

# Az emberi ürülék kapcsolata az éghajlatváltozással

## Connection between human excreta and global warming

A. ZSENI, J. NAGY

Széchenyi István Egyetem, Audi Hungaria Járműmérnöki Kar, Környezetmérnöki Tanszék, zseniani@sze.hu  
Széchenyi István Egyetem, Gépészmérnöki és Villamosmérnöki Kar, Alkalmazott Mechanika Tanszék,  
nagyju@sze.hu

*Absztrakt. Tanulmányunk arra a nem kellően vizsgált kérdésre szeretné felhívni a figyelmet, hogy az emberi ürülék és annak különböző kezelési módjai milyen kapcsolatban állhatnak az éghajlatváltozással. Ürülékünk ugyanis a bioszféra körforgásának része, és szerves széntartalma annak kezelési módjától függően különböző mértékben és időintervallum alatt szén-dioxidként a légkörbe jut. A széklet szárazanyag-tartalmának 40-55%-a, a vizelet szárazanyag-tartalmának 11-17%-a szén (szerves vegyületek formájában). Ez körülbelül 21-57 g/fő/nap szerves vegyületekben kötött szén termelését jelenti, amely szám a Föld teljes népességére vonatkozóan hozzávetőlegesen 58-153 millió tonna szén ürülékkel történő kibocsátását jelenti évente. A fejlett világban általános, vízöblítéses toaletten alapuló vízi infrastruktúra környezeti terhei számottevőek, és ezek között sem a szennyvíz összegyűjtése és tisztítása okozta szén-dioxid kibocsátás mértéke, sem az ürülék szerves- és tápanyagtartalmának elpazarlása nem kellően tanulmányozott. A tanulmány rávilágít a szennyvízelvezetés és -tisztítás energiaigénye által generált szén-dioxid, a szennyvíztisztítás során az ürülékben lévő szerves szénvegyületek oxidálása során keletkező szén-dioxid, valamint a szennyvíziszap anaerob kezelése során keletkező metán elégetése okozta szén-dioxid kibocsátásra, valamint bemutatja az ürülék közvetlen komposztálással történő – jelenleg a világban még nem kellően elterjedt – hasznosításának lehetőségét.*

*Abstract. Our study would like to draw attention to an insufficiently investigated question: how human excreta and its different treatment methods are related to climate change. Human excreta is part of the biological cycle. Its CO<sub>2</sub> content gets released to the atmosphere to some degree according to the treatment methods used. 40-55% of faeces' and 11-17% of urine's dry matter content is carbon (in the form of organic compounds). According to this, approximately 21-57 g/person carbon bound in organic compounds is produced daily, which means an emission of 58-183 million tons of carbon in the world annually in the form of human excreta. The environmental load of the widely spread flush toilet based water infrastructure is significant. However, neither the degree of CO<sub>2</sub> emission caused by collection and treatment of waste water, nor wasting of organic and nutrient content of excreta are properly studied. Our study highlights the emission of CO<sub>2</sub> caused by the energy demand of sewage water collection and treatment, by the oxidation of organic compounds of human excreta and by burning of methane produced as a result of anaerobic treatment of waste water sludge. Finally the possibility of utilization of human excreta by direct composting is presented, which technology has not significantly spread in the world yet.*

## Bevezetés

Mindennapi életünkben fontos szerepet tölt be az ürítés higiénikus körülményeihez való hozzáférés. A Föld különböző régióiban élő emberek számára ennek megvalósítása jelentős különbségekkel lehetséges, és ezen igényük kielégítése közben különböző mértékben veszik igénybe Földünk erőforrásait, valamint különböző mértékben terhelik környezetüket.

A vízöblítéses toalett találmányának 1788-as bejegyzése óta eltelt bő két évszázad során a WC-k ivóvíz- és szennyvízcsatorna-hálózatra kötése – habár eleinte azokat nem kötötték rá a városi szürkevíz hálózatokra – a fejlett világban megszokottá vált, mi több, kiszorította a korábban alkalmazott ürülékgyűjtési és -kezelési technológiákat. A fejlett világban a vízi infrastruktúrát alapvetően a vízöblítéses toaletten alapuló vízi infrastruktúra kiépítése és üzemeltetése határozza meg. A 2015-ös adatok szerint az emberiség 38%-a (2,8 milliárd fő) csatlakozik vezetékes szennyvízhálózathoz, további 0,9 milliárd fő egyedi szennyvízelhelyezést használ (de vízöblítéses WC-vel rendelkezik). 1,3 milliárd fő egyéb, az ún. „improved sanitation” körébe tartozó technológiai megoldást vehet igénybe (mint például a latrinák különféle fejlettebb típusai) [1]. Mind a Millenniumi Fejlesztési Célok (Millennium Development Goals), mind a Fenntartható Fejlesztési Célok (Sustainable Development Goals) ezen arányok javítását tűzték ki célul. Ez érthető, hiszen az ürülék összegyűjtésének hiánya vagy nem megfelelő megléte, valamint a szennyvízkezelés hiányosságai nemcsak az emberi egészségre vannak káros hatással, de jelentős környezetterhelést is okoznak. Fentiek miatt a vízöblítéses toalett és a használatára alapozott vízi infrastruktúra folyamatos és bővülő térhódítása várható a Föld többi térségében is.

A szennyvíztisztítási hiányosságok okozta vízi környezet rombolását felismerve a társadalmi és műszaki válasz a szennyvíztisztítás egyre fejlettebb technológiájának alkalmazása. Ez csökkenti az élővizekre gyakorolt káros hatásokat – ott, ahol a szennyvíztisztítás fejlett technológiáját műszakilag és gazdaságilag alkalmazni tudják. Az egyre népesedő világban egyre több ember számára elérhető vízöblítéses WC használata a jelenlegi gondolkodásunk alapján a vízi ökoszisztémákban bekövetkező káros hatások mérséklése érdekében a szennyvíztisztítás hiányosságainak mielőbbi felszámolását sürgeti. Azonban a vízöblítéses toalettek elterjedése nem csupán a vízi ökoszisztémákra van hatással, így a megoldási lehetőségek kutatása sem korlátozódhat kizárólag a szennyvíztisztításra.

A vízöblítéses toaletten alapuló vízi infrastruktúra környezeti hatásai több csoportba sorolhatóak, úgymint a természeti erőforrások (víz, emberi ürülék) nem fenntartható használata és elpazarlása; a szennyvíz összegyűjtésének és kezelésének energiaigénye és az ebből fakadó környezeti problémák (ÜHG kibocsátás, nem megújuló energiaforrások csökkenése); az összegyűjtött ürülék szerves- és tápanyagainak szennyvíztisztítóban történő átalakítása következtében a felszíni, felszín alatti vizek, a talaj szerves nitrogén és foszfor terhelése, üvegházhatású gázok keletkezése.

Az emberi ürülék a háztartási szennyvíz térfogatának alig 2%-át jelenti. Ebben a 2%-ban található a háztartási szennyvízben lévő baktériumok 99%-a, a nitrogéntartalom 98%-a, a foszfortartalom 90%-a, a szerves anyag közel 60%-a, valamint a gyógyszermaradványok és hormonok teljes mennyisége [2]. Ezt a 2%-ot hígítjuk fel a WC öblítéskor a szennyvíz térfogatának 15-20%-át jelentő fekete vízzé, majd

újra felhívjuk a 80-85%-ot kitevő szürkevízzel. És emiatt kell a szennyvíz teljes mennyiségét a jelenleg is ismert szennyvíztisztítási technológiáknak alávetni. A háztartásokból a települési szennyvíztisztítóba érkező szennyvíz megtisztítása során javarészt voltaképpen az emberi ürülék és a vízöblítéses toalett egyéb „melléktermékeit” (WC-papír) kell eltávolítani a vízből a befogadóba történő engedés előtt.

Alapfeltevésünk az, hogy a vízöblítéses toaletten alapuló vízi infrastruktúra működtetése hosszú távon nem fenntartható, mert az ürülék vízkörforgásba juttatásával annak értékes szerves- és tápanyagait kivonjuk a bioszféra természetes anyagforgalmából. Mindeközben nemcsak veszélyeztetjük a jövő élelmiszertermelését, hanem jelentős szén-dioxid kibocsátást is okozunk. Ennek igazolására jelen tanulmány keretei között a vízöblítéses toaletten alapuló vízi infrastruktúra és az éghajlatváltozás közötti kapcsolódási pontokat keressük, mind az okok, mind a lehetőségek tekintetében. Megvizsgáljuk a szennyvízelvezetés és -tisztítás energiaigénye által generált szén-dioxid, a szennyvíztisztítás során az ürülékben lévő szerves szénvegyületek oxidálásakor keletkező szén-dioxid, valamint a szennyvíziszap egyes kezelési módjai során keletkező metán elégetése okozta szén-dioxid kibocsátás problémáját. Összehasonlítjuk ezt az ürülék közvetlen komposztálással történő – jelenleg a világban még nem kellően elterjedt – hasznosításának lehetőségével.

## 1. Az emberi ürülék széntartalma

Az emberi ürülék (széklet + vizelet) mennyisége, megjelenési formája, fizikai és kémiai jellemzői erősen függenek az ember egészségi állapotától, valamint az elfogyasztott táplálék és folyadék minőségétől és mennyiségétől, de az izzadáستól, éghajlattól is. A széklet vizet, a belekben emészthetetlenül áthaladt anyagokat (pl. rostok), mirigyek váladékait (pl. epe), valamint magas koncentrációban patogén vírusokat, baktériumokat, bélféreg petéket tartalmaz. A vizelet legnagyobb részben vizet, valamint vízoldható formában jelen lévő növényi tápanyagokat (nitrogén- és foszfortartalmú vegyületek) tartalmaz.

Az ürülék mennyiségére és részletes anyagtartalmára vonatkozóan többféle szakirodalom többféle adatot közöl, ám ezek az ürülék BOI-ban (biológiai oxigénigény) és KOI-ban (kémiai oxigénigény) kifejezett szervesanyag-tartalmát, a makrotápanyagok mennyiségét (nitrogén, foszfor, kálium), valamint a mikrotápanyagok (kén, kalcium, magnézium) és nehézfémek (Cu, Cr, Ni, Zn, Cd, Pb, Hg) mennyiségét közlik [3] [4] [5] [6].

Jelen tanulmányunkban az ürülék széntartalmával foglalkozunk, lévén, hogy ez a meghatározó az ürülék oxidálása során képződő CO<sub>2</sub> potenciális mennyisége szempontjából. A BOI-ban ill. KOI-ban kifejezett szervesanyag-tartalomból kiindulva csak közelítő becslést adhatnánk a széntartalomra, hiszen annak mennyisége függ attól, hogy mely típusú nagymolekulájú szerves vegyületek (pl. rostanyagok) milyen arányban vannak jelen az ürülékben, valamint hogy mely típusú szerves nagymolekulák milyen mértékben oxidálódnak a BOI és a KOI mérés során.

A széklet és a vizelet elemi C-ben kifejezett széntartalmát Gotta (in Tanguay) [7] közli, aki – az ürülék egyéb anyagaira vonatkozóan is – az étkezési szokásoktól függő két szélsőértéket közöl (kisétkü,

vegetáriánus ember; nagyétkű, húsevő ember). A széklet mennyiségére vonatkozóan 150-300 g/fő/nap értéket ad meg (40-81 g/fő/nap szárazanyag-tartalom), a széklet C-tartalmát pedig a szárazanyag-tartalom 40-55%-ában határozza meg [7]. Az 1-1,3 l/fő/nap vizelet nedvességtartalma 93-96%, szárazanyag-tartalma 50-70 g/fő/nap, a száraz anyag 11-17% szenet (C) tartalmaz [7]. Ezen adatokból kiindulva kiszámoltuk a székletben és a vizeletben, valamint az ürülékben (széklet + vizelet együtt) található szén mennyiségét, elemi C-re, g/fő/nap, valamint kg/fő/év mennyiségre is (1. táblázat). Megadtuk ezen mennyiségeket 10 millió főre (kb. Magyarország lakossága) és 7,4 milliárd főre (Föld lakossága) kiszámolva (1. táblázat). Természetesen a kiszámolt szélsőértékek két – táplálkozási szokásoktól függő – végletet reprezentálnak, a valóság nyilvánvalóan a kettő között helyezkedik el. Közelítő számításaink alapján a hazánk lakosai által évente ürített szén mennyisége 78-206 ezer tonna között, míg a Föld összes lakosa által ürített szén mennyisége 58-153 milliő tonna között becsülhető. Ha ennek a mennyiségnek a teljes hányada CO<sub>2</sub> formájában a légkörbe kerülne, akkor ez 288-756 ezer tonna CO<sub>2</sub> emisszió lenne 10 millió fő esetén, és 213-560 milliő tonna CO<sub>2</sub> emisszió lenne 7,4 milliárd fő esetén (1. táblázat).

Hogy érzékeljük az ürülékünkben potenciálisan képződő CO<sub>2</sub> emisszió nagyságrendjét, hasonlítsuk össze azt az antropogén CO<sub>2</sub> emisszió mértékével. Hazánk bruttó CO<sub>2</sub> kibocsátása a KSH adatai szerint 2013-ban 43.611.000 tonna volt [8] (KSH 2016). A 10 millió ember ürülékéből potenciálisan keletkező CO<sub>2</sub> ennek kb. 0,66-1,73%-a. A fosszilis energiahordozók égetése, a cementgyártás és az egyéb égetések következtében a Föld légkörébe kerülő CO<sub>2</sub> mennyisége az IPCC adatai szerint 2011-ben 34,8 ±2,9 Gt CO<sub>2</sub> volt [9]. A 7,4 milliárd ember ürülékéből potenciálisan keletkező CO<sub>2</sub> ennek 0,56-1,75%-a. Nagyságrendileg azt mondhatjuk, hogy az emberi ürülék széntartalmából elméletileg felszabadítható CO<sub>2</sub> az antropogén CO<sub>2</sub> kibocsátásnak kb. 1%-ával megegyező mennyiség.

	g/fő/nap	kg/fő/év	Magyarország (10 millió fő) ezer t/év	Föld (7,4 milliárd fő) millió t/év
C-tartalom				
széklet	16,0-44,6	5,84-16,28	58,4-162,8	42,22-120,47
vizelet	5,5-11,9	2,00-4,34	20,0-43,4	14,80-32,12
ürülék (vizelet+széklet)	21,5-56,5	7,84-20,62	78,4-206,2	58,02-152,59
potenciálisan képződő max. CO <sub>2</sub>				
ürülékből	78,8-207,2	28,75-75,60	287,5-756,1	212,74-559,50

1. táblázat: Az emberi ürülék számított széntartalma, és a belőle potenciálisan maximálisan képződő CO<sub>2</sub> mennyisége.

## 2. A szennyvízelvezetés és -tisztítás energiaigénye

A szennyvizek összegyűjtése, elvezetése és tisztítása energiaigényes folyamat. A fejlett országokban a települési áramfogyasztás (mely javarészt a közvilágítás, oktatási intézmények, középületek, vízellátás, szennyvízelvezetés és -kezelés áramfogyasztását jelenti) átlagosan kb. 20%-át a szennyvíztisztító telep áramfogyasztása teszi ki, ha nem vesszük figyelembe a szennyvíztisztító telep saját áramtermelését

[10]. Hozzáteve ehhez a szennyvíz összegyűjtésének energiaigényét, elmondható, hogy a szennyvízcsatornázás és szennyvíztisztítás a település egyik legnagyobb áramfogyasztója.

A különböző méretű szennyvíztisztító telepek energiaigényének összehasonlítására a szennyvíztisztító telep által felhasznált, kWh-ban kifejezett, egy évre és egy lakosegyenértékre (LEÉ) vonatkozó energiafogyasztási adatokat a 2. táblázat tartalmazza. A táblázatban a vizsgált és különböző mérettartományokba sorolt német, osztrák és magyar szennyvíztisztító telepek energiafogyasztására kapott adatok mediánjai szerepelnek 1 lakosegyenértékre és egy év időtartamra számolva.

Német szennyvíztisztítók		Osztrák szennyvíztisztítók		Magyar szennyvíztisztítók	
kapacitás (LEÉ)	energiafogyasztás mediánja (kWh/LEÉ/év)	kapacitás (LEÉ)	energiafogyasztás mediánja (kWh/LEÉ/év)	kapacitás (LEÉ)	energiafogyasztás mediánja (kWh/LEÉ/év)
1.000 alatt	50,2	50-500	91,6	0-300	108,4
1.000-5.000	41,9	500-5.000	57,2	300-2.500	61,9
5.000-10.000	39,0	5.000-50.000	39,8	2.500-15.000	37,8
10.000-100.000	35,0	50.000 felett	30,7	15.000 felett	26,3
100.000 felett	32,5				

2. táblázat: Különböző méretű szennyvíztisztító telepek energiafogyasztása [11] alapján.

Egy másik, a 2006-2007-es években végzett felmérés szerint a bajorországi 10.000-100.000 LEÉ kapacitású, különböző technológiájú szennyvíztisztító telepek átlagos, fajlagos elektromos energiafogyasztása 35-50 kWh/LEÉ/év között volt [10]. A 3. táblázat általunk vizsgált szennyvíztisztító telepek energiafogyasztását mutatja be.

szennyvíztisztító telep	kapacitás (LEÉ)	energiafogyasztás (kWh/LEÉ/év)
Győr	175.000	25,0
Tét	7.000	55,0
Jánossomorja	6.800	21,4
Tiszaalpár	5.500	44,8

3. táblázat: Vizsgált hazai szennyvíztisztító telepek energiafogyasztása.

A 4. táblázat 1-2. oszlopa a hazai szennyvíztisztítási agglomerációk ill. szennyvíztisztító telepek kapacitás szerint besorolt szennyvízterheléseit tartalmazza a 2013-as évre vonatkozóan ([12] alapján). Hazánkban 602 db 2000 LEÉ feletti és 236 db 2000 LEÉ alatti biológiai tisztítókapacitású települési szennyvíztisztító telep üzemel [12]. A 2. táblázatban feltüntetett hazai fajlagos energiafogyasztási adatok ill. azok mediánjai sajnos nem pont ugyanilyen mérettartományba beosztva kerültek publikálásra, ennek ellenére megkíséreltük megfeleltetni azokat a 4. táblázat beosztásának. A 2.000 LEÉ alatti csoport esetén a 0-300 és 300-2.500 LEÉ közti fajlagos energiafogyasztások mediánjai (108,4 kWh/LEÉ/év és 61,9 kWh/LEÉ/év) egyszerű átlagát vettük, remélve, hogy a teljes energiafogyasztásból igen csekély mértékben részesülő kis szennyvíztisztító telepek esetében ez az egyszerűsítés nem okoz jelentős hatást a hazai szennyvíztisztítók összes energiafogyasztásának

kiszámolt, de erősen becsült értékében. Számításaink eredményét a 4. táblázat 4. oszlopa tartalmazza. Ezek az adatok természetesen csupán nagyságrendi összehasonlításra alkalmasak.

A hazai szennyvíztisztító telepek számításal becsült évi 253 ezer MWh energiaigényének (kb. 25,7 kWh/fő/év) nagyságrendi értékeléséhez álljon itt néhány adat. 2015-ben hazánkban a napelemek által termelt villamos energia 154 ezer MWh volt [13]. A hazai szélerőművek által termelt villamos energia éves mennyisége kb. 700 ezer MWh [14]. Az USA-ban található kb. 16.000 db települési szennyvíztisztító mű egy éves villamosenergia-igényének becsült mennyisége kb. 21 millió MWh volt 2000-ben, 2020-ra pedig 26 millió MWh-t jeleznek előre [15]. Ez a hazai érték kb. 83- ill. 103-szorosa, a 319 millió fő lakosra vetítve pedig 65,8 kWh/fő/év ill. 81,5 kWh/fő/év (nem számolva a népesség növekedésével).

agglomerációk szennyvíztisztítók csoportja	ill.	2013. évi szennyvízterhelés (LEÉ)	fajlagos becsült energiafogyasztás (kWh/LEÉ/év)	becsült összes energiafogyasztás (MWh/év)
2 ezer LEÉ alatt		75.112	85,2	6.400
2-10 ezer LEÉ		1.092.917	37,8	41.312
10-15 ezer LEÉ		510.251	37,8	19.287
15-150 ezer LEÉ		3.432.665	26,3	90.279
150 ezer LEÉ fölött		3.639.204	26,3	95.711
Összesen		8.750.149		252.989

4. táblázat: A hazai szennyvíztisztító telepek energiafogyasztásának becsült, számolt értékei.

Az energiafogyasztás ismeretén kívül érdekes az is, hogy a szennyvíztisztítás melyik szakaszának van nagy energiaigénye. A vizsgálatok alapján ez erősen függ az alkalmazott szennyvíztisztítási technológiától és a szennyvíztisztító telep kapacitásától. Példaként: egy 50.000 LEÉ-ű, egylépcsős technológiájú osztrák szennyvíztisztító telep energiaigényének a levegőztetés a 19%-át jelenti, egy 150.000 LEÉ-ű, kétlépcsős technológiájú osztrák telep esetében 37%-át, míg egy 45.000 LEÉ-ű, egylépcsős technológiájú magyar telep esetén 67%-át (az energiaigény többi részét a szivattyúk, keverés, kiegészítő berendezések stb. jelentik) [11].

A tiszalparti szennyvíztisztító telep napi teljes energiafogyasztása 674,35 kWh, a fajlagos energiaigény pedig 1,35 kWh/m<sup>3</sup>, lakosegyenértékben kifejezve 44,8 kWh/LEÉ/év [16]. Az üzemelő gépek számából, az egyes berendezések felvett teljesítményéből, valamint a napi üzemidőből kiszámítottuk a tiszalparti szennyvíztisztító telep egyes fogyasztói által felhasznált energiát, a szennyvíztisztítás energiaigénye eloszlása meghatározása céljából [16]. Az egyes berendezések által felhasznált energia mennyiségeket összeadva a fenti értékből a konkrét szennyvíztisztítás napi technológiai energiaigénye 559,45 kWh. A telep kapacitása 500 m<sup>3</sup>/d, így 1 m<sup>3</sup> szennyvíz megtisztításához 1,12 kWh villamos energia szükséges (a teljes energiaigény 83%-a). A legtöbb villamos energiát – naponta 416 kWh-t – a biológiai medence légellátásáért felelős fűvók használják fel, amely a napi energiafelhasználás 74,3%-a. Az iszap víztelenítéséhez szükséges energia hasonlóképpen meghatározva napi 59,46 kWh-ának adódott, ez 1 m<sup>3</sup> szennyvíz tisztítására vetítve 0,12 kWh/m<sup>3</sup> (a teljes energiaigény 9%-a). A telepen fellépő egyéb energia felhasználások, úgymint a kezelő épület egyes helyiségeinek fűtése, szellőztetése,

világítás összegezve 55,44 kWh villamos energiát fogyasztanak naponta, ennek a szennyvízre lebontott fajlagos energiaigénye 0,11 kWh/m<sup>3</sup> (a teljes energiafogyasztás 8%-a).

Hasonlóképpen a jánossomorjai szennyvíztisztító telepen is megvizsgáltuk és kiszámoltuk a szennyvíztisztítás energiaigényének eloszlását. A kb. 6800 lakosegyenértékű, évente 373.000 m<sup>3</sup> szennyvizet fogadó jánossomorjai szennyvíztisztító telep technológiai korszerűsítését követően, a 2010. évi adatok alapján a szennyvíztisztítás energiaigénye 146 MWh. Azaz 1 m<sup>3</sup> szennyvíz megtisztítása kb. 0,4 kWh/év energiát igényel, amelyen belül a mechanikai tisztítás energiaigénye 0,05 kWh/m<sup>3</sup>, a biológiai tisztításé 0,20 kWh/m<sup>3</sup> (50%), az iszapkezelésé 0,11 kWh/m<sup>3</sup>, az irodaépületek és fűtésük energiaigénye pedig 0,03 kWh/m<sup>3</sup> (7,5%) [17].

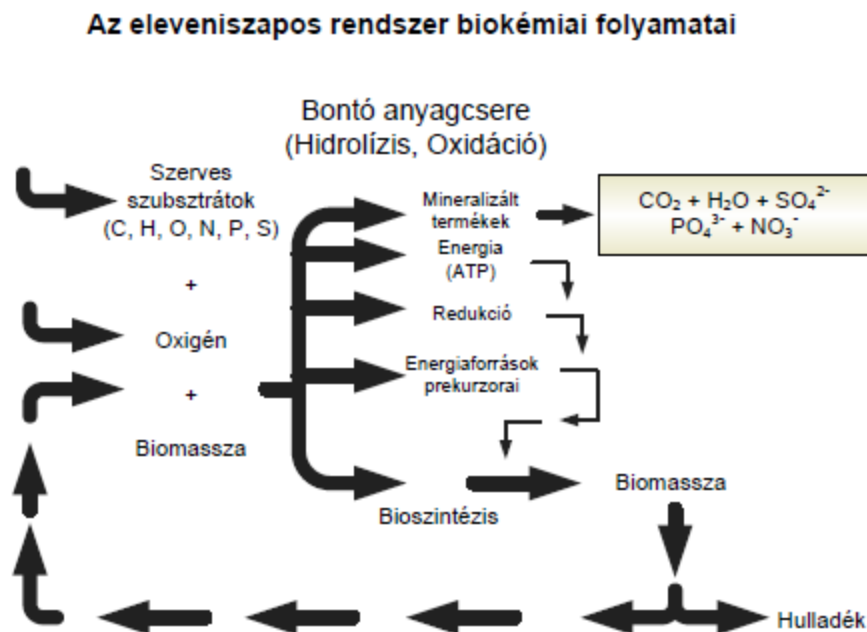
A csatornahálózatok működésének energiaigényét két kis település szennyvíztisztítási agglomerációjában vizsgáltuk. A tétii szennyvíztisztítási agglomeráció esetében a szennyvíz összegyűjtésének energiaigénye 24,0 kWh/LEÉ/év [18], a jánossomorjai szennyvíztisztítási agglomeráció esetében pedig 32,4 kWh/LEÉ/év [17]. Az adatokból nyilvánvalóvá válik, hogy a szennyvíz összegyűjtésének energiaigénye nem elhanyagolható a szennyvíztisztítás energiaigénye mellett.

További szempontként merül fel, hogy a szennyvíztisztító telepek az anaerob iszapkezelés révén (biogáz termelés és -hasznosítás) energiaigényük mekkora hányadát tudják előállítani. A Budapesti Központi Szennyvíztisztító Telep teljes energiaszükséglete 90.000 kWh/nap. A telep az anaerob termofil iszaprothasztókban termelt biogáz segítségével 60.000 kWh/nap villamos energiát, azaz a telep szükségletének kb. 2/3-t termeli meg. A győri szennyvíztisztító telepen az anaerob mezofil iszaprothasztókban termelt biogáz gázmotorokban történő elégetésével a telep energiaszükségletének kb. felét képesek fedezni. Lindtner (in [18]) az anaerob iszaprothasztást alkalmazó szennyvíztisztító telepek energiaigényére 29 kWh/LEÉ/év, míg az aerob iszapstabilizálást végző 47 osztrák szennyvíztisztító telep esetében (kapacitásuk 20 ezer - 1 millió LEÉ közötti) a fajlagos energiafogyasztás adatára 39 kWh/LEÉ/év értéket közöl. A felmérés eredménye alapján az anaerob stabilizálással működő szennyvíztisztító telep fajlagos villamosenergia-fogyasztása 10 kWh/LEÉ/évvel kevesebb az aerob stabilizálást végzőkkel szemben. További példaként néhány USA-beli szennyvíztisztító telep adatait is bemutatjuk. Egy 150.000 LEÉ-ű telep teljes, kb. 179 millió kWh/év energiaigényének 96%-át tudta saját energiából fedezni, egy 80.000 LEÉ-ű telep a 134 millió kWh/év 76%-át, egy 5.500 LEÉ-ű telep pedig a 12 millió kWh/év 82%-át [11]. Az iszapkezelés során megtermelhető megújuló energia mennyisége az országos villamosenergia-termeléséhez képest azonban nem jelentős: Németországban például 2006-ban az ország villamosenergia-termelésének 1,1%-át tette ki az iszapkezelés révén előállított energia [20]. Hazánkban a települési szennyvíztisztítók iszapkezelésének további fejlesztésével várhatóan tovább növekszik az anaerob iszapstabilizálásra kerülő szennyvíziszap mennyisége [12] [21].

### 3. A háztartási szennyvíz ÜHG kibocsátása a kezelések következtében

A szennyvíztisztítás során lezajló biokémiai folyamatok által az emberi ürülék szervesanyag-tartalma lebomlik, szervesen vegyületekké (pl. a vizekre terhelést jelentő szervesen nitrogén- és foszforformákká), köztük szén-dioxiddá alakul át, egy része pedig az eleveniszapban ill. annak növekményében halmozódik fel (1. ábra).

Az, hogy a biológiai szennyvíztisztítás során az ürülék szerves szénvázának mekkora része, milyen mértékben oxidálódik, hol és mikor válik az oxidáció teljessé (azaz amikor minden szénből  $\text{CO}_2$  lesz), erősen függ a biológiai szennyvíztisztítás technológiai megvalósításától, a tisztítás hatásfokától, az iszapkezelés módjától stb., azonban részleteiben nem kellően tanulmányozott. A mechanikai tisztítás során keletkezett iszapnak és a biológiai tisztítás fölött eleveniszapjának kezelése többféle lehet (sűrítés, stabilizálás, víztelenítés, szárítás, komposztálás) az iszap végső felhasználási módjától függően (iszap mezőgazdasági hasznosítása, komposzt mezőgazdasági hasznosítása, rekultivációs hasznosítás, energetikai hasznosítás, lerakás). Ezen folyamatok egy része során az iszap szervesanyag-tartalma (azaz végeredményben az emberi ürülék is) szintén átalakul egyszerűbb, szervesen vegyületekké. Az anaerob iszaprothasztás (mint stabilizálási eljárás) során a szerves anyag nagy részéből biogáz képződik, amely elégetéssel energiatermelésre hasznosítható, miközben a metánból szén-dioxid képződik. Mindezek alapján bizonyos, hogy az ürülék széntartalmának kisebb-nagyobb része szén-dioxid formájában a légkörbe kerül.

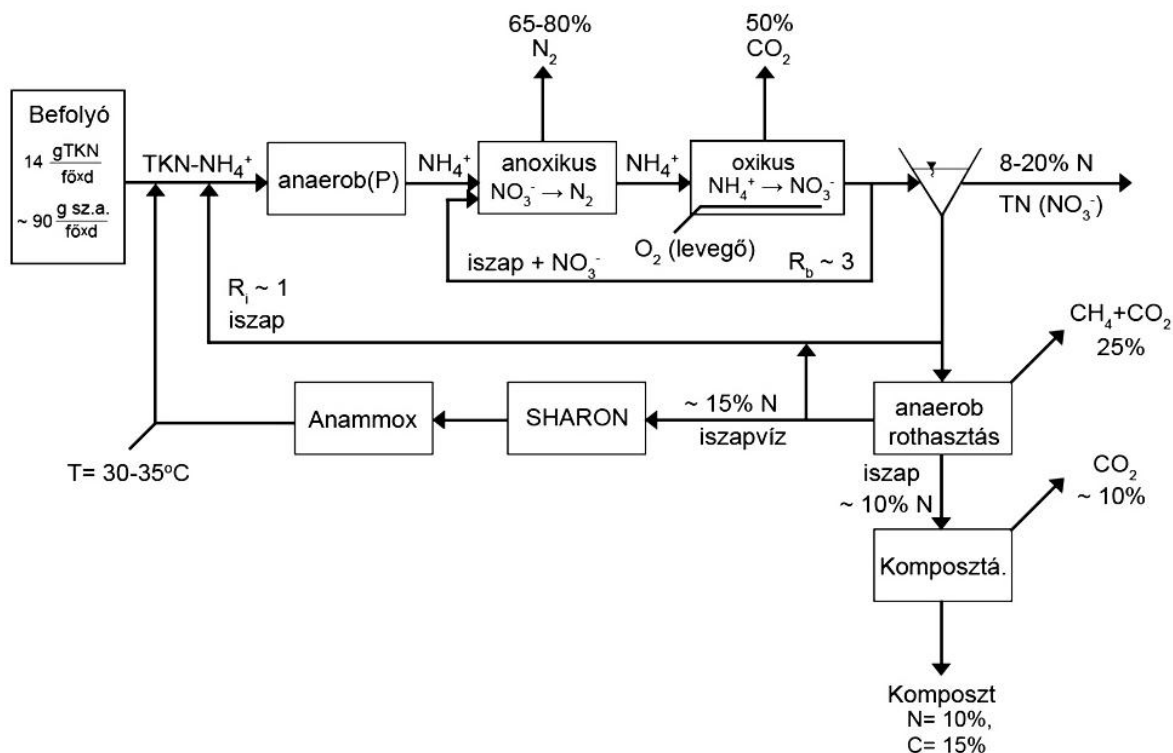


1. ábra: Az eleveniszapos rendszerben végbemenő biokémiai folyamatok [22].

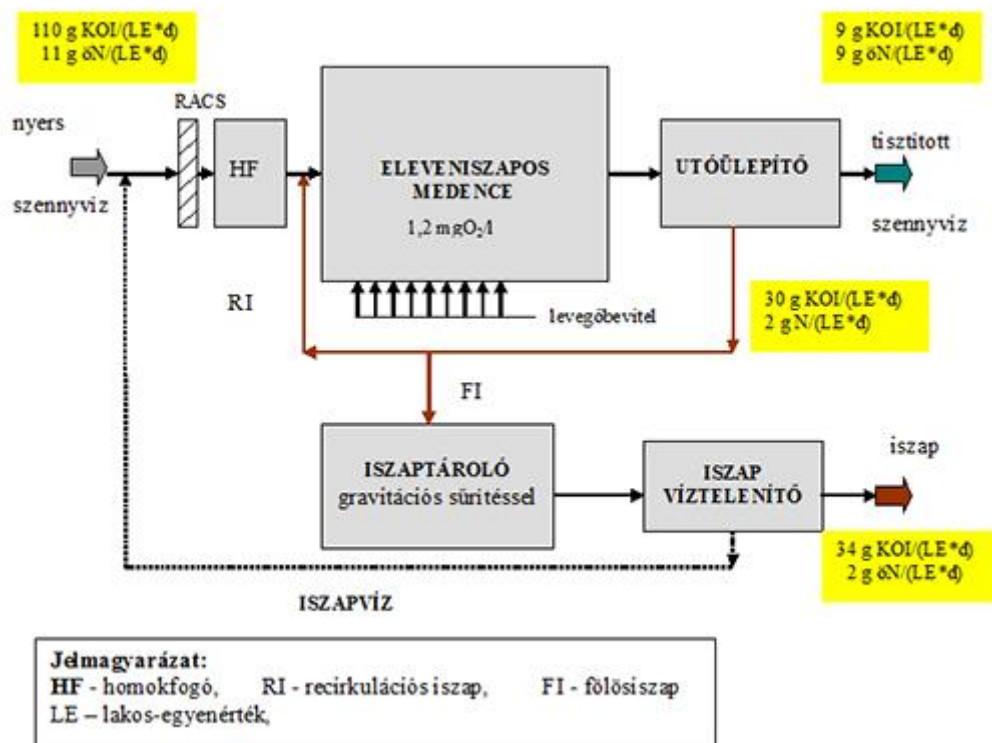


A 2. ábrán bemutatott szennyvíztisztítási séma szerint a szennyvíz eredeti széntartalmának 50%-a  $\text{CO}_2$ -ként az eleveniszapos rendszer oxikus (aerob) medencéjéből a légkörbe jut, 25%-a az anaerob iszaprothasztás során válik metánná, majd  $\text{CO}_2$ -vé, 10%-a a rothasztott iszap komposztálása során alakul át  $\text{CO}_2$ -vé. Az eredeti széntartalom 85%-a tehát  $\text{CO}_2$ -ként távozik, és a kiindulási széntartalomhoz képest annak csak 15%-a kerül a komposztba, azaz vissza a talajba. Érdekes végigkövetni a 2. ábrán a nitrogén átalakítási folyamatát is, amelynek végeredményeként a szennyvíz (benne az ürülék) nitrogén-tartalmának mindössze 10%-a marad a komposztban, azaz használható fel talajerő utánpótlásra, 8-20%-a a befogadó élővizekbe jut, és 65-80%-a  $\text{N}_2$  gáz formájában a levegőbe kerül.

Az aerob iszapstabilizációval és az anaerob iszaprothasztással működő szennyvíztisztító telepek tisztítási technológiai sémáin (3. és 4. ábra) a szervesanyag-tartalom változása hasonlítható össze. Az aerob iszapstabilizációt alkalmazó szennyvíztisztítás során (3. ábra) a szennyvízzel érkező 110 g/LEÉ/nap KOI-ban kifejezett szervesanyag-tartalom 8%-a (9 g/LEÉ/nap) kerül a befogadó élővízbe, 31%-a (34 g/LEÉ/nap) víztelenített szennyvíziszapként a mezőgazdaságban felhasználható. A maradék 61% (67 g/LEÉ/nap KOI) nincs jelölve az ábrán, feltételezhetően ez a szerves anyag mennyiség teljes oxidáción esik át, és  $\text{CO}_2$ -ként a légkörbe jut.

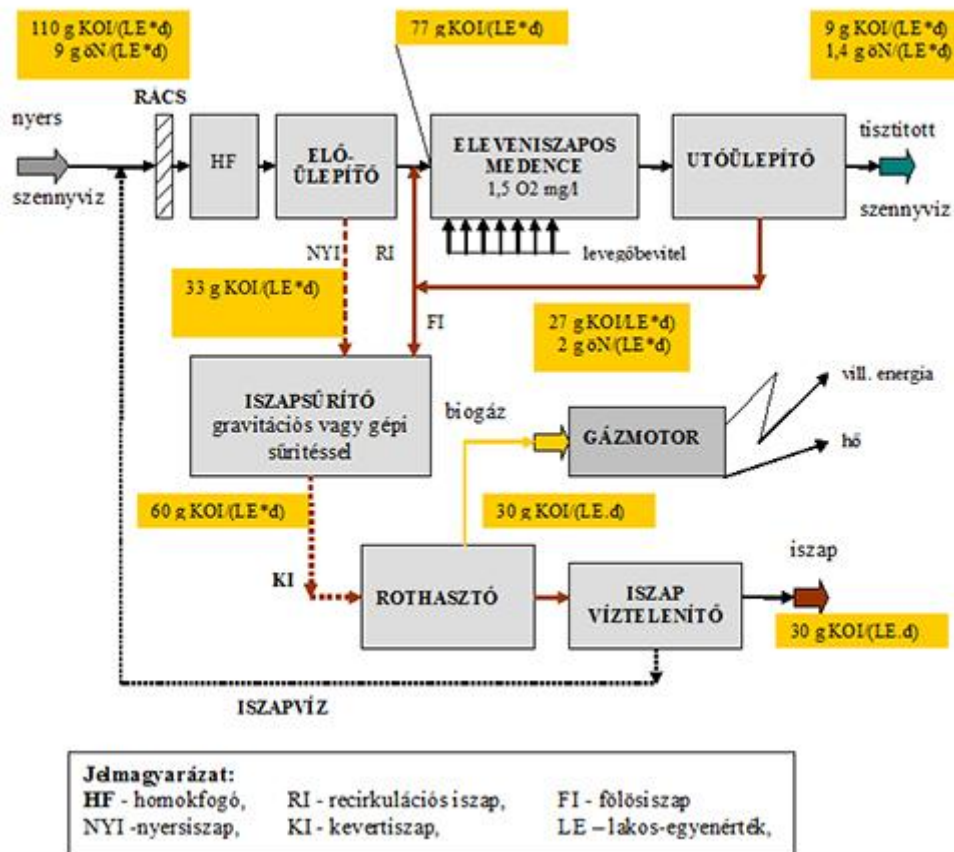


2. ábra: Szén és nitrogén eltávolítás a szennyvíztisztításban [23].



3. ábra: A szimultán aerob iszapstabilizációval működő szennyvíztisztító telep tisztítási technológiai sémája [21].

Az iszaprohasztást alkalmazó szennyvíztisztítás során (4. ábra) a szennyvízzel érkező 110 g/LEÉ/nap KOI-ban kifejezett szervesanyag-tartalom 8%-a (9 g/LEÉ/nap) kerül a befogadó élővízbe, 27%-a (30 g/LEÉ/nap) biogázként a gázmotorokban kerül elégetésre, 27%-a pedig a vízteleltett kirohasztott iszapban marad. A maradék kb. 38%-nyi (41 g/LEÉ/nap KOI) nincs jelölve az ábrán, feltételezhetően ez a szerves anyag mennyiség teljes oxidáción esik át, és CO<sub>2</sub>-ként a légkörbe jut, azaz az iszaprohasztásos technológia esetében a szerves anyag 65%-a oxidálódik szén-dioxidá.



4. ábra: Rothasztással működő szennyvíztisztító telep tisztítási technológiai sémája [21].

A magyarországi összes települési szennyvíztisztító telep 2013. évi biológiai terhelése összesen 8.750.148 LEÉ. Az ebből keletkező iszaptömeg szárazanyag-tartalma 179.378 t/év [12]. 2013-ban a szennyvíziszapok 37,8%-át mezőgazdasági célra, 45,7%-át rekultivációra, 5,6%-át energetikai célra (az iszap közvetlen elégetése), 8,9%-át egyéb célra hasznosították, 2,0%-át pedig lerakással ártalmatlanították. A szennyvíziszapok lakosegységére vetített fajlagos szárazanyag-tartalmának országos átlaga 20,5 kg/LEÉ/év-re adódik. A jövőbeli fejlesztések alapján 12,2 millió LEÉ biológiai terhelés és szárazanyag-tartalmát tekintve 250 ezer t/év szennyvíziszap várható 2027-re [12]. A jövőben a szennyvíziszapok jelenleginél szélesebb körű rothasztással történő hasznosítása várható [12] [21]. Fentiek miatt elmondható, hogy az ürülék széntartalmának csak csekély hányada az, amelyik a szennyvíztisztítást követően potenciálisan talajerő utánpótlásra felhasználhatónak megmarad, és hazánkban még e csekély hányadnak is kevesebb, mint 40%-a kerül mezőgazdasági felhasználásra, azaz szolgál tényleges talajerő utánpótlásra – jelentős része CO<sub>2</sub>-ként a légkörbe távozik.

#### 4. Az ürülék közvetlen komposztálással történő hasznosítása

Gondoljuk végig, hogy valóban a fenntartható fejlődést szolgálja-e az az út, amelynek során az emberi ürüleből a szennyvíztisztítás folyamatán átvezetve jelentős energia befektetésével a szennyvíziszap kezelése során energiát (és üvegházhatású gázokat) állítunk elő (amely energiát aztán visszaforgatunk

a szennyvíztisztításba), és/vagy a szennyvíziszap komposztálásával a talajerő utánpótlásra felhasználható komposztot állítunk elő. Utóbbi esetében nem a végeredmény, hanem elsősorban az odavezető út problémás. Miért kell az ürüléket felhígítanunk, átalakítanunk, átvezetnünk a szennyvíztisztítás folyamatán (miközben véglegesen „megszabadítjuk” szerves anyagainak és tápanyagainak egy részétől a denitrifikáció ill. teljes oxidáció során felszabaduló  $N_2$  ill.  $CO_2$  által), majd a keletkezett szennyvíziszapot komposzttá alakítanunk, ha az ürüléket közvetlenül is lehet komposztálni, jóval csekélyebb energiával és költséggel?

Az ember ürülékének természetes körfolyamatokba való visszavezetésére célszerű és alkalmas technológiának kínálkozik annak közvetlen komposztálása, melynek előfeltétele a vizeletet és székletet együtt gyűjtő komposztáló toaettek használata. A komposztáló toaettek székletet és a vizeletet együttesen kezelő típusainak tervezésénél az alapvető és elsődleges cél az ürülék talajba való visszavitele a lehető leghatásosabb humuszkészítéssel. Csak ez a száraz toalett típus az, amelyik lehetővé teszi, hogy az ürülék komposztálható legyen, a humuszképző folyamatokhoz ideális C/N arányú talajjavító és tápanyagpótló trágyát lehessen belőle létrehozni, és így a természeti folyamatokat leginkább utánzó módon vissza lehessen azt vezetni a bioszféra természetes körfolyamatába. Technológiai megoldása többféle lehet ([24] [25]), ezek bemutatását és értékelését korábbi tanulmányaink kereteiben tettük meg ([26] [27] [28] [29]).

A vízöblítéses toalettal és a hozzá kapcsolódó infrastruktúrával összehasonlítva a komposztálás számos előnyös környezeti hatással rendelkezik. Az emberi ürülék komposztálással történő hasznosítása nem avatkozik be a természetes vízkörforgásba, és nem generál vízfogyasztást. Nem szennyezi a felszíni és felszín alatti vizeket nitráttal és foszfáttal. Ha a háztartási szennyvíz nem tartalmaz ürüléket, akkor a szürke víz tisztítása technológiailag sokkal egyszerűbben és jóval kevesebb energiát igénylően megoldható, mi több, az akár egyedileg is tisztítható szürke víz tisztítását követően széles körben felhasználható, további vízmegtakarítást eredményezve. A szennyvízelvezetés és -tisztítás költség- és energiaigénye nagymértékben lecsökken, ami az energiahordozók használatának csökkenését, ezzel együtt a  $CO_2$  kibocsátás csökkenését is jelenti. A szennyvíziszap mennyiségének nagymértékű csökkenése ÜHG kibocsátás csökkenéssel is együtt jár. Ha a komposztált ürülék tápanyagtartalma visszakerül a biológiai körfolyamatokba, akkor visszaszorulhat a műtrágyák használata, amellyel együtt mind a műtrágyázás talajra gyakorolt kedvezőtlen hatásai, mind a műtrágyák előállításának, szállításának és felhasználásának ÜHG kibocsátásai csökkennek. A komposztált ürülék mezőgazdasági felhasználásával nemcsak makro-, hanem mikrotápanyagokat is juttatunk a talajba, ráadásul humusz formájában (ellentétben a szervesetlen műtrágyákkal), így a tápanyag-hasznosulás mértéke megnőhet, a talajok kizsigerelése és a talajerózió visszaszorul. Mindezek eredményeképpen az élelmiszer-termelés fenntarthatóbbá válik, miközben a  $CO_2$  hatékonyan és biztonságosan, humusz formájában kötődik a talajban.

Hogy az emberi ürülék komposztálása és mezőgazdasági felhasználása mégsem magától értetődő, annak elsősorban kulturális és lélektani okai vannak; habár a múltban az ürülék mezőgazdasági felhasználása szélesebb körben elterjedt volt.

## 5. Összegzés

A vízöblítéses toailettek széles körű elterjedésével megváltozott az ürülékünkhöz való viszonyunk: az ürülék minél gyorsabban eltüntetendő hulladék lett, melyet az összegyűjtés után jórészt vízfolyásokba engedünk bele. A szennyvíztisztítás nélkül a felszíni vizekbe engedett, ürüléket is tartalmazó szennyvíz emberi egészségre és vízi ökoszisztémákra gyakorolt káros hatásainak nyilvánvalóvá válását követően a figyelem a vizekre irányult. A forrásorientált környezetpolitika „end of pipe” módszereit kezdték el alkalmazni, azaz arra koncentráltak, hogy a szennyvíztisztítókból kikerülő szennyvízből minél nagyobb mértékben kivonják a vizekre káros hatással bíró anyagokat. A szennyvíztisztítás egyre fejlettebb technológiáit építik ki és alkalmazzák, melynek során az ürülék szervesanyag-tartamát lebontva, azt szervesetlen nitráttá és foszfáttá, valamint szén-dioxiddá és metánná alakítják (utóbbit elégetve végső soron abból is szén-dioxid lesz). A felszíni vizekbe jutó nitrát és foszfát azonban eutrofizációt okoz. Ezt felismerve különféle technológiai megoldásokkal megnövelték a szennyvíztisztítók hatásfokát, így az élővizekbe egyre kevesebb szerves- és tápanyag kerül. Helyette azok a szennyvíziszapban halmozódnak fel; illetve részben a légkörbe kerülnek. A szennyvíziszapra ill. kezelésére napjainkban irányuló figyelemmel, az anaerob iszaprothasztás szélesebb körű terjesztésével azonban a probléma alapvető oka továbbra sincs megoldva, sőt, egyre súlyosabb környezeti problémákat, köztük ÜHG kibocsátást és energiahordozó szükségletet generál. A folyók szennyezését kiküszöbölő, megelőző jellegű lehetőségeket még most sem vizsgáljuk annak fontossága szerint, és nem azon gondolkozunk, hogy hogyan lehetne elkerülni, hogy az emberi ürülék egyáltalán bejuthasson a vízkörforgásba.

Közelítő számításaink alapján a hazánk lakosai által évente ürített szén mennyisége 78-206 ezer tonna között, míg a Föld összes lakosa által ürített szén mennyisége 58-153 millió tonna között becsülhető. Ha ennek a mennyiségnek a teljes hányada CO<sub>2</sub> formájában a légkörbe kerülne, akkor ez 288-756 ezer tonna CO<sub>2</sub> emissziót jelentene 10 millió fő esetén, és 213-560 millió tonna CO<sub>2</sub> emissziót jelentene 7,4 milliárd fő esetén. Ezek az értékek természetesen csak potenciális mennyiséget jelölnek. Egyrészt a szennyvízcsatorna hálózatra csatlakoztatott, vízöblítéses WC-t használó népesség száma a Földön napjainkban még csak kb. 2,8 milliárd fő, és az általuk generált szennyvízmennyiségnek nem a teljes hányada kerül szennyvíztisztító telepekre (különösen a fejlődő országokban). Másrészt a szennyvíztisztítás hatásfoka regionálisan és lokálisan is igen eltérő. Harmadrészt pedig az ürülék szervesanyag-tartalma a szennyvíztisztítás és szennyvíziszap-kezelés módjától függő mértékben oxidálódik CO<sub>2</sub>-vé. Fentiek miatt hazánk esetében is csak nagyon durván becsülhető, hogy egy évben lakosonként mennyi CO<sub>2</sub> termelődik az ürülékünk szennyvíztisztító telepeken végzett oxidációja során.

Az éghajlatváltozás okozta lehetséges katasztrófák esetleges tompításához egyes vélemények szerint 2035-ig 156 milliárd tonna CO<sub>2</sub> emissziót kellene elkerülni [30]. A meglehetősen ellentmondásos megítélésű, és egyáltalán nem kiforrott CCS (carbon capture and storage) technológia ebből 24 milliárd tonna CO<sub>2</sub> „eltüntetését” tudná vállalni [30]. Nem részletezve a CCS technológiát és annak számos, igen jelentős buktatóját, valamint ésszerűtlenségét, arra hívjuk fel a figyelmet, hogy az emberi ürülékből 20 év alatt kb. 4-11 milliárd tonna CO<sub>2</sub> keletkezhet (nem számolva a népesség

növekedésével), amely mennyiség a CCS általi eltüntetés megcélzott mennyiségével nagyságrendileg összevethető. Az ürülék szén-dioxiddá alakítása azonban elkerülhető az egyszerű, és számos egyéb pozitív környezeti hatással járó technológiával, az ürülék közvetlen komposztálásával. Ha az ürülék nem kerül szennyvíztisztításra és iszapkezelésre, akkor nem csak ezt a potenciális 4-11 milliárd tonna szén-dioxidot nem bocsátjuk a légkörbe, de a szennyvíztisztítás energiaigényének jelentős lecsökkentése, valamint járulékosan a műtrágyagyártás, a műtrágya kereskedelem és a műtrágyázás okozta ÜHG kibocsátások jelentős csökkenése által további CO<sub>2</sub> emissziót tudunk elkerülni. Az ürülék közvetlen komposztálása megoldhatná a vízöblítéses toalették további környezeti terheléseit is: a száraz toalették alkalmazása csökkentené a vízfelhasználást, valamint az ürülék szerves- és tápanyagainak a bioszféra anyagforgalmából való kivonását is. Utóbbi által – a műtrágyák iránti igény visszaszorulásával – csökkenthetné a műtrágyázás okozta környezeti terheket – köztük a szén-dioxid kibocsátást – is.

Földünk édesvízkészleteinek szennyezettsége, a megfelelő minőségű vízkészleteink mennyiségének csökkenése és az éghajlat-változás hatásai miatt is olyan technológiákra való áttérést, illetve olyan technológiák kiépítését kellene szorgalmaznunk, amelyek csökkentik a vízfelhasználást és megelőzik a vizek szennyeződését. Az emberi ürülék szélesebb körű mezőgazdasági felhasználását fentiekén túl a talajvesztés, a talajok termőképességének csökkenése, a műtrágyák előállításának anyag- és energiaigénye is sürgetően szükségelteti.

## Hivatkozások

- [1] UNICEF – WHO, *Progress on sanitation and drinking water – 2015 update and MDG assessment*, UNICEF and World Health Organization, 2015, P90
- [2] Toilettes Du Monde, *Guide toilettes seches. Assainissement Ecologique et solidarite*, Nyons, Franciaország, 2009, P81 A .
- [3] N. L. Schouw, S. Danteravanich, H. Mosbaek, J. C. Tjell, *Composition of human excreta – a case study from Southern Thailand*, Science of the Total Environment Journal, 286(1-3), 2002, pp. 155-166.
- [4] H. Jönsson, A. Baky, U. Jeppson, D. Hellström, E. Kärrman, *Composition of urine, faeces, greywater and biowaste for utilization in the URWARE model. Urban Water Report of the MISTRA Programme, Report 2005:6*, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2005, pp. 10-21.
- [5] B. Vinnerås, H. Palmquist, P. Balmér, J. Weglin, A. Jensen, Å. Andersson, H. Jönsson, *The characteristics of household wastewater and biodegradable waste – a proposal for new Swedish norms*, Urban Water Journal 3(1), 2006, pp. 3-11.
- [6] C. B. Niwagaba, *Treatment Technologies for Human Faeces and Urine*, Doctoral Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2009, pp. 1-89.
- [7] F. Tanguay, *Petit manuel d'auto-construction*, Mortagne, Quebec, 1990, P272

- [8] Központi Statisztikai Hivatal, *Magyarország CO<sub>2</sub> kibocsátása*, www.ksh.hu, letöltve: 2016. május 14.
- [9] Intergovernmental Planet on Climate Change, *Climate Change 2014 – Synthesis Report (SYR) of the IPCC Fifth Assessment Report (AR5)*, IPCC, 2014, P112
- [10] O. Christ, R. Mistsdoerffer, *Regenerative Energie nutzen*, Wärmequelle Abal. wasser. WWT-Wasserwirtschaft-Wassertechnik, 5, 2008, pp. 8-12.
- [11] E. Domokos, E., *A szennyvízkezelés fejlesztésének lehetőségei a magyar gazdaságban*, Egyetemek, Főiskolák Környezetvédelmi Oktatóinak VII. Országos Tanácskozása, Veszprém, 2015. ápr. 9-10. előadás anyag
- [12] „Stratégia 2014” Konzorcium, *Szennyvíziszap kezelési és hasznosítási stratégia 2014-2023*, Országos Vízügyi Főigazgatóság, Budapest, 2014, pp. 7-8.
- [13] P. Varga, *Napkollektoros hőtermelés jövője a napelemes áramtermelés mellett*, Egyetemek, főiskolák környezetvédelmi oktatóinak VIII. Országos Tanácskozása, Kecskemét, 2016. május 5-6. előadás anyag
- [14] Magyar Szélenergia Társaság, <http://www.alternativenergia.hu/tag/magyar-szelenergia-tarsasag-mszet>, letöltve: 2016. május 23.
- [15] Electric Power Research Institute, *U.S. Water & Sustainability (Volume 4): Electricity Consumption for Water Supply & Treatment - The Next Half Century*, Technical Report, EPRI, California, USA, 2002, P93
- [16] K. Eck, *Egy OMS Technológiájú szennyvíztisztító telep próbaüzemi tapasztalatai*, Szakdolgozat, konzulens: Zseni Anikó, Széchenyi István Egyetem, Környezetmérnöki Tanszék, Győr. 2015
- [17] I. Cs. Kálmán, *Jánossomorja város szennyvíztelepének intenzifikációja*, Szakdolgozat, konzulens: Zseni Anikó, Széchenyi István Egyetem, Környezetmérnöki Tanszék, Győr. 2011.
- [18] Zs. Vized, *A téti szennyvíztisztító környezeti hatásai és erőforrás igénye*, Szakdolgozat, konzulens: Zseni Anikó, Széchenyi István Egyetem, Környezetmérnöki Tanszék, Győr, 2011.
- [19] H. Kroiss, K. Svardal, *Energiebedarf von Abwassereinigungsanlagen*, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, 11-12., 2009, pp. 170-177.
- [20] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.v., *Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft*, Schwerpunkt Abwasser, DWA, Hennef, Németország, 2010.
- [21] D. Dulovics, *Energiagazdálkodás a szennyvíztisztításban*, Magyar Energetika 20(1), 2013, pp. 32-35.

- [22] R. J. Seviour, K. C. Limdrea, P. C. Griffiths, L. L. Blackall, L.L., 1990, Az eleveniszapos szennyvíztisztítás mikrobiológiája c. könyvében megjelent anyaga alapján készített tömörítvény 27-45. old. Kárpáti, Á. (szerk.), *Az eleveniszapos szennyvíztisztító rendszerek és ellenőrzése*. Ismeretgyűjtemény No.2., Veszprémi Egyetem, Környezetmérnöki és Kémiai Technológia Tanszék, 2002.
- [23] Á. Kárpáti, B. Fazekas, Zs. Horváth, *Szennyvíztisztítás korszerű módszerei* (szerk. Kárpáti, Á.), Környezetmérnöki Tudástár 32. kötet, Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézet Veszprém, 2014, P280
- [24] EcoSan Waterless Toilet System, [www.ecosan.co.za](http://www.ecosan.co.za), letöltve: 2015. május
- [25] J. Országh, *Vízönellátó – fenntartható vízgazdálkodás a világban*, [www.eautarcie.org](http://www.eautarcie.org), letöltve: 2014. szeptember
- [26] A. Zseni, *Hulladék vagy érték? Az emberi ürülék, mint a fenntartható vízgazdálkodás és mezőgazdaság egyik fontos tényezője*, Debreceni Műszaki Közlemények, 2014/2, pp. 75-84.
- [27] J. Nagy, A. Zseni, *Műszaki megoldások az emberi ürülék hasznosítására a fenntartható vízgazdálkodás és fenntartható mezőgazdaság elősegítése érdekében*, In: Ferencz Árpád (szerk.) II. Gazdálkodás és Menedzsment Tudományos Konferencia: „A vidék él és élni akar”. I. kötet. Kecskeméti Főiskola Kertészeti Főiskolai Kar, Kecskemét, 2015, pp. 476-480.
- [28] A. Zseni, J. Nagy, *Az emberi ürülék szerepe a jövő mezőgazdaságában*, In: Nagy Z.B. (szerk.) LVII. Georgikon Napok Konferencia. Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely, 2015, pp. 494-504.
- [29] J. Nagy, A. Zseni, *SWOT analysis of dry toilets*, WIT Transactions on Ecology and the Environment, Vol 203, 2016, pp. 257-268.
- [30] Carbon Tracker, *The \$2 trillion stranded assets danger zone: How fossil fuel firms risk destroying investor returns*, 2015, P32., [http://www.carbontracker.org/wp-content/uploads/2015/11/CAR3817\\_Synthesis\\_Report\\_24.11.15\\_WEB2.pdf](http://www.carbontracker.org/wp-content/uploads/2015/11/CAR3817_Synthesis_Report_24.11.15_WEB2.pdf), letöltve: 2016. május 15.