhoz hasonló hulladékot, amely nem foglalja magában a termelésből, a mezőgazdaságból, az erdészetből, a halászatból származó hulladékot, a nem közművel összegyűjtött háztartási szennyvizet, a szennyvízhálózatból és a szennyvízkezelő művekből származó hulladékot, így különösen a szennyvíziszapot, továbbá az elhasználódott járműveket, és az építési-bontási hulladékot.⁶

Összetétele és mennyisége erősen függ az életszínvontól és az életmódtól, ezen belül a fogyasztási szokásoktól. A jelenleg érvényben lévő Országos Hulladékgazdálkodási Terv a 2018-as évet alapul véve bemutatja a települési hulladékok összetételét, amelyet az 1. ábra szemléltet. Látható, hogy a biológiailag lebomló anyagoktól kezdve a műanyagokon át a fémekig kisebb-nagyobb mennyiségben a legtöbb anyag megtalálható benne. Jelen tanulmány tekintetében a biológiailag lebomló hulladékok mennyisége a legfontosabb, ugyanis elsősorban ezen anyagok anaerob bomlása eredményezi a metánkibocsátás jelentős részét.



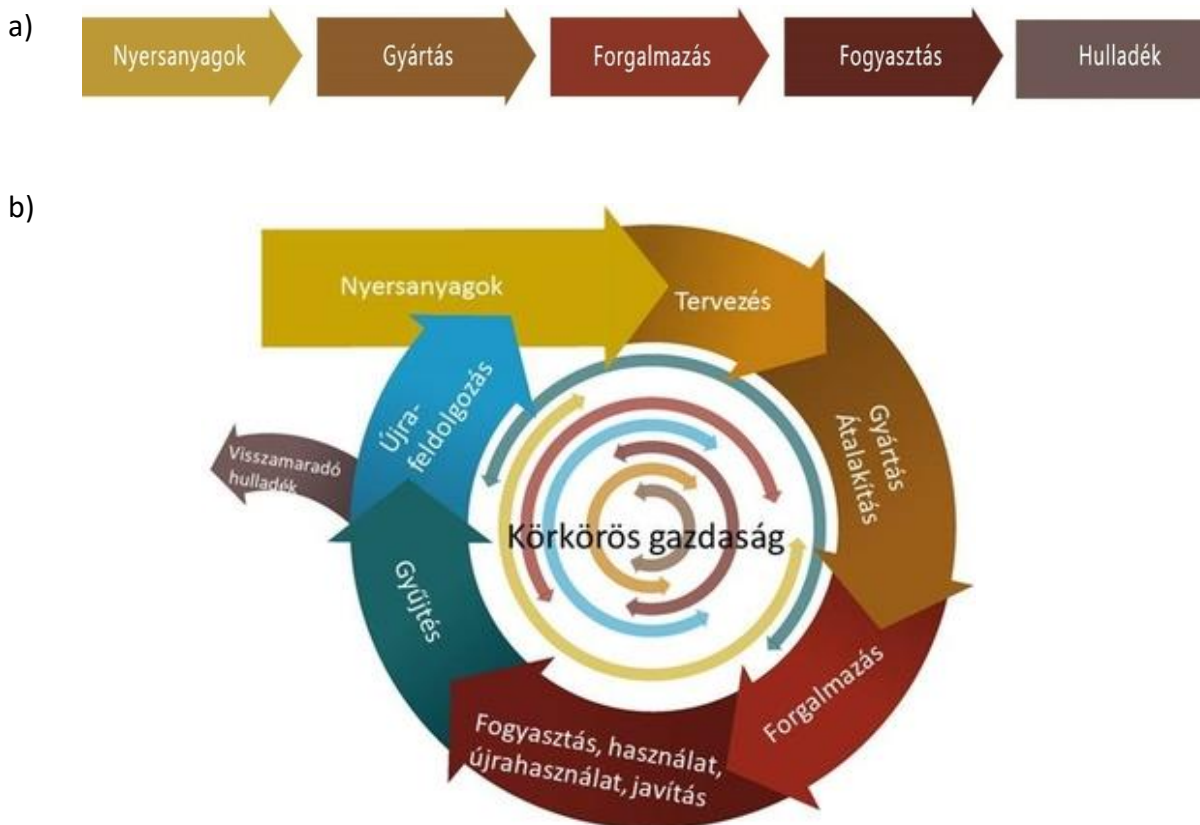
1. ábra. Vegyesen gyűjtött települési hulladék összetevők arányának megoszlása, 2018⁷

⁶ 2012. évi CLXXXV. törvény a hulladékról
<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1200185.tv>

⁷ Országos Hulladékgazdálkodási Terv 2021-2027. Innovációs és Technológiai Minisztérium, 2021.

Magyarország az európai uniós tagállamokhoz viszonyítva nem tartozik a jelentős hulladéktermelő államok közé. Az Eurostat adatai alapján hazánkban az egy főre jutó települési hulladék mennyisége 2021-ben 416 kg volt, amely ugyan nagyobb mennyiség, mint a megelőző évi érték (403 kg/fő), de még így is az uniós átlag alatti. Ez 2021-ben 530 kg/fő volt.⁸

Ennek ellenére a hulladék mennyiségének további csökkentése és a körforgásos gazdaságra való átállás fontos stratégiai kérdés. A körforgásos gazdaság irányába történő elmozdulás az elmúlt pár év egyik leghangsúlyosabb célkitűzése az Európai Unió környezetvédelmi és gazdaságpolitikájának.⁹ A körforgásos gazdaság modelljét a 2. ábra mutatja be, összehasonlítva a lineáris gazdasági modellel.



2. ábra. A lineáris (a) és a körforgásos (b) gazdaság közötti különbség¹⁰

⁸ Települési hulladékkezelés Magyarországon. Infojegyzet, Közgyűteményi és Közművelődési Igazgatóság, 2023.
https://www.parlament.hu/documents/10181/64399821/Infojegyzet_2023_17_telepulesi_hulladekkezeles.pdf/cc8cd12e-6c2e-57c8-6dc4-71c601fefe81?t=1684418475977

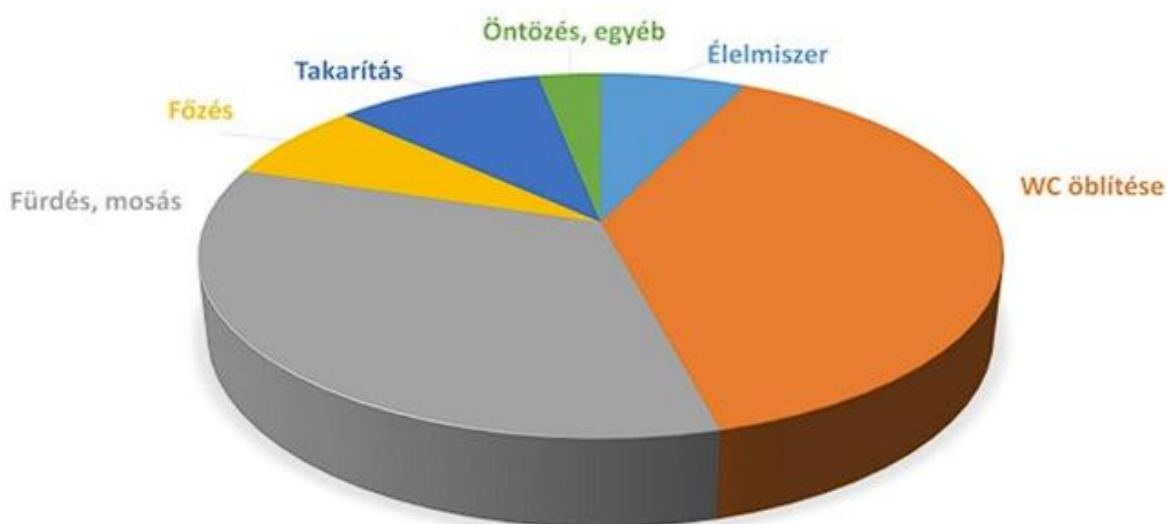
⁹ Úton a körkörös gazdaság felé: „zéró hulladék” program Európa számára. COM(2014) 398. Európai Bizottság, Brüsszel, 2014.
[https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/documents/com/com_com\(2014\)0398/_com_com\(2014\)0398_hu.pdf](https://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2014_2019/documents/com/com_com(2014)0398/_com_com(2014)0398_hu.pdf)

¹⁰ Lépések a körforgásos gazdaság felé. Hulladékgazdálkodók Országos Szövetsége. Agrárminisztérium, Zöld Forrás program, 2018.
https://www.hosz.org/korforgas?gclid=EAlaIqobChMI2umascfs_QIVg-R3Ch1NawkJEAAyASAAEgJt7_D_BwE

2.2. Települési folyékony hulladékok

Az emberek mindennapi élete nem csak szilárd hulladékok keletkezésével jár, hanem folyékony halmazállapotú hulladékok (szennyvizek) is keletkeznek. Szennyvizeknek tekinthető minden olyan víz, amit valamilyen jellegű szennyezés ért (biológiailag lebomló anyagok, egyéb szerves és szervetlen vegyületek, mikroorganizmusok stb.). Két nagy csoportja különíthető el, az ipari és a települési szennyvizek, melyek között egy jelentős különbség található. Az ipari szennyvizek általában olyan komponenseket tartalmaznak kiugró mértékben, amelyek veszélyesek a lebontó mikroorganizmusokra, emiatt nem vezethetők közvetlenül a települési (kommunális) szennyvíztisztítóba. Első lépésben a keletkezés helyén olyan mértékben kell megtisztítani ezeket, hogy bevezethetők legyenek a kommunális szennyvízhálózatba, vagy közvetlenül kiengedhetők legyenek egy befogadóba.

A kommunális szennyvízhálózatba kerülő szennyezett vizek eredete elsősorban a lakosság. A lakosság többféle anyaggal szennyezi a vizeket, ezek forrásait mutatja be a 3. ábra. Ennek alapján a települési szennyvíz nagyjából kétharmada a fürdésből, mosásból és wc öblítéséből származik. Ez utóbbi eredményezi a szennyvíz biológiai úton bontható szennyezések jelentős részét.

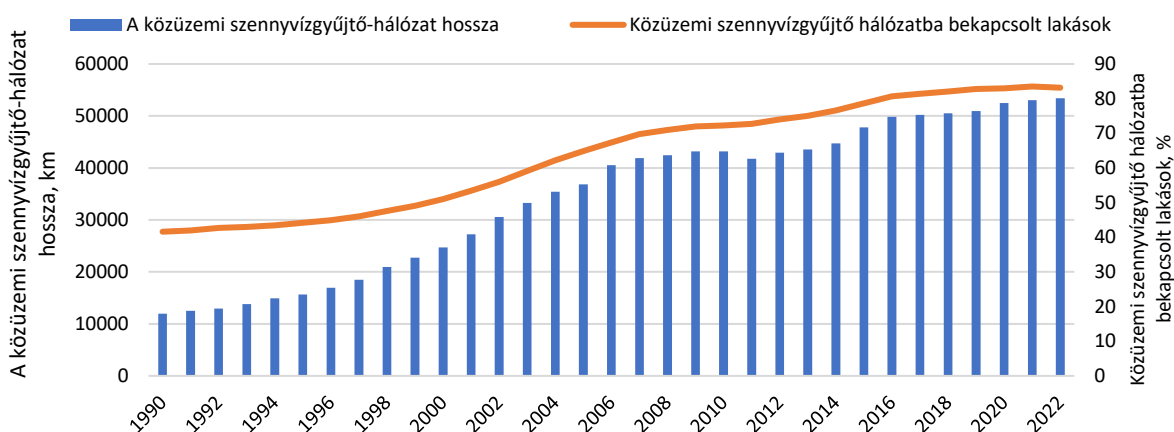


3. A háztartási szennyvizek hozzávetőleges összetétele ¹¹

Hazánkban mára a lakossági szennyvíz szinte teljes mennyiségében a szennyvízcsatornán keresztül gyűlik össze. A KSH adatai alapján¹² az országban keletkező kommunális szennyvízmennyiség 1%-át gyűjtötték a szennyvízhálózaton kívül 1997-ben, mely mennyiség évről évre csökken. A szennyvízgyűjtő hálózat méretét, és a szennyvízhálózatba bekapcsolt lakások arányát mutatja a 4. ábra. Mindkét ábrázolt adatsor esetén látható az évről évre történő növekedés.

¹¹ A szennyvíz keletkezése, összetétele, tisztításának fontossága. MIVÍZ Miskolci Vízmű Kft.
<https://miviz.hu/rolunk/szennyviz-es-csatornaszolgaltatas/szennyvitztisztito-telep-bemutatas/szennyviz-keletkezese>

¹² Települési szennyvízelvezetés és -tisztítás, Központi Statisztikai Hivatal.
https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0023.html



4. ábra. A hazai szennyvízgyűjtő hálózat hosszának változása és a rendszerbe bekapcsolt lakások aránya¹³

3. Hulladékok kezelése és hasznosítása

Mind a szilárd, mind a folyékony települési hulladékok kezelése során keletkeznek olyan anyagok, amelyek további felhasználásra alkalmasak, a következő alfejezetekben ezek bemutatása kerül a középpontba.

3.1. Települési szilárd hulladékok hasznosítása

A hulladékokról szóló 1999/31/EK irányelv¹⁴ módosításának értelmében maximum 10%-os települési hulladék lerakási arányt kell teljesíteni 2035-re. Ennek oka, hogy napjainkban a lerakásra szánt hulladék számos, további hasznosításra alkalmas anyagokat tartalmaz, melyeket el kell távolítani és hasznosítani szükséges.

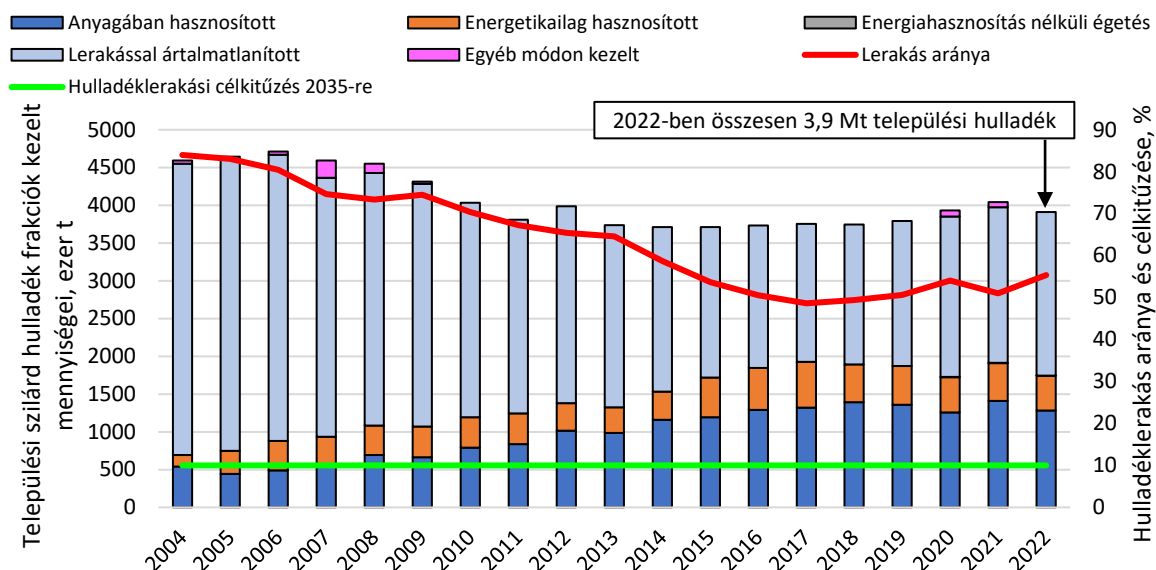
Az elmúlt évtizedben Magyarországra jellemző adatokat mutat be az 5. ábra, melyen látható ugyan az egyre kisebb mértékű hulladéklerakás, de hazánk a kitűzött, 10%-os célértéktől messze elmarad. Mindemellett, ha megfigyeljük a 2013 és 2022 közötti időszakot, megállapítható, hogy 2017-ig csökkenés volt tapasztalható a hulladék összmenyiségének tekintetében, azóta ezt a tendenciát kismértékű növekedés jellemzi. A hulladék hasznosítási formáinak tekintetében megfigyelhető továbbá az anyagában történő hasznosítás növekvő aránya 2018-ig, melyet egy stagnáló tendencia követ. Az égetés aránya lassú növekedést mutat 2015-ig, attól kezdve az így hasznosított hulladék mennyiség 450-600 ezer t közötti tartományban mozog.

¹³ Közzemű szennyvízgyűjtő hálózattal rendelkező települések és bekapcsolt lakások, Központi Statisztikai Hivatal.

https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0042.html

¹⁴ A Tanács 1999/31/EK irányelve (1999. április 26.) a hulladéklerakókról. Az Európai Unió Hivatalos Lapja, 15/4. 228-246.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:31999L0031>



5. ábra. Települési szilárd hulladékok mennyisége kezelési módok szerint, kiegészítve a lerakási arányokkal ¹⁵

Az 5. ábrán a kommunális hulladék ötféle különböző kezelési módja van feltüntetve, melyek az anyagában történő hasznosítás, égetéssel történő ártalmatlanítás energetikai hasznosítással, illetve enélkül, lerakással történő ártalmatlanítás, illetve egyéb kezelési módok.

A hulladékok égetése során csökken annak térfogata és közegészségügyi veszélyessége, az égetéssel nem eltávolítható anyagokat (pl. nehézfémek) koncentrálnak, emellett lehetőség van energiatermelésre a hulladék kémiai úton kötött energiataralmát felszabadítva. További potenciált rejt magában az égetés során visszamaradt hamu és a füstgázból leválasztható pernye értékes anyagainak visszanyerése is. Emellett meg kell említeni hátrányként az égetés során felszabaduló légszennyező anyagok leválasztásának szükségességét (a hulladékok égetése az egyik legszigorúbb emissziós határértékekkel rendelkező ipari tevékenység), illetve azt, hogy az égetéssel ártalmatlanított hulladék kikerül a természetes anyag-körforgásból.

Az anyagában történő hasznosítással két jelentős hatást lehet elérni. Egyrészt ezáltal csökkenthető az égetésre vagy lerakásra kerülő hulladékok mennyisége, másrészt pedig csökkenthető a primer nyersanyagok kitermelése, felhasználása, így a környezet terhelése is. A felhasznált hulladékokból az ipar számára hasznos alapanyagok, úgynevezett másodlagos nyersanyagok állíthatók elő, amik ki tudják váltani az elsődleges nyersanyagok jelentős mennyiségét. A másodlagos nyersanyagok felhasználásával jelentős mértékű energia is megtakarítható azáltal, hogy nem a természetből (pl. bányászat útján) kell kinyerni a primer nyersanyagokat.

Az anyagában történő hasznosítást segíti elő a szelektív hulladékgyűjtés, illetve a hulladékválogató művek üzemeltetése, ahol a hulladékot jól beazonosítható anyagokra/frakciókra válogatják szét, és ezek feldolgozásával célirányosan nyerik ki azokat az anyagokat, amelyeket új termékek előállításához használnak fel.

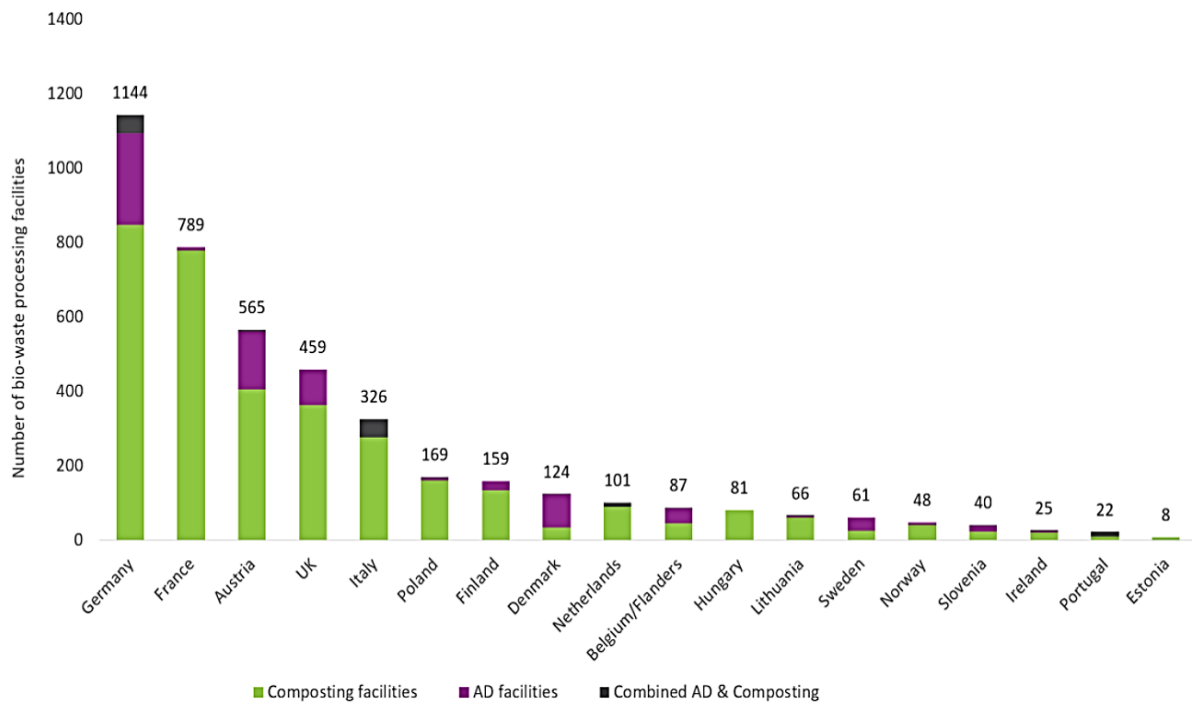
Az anyagában történő hasznosítás témakörébe tartozik a biológiailag bontható frakció komposztálása. Ennek során különböző mikroorganizmusok élettevékenysége során lezajló biológiai oxidációnak, illetve

¹⁵ Az egyes hulladékfajták mennyisége a kezelés módja szerint, Központi Statisztikai Hivatal.
https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0029.html

a földben lakó élőlények tevékenységének következtében a szerves anyag jelentős részben humuszszerű anyaggá alakul, valamint szervesetlen ásványi anyag keletkezik. A komposztáláshoz megfelelő oxigénellátottság szükséges, melynek megléte mellett az alapanyag karbontartalma részben szén-dioxid formájában távozik, viszont a nem megfelelően végzett komposztálás során kialakulhatnak anaerob részek is az összegyűjtött anyaghalmozban, ami metánkibocsátást eredményezhet a komposztálás során is.

Ahogy a 6. ábra is mutatja, az EU országokban szamon tartott komposztáló telepek mennyisége jelentős, csak Németországban meghaladja számuk a 800-at. A hazai komposztálás kapcsán az Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet készített egy komposzt térképet, amelyet a 7. ábra tartalmaz. Ez azokat a komposztáló telepeket mutatja be, ahol csakis lakossági és települési gyűjtésből, esetleg növényi termékek feldolgozásából származó anyagokból készülő komposztot állítanak elő. Ezen 33 telep szerepel a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal (NÉBIH) nyilvántartásában is, mint forgalomba hozatali engedéllyel rendelkező telepek. Az itt előállított komposzt a biokertészetekben használható. ¹⁶

Ezek mellett szót kell ejteni a hulladék *lerakással történő ártalmatlanításával* kapcsolatban. Ez ugyan nem hasznosítási lehetőség, de energiahordozóként hasznosítható gáz (depóniagáz) termelődik a hulladék bomlása során. Ennek a gáznak jelentős része metán és szén-dioxid, ezért amellett, hogy gazdasági megfontolásból gázkezelő és -hasznosító rendszerrel kell ellátni a hulladék depóniát, ez környezetvédelmi szempontból is jelentős (üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése).



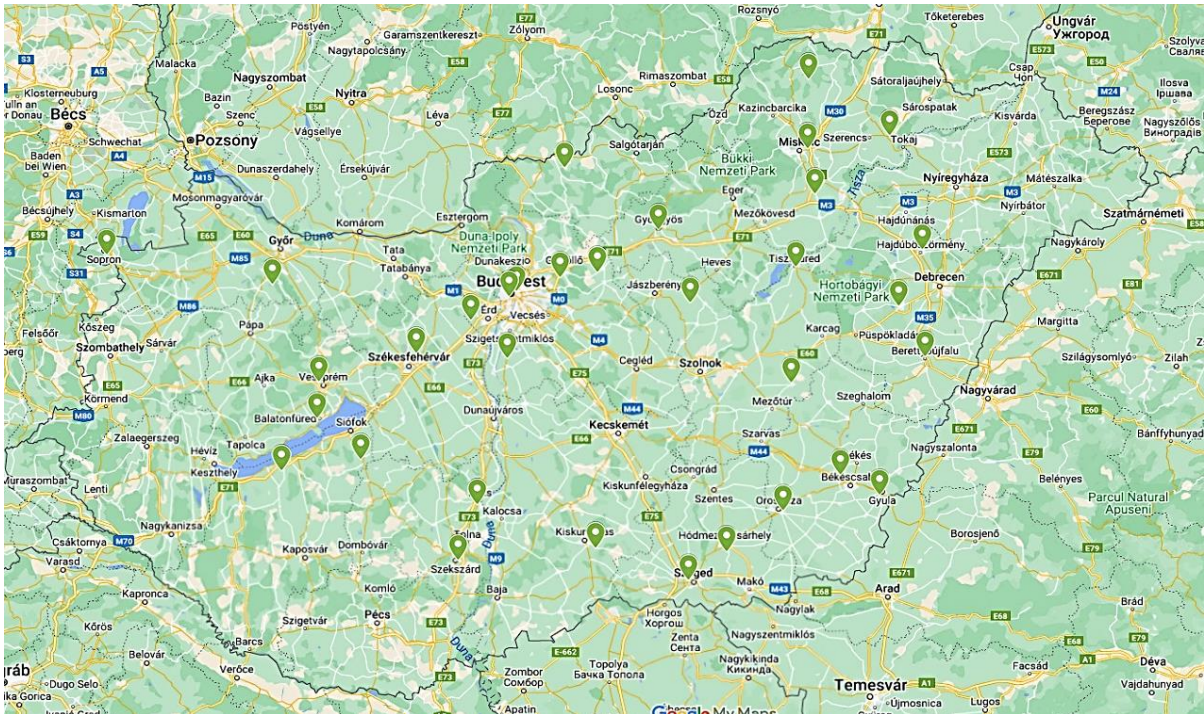
6. ábra. Biohulladék-feldolgozó üzemek az EU-ban¹⁷

¹⁶ Komposzt térkép. ÖMKi – Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet.

<https://biokutatas.hu/tudastar/komposzt-terkep/>

¹⁷ S. Siebert et al.: Compost production in Europe. European Compost Network.

https://www.compostnetwork.info/wordpress/wp-content/uploads/190823_ECN-Compost-Production-in-Europe_final_layout-ECN.pdf



7. ábra „Komposzt térkép” (jobbra) a NÉBIH nyilvántartásban szereplő, forgalomba hozatali engedéllyel rendelkező telepekkel¹⁸

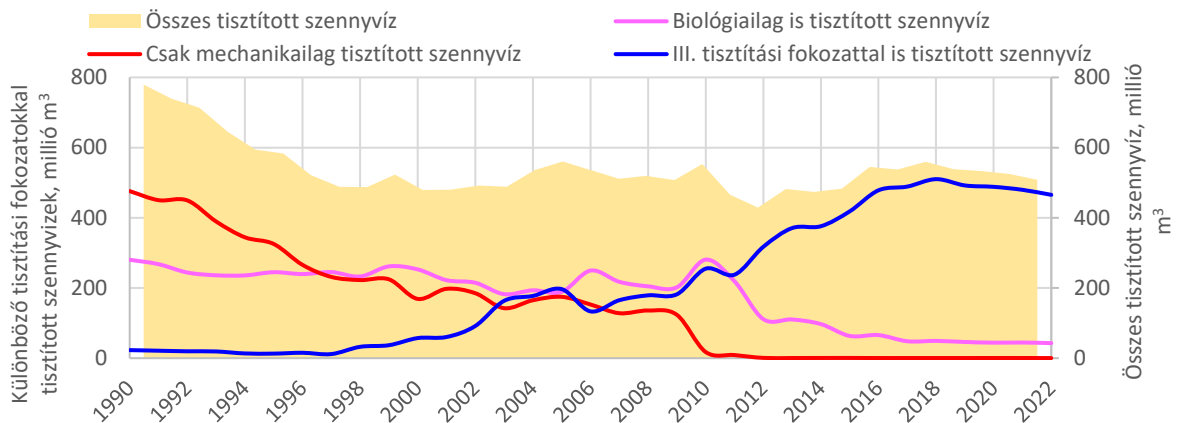
3.2. Települési folyékony hulladékok

Ahogy arról már korábban szó esett, Magyarországon a települési folyékony hulladékok szinte teljes mértékben a csatornahálózatban gyűlnek össze, ahonnan egy szennyvíztisztító telepre kerülnek. Itt a szennyezőanyag tartalmat olyan mértékűre csökkentik, hogy a befogadóban az már ne tudjon problémát okozni, a természet el tudja végezni a további folyamatokat. Ennek megfelelően kerültek meghatározásra azok a paraméterek és határértékek, amelyek a 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendeletben¹⁹ is ismertetésre kerülnek. Ezeket a határértékeket tartani kell a tisztított szennyvíz befogadóba történő bocsátása előtti ponton. Jelen korunk környezetvédelmi elvárásainak megfelelően ezt általában csak három fokozatú szennyvíztisztítók alkalmazásával lehet kivitelezni. Az 1. tisztítási fokozat a mechanikai tisztítás, melynek során először rácsok szűrik ki a nagyobb méretű szilárd anyagokat, majd ezután eltávolítják a homokoszerű szennyeződések és a zsíradékokat. A 2. fokozat a biológiai tisztítás. Ennek során a természetben is előforduló aerob mikroorganizmusok segítségével eltávolíthatók a szennyvízből a szerves anyagok. A 3. fokozatban kerül sor a foszfor- és nitrogénvegyületek eltávolítására. A vízben ekkor még jelenlévő növényi tápanyagok eltávolítását célozza az anaerob környezetben élő baktériumok közössége. Ha a szennyezés mértéke nagyobb, mint amit a mikroorganizmusok el tudnak távolítani, ebben a fokozatban vegyszerekkel lehet segíteni a folyamatot. A tisztított szennyvíz kibocsátása előtt általában szükség van egy fertőtlenítési fázisra is, melynek célja a fennmaradó fertőzésveszély megszüntetése. Ahogy azt a 8. ábra is mutatja, hazánkban évről évre növekszik a három fokozatú tisztítóban kezelt szennyvizek mennyisége. 2022-re a csak mechanikai

¹⁸ <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1V6P25vCWx04Tix6QqBngXWq-I36zkM&femb=1&ll=47.354159509792986%2C20.27065962968749&z=8>

¹⁹ 28/2004. (XII. 25.) KvVM rendelet a vízszennyező anyagok kibocsátásaira vonatkozó határértékekről és alkalmazásuk egyes szabályairól

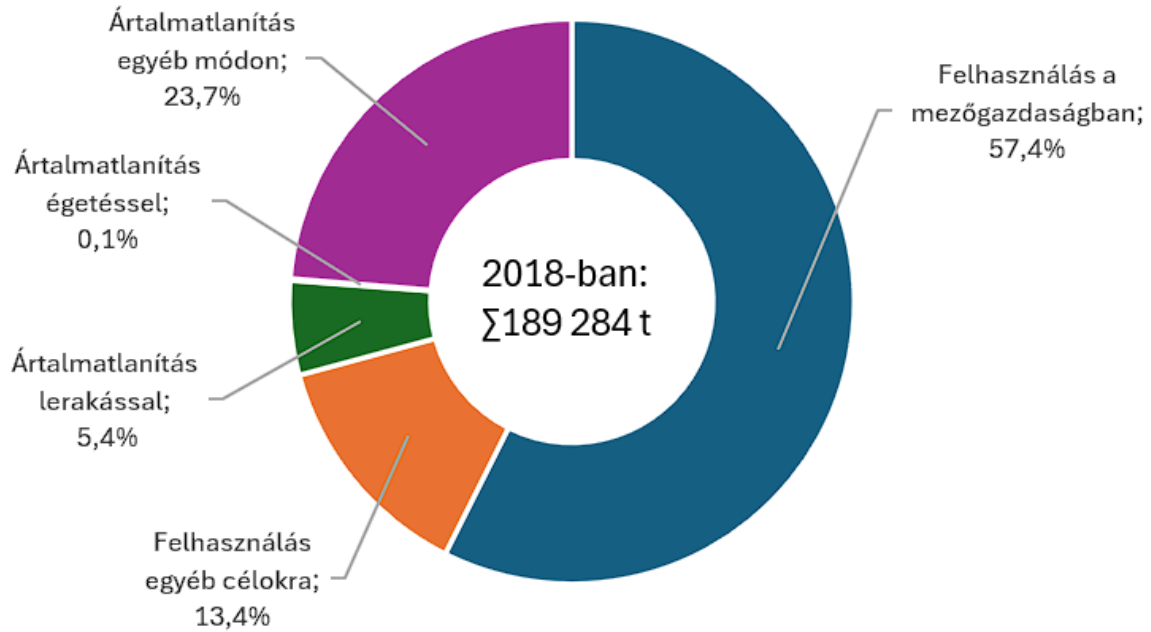
tisztításon átesett és a befogadóba bocsátott vizek a teljes mennyiség 0,1%-át adják, a háromfokozatú tisztítás aránya nagyobb, mint 91%, a szennyvizek maradékát pedig kétfokozatú tisztítóban kezelik.



8. ábra. Egy-, két- és háromfokozatú tisztítással kezelt szennyvizek mennyisége a KSH adatai alapján²⁰

A tisztítási folyamat során a mikroorganizmusok a szennyező anyagok lebontásából nyerik az energiát a szaporodáshoz, illetve a lebontási folyamatokból származó molekulákat magukba építik, ez biztosítja az anyagot a reprodukcióhoz. Ezáltal a mikroorganizmusok tömege egyre növekszik, így azt (mint szennyvíziszap) bizonyos helyeken el kell távolítani a rendszerből. A keletkező szennyvíziszap hasznosítására több lehetőség is kínálkozik. Ilyen lehetőség például a komposztálás. A folyamatban keletkező komposzt ezt követően szigorú feltételek mellett, bizonyos növények esetén mezőgazdasági kihelyezésre alkalmas lehet. További környezetbarát (és gazdasági szempontból is előnyös) megoldás a szennyvíziszap rothasztásával történő biogáz előállítás. Ezt általában gázmotorban égetik el, ezáltal kapcsoltan hő- és villamosenergia termelhető. A termelt hő sok esetben elegendő a biogáz előállításához használt fermentorok hőigényének biztosítására, a termelt villamos energia pedig általában elegendő a rendszer üzemeltetéséhez, esetlegesen tovább adható egy része az országos villamosenergia hálózatba. A szennyvíziszap energiatartalmának kinyerése megvalósítható közvetlenül égetéssel is, de ennek részaránya minimális (<1%). Az energetikai hasznosítás előtt az iszapot kezelik (pl. komposztálják), majd ezt követően történik annak égetése. A szennyvíziszapok kezeléseinek megoszlásáról a 9. ábra ad tájékoztatást a 2018-as évet alapul véve.

²⁰ Települési szennyvíztisztítás. Központi Statisztikai Hivatal.
https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0027.html

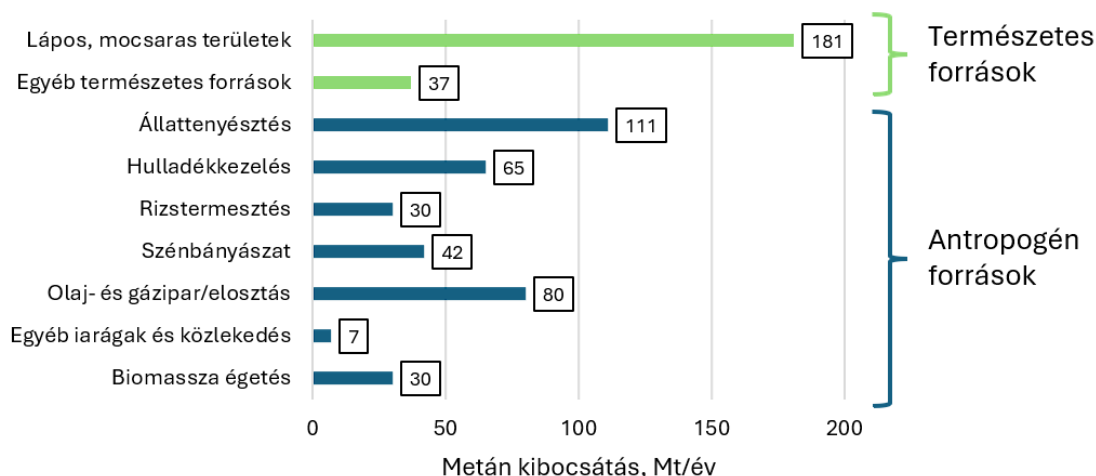


9. ábra. Szennyvíziszapok kezelésének megoszlása Magyarországon²¹

4. A metánkibocsátás becslése

A légkörbe kerülő metán legnagyobb forrása a szerves anyagok anaerob bomlása. Ez a természetben spontán módon is megvalósul, viszont ezen folyamat számos emberi tevékenységhez is köthető, kiegészülve így további kibocsátókkal. Ahogyan a 10. ábrán is látható, az antropogén területekről származó metánemisszió globális szinten nagyobb méreteket ölt, mint a természetből származó metánemisszió, a kettő együtt pedig már meghaladja a környezetünk metánelnyelő képességét, melynek következtében az emberi tevékenység ezen tekintetben is hozzájárul a globális felmelegedéshez. Ha pedig az ábrán az emberi tevékenységből származó kibocsátásokat hasonlítjuk össze, a hulladékkezelés az antropogén kibocsátók között a harmadik helyet foglalja el. Ezen terület közelebbi vizsgálata képezi jelen tanulmány központi témáját.

²¹ Freshwater information system for Europe – Hungary.
<https://water.europa.eu/freshwater/countries/uwwt/hungary>



10. ábra. A légkörbe kerülő metán globális mennyisége átlagosan a 2008-2017 időszak alapján²²

Magyarország az ENSZ Éghajlatváltozási Keretegyezmény (United Nations Framework Convention on Climate Change – UNFCCC), illetve az országhatáron áterjedő légszennyezésről szóló Genfi egyezmény részeként évről évre elkészíti az üvegházhatású gázok és a légszennyező anyagok kibocsátási leltárát. Az üvegházhatású gázok leltárát (ÜHG leltár) az Éghajlatváltozási Kormányközi Testület (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) által kidolgozott módszertan alkalmazásával kell elkészíteni²³, az eredményeket tartalmazó jelentést pedig be kell nyújtani az Európai Unió és az ENSZ számára.

Az ÜHG leltárt a környezetvédelemért felelős miniszter megbízása alapján az Országos Meteorológiai Szolgálat állítja (állította) össze. Ebben a munkában külső szakértők és intézmények is részt vesznek, ezek a Központi Statisztikai Hivatal, a Magyar Energetikai és Közmű-szabályozási Hivatal. A Nemzeti Földügyi Központ (Erdészeti Főosztálya), a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ Erdészeti Tudományos Intézete és a Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal, melyek közreműködését a leltár földhasználati részének összeállításában kormányrendelet írja elő.²⁴

2024-től a HungaroMet Magyar Meteorológiai Szolgáltató Nonprofit Zrt. látja el az Országos Meteorológiai Szolgálat korábbi feladatait, melyek közé tartozik többek között a meteorológiai adatgyűjtés és elemzés, valamint a klímaváltozással kapcsolatos kutatásokat elvégzése, és nemzetközi meteorológiai szervezetekkel történő együttműködés is. Ennek keretein belül történik az üvegházhatású gázok leltárának összeállítása is.

Ahogy az korábban említésre került, az üvegházhatású gázok hatását a GWP értékükkel lehet jellemezni. Ha ezt az értéket szorozzuk az adott komponens kibocsátott tömegével, megkapjuk az adott gáz CO₂ egyenértékét. Segítségével meghatározható az adott évben kibocsátott üvegházhatású gázok

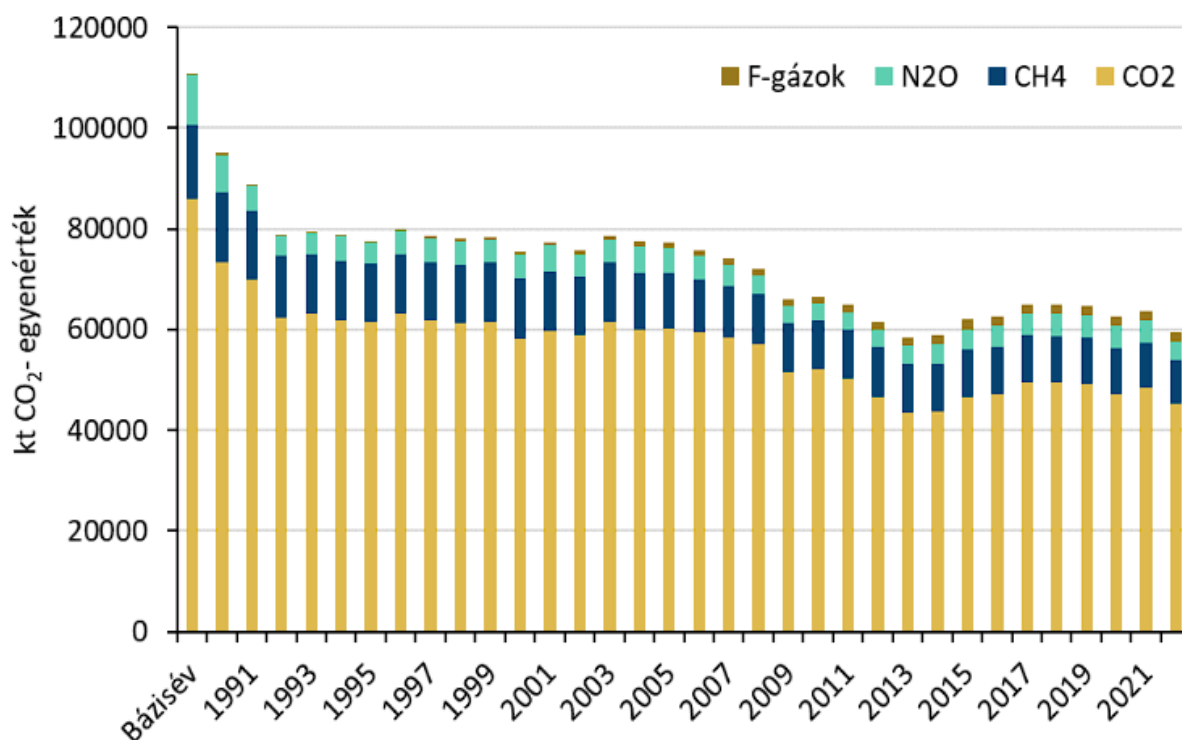
²² Haszpra L.: Metán a légkörben: kockázatok és lehetőségek. Légkör (2022) 67/2. pp. 70-76.
<https://doi.org/10.56474/legkor.2022.2.1>

²³ jelen tanulmány szempontjából a következő dokumentumok relevánsak:
 - CH₄ emissions from solid waste disposal: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/5_1_CH4_Solid_Waste.pdf
 - CH₄ and N₂O emissions from waste water handling: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/5_2_CH4_N2O_Waste_Water.pdf

²⁴ Kibocsátás - Hulladék. HungaroMet.
<https://legszenyyezettseg.met.hu/kibocsatas>

légkörre gyakorolt felmelegítő hatása.²⁵ A következőkben a HungaroMet oldalán keresztül is elérhető²⁶, az ENSZ és EU számára 2024-ben benyújtott, 1985-2022 időszakot lefedő dokumentumban²⁷ fellelhető diagramok kiértékelésére kerül sor. (A diagramok magyar nyelvű változatai a hivatkozott honlapokon elérhetőek.)

Magyarország tekintetében az üvegházhatású gázok kibocsátásának évenkénti alakulását, és a legjelentősebb üvegházhatású komponensek kibocsátó szektorok közötti megoszlását ismerteti a 11. ábra.



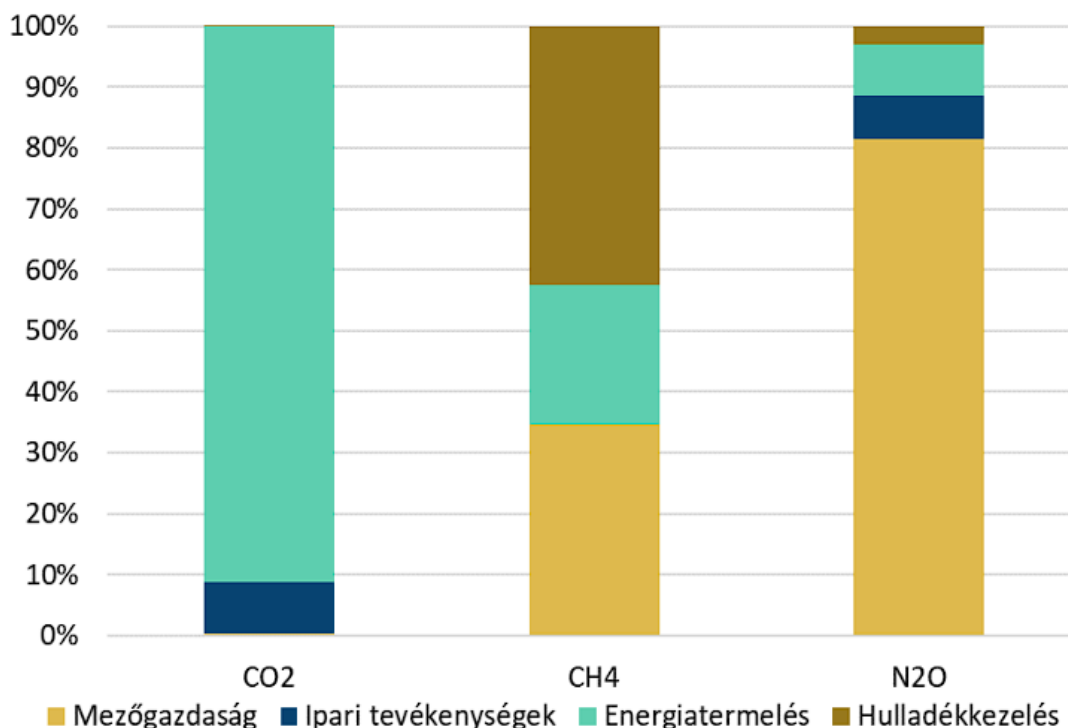
11. ábra. Az üvegházhatású gázok kibocsátásának alakulása²⁸

²⁵ Üvegházhatású gázok - Hulladék. HungaroMet.
<https://legszenyezettseg.met.hu/kibocsatas/trendek/ueveghazhatasu-gazok>

²⁶ Hivatalos jelentések - Hulladék. HungaroMet.
<https://legszenyezettseg.met.hu/kibocsatas/hivatalos-jelentesek>

²⁷ National Inventory Report for 1985-2021 - Hungary. 2023.
https://legszenyezettseg.met.hu/storage/media/kibocsatas-oldalak/Angol_hiv/NIR_2023.pdf

²⁸ Ágazati kibocsátások - Hulladék. HungaroMet.
<https://legszenyezettseg.met.hu/kibocsatas/agazati-kibocsatasok>



12. ábra. A legjelentősebb üvegházhatású gázkomponensek kibocsátó szektorok közötti megoszlása 2022-ben²⁹ (jobbra)

Ahogy az a 12. ábra is mutatja, hazánkban, CO₂ egyenértékben kifejezve, az üvegházhatású gázok mennyisége az elmúlt 20 évben évről évre lassú csökkenést mutat. A metán részarányát megfigyelve látható, hogy bár lényegesen elmarad a mennyisége a szén-dioxidhoz képest, a további három komponens között ennek van a legnagyobb jelentősége. Emellett a metánkibocsátás szektorok közötti megoszlása azt mutatja, hogy a hulladékkezelés felelős a metánkibocsátás több, mint 40%-áért. A HungaroMet leírása alapján a hulladékkezelés témakörébe beletartozik a szilárd hulladék lerakása, a hulladék biológiai (komposztálás és biogázüzemekben történő) kezelése, a (szennyvíztisztító telepen történő) szennyvízkezelés és az energiahasznosítás nélküli hulladékégetés is³⁰. Ugyanakkor megállapításaik szerint ez utóbbi három részaránya 2021-ben, hasonlóan a megelőző pár évhez, kevesebb mint 15% volt, így ezen légszennyező emissziók nem tekinthetők jelentősnek³¹.

4.1. A hulladékszektor kibocsátása

Az üvegházhatású gázok kibocsátási leltárának hulladékszektorában az alábbi kibocsátásokat számolják el:

²⁹ Üvegházhatású gázok - Hulladék. HungaroMet.
<https://legszenyezettseg.met.hu/kibocsatas/trendek/uveghazhatasu-gazok>

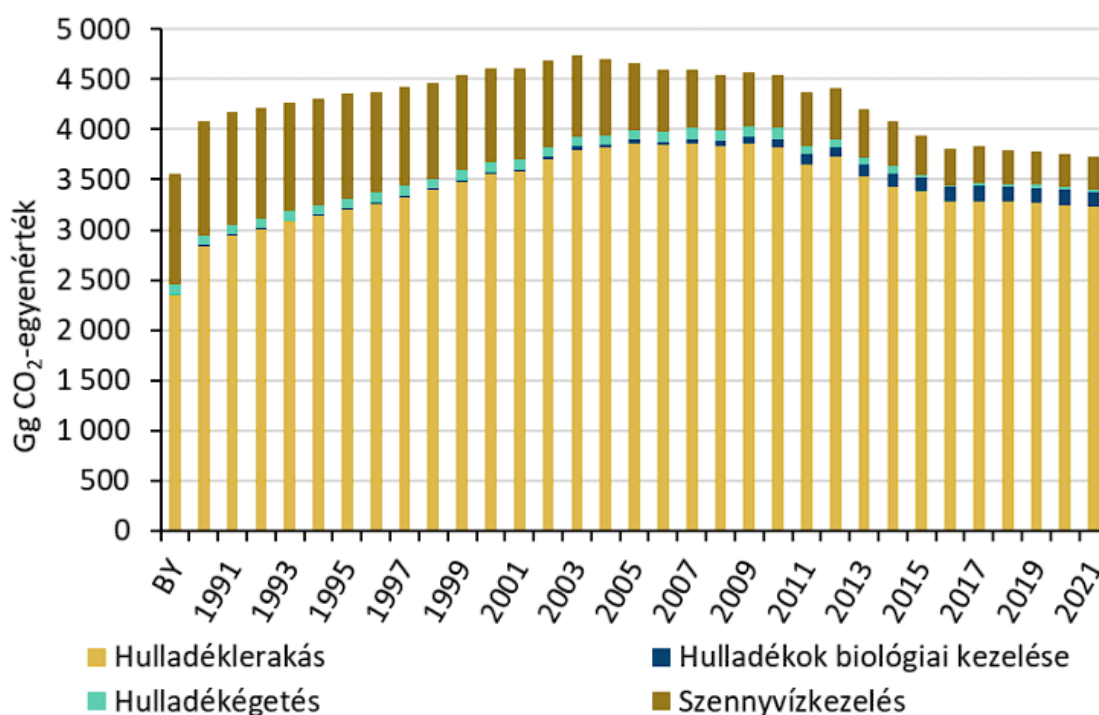
³⁰ Ágazati kibocsátások. HungaroMet.
<https://legszenyezettseg.met.hu/kibocsatas/agazati-kibocsatasok>

³¹ Légszennyezők - Hulladék. HungaroMet.
<https://legszenyezettseg.met.hu/kibocsatas/agazati-kibocsatasok/hulladek>

- a hulladéklerakás során keletkező metánkibocsátásokat,
- a hulladék biológiai kezelése (komposztálás, anaerob lebontás biogáz üzemekben) során keletkező metán és dinitrogén-oxid-kibocsátásokat,
- a hulladékégetésből származó metán és dinitrogén-oxid-kibocsátásokat, valamint
- a lakossági és ipari szennyvizek tisztítása során keletkezett metán és dinitrogén-oxid-kibocsátásokat.

(A hulladékszektor jellemzője, hogy a keletkező szén-dioxid-kibocsátások legnagyobb része biológiai eredetű, emiatt annak elszámolása a földhasználati és erdészeti szektorban történik, bizonyos esetekben pedig a keletkező szén-dioxidot nem kell elszámolni a kibocsátási leltár szabályai értelmében.)

A 2021-es évet alapul véve a hulladékszektor szén-dioxid egyenértékben kifejezett kibocsátásai a teljes nemzeti kibocsátások (több, mint 60 Mt CO₂ egyenérték) 6%-át tették ki. A hulladékszektor legjelentősebb kategóriája a hulladéklerakás (13. ábra), amely a szektor kibocsátásainak 86%-át tette ki 2021-ben. Ezt követi a szennyvízkezelés 9%-os részaránnyal, majd a hulladékok biológiai kezelése (4%), és az energiahasznosítás nélküli hulladékégetés (1%). A hulladékszektor kibocsátásai valamivel magasabbak napjainkban, mint a bázisévben (1990), viszont látható, hogy a bázisévet követően növekedés volt a jellemző, majd 2005-től csökkenés tapasztalható (2017-től lassuló ütemben). A hulladékszektor kibocsátásainak alakulását szemlélteti a 13. ábra.



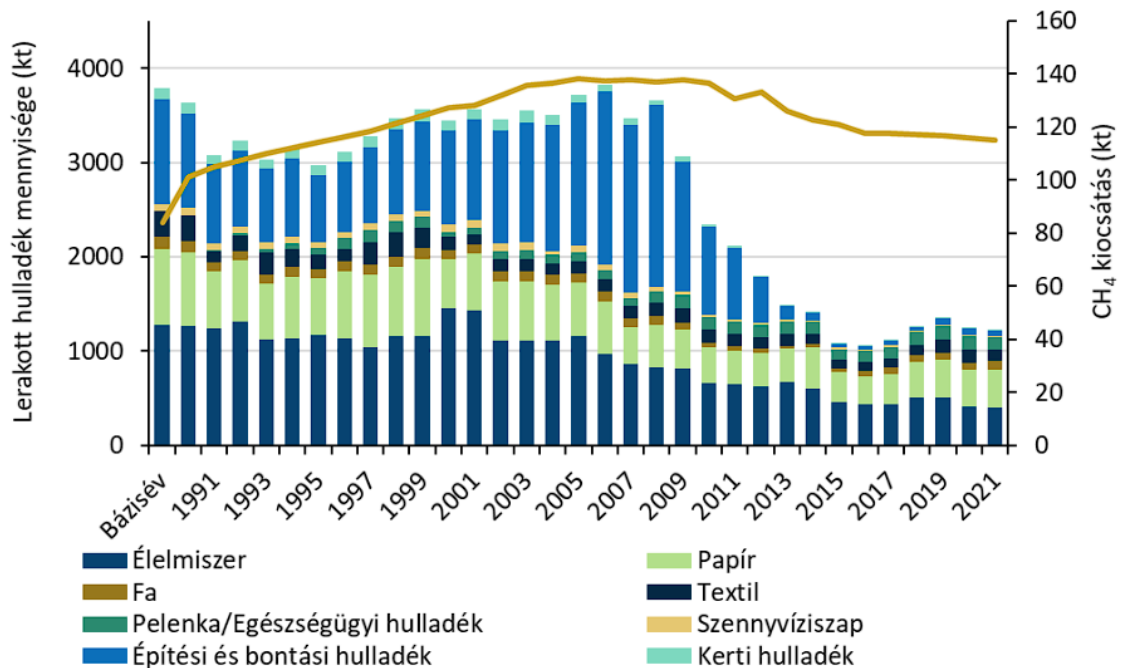
13. ábra. A hulladékszektor kibocsátásai CO₂ egyenértékben³²

A hulladéklerakókon végbemenő lebomlási folyamatok meglehetősen lassúak, emiatt az évekkel ezelőtt lerakott hulladék mennyisége és összetétele a jelenlegi emisszió szintjére jelentős befolyással van. Ahogyan a 13. ábra is mutatja, 2006-tól kezdődően a lerakott hulladék mennyisége jelentősen csökken.

³² Légszennyezők - Hulladék. HungaroMet.

<https://legszenyezettseg.met.hu/kibocsatas/agazati-kibocsatasok/hulladek>

nagyrészt annak köszönhető, hogy az építési és bontási hulladékok lerakása néhány éven belül szinte teljesen megszűnt. A lerakóba kerülő élelmiszer mennyisége is csökkenésnek indult ezen években, mely csökkenés azóta is tart. Ez a hulladéktípus jelentős forrása a metánemisszióknak. A kerti hulladék lerakás teljesen megszűnt, ami szintén kedvez a metánemisszió csökkenésének, a fa, papír, pelenka/egészségügyi hulladék mennyiség viszont évről évre közel állandó. Mivel a lebomlási folyamat időigényes, a biológiailag bontható anyagok mennyiségének csökkenése után még évekig változatlan (vagy növekvő) metánemisszió várható. Ez látható a 14. ábra metángörbéjén is. Az élelmiszer és kerti hulladék mennyiségének csökkenése után csak évekkel később, 2012 környékétől mutat csökkenést a metánemissziós görbe.



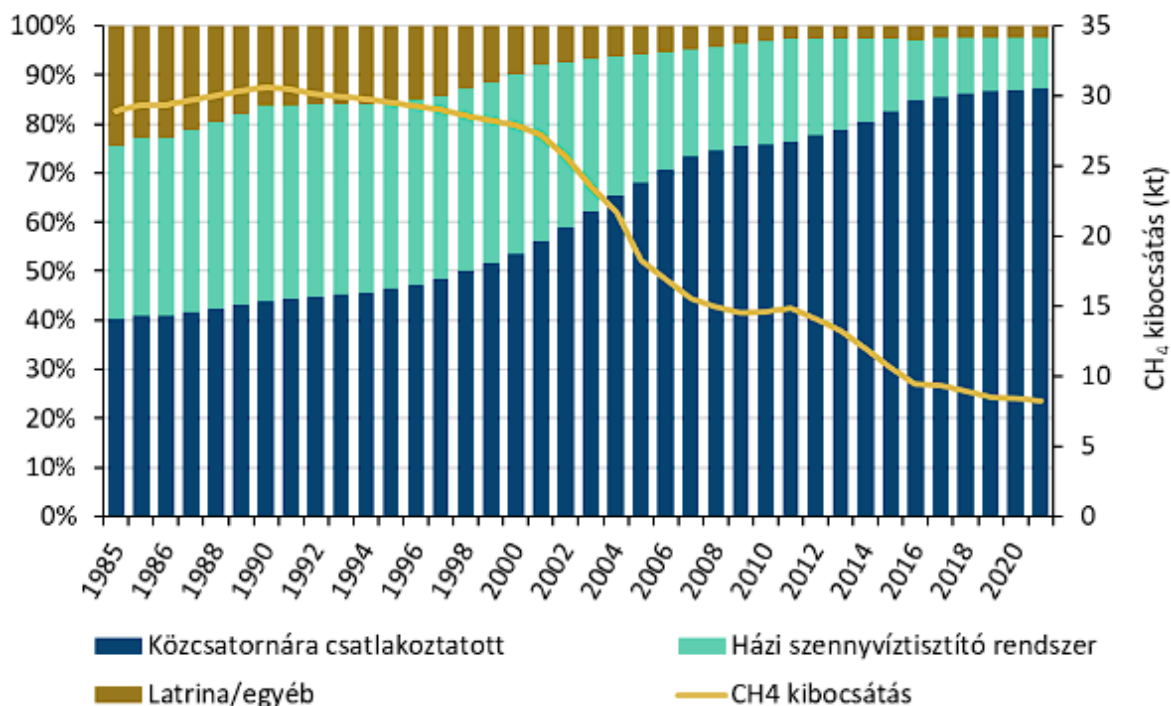
14. ábra. A hulladéklerakásból származó metánkibocsátás alakulása ³³

Az egyre nagyobb mértékű csatornázottság előnyösen befolyásolja a szennyvízkezelésből származó metánemissziót (15. ábra). A tisztító telepeken történő kezelés számottevően kisebb metánemisszióval jár, mintha a szennyvizekben a keletkezési helyükön, vagy összegyűjtve valahol természetes körülmények között spontán zajlanának le a bomlási folyamatok.

Meg kell jegyezni továbbá, hogy a Nemzeti leltárnak megfelelően a HungaroMet megállapításai szerint „a hulladék biológiai kezeléséből és a szennyvízkezelésből származó légszennyező emissziók nem jelentősek.”³⁴

³³ Légszennyezők - Hulladék. HungaroMet.
<https://legszenyezettseg.met.hu/kibocsatas/agazati-kibocsatasok/hulladek>

³⁴ Légszennyezők - Hulladék. HungaroMet.
<https://legszenyezettseg.met.hu/kibocsatas/agazati-kibocsatasok/hulladek>



15. ábra. A szennyvízkezelésből származó metánkibocsátás és a csatornázottság alakulása ³⁵

4.2. A szennyvíztisztításhoz köthető további lehetséges emisszióforrások

A Global Methane Initiative gondozásában készült egy átfogó dokumentum a szennyvíztisztítás metánkibocsátásával kapcsolatban³⁶. A dokumentum tartalmaz egy áttekintő ábrát (16. ábra) egy korszerű szennyvíztisztító egyes lépcsőinek metánkibocsátásával kapcsolatban. Az ábrán zöld színnel jelölték a metánemisszió mértékét, a sötétebb szín nagyobb kibocsátást jelent. Ahogyan az megfigyelhető, a szennyvíz gyűjtő rendszer és a primer iszap eltávolítás, a biológiai tisztítási fokozat egy része, a szennyvíziszap rothasztás és a szennyvíziszap lerakással történő ártalmatlanítása van nagyobb metánforrásként megjelölve.

Megbízói kérésre ezen dokumentum a továbbiakban csak a szennyvízhez köthető metánemisszióval foglalkozik.

³⁵ Légszennyezők - Hulladék. HungaroMet.

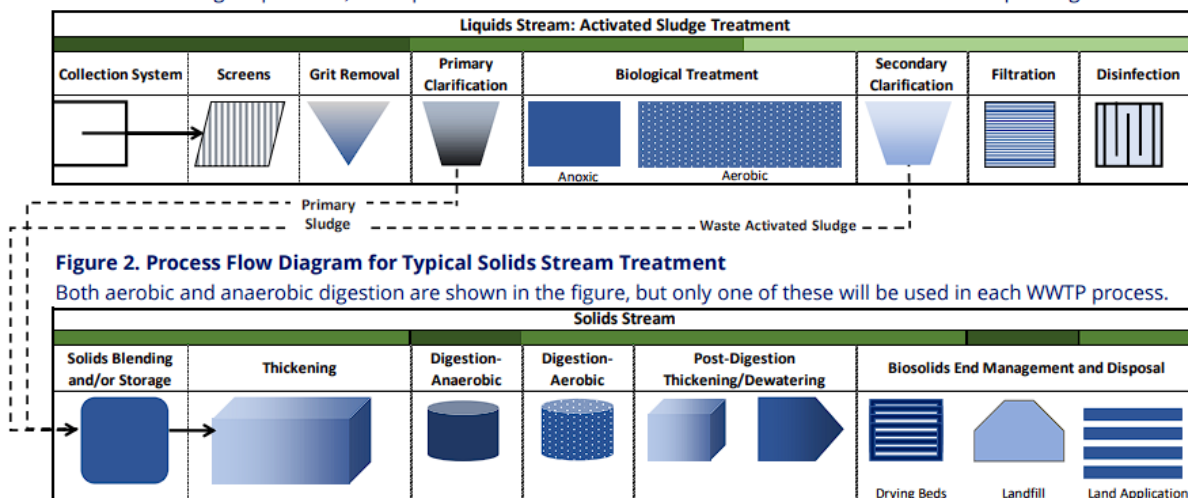
<https://legszenyezettseg.met.hu/kibocsatas/agazati-kibocsatasok/hulladek>

³⁶ Methane Mitigation from Municipal Wastewater Treatment Plants. Global methane Initiative – Biogas Sector. 2023.

<https://www.globalmethane.org/documents/gmi-wastewater-factsheet.pdf>

Figure 1. Process Flow Diagram for Typical Activated Sludge Liquids Stream Treatment

The potential for methane generation and emission is indicated by the color bars above each process step (darker green colors indicate higher potential). This qualitative emissions scale is used across this fact sheet's subsequent figures.



16. ábra. Szennyvízkezelési lépcsők metánkibocsátásainak összehasonlítása³⁷

4.3. A szennyvízhálózat metánkibocsátása

Ahogy már ismertetésre került, hazánkban a szennyvízhálózat évről évre növekszik. A szennyvízhálózatban órákat, extrém esetekben napokat is eltölthet a szennyvíz, míg eléri a tisztító telepet, így ennek során elkezdődhetnek a lebomlási folyamatok. Ahogy azt a 17. ábra is szemlélteti, a csövekben lerakódó üledékben, illetve a falakon kialakuló biofilm rétegben játszódnak le ezek a folyamatok. Ennek eredményeként a képződő metán részben gázként távozik, részben pedig vízben oldott állapotban lesz jelen. Ez utóbbinak akkor van nagy jelentősége, amikor a szennyvíz szellőztetett térbe lép át (pl. szivattyútelep, átlépés gravitációs csatornába, tisztítótelep belépési pontja) majd a turbulens áramlások hatására a metán kilép a folyadék közegből és gázként távozik, ami jelentős kibocsátást okozhat³⁸.

Az üvegházhatású gázok leltárnak elkészítéséhez kapcsolódó egyik háttérdokumentum (CH₄ and N₂O emissions from waste water handling³⁹) említést tesz a csatornahálózatban keletkező metán mennyiségéről, mely kapcsán megállapítják, hogy a mennyisége valószínűsíthetően két nagyságrenddel kisebb, mint a szennyvíziszap kezeléséből, tárolásából és ártalmatlanításából származó emisszió, ezért javasolják ennek figyelmen kívül hagyását. A csatornahálózattal foglalkozó tanulmányok viszont rámutatnak arra, hogy ez a feltételezhetően alul van becsülve. Jó példa erre Defratyka és társai által publikált tanulmány⁴⁰, melyben feltérképezték Párizs talajközeli metánkibocsátását. Három fő forrást

³⁷ Methane Mitigation from Municipal Wastewater Treatment Plants. Global methane Initiative – Biogas Sector. 2023.

<https://www.globalmethane.org/documents/gmi-wastewater-factsheet.pdf>

³⁸ Y. Liu et al.: Methane emission from sewers. Science of The Total Environment (2015) 524–525. pp. 40-51.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.029>

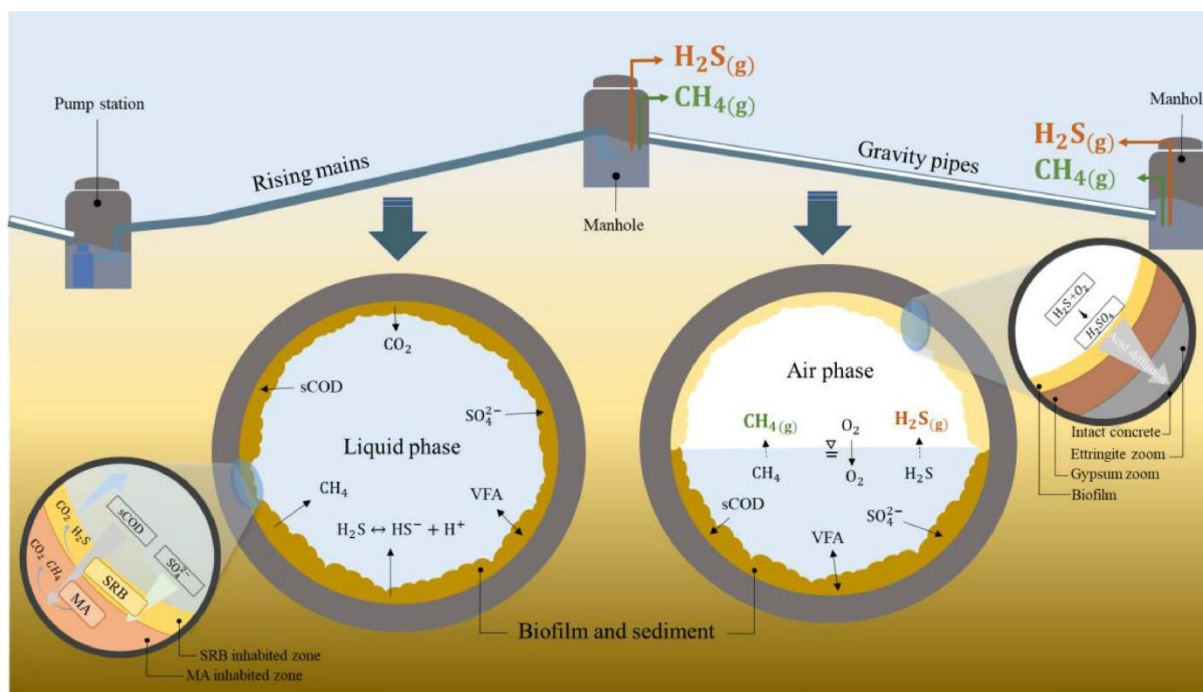
³⁹ CH₄ and N₂O emissions from waste water handling. Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories. 2000. pp. 441-454.

https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/bgp/5_2_CH4_N2O_Waste_Water.pdf

⁴⁰ S.M. Defratyka et al.: Mapping urban methane sources in Paris, France. Environmental Science & Technology (2021) 55/13. pp. 8583-8591.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.1c00859>

azonosítottak (földgáz elosztó rendszer, csatornahálózat és az épületek fűtési rendszere), melyek közül méréseik alapján a csatornahálózat adta a metánemisszió 33%-át.



17. ábra. Hidrogén-szulfid- és metánképződési folyamatok a csatornahálózatban⁴¹

A szennyvízhálózatban keletkező metán mennyisége több dologtól is függ, erre a következő felsorolás mutat példát.

- Tartózkodási idő: minél több időt tölt a csatornahálózatban a szennyvíz, annál nagyobb mennyiségű metán képződés várható. Terepi mérések során megfigyelték, hogy a metán koncentráció a csatorna hossza mentén növekedett.^{42, 43}
- Felület/térfogat (A/V) arány: a nagyobb A/V arány nagyobb biofilm növekedést tesz lehetővé, ami nagyobb metán képződést tud eredményezni.^{44, 45}

⁴¹ X. Cen et al.: A critical review of chemical uses in urban sewer systems. Water Research (2023) 240. 120108. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120108>

⁴² J. Foley et al.: Dissolved methane in rising main sewer systems: field measurements and simple model development for estimating greenhouse gas emissions. Water Science & Technology (2009) 60/11. pp. 2963–2971. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.718>

⁴³ A. Guisasola et al.: Development of a model for assessing methane formation in rising main sewers. Water Research (2009) 43/11. pp. 2874–2884. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.040>

⁴⁴ J. Foley et al.: Dissolved methane in rising main sewer systems: field measurements and simple model development for estimating greenhouse gas emissions. Water Science & Technology (2009) 60/11. pp. 2963–2971. <https://doi.org/10.2166/wst.2009.718>

⁴⁵ A. Guisasola et al.: Development of a model for assessing methane formation in rising main sewers. Water Research (2009) 43/11. pp. 2874–2884. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.040>

- Hőmérséklet: a hőmérséklet is hatással van a csatornából származó metánemisszióra, tanulmányokban kimutatták, hogy a nyári időszakban nagyobb emisszió várható a téli időszakhoz képest.⁴⁶
- Kémiai oxigénigény (KOI): a csatorna üledékből származó metánkibocsátás elsősorban a biológiailag bontható KOI koncentrációval is összefügg, nagyobb KOI értékkel rendelkező üledékből nagyobb mennyiségű metán képződhet⁴⁷. Shamara és társai tanulmányukban⁴⁸ rámutattak, hogy az oldott kénhidrogén koncentrációja pozitív korrelációt mutat a retenció idővel, az A/V aránnyal, a KOI-val és a hőmérséklettel, így valószínűsíthető, hogy a metán koncentrációval is. Guisasola és társai⁴⁹ hasonló tendenciákról számoltak be a metán- és kénhidrogén képződés kapcsán, mindkettő pozitív korrelációt mutatott a tartózkodási idővel. Ezek alapján megnövekedett metán koncentráció várható olyan helyeken, ahol a kénhidrogén jelenléte érzékelhető (szaglás vagy erőteljesebb korróziós jelek útján). Ez segíthet a csatornahálózat nagyobb metánemissziós helyeinek felderítésében.

Több kutatás is foglalkozott a csatornahálózatból származó metán keletkezésének akadályozásával. Ezek jelentős része laboratóriumi kísérlet volt, de több kutató valós körülmények között elvégzett kísérletről/tesztüzemről is beszámolt. Az eredményesebb kezelő szerek a következők voltak.

- Oxigén: az oxigén szennyvízbe injektálása elősegítheti a metánemisszió csökkentését azáltal, hogy nehezíti az anaerob mikroorganizmusok működését. Jelentős hátránya a jelentős költségek mellett a fokozott dinitrogén-oxid képződés (ami szintén üvegházhatású gáz), illetve azáltal, hogy a szerves anyag oxidálódik, hatással lesz a szennyvíztisztító telep működésére.⁵⁰ A gravitációs elven működő rendszerek esetén a szellőztetés is hasonló eredményeket képes eredményezni.⁵¹
- Nitrát: a nitrátadagolás csökkenti a metanogén aktivitást, de az oxigénnel ellentétben nem okoz N₂O kibocsátás növekedést. Alkalmazása szintén hatással van a szennyvíztisztító telep működésére.^{52, 53}

⁴⁶ Y. Liu et al.: Online dissolved methane and total dissolved sulfide measurement in sewers. Water Research (2015) 68. pp. 109-118.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.09.047>

⁴⁷ Y. Liu et al.: Sulfide and methane production in sewer sediments. Water Research (2015) 70. pp. 350-359.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.12.019>

⁴⁸ K.R. Sharma et al.: Dynamics and dynamic modelling of H₂S production in sewer systems. Water Research (2008) 42/10-11. pp. 2527-2538.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.02.013>

⁴⁹ A. Guisasola et al.: Methane formation in sewer systems. Water Research (2008) 42/6-7. pp. 1421-1430.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.10.014>

⁵⁰ R. Ganigué & Z. Yuan: Impact of oxygen injection on CH₄ and N₂O emissions from rising main sewers. Journal of Environmental Management (2014) 144. pp. 279-285.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.04.023>

⁵¹ R. gao et al.: Upstream Natural Pulsed Ventilation: A simple measure to control the sulfide and methane production in gravity sewer. Science of The Total Environment (2020) 742. 140579.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140579>

⁵² G. Jiang et al.: Effects of nitrate dosing on methanogenic activity in a sulfide-producing sewer biofilm reactor. Water Research (2013) 47/5. pp. 1783-1792.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.12.036>

⁵³ A. Shah et al.: Quantifying methane evolution from sewers: results from WERF/Dekalb Phase 2 continuous monitoring at honey creek pumping station and force main. Proceedings of the Water Environment Federation (2011) pp. 475-485
<https://doi.org/10.2175/193864711802836841>

- Fe^{3+} ionok: a vas(III)-klorid adagolást elterjedten alkalmazzák a kénhidrogén csökkentésére. Alkalmazása során megfigyelték a metántartalom csökkenését is, feltételezhetően segíthet a metanogén aktivitás csökkentésében, de jelenleg kevés ilyen jellegű vizsgálati eredmény áll rendelkezésre.^{54, 55}
- pH növelés: egyes kísérletekben elérték a pH sokszorú növelésével azt, hogy több napon keresztül csökkenjen a metanogén aktivitás, ami egy ígéretes technológiai megoldásnak tűnik, bár ezen a területen is szükségesek további kutatások.⁵⁶
- Salétromos sav: A salétromos sav a biocid hatása révén fejti ki a metánemisszió-csökkentő hatását. Ezen anyag is alkalmas a szakaszos beadagolásra, ami által napokig vagy hetekig csökkent metanogén aktivitás tapasztalható a biofilmben. A technológia hatékonyságát valós szennyvízhálózaton is sikeresen tesztelték.⁵⁷

4.3. A hazai szennyvízhálózathoz tartozó metánemisszió becslése

Több tanulmány is foglalkozik a szennyvízhálózathoz tartozó metán mennyiségének becslésével, erre példa az is, amit Foley és társai készítettek⁵⁸. Az alábbi számítási módszert mutatták be a nyomócsövekből származó metán mennyiségét illetően:

$$c_{\text{CH}_4} = 5,24 * 10^{-5} * \left(\frac{A}{V} * HRT \right) + 0,0015$$

ahol:

c_{CH_4}	az oldott metán mennyisége, kg/m ³
$5,24 * 10^{-5}$	metanogén aktivitás a biofilm rétegben, kg/m ²
$\frac{A}{V}$	a csatornára jellemző felület/térfogat arány, 1/m
HRT	a szennyvíz tartózkodási ideje a csőszakaszban, h
0,0015	átlagos szennyvízben maradó oldott metán mennyiség, kg/m ³

⁵⁴ L. Zhang et al.: Inhibition of sulfate-reducing and methanogenic activities of anaerobic sewer biofilms by ferric iron dosing. Water Research (2009) 43/17. pp. 4123-4132.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.06.013>

⁵⁵ R. Ganigue et al.: Chemical dosing for sulfide control in Australia: An industry survey. Water Research (2011) 45/19. pp. 6564-6574.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.09.054>

⁵⁶ O. Gutierrez et al.: Assessment of pH shock as a method for controlling sulfide and methane formation in pressure main sewer systems. Water Research (2014) 48. pp. 569-578.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.10.021>

⁵⁷ G. Jiang et al.: Dosing free nitrous acid for sulfide control in sewers: Results of field trials in Australia. Water Research (2013) 47. pp. 4331-4339.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.024>

⁵⁸ J. Foley et al.: Dissolved methane in rising main sewer systems: field measurements and simple model development for estimating greenhouse gas emissions. Water Science & Technology (2009) 60/11. pp. 2963-2971.

<https://doi.org/10.2166/wst.2009.718>

A Chaosakul és társai által készített tanulmányban⁵⁹ a gravitációs csövekben képződő metán mennyiségének számítás útján történő meghatározására adnak egy egyenletet:

$$c_{CH_4} = 6 * 10^{-5} * \left(\frac{A}{V} * HRT \right) * 1,05^{(T-20)} + 0,0015$$

ahol:

c_{CH_4}	az oldott metán mennyisége, kg/m ³
$6 * 10^{-5}$	metanogén aktivitás a biofilm rétegben, kg/m ²
$\frac{A}{V}$	a csatornára jellemző felület/térfogat arány, 1/m
HRT	a szennyvíz tartózkodási ideje a csőszakaszban, h
$1,05^{(T-20)}$	hőmérséklet függés faktora
0,0015	átlagos szennyvízben maradó oldott metán mennyiség, kg/m ³

A fenti egyszerű számítási módszerek mellett egyéb lehetőségek is kínálkoznak, ilyen látható például Willis és társai által készített tanulmányban⁶⁰, ahol többek között a szennyvíz áramlási sebessége, a csatornacső lejtése vagy a szivattyúzások száma és időtartama is fontos tényező.

A hazai szennyvízhálózatban képződő oldott állapotban lévő metán mennyiségének becslését a fenti irodalmakra alapozva végeztem, melyhez felkerestem a legnagyobb hazai városok szennyvízhálózatának üzemeltetőit adatkérés és szakmai konzultáció céljából. Számításaimat a Szegedi Vízmű Zrt., a Debreceni Vízmű Zrt. és a Tettye Forrásház Zrt. adatai és a Fővárosi Csatornázási Művek Zrt., a MIVÍZ Miskolci Vízmű Kft. és a Szegedi Vízmű Zrt. munkatársaival folytatott megbeszélések alapozták meg. A számításoknál alapul vett szegedi, a debreceni és pécsi hálózat főbb paramétereit az 1. táblázat mutatja be.

⁵⁹ T. Chaosakul et al.: A model for methane production in sewers. Journal of Environmental Science and Health, Part A (2013) 49/11. pp. 1316-1321.

<https://doi.org/10.1080/10934529.2014.910071>

⁶⁰ J. Willis et al.: New GHG Methodology to Quantify Sewer Methane. Water Environment Federation (2018) 8. pp. 4745-4752.

<https://doi.org/10.2175/193864718825139465>

1. táblázat. A szegedi, debreceni és pécsi szennyvízhálózat tulajdonságai

Szennyvízhálózat tulajdonságai		Szegedi Vízmu Zrt. (Szeged)	Debreceni Vízmu Zrt. (Debrecen)	Tettye Forrásház Zrt. (Pécs)
Szennyvízhálózat hossza, m		542 601	551 226	740 598
Az országos szennyvízhálózathoz (53 691 km a KSH alapján) viszonyított arány, %		0,01	1,02	1,38
Éves szennyvíz mennyiség, m ³		15 658 000	15 513 000	9 120 000
Az országos éves szennyvízmennyiséghez (540 millió m ³ km a KSH alapján) viszonyított arány, %		2,90	2,87	1,69
A szennyvízvezetékek típusainak aránya, %	Gravitációs vezeték	41,6	61,3	84,0
	Nyomóvezeték	16,9	13,3	16,0
	Egyesített rendszerű gravitációs vezeték	41,5	25,3	nem állt rendelkezésemre adat

A Szegedi vízmu Zrt. által rendelkezésemre bocsátott adatok, és a hivatalosan elérhető információk alapján ^{61, 62} a 2023-as évet alapul véve a napi átlagos szennyvíz mennyiség nagyjából 40 000 m³ volt. Mivel az egyes csővezetékeken átáramló mennyiségekről nincs információ, a számításokhoz a következő feltételezéssel éltem. A legnagyobb csőátmérők vezetnek a szennyvíztisztítóba, tehát ezeken átáramlik a teljes szennyvíz mennyiség, az egyre kisebb átmérőkhöz pedig arányosan egyre kisebb átáramló mennyiségek tartoznak (2. táblázat). Az adatsorokban átmérő tartományokat jelöltek meg, ezért ezek átlagával számoltam a továbbiakban. A számítási eredményeket a 3. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. A szegedi csatornahálózat jellemzői

Átmérő (mm)	Hosszúság, km			Napi átáramlott számított mennyiség, m ³	
	Gravitációs	Nyomott	Összesen	Gravitációs	Nyomott
>160	3,275	44,036	47,311	244	2 946
200-290	210,080	7,083	217,163	15 903	3 420
300-355	97,697	5,873	103,570	23 188	3 813
400-750	108,221	2,802	111,023	31 257	4 000
800-1000	35,975	0	35,975	33 940	0
1000<	27,631	0	27,631	36 000	0
Összesen	482,879	59,794	542,672	-	-

⁶¹ Csatornahálózat üzemeltetés – Szegedi Vízmu Zrt.

<https://www.szegedivizmu.hu/ceginformacio/tevekenysegi-kor/csatornahalozat-uzemeltetes>

⁶² Műszaki adatok – Szegedi Vízmu Zrt.

<https://www.szegedivizmu.hu/uploads/downloads/Muszaki-adatok-2023.pdf>

3. táblázat. Számított metánképződés a szegedi csatornahálózatban

Átmérő (mm)	Oldott metán mennyisége éves szinten, $\text{kg}_{\text{CH}_4}/\text{m}^3\text{év}$		Éves metán képződés a teljes rendszeren, $\text{kg}_{\text{CH}_4}/\text{év}$		
	Gravitációs	Nyomott	Gravitációs	Nyomott	Összesen
>160	1,920	8,198	469	24 150	-
200-280	1,119	3,735	17 803	12 773	-
300-355	0,967	2,884	22 415	10 994	-
400-750	0,786	1,878	24 576	7 512	-
800-1000	0,700	0,000	23 759	0	-
1000<	0,679	0,000	24 454	0	-
Összesen	6,172	16,695	113 475	55 428	168 904
Az egyesített rendszer miatt korrigálva	-	-	56 737	55 428	112 165

Ahogy a 3. táblázatból is látszik, a rendelkezésre álló adatok alapján végzett számítások eredményeként nagyjából 169 t metán képződhet éves szinten a szegedi csatornahálózatban. A levelezések során fény derült arra, hogy a gravitációs vezetékek nagyjából fele egyesített rendszerű, így azok esetén nem várható metán képződés. Ennek megfelelően korrigálva a számításokat, az oldott metán tartalom éves mennyisége 112 tonnára csökken. A szegedi szennyvíz mennyiség és a nnak számított, oldott metántartalom alapján a szennyvíz országos mennyiségével ($540 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ a 2019-es év alapján ⁶³) arányosítva az országos, szennyvízben oldott metán tartalom számítható. Ez alapján nagyjából 3,9 kt metán keletkezhet évente a hazai szennyvízhálózatban, ami kb. 45%-a a szennyvíztisztítással országosan kapcsolatba hozható metánkibocsátásnak⁶⁴.

A fenti számítás analógiájára a másik két város rendszerére is elvégeztem a számításokat és azok alapján az országos hálózatra történő arányosítást. Ezek eredményei a 4-7. táblázatokban tekinthetők meg.

Meg kell jegyezni a debreceni rendszerrel kapcsolatban, hogy mindenre kiterjedő adatsort bocsátottak rendelkezésemre, így az egyesített csatornahálózat elemei beazonosíthatók és elkülöníthetők voltak. A pécsi rendszer kapcsán a kapott adatok nem tartalmaztak ilyen jellegű információkat, így a számításokban teljes mértékben elválasztott rendszert feltételeztem.

⁶³ Települési szennyvízelvezetés és -tisztítás. Központi Statisztikai Hivatal.

https://www.ksh.hu/stadat_files/kor/hu/kor0023.html

⁶⁴ Ágazati kibocsátások - Hulladék. HungaroMet.

<https://legszenyvezettseg.met.hu/kibocsatas/agazati-kibocsatasok/hulladek>

4. táblázat. A debreceni csatornahálózat jellemzői

Átmérő (mm)	Hosszúság, km				Napi átáramlott számított mennyiség, m ³		
	Egyesített gravitációs	Gravitációs	Nyomott	Összesen	Egyesített gravitációs	Gravitációs	Nyomott
>160	74,625	39,356	45,481	159,462	4 495	2 374	2 748
200-290	16,077	311,533	19,037	346,646	5 459	21 165	3 898
300-355	23,861	53,011	13,076	89,948	6 897	24 363	4 688
400-750	33,398	16,610	10,564	60,573	8 909	25 365	5 327
800-1000	5,737	6,141	0,000	11,877	14 582	25 735	0
1000<	20,424	1,411	5,007	26,842	10 486	25 820	5 629
Nem ismert	4,452	4,088	0,816	9,356	4 501	2 374	2 743
Összesen	178,574	432,150	93,980	704,707	-	-	-

5. táblázat. Számított metánképződés a debreceni csatornahálózatban

Átmérő (mm)	Oldott metán mennyisége éves szinten, kg _{CH4} /m ³ év		Éves metán képződés a teljes rendszeren, kg _{CH4} /év		
	Gravitációs	Nyomott	Gravitációs	Nyomott	Összesen
>160	1,920	8,198	4 558	22 528	-
200-280	1,119	3,735	23 694	14 561	-
300-355	0,967	2,884	23 550	13 519	-
400-750	0,786	1,878	19 943	10 004	-
800-1000	0,700	0,548	18 015	0	-
1000<	0,679	0,548	17 539	3 082	-
Összesen	6,172	17,790	107 299	63 693	170 993

6. táblázat. A pécsi csatornahálózat jellemzői

Átmérő (mm)	Hosszúság, km			Napi átáramlott számított mennyiség, m ³	
	Gravitációs	Nyomott	Összesen	Gravitációs	Nyomott
>160	4,352	77,152	81,504	147	2 602
200-290	411,453	10,903	422,355	14 039	2 969
300-355	160,965	10,791	171,756	19 474	3 333
400-750	31,077	9,565	40,643	20 523	3 656
800-1000	9,396	10,211	19,608	20 840	4 000
1000<	4,732	0,000	4,732	21 000	0
Összesen	621,976	118,622	740,598	-	-

7. táblázat. Számított metánképződés a pécsi csatornahálózatban

Átmérő (mm)	Oldott metán mennyisége éves szinten, kg _{CH₄} /m ³ év		Éves metán képződés a teljes rendszeren, kg _{CH₄} /év		
	Gravitációs	Nyomott	Gravitációs	Nyomott	Összesen
>160	1,920	8,198	282	21 328	-
200-280	1,119	3,735	15 716	11 091	-
300-355	0,967	2,884	18 824	9 611	-
400-750	0,786	1,878	16 136	6 865	-
800-1000	0,700	0,548	14 589	2 190	-
1000<	0,679	0,548	14 265	0	-
Összesen	6,172	17,790	79 812	51 085	128 707

A három város esetén kapott számítási eredményeket a 8. táblázat foglalja össze.

8. táblázat. A szennyvízben oldott metán mennyiség számítási eredményei

Szennyvízhálózat tulajdonságai	Szeged	Debrecen	Pécs
Számított, oldott metán tartalom éves mennyisége, kg _{CH₄} /év	112 166	170 299	130 897
Országos rendszerre viszonyított oldott metán tartalom éves mennyisége, t _{CH₄} /év	3 882,5	5 918,7	4 530,8
Az ÜGH leltár szennyvízkezelés kibocsátásához (kb. 8,5 kt_{CH₄}) viszonyított arány, %	kb. 45	kb. 70	kb. 55

A 8. táblázatban bemutatott egyszerű számítások eredményei is azt mutatják, hogy a csatornahálózatban keletkező metán mennyisége feltehetően összemérhető a szennyvíztisztítás metánkibocsátásával.

A bemutatott számítási eredmények számos ponton tartalmaznak bizonytalanságokat, így a következőket mindenképpen szem előtt kell tartani az eredmények értékelése kapcsán:

- Az egyes városok szennyvízhálózatának kivitelezése eltérő. Van, ahol a csatornahálózat jelentős részére az egyesített rendszer a jellemző, az újabb rendszerek építése során viszont az elválasztott rendszert részesítették/részesítik előnyben. Ezen rendszereknél az elmúlt évekre jellemző hirtelen esőzések nem okoznak problémát (pl. a nem állhat elő az a jelenség, hogy a nagy csapadékmennyiség miatt kiöntenek egyes szakaszok, illetve nem okoz problémát a tisztító működésében a szennyvízrendszeren keresztül érkező megnövekedett folyadék mennyiség). Ahogyan pedig a 8. táblázatban látható, az eltérő rendszereket alapul véve eltérő eredmények számíthatók. Emiatt mindenképpen szükséges a lehető legnagyobb arányú felmérés elkészítése a hazai csatornahálózaton.
- Egyes esetekben a szakaszok hosszai nem érhetőek el átmérő szerinti bontásban, csak az anyag szerinti osztályozása (műanyag, acél, kőagyag, beton stb.). Ez alapján nagyjából lehet következtetni az adott szakasz keresztmetszetére (kör, ovális vagy szögletes) és méreteire, de pontos információ nem áll rendelkezésre.
- A számításokban nincsenek figyelembe véve a szennyvíz átemelőket, amelyek a szennyvíz továbbítását biztosítják, esetenként több méteres mélységgel és jelentős átmérővel rendelkező

műtárgyak. Ezekben is ki tud alakulni a metán képződésért felelős biofilm, illetve az itt kialakuló áramlások forrásai lehetnek a metánemisszióknak is.

- Az oldott metán mennyisége részben távozik a már említett helyeken, egy része viszont tovább tud haladni a rendszeren és eléri a szennyvíz tisztító telepet. Ott akár az iszap hasznosítás során a biogáz rendszerben is hasznosításra kerülhet. Ezek mértékét viszont jelenlegi ismereteinkkel nehéz becsülni. Emellett meg kell jegyezni, hogy bizonyos biológiai folyamatokban a metán átalakulhat, így mennyisége csökkenhet, ami szintén eredményezhet különbségeket.
- A számításokban a biofilm felülete egy jelentős tétel, ez a szennyvíz vezetékek folyadékkal fedett felületén tud kialakulni. Ezáltal az emelőcsövek teljes belső felülete tartalmazhat metánképződésért felelős biofilmet, a gravitációs csövek esetén viszont a folyadékszint magassága (így a film kialakulásának lehetősége is) változó. A csatornahálózatot úgy kell méretezni, hogy a folyadékszint ne érje el a gravitációs vezeték átmérőjének 80%-át csúcs üzemben sem⁶⁵, amiatt számításaim során állandó 20%-os folyadék mélységgel számoltam.
- A tartózkodási időket (többek között a metán képződés lehetőségének csökkentése miatt) igyekeznek úgy kialakítani a rendszeren, hogy elkerüljék a szennyvíz egy térben történő 6 óránál hosszabb tartózkodását. Minél nagyobb a tartózkodási idő, annál nagyobb metán képződés várható. Emiatt a számítások során átlagosan 4 óra tartózkodási időt alkalmaztam.
- A szennyvízhálózat pontos hőmérsékletét nem méri, hazánkra jellemző klimatikus viszonyok mellett a hőmérséklete általában 10-20 °C közötti⁶⁶, ez alapján átlagosan 15 °C-ot használtam a számításaimhoz.
- A számítások alapjául szolgáló publikációk Ausztráliából és Thaiföldről származnak, így több ponton is lehetnek eltérések hazánkhoz viszonyítva (pl. hőmérséklet, szennyvizek minőségi paraméterei stb), ami szintén eredményezhet eltérést az eredményekben.

4.3.1. Hazai rendszerüzemeltetési tapasztalatok metánemisszió kapcsán

Három nagyváros (Budapest, Miskolc, Szeged) csatornahálózatát üzemeltető vállalat munkatársaival folytatott egyeztetések alapján a hazai rendszer tekintetében a következők a tapasztalatok:

- a csatornahálózatban soha nem képződött koncentráltan akkora mennyiségű metán, hogy az bármilyen problémát okozott volna;
- a metántartalmat kibocsátások vizsgálata tekintetében sosem mérték;
- a metántartalom mérésére munkavédelmi szabályok miatt eseti jelleggel szokott sor kerülni (beszállásos munkák végzése előtt), de ezen alkalmak során sem jellemző a metán jelenléte;
- hazánkra sok esetben jellemző az egyesített rendszerű csatornahálózat üzemeltetése, melynek sajátossága, hogy a csapadékvíz és a szennyvíz egy térben áramlik egy megfelelően nagyra méretezett vezetékben. Ebben a térben sokkal nagyobb az áramló víz és a levegő érintkezése, ez pedig nem segíti elő a metán képződését (illetve az esetleges képződést nehezebb lehet detektálni a számottevően nagyobb levegő térfogat miatt).

⁶⁵ Wastewater Design Standard. 2022.

https://www.regina.ca/export/sites/Regina.ca/business-development/land-property-development/_galleries/pdfs/Design-Standard-Wastewater.pdf

⁶⁶ P. Kiss: Szennyvíz hőjének hasznosítása hűtésre és fűtésre. Víz, Gáz, Fűtéstechnika szaklap (2016) 6.

<https://www.vgfszaklap.hu/lapszamok/2016/junius/4073-szennyviz-hojenek-hasznositasa>

4.4. A szennyvíztisztítók iszapkezelésével kapcsolatos metánemisszió

Ahogy fentebb már említésre került, a szennyvíziszap lerakás jár az egyik legnagyobb, szennyvízkezeléshez köthető metánemisszióval, de a technológiában több helyen is keletkezik iszap. Ezek kapcsán hasznos információkat közöl Daelman és társai⁶⁷. Tanulmányukban egy hollandiai szennyvíztisztító telep metánkibocsátását monitorozták (a biogáz hasznosítási rendszer kivételével) egy éven keresztül. Ennek során mérték különböző helyeken a folyadékban oldott és gázként távozó metán mennyiségeit és mérlegeket készítettek a metán termelő és nyelő folyamatok tekintetében. Az iszapkezelés tekintetében a következő megállapításait közölték.

A primer iszap (nyers iszap az előülepítőknél) nagy mennyiségben tartalmaz biológiailag könnyen lebomló anyagot. Habár a primer iszap gravitációs sűrítőjének tartózkodási ideje körülbelül egy nap, a körülmények anaerobok, és jelentős mennyiségben tartalmaznak metanogén baktériumokat, emiatt ez egyértelműen metán forrás.

Amennyiben az elvezetett eleveniszapot (főlös iszap vagy szekunder iszap) puffertartályban tárolják, a folyadék oldott metánt tartalmazhat, amely biológiai úton szén-dioxiddá és vízzé tud alakulni. A cikkben bemutatott tisztító esetén az eleveniszap puffer átfolyós rendszerű dugóáramú reaktor volt, ahol ez a folyamat nem tudott teljes mértékben végbe menni. Ezzel szemben a szerzők meglátásai alapján egy kevert reaktorban ez teljesen végbe tud menni, így onnan minimális metán szivárgás várható. Ha a megfelelő hajtóerő biztosított, akár a gáz fázisból is visszaoldódott metán mennyiségének csökkentésére is alkalmas lehet.

A szerzők megállapításai szerint a telep metánkibocsátásának háromnegyede a primer és szekunder iszapok kezelésével hozható kapcsolatba. Mivel az anaerob folyamatoknak van egy ipari szempontból optimalizált időtartama, a folyamat sosem teljes. Emiatt a metán mind a rothasztott iszap puffertartályban, mind a víztelenített iszaptároló tartályban termelődik. Ennek kapcsán a szerzők több tanulmányt is idéznek, miszerint **a fermentorba kerülő anyag metántermelésének 3-5%-a iszaptárolás során a szabadba távozik**. Ezen metán mennyiség visszanyerésére tett javaslatuk szerint a telepen történő biogáz hasznosításhoz (pl. gázmotorban történő elégetéséhez) részben ezen tárolókból kell elszívni az égéshez szükséges levegőt, gondosan ügyelve arra, hogy a levegőben a metán alsó robbanási koncentrációját ne lehessen elérni.

A szennyvíziszap további, telepen kívüli hasznosítása vagy lerakása nem tartozik a szennyvíztisztítás témakörébe, a nemzeti üvegházhatású gázok kibocsátási leltára alapján⁶⁸ a szennyvíziszapok kibocsátása részben a hulladékszektoron belül a *lerakás*, illetve a *hulladékok biológiai kezelése*, részben pedig a *mezőgazdaság* szektorhoz kapcsolódik. Ezen területeket jelen tanulmány nem érinti.

4.5. Szennyvíziszap alapú biogáz előállításához kapcsolódó metánemisszió

Az European Biogas Association egy tájékoztató dokumentumot adott ki a biogáz ipar számára a biogázüzemek metánemissziójával kapcsolatban⁶⁹. A dokumentum jelentős mértékben épít a „EvEmBi:

⁶⁷ M.R.J. Daelman et al.: Methane emission during municipal wastewater treatment. Water Research (2012) 46/11. pp. 3657-3670.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.04.024>

⁶⁸ National Inventory Report for 1985-2022 - Hungary. 2024.

https://legszenyvezettseg.met.hu/storage/media/kibocsatas-oldalak/HU_NIR_2024may.pdf

⁶⁹ Methane emission mitigation strategies. European Biogas Association. 2020.

<https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2020/05/Methane-emission-mitigation-strategies-info-sheet-for-biogas-industry.pdf>

Evaluation and reduction of methane emissions from different European biogas plant concepts”⁷⁰ projekt eredményeire, melyek szerint a biogáz előállításához kapcsolódóan több ponton is kötődhet a metán (illetve egyéb gázkomponensek) emissziója. Ilyenek a gáztárolók, a nyomáshatároló szelepek, a nyitott vagy nem gáztömör fermentációs tartályok és a biogáz hasznosító egységek. A kibocsátáscsökkentés mérséklése érdekében a következő intézkedéseket javasolják:

- feltárt szivárgásokat tömíteni kell,
- gáztömör borítás szükséges a tartályokra,
- a biogáz hasznosítás során megfelelő füstgáz kezelést kell alkalmazni,
- elöregedett gázzáró membránokat rendszeresen cserélni kell,
- a szivárgásokat rendszeresen ellenőrizni kell,
- felújításokat követően szükséges az szivárgásvizsgálatot is elvégezni,
- a gáztároló töltöttségi szintjét érdemes 50% alatt tartani;
- a gázmotorokat szükséges rendszeresen karbantartani,
- az alapanyag adagolást a karbantartások esetén azoknak megfelelően kell változtatni,
- anyagmérleg számítások rendszeres elvégzése az anyaghányok feltárására,
- szükséges a határfokok szezonális vizsgálata,
- megfelelő levegőztetés alkalmazása az iszap utókezelése során,
- dokumentálni szükséges az szivárgás vizsgálati eredményeket, intézkedéseket,
- meg kell vizsgálni, hogy milyen maradék gázmennyiség származik a rothasztott iszaptól,
- az üzemek tervezése során figyelembe kell venni a fenti ajánlásokat.

Az EvEmBi projekt kiadványa⁷¹ szerint ezen területen a jövő fő feladata a kibocsátás számszerűsítésére használt módszerek pontosságának, reprodukálhatóságának és reprezentativitásának javítása. A különböző mérések eredményeinek összehasonlításához a módszerek harmonizációjára vagy legalább egy meghatározott protokollra lesz szükség. A dokumentum ismerteti a szakirodalomban fellelhető, ide vonatkozó eredményeket is, ebben eltérő alapanyaggal és technológiával működő üzemek kibocsátásait vizsgálták eltérő időtartamokon keresztül különböző módszerekkel. Az eredmények alapján **a metán szökés a metán termelés 0,1-13,7%-át tette ki**, de ezek az eredmények egymással nem összehasonlíthatók a mérési körülmények különbözősége miatt. Végül következtetésük, hogy csak az elegendő számú elemzett üzem és az összehasonlítható eredmények vezetnek az egész ágazat kibocsátásának jobb megértéséhez és egy megbízható adatbázishoz a kibocsátási leltárhoz.

A terület jelenlegi állapotával kapcsolatban egy Hrad és társai által készített tanulmány⁷² konkrét eredményeket közöl. Különböző, helyszíni és telephelyen kívüli metánemisszió mérési technikákat hasonlítottak össze két különböző technológiával működő biogáz üzemet alapul véve. Az alkalmazott metánemisszió mérő technikák mindegyikét alkalmazzák bizonyos területeken, egymást jól ki tudják egészíteni, de a szerzők szerint az általuk végzett átfogó vizsgálatra és összehasonlításra még nem volt

⁷⁰ Methane emissions from biogas plants – method for measurement, results and effect on greenhouse gas balance of electricity produced. IEA Bioenergy, 2017.

https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/01/Methane-Emission_web_end_small.pdf

⁷¹ Methane emissions from biogas plants – method for measurement, results and effect on greenhouse gas balance of electricity produced. IEA Bioenergy, 2017.

https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2018/01/Methane-Emission_web_end_small.pdf

⁷² M. Hrad et al.: Determination of methane emissions from biogas plants, using different quantification methods. Agricultural and Forest Meteorology (2022) 326. 109179.

<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109179>

példa. Ez is jól mutatja a biogáz üzemeket érintő, metán szivárgás csökkentési intézkedések egységesítésének szükségességét.

A biogáz-előállítás (illetve a komposztálás) metánkibocsátása a *hulladékok biológiai kezelése* szektorba tartozik, így ezen témakört (témaköröket) mélyebben nem érinti ezen tanulmány.

4.5.1. Szennyvíziszap alapú biogáz-előállítás hazai vonatkozásai

A hazai biogáz előállítás helyzetéről a Biogáz és biometán akciótervben⁷³ találhatunk konkrét információkat. Ez tartalmazza a Magyar Víziközmű Szövetség adatgyűjtésének eredményeit, mely szerint 23 víziközmű cég 32 telephelyén folyik biogáz előállítás. Ezen telephelyeken 2022-ben nagyjából 37 Mm³, 2023-ban pedig 56 Mm³ biogáz előállítása történt.

Amennyiben ez utóbbi számot vesszük alapul, illetve a 4.4 fejezetben leírtakat, a termelt és hasznosított gáz mellett további 3-5%-nyi mennyiség iszaptárolás során keletkezik. Ez 1,7-2,8 Mm³ biogáznak felel meg. Ha átlagosan 60%-os metántartalmat feltételezünk, az 1-1,7 Mm³ metán légkörbe kerülését jelenti. (Meg kell jegyezni továbbá, hogy a biogáz másik fő összetevője a szén-dioxid, így ez két komponens szempontjából is problémás.)

A metán sűrűségét (0,66 kg/m³) alapul véve a fenti metánmennyiség kibocsátott tömege 0,66-1,12 kt, melyet szorozva a metán GWP értékével (lásd 1. fejezet), kerekítve 20-30 kt CO₂ egyenérték adódik. Ez a *hulladékszektor* kb. 3700 kt CO₂ egyenérték kibocsátásához viszonyítva kisebb, mint 1%-os részesedést jelent.

A *hulladékszektoron* belül a *hulladékok biológiai kezelése* a teljes szektor üvegházhatású gáz kibocsátásának 4%-át teszi ki, így ez egy kis hatással rendelkező terület, viszont, ha csak ezt a szektort vizsgáljuk a maga 200 kt CO₂ egyenérték körüli kibocsátásával, ez 10-15%-ot jelent.

A 4.5. fejezetben bemutatott adatok alapján, ha hazai viszonylatban kívánjuk becsülni a szennyvíziszap alapú biogáz előállításból származó metán szökést, a fentebb közölt 56 Mm³ biogázra vonatkoztatva ez 0,06-7,7 Mm³ biogáznak (0,03-4,6 Mm³ metán) felel meg. CO₂ egyenértékben kifejezve ez 1-130 kt kibocsátás. A teljes *hulladékszektor* kibocsátásának ez 0,03-3,5%-át teszi ki, a szektoron belül a *hulladékok biológiai kezelése* pedig 0,5-65%-át.

Meg kell említeni továbbá, hogy az ÜHG leltárban az *energia* szektor kibocsátásai között számon tartják a szivárgó kibocsátásokat, amely magában foglalja az olaj- és földgáz kitermelésével, feldolgozásával, átalakításával, elosztásával összefüggő szivárgó emissziókat, de a biogáz előállítás során bekövetkező szivárgásokat nem.

⁷³ Biogáz és biometán akcióterv. Energiaügyi Minisztérium, 2024.
<https://bioeconomyforum.hu/assets/content/attachments/Biogáz%20és%20Biometán%20akcióterv%20-%20Energiaügyi%20Minisztérium.pdf>

5. Fontosabb megállapítások és javaslatok

A szennyvíztisztítás és szennyvízhálózat metánemissziójának csökkentésére fókuszálva a következő megállapítások tehetők:

- A rövid szakirodalmi betekintő alapján a szennyvízhálózat több tanulmány szerint is jelentős forrása lehet a metánemisszióknak. Ennek mértéke feltételezhetően összemérhető a szennyvízkezelés metánemissziójával, így a csatornahálózaton történő metánemisszió csökkentésével látható mértékben hozzá lehet járulni a terület üvegházhatású gázainak csökkentéséhez. Fontos megjegyezni, hogy jelenleg ez a tétel nem része az ÜHG leltárnak, így ezen területen tett intézkedések nem csökkentenék a jelenlegi számított emissziós értékeket, „csak” a valós metánkibocsátást.
 - o A hivatalos utakon magánszemélyként történő információszerzés nehézkes, meglátásaim szerint ennek egyik oka a kapacitás, másik oka pedig az eltérő helyeken fellelhető információ töredékek összegyűjtésének nehézsége. Ennek megfelelően első lépésként szükség lenne egy Magyarországot átfogó szennyvízhálózati felmérésnek, amely rá tudna mutatni a kritikusabb helyekre is. Ez alapot adhat a szennyvíz oldott metán tartalmának pontosabb számításához.
 - o A rendszer felmérését követően elsősorban a kritikus helyeken szükségesek laboratóriumi mérések sorozatával igazolni a számítások helyességét.
 - o Egy átfogó szakirodalmi áttekintés és értékelés alapján legjobbnak ítélt kezelési megoldásokat tesztelni kell hazai szennyvízcsatorna szakaszokon, majd az eredményeket átültetni teljes szennyvízhálózatokra.
- Iszapkezelés és biogáz-előállítás
 - o Egy szennyvíztelep üzemeltetésének, illetve a biogáz előállító rendszernek van bizonyos energiaigénye, amit akár fosszilis energiahordozóból, akár biogáz hasznosításból fedeznek, hasonló metánemisszió várható. Néhány tanulmány azonban egyetért abban, hogy a rothasztók és a biogáz hasznosító rendszerek sok esetben metán forrásként tarthatók számon kisebb részben a karbantartások hiányában fellépő biogáz szivárgás miatt, nagyobb részt pedig a nyers és főlős iszap, illetve kirothasztott iszap nyitott rendszerben történő tárolása miatt. Abban is egyetértenek, hogy nincs egy egységesen kidolgozott módszer ennek szisztematikus vizsgálatára, így néhány esettanulmány alapján csak közelítő becslések állnak rendelkezésre.
 - o Azokban az esetekben, amikor az iszap tárolása nyitott tartályban történik (bármely technológiai lépésben), azt gáztömören el kell zárni és a képződő gázok elvezetéséről/kezeléséről gondoskodni kell. Ezzel megakadályozható az iszap tárolás során képződő metán környezetbe jutása.
 - o A biogáz előállító rendszerek metánkibocsátásának tekintetében a szakirodalom alapján az látható, hogy az emittált mennyiség összefügg a karbantartások hiányával. Emiatt szükséges lenne egy szisztematikus felülvizsgálati módszer kialakítására (akár egy külföldi jó gyakorlat átvételével), melyet alkalmazva bizonyos időszakonként fel kellene térképezni az esetleges szivárgásokat, amik így időben megszüntethetővé válnak.

6. A teljes metánkibocsátás-csökkentés becslése

A szennyvízhez kapcsolódva, a fentebb bemutatott területeken a következő metánemissziók számíthatók Magyarország tekintetében:

- szakirodalom szerint a szennyvízhálózat számottevő metánkibocsátásért felel, az adatkérésben segítségemre lévő 3 város hálózata alapján országos szinten 4-6 kt-ra tehető az éves metánkibocsátás (110-170 kt CO₂ egyenérték);
- a szennyvíziszap felhasználása/tárolása során hozzávetőlegesen annyi metán kerül a környezetbe, ami az iszap biogáz rendszerben termelt metán mennyiségének 3-5%-a. Ez nagyjából éves szinten 1-1,7 Mm³ metán légkörbe kerülését jelenti (20-30 kt CO₂ egyenérték) hazánkban;
- néhány publikáció foglalkozik a biogáz előállítás során jelentkező metánszökéssel. Közléseik szerint ez a termelt metánmennyiség 0,1-13,7%-a, ami 0,03-4,6 Mm³ metánnak (1-130 kt CO₂ egyenérték) felel meg a magyarországi szennyvíziszap alapú biogáz előállítást alapul véve.

A számított értékek a *hulladékszektorhoz* viszonyítva a 9. táblázat szerint alakulnak.

9. táblázat. Országos metánemissziók

Paraméter	Szennyvíz hálózat	Szennyvíziszap tárolás	Szennyvíziszap alapú biogáz üzemek metán szökése
Metánemisszió	4-6 kt szennyvízben oldott CH ₄	1-1,7 Mm ³	0,03-4,6 Mm ³
Metánemisszió, kt CO ₂ egyenérték	110-165	20-30	1-130
Teljes hulladékszektorhoz (3700 kt CO₂ egyenérték) viszonyított arány, %	3,0-4,5	0,5-0,8	0,03-3,5
Összesen, %	3,1-8,8		

Ahogy az a 9. táblázatban is látható, a szennyvíz témaköréhez kapcsolódva, ha a feltárt területeken országos viszonylatban a teljes metánemisszió megszüntetésre kerül, az a *hulladékszektor* kibocsátásának 3-9%-át jelentheti.

7. Időigény és költségek

A bemutatott metánemissziós területekhez kapcsolódva a következő idő- és költség igények feltételezhetők.

10. táblázat. A szennyvízhálózat metánemissziójának csökkentése:

Feladat	Időigény	Költség
Az ország szennyvízhálózatának felmérése, a szakirodalomban fellelhető legjobb módszerek áttekintése és összehasonlítása, a legmegfelelőbb kiválasztása	1 év	70 MFt
Laboratóriumi kísérletek és az eredmények valós szakaszokon történő tesztelése	2,5 év	200 MFt
Néhány kiválasztott település teljes szennyvízhálózatán történő tesztelés	1,5 év	200 MFt
Az eredmények alapján a metáncsökkentési intézkedések alkalmazása az ország teljes szennyvízhálózatán	5. év után folyamatosan	Az eddig elért eredmények függvénye

11. táblázat. A szennyvíziszap tárolással kapcsolatba hozható metánemisszió csökkentése:

Feladat	Időigény	Költség
A hazai szennyvíztisztító telepeken üzemelő iszapkezelési és hasznosítási technológiák áttekintése, azok értékelése	1 év	70 MFt
Az iszapkezelési rendszerek metánkibocsátásainak monitorozása	1 év	200 MFt
Néhány üzemben az iszapkezelési rendszerek átalakítása zárt rendszerűvé	1 év	Az előző évek felméréseinek függvénye
Az átalakított iszapkezelési rendszerek metánkibocsátásainak monitorozása újra, az eredmények értékelése	0,5 év	100 MFt
Az eredmények alapján az iszapkezelési rendszerek átalakítása	3,5 év után folyamatosan	Előző évek függvénye

12. táblázat. A szennyvíziszap alapú biogáz előállítással kapcsolatba hozható metánemisszió csökkentése:

Feladat	Időigény	Költség
A szakirodalom és a környező országok szivárgás feltárási gyakorlatainak áttekintése, ha valahol már rendelkezése áll a jó gyakorlat, azt át kell venni	1 év	70 MFt
A megfelelő szivárgás feltárási gyakorlat kialakítása, az országban működő biogáz üzemek felmérése, az eredmények értékelése	1,5 év	150 MFt
A feltárt hibák kijavítása, a metánemisszió-vizsgálat elvégzése újra, az eredmények értékelése	1 év	A feltárt hibák függvénye
Karbantartások és javítások ütemezett végzése	3,5 év után folyamatosan	Előző évek függvénye

8. Szabályozási és törvényi háttér átalakítása

A bemutatott metánemisszió csökkentési témakörökhöz kapcsolatosan a következő szabályozási átalakítások javasolhatók.

A „**16/2016. (V. 12.) BM rendelet a közcélú ivóvízművek, valamint a közcélú szennyvízelvezető és -tisztító művek üzemeltetése során teljesítendő vízügyi és vízvédelmi szakmai követelményekről, vizsgálatok köréről, valamint adatszolgáltatás tartalmáról**” című rendelet a víziközművek (közcélú ivóvíz-, szennyvízelvezető-, és tisztító művek) üzemeltetőjével szemben a vízjogi engedélyezés és a vízügyi felügyelet során támasztott szakmai követelményekre, a területi vízügyi igazgatási szerv részére teljesítendő adatszolgáltatás tartalmára, valamint az üzemeltetés során elvégzendő vízmennyiségi és vízminőségi vizsgálatok körére terjed ki.

A 10. § (1) a közcélú szennyvízelvezető, -tisztító mű üzemeltetése körébe tartozó tevékenységeket taglalja, valamint a 10. § (5) bekezdés az üzemeltetés kapcsán tartalmaz előírásokat. Ezen bekezdések pontjai kiegészíthetők lehetnek a metánemisszióhoz kapcsolható monitoring tevékenységgel.

Az „**559/2023. (XII. 14.) Korm. rendelet a biológiailag lebomló hulladék képződésének megelőzésére vonatkozó tevékenységekről, a biológiailag lebomló hulladékkal kapcsolatos hulladékgazdálkodási tevékenységek részletes szabályairól és a biohulladékból előállított komposzt osztályozásának szabályairól**” című rendelet a biológiailag lebomló, a stabilizált és vegyes hulladékok komposztálása, stabilizálása és a hulladékból történő biogáz előállítása, továbbá ezen folyamatok termékei körére terjed ki. A 12. § ismerteti a biogáz-előállításra vonatkozó szabályokat, amit érdemes lehet kiegészíteni az évenkénti szivárgás monitorozásával, jegyzőkönyvezésével és a feltárt szivárgások csökkentésére tett törekvések ösztönzésével.

9. Ellenőrző és monitoring mechanizmusok

Első lépésben érdemes leszögezni, hogy a bemutatott metánemissziós területek esetén számottevő adat nem áll rendelkezésre világviszonylatban sem, így első lépésben mindenképp szükséges a területek mélyebb feltérképezése és a valós metánemissziós potenciál felmérése.

Amennyiben bizonyítást nyer hazai tekintetben a szennyvízhálózatból származó számottevő metánemisszió, a kapcsolódó monitoring tevékenységek körébe a következők javasolhatók. A szennyvíztisztító telepeken rutinszerűen vizsgálják a szennyvíz bizonyos paramétereit, így javasolható, hogy a szennyvízhálózat kritikusabb helyeiről származó minták oldott metántartalmának vizsgálatával bővüljön 1-2 havi rendszerességgel. Ehhez viszont megfelelő elemző készülékek szükségesek, amelyek beszerzése jelentős terhet jelenthet az egyes üzemeltetőknek. Emiatt szükség lesz a rendelkezésre álló lehetőségek felmérésére (saját források, kutatóintézetek, egyetemek stb. bevonása az elemzésekbe) a költségek optimalizálás érdekében.

Azokban az esetekben, amikor a szennyvíziszap valamilyen hasznosításra kerül a keletkezés helyén (elsősorban biogáz előállítás céljából), a szennyvíziszap tárolását a szakirodalomban jelentős emisszióforrásként azonosították. Az itt javasolható monitoring tevékenységhez első lépésben meg kell valósítani ezen tárolók légmentes zárását, majd ennek gáztömörsége évenként felülvizsgálható, javítható.

A szennyvíziszapból történő biogáz előállítás kapcsán szintén a rendszer gáztömörségének felülvizsgálata a legfontosabb. Ez esetben is javasolható az évenként történő felülvizsgálat és a javítások elvégzése. Ez a monitoring javaslat alkalmas lehet az egyéb alapanyagok felhasználásával üzemelő biogáz üzemek működtetése során is.