

# A körforgásos gazdaság és a szennyvíz

Hozzászólás dr. Major Veronika előadásához

Melicz Zoltán

MHT Környezetvédelmi  
Szakosztály  
2023.04.18.



# A szennyvíz bekapcsolása a körforgásos gazdaságba

- ▶ Szakirodalmi adatok alapján
  - ▶ Intenzív kutatás a világban
  - ▶ Hajtóerők: gazdasági illetve jogi kényszerek, nyersanyag és energiahiány
  - ▶ Fékezőerők: költségek, rendelkezésre álló technológia, lakosság ellenérzései
  - ▶ Példák a világból a laboratóriumi léptéktől a megvalósult üzemi működésig

# A szennyvíz

- ▶ Azt gondoljuk, hogy egy ártalmatlan anyag, amire költeni kell, hogy ne legyen az
- ▶ A szennyvíz mennyisége globálisan folyamatosan nő (lakosság és vízhasználat növekedése)
- ▶ \*Glen T. Daigger, IWA elnök szerint: *„...Az az igény, hogy a víz ne csak a lakosságot tartsa fenn, hanem az életmódunkat is, óriási mértékben nőtt. De még mindig olyasmikkel próbálkozunk, amiket a múltban tettünk.”*
- ▶ Azaz: *„más szemlélet, paradigmaváltás, oktatás...”*

# A szennyvíz: mi van benne ami hasznos?

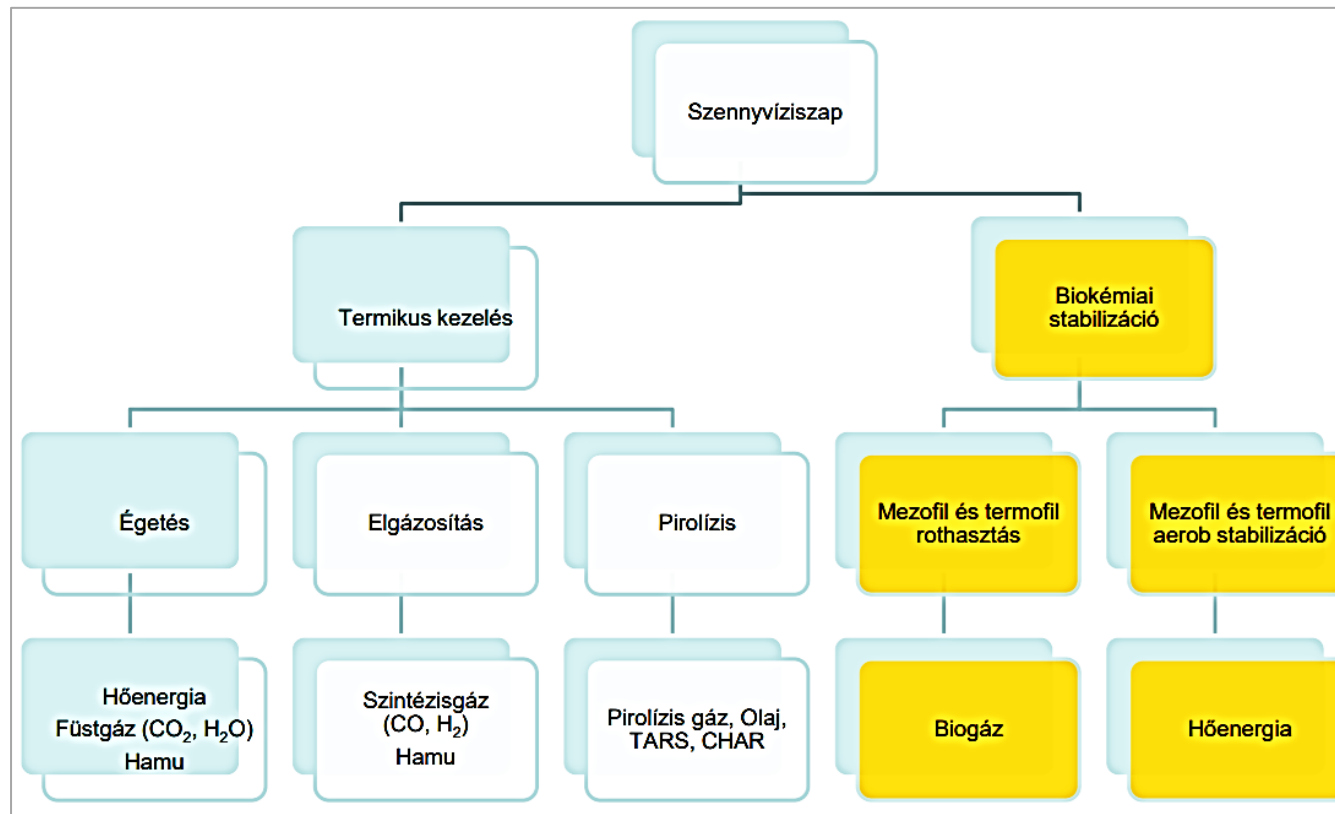
- ▶ A szennyvízben lévő és kiaknázható energia nagysága legalább kétszerese annak, amit a tisztítására felhasználunk.
- ▶ Az energiatartalom mellett a szennyvíz olyan nyersanyagokat is tartalmaz, melyek piaci hozzáférhetősége csökken, így annak kinyerése indokolt lehet.
- ▶ A szennyvíz integrált, négylépcsős folyamatban történő kezelése (*UNESCO 2017*), mely szerint
  - ▶ a szennyezés csökkentése, illetve a szennyezés megelőzése,
  - ▶ a szennyező anyagok eltávolítása,
  - ▶ a szennyvíz újrafelhasználása és
  - ▶ a melléktermékek visszanyerése kell, hogy jelentse a megoldást. (+ az energia)

# Miért nem?!

- ▶ Lakosság félelme, vagy óvatossága a szennyvízhez kapcsolódó anyagokkal szemben,
- ▶ A piaci szereplők (pl. a mezőgazdaság) mérsékelt érdeklődése a hasznosítására, különösen azokban az esetekben, amikor a nyersanyagok jelenleg még kisebb költséggel szerezhetőek be.
- ▶ Jól érzékelhető azonban az Európai Unió kezdeményezéseiben, irányelveiben, hogy a körforgásos gazdaság kialakítása a szennyvízrendszerek esetében is fokozódó jelentőséget kaphat a jövőben.
  - ▶ A vízgazdálkodási aspektusok a fenntartható fejlődési célok között \*(SDG) (UN-SDG 2015), mint például
    - ▶ SGD2 – az éhség megszüntetése (élelmezésbiztonság elérése, a táplálkozás javítása és a fenntartható mezőgazdaság előmozdítása),
    - ▶ SDG6 - tiszta víz és megvalósítandó szennyvízelvezetés,
    - ▶ SGD7 - könnyen kezelhető és tiszta energia (biztosítja a hozzáférést a megújuló, megbízható, fenntartható és modern energiát mindenki számára),
    - ▶ SGD 14 - élet a víz alatt (kímélje és fenntartható módon használja az óceánokat, tengereket és azok erőforrásait a fenntartható fejlődés érdekében).

# A szennyvíz energia tartalmának kinyerése

- ▶ A víz szállító közeg is.
- ▶ A városi vízláncban és különösen a szennyvíz tekintetében sok lehetőség rejlik az erőforrások helyreállítására és a ciklusok bezárására.
- ▶ A szennyvízben és szennyvíziszapban rejlő energia kinyerésére számos működő technikai megoldás létezik.\*



Forrás: Román 2012  
\*Puchongkawarin és társai  
2015

# Energia - a biogáz termelés

- ▶ Az SZVTT-k működtetéséhez felhasznált fajlagos energiaigény 0,45-1,25 kWh/m<sup>3</sup> közötti.
  - ▶ A települési szennyvíz teljes energiatartalma 9,7 kWh/m<sup>3</sup> közeli\*, azaz akár 12-szer nagyobb is lehet, mint amire a tisztítás során szükség van.
  - ▶ Az energia biokémiai (a szennyvízben lévő szervesanyagokból), hő- és helyzeti energia, ami visszanyerhető.
  - ▶ A tisztítás során keletkezett (nyers és főlös) iszap a szennyvízben eredetileg jelen lévő energia körülbelül 60%-át foglalja magába, ezért gyakran csak azt használják az energia visszanyerésére, elsősorban nagyobb méretű tisztítórendszerekben, a biogáz hasznosítás révén.
- ▶ Az anaerob rothasztás képes átalakítani a szennyvíziszapban lévő szerves anyagokat biogázzá, amely metán (50% –70%), szén-dioxid (30% –50%) és más gázok (például nitrogén, hidrogén, kénhidrogén) keveréke. A metán fűtőértékének köszönhetően a biogáz felhasználható villamosenergia termelésre, hőtermelésre, valamint járművekben üzemanyagaként történő felhasználására is.



# Energia – a biodízel előállítás

- ▶ A fosszilis üzemanyag-tartalékok fokozódó szűkössége, valamint a biodízel környezeti előnyei (például az  $\text{SO}_x$  és a  $\text{CO}_2$  kibocsátás csökkenése) miatt növekedik az érdeklődés a bioüzemanyag iránt.\*
- ▶ Általában növényi olajokat használnak, - befolyásolta az élelmiszeripari termelést
- ▶ A biodízel előállításának költsége nagy a nyersanyagok költsége miatt, ami nem teszi versenyképessé a kőolajból nyert dízellel szemben.
- ▶ A nagy szervesanyag tartalmú szennyvíziszap, amely mellékterméknek tekinthető, fokozódó figyelmet kap, mivel a nagy lipidtartalma.
- ▶ Ezt a bioüzemanyagot finomított trigliceridek és metanol átészterezésével állítják elő.
- ▶ A fejlesztések egy része a biodízel nem katalitikus úton történő szintézisére, a túlnyomó többsége azonban új katalizátorok keresésére törekszik.\*\*

\*Forrás: Tyagi és társai 2013

\*\*Zhang és társai 2020



# Nyersanyagok – a hidrogén- és szintézisgáz termelés

- ▶ A biohidrogén a biogázzal együtt a szennyvízből kinyerhető bioüzemanyagok egyike, mely jó alternatíva a hagyományos üzemanyagokkal szemben, mivel energiatartalma 2,75-szer nagyobb, mint a szénhidrogén alapú üzemanyagoké.\*
- ▶ A hidrogént környezetbarát üzemanyag (végtermékként vizet generál).
- ▶ Jelenleg különféle technikák léteznek a szintetikus gázok előállítására, ezek között a pirolízis a legszélesebb körben használt. A szennyvíziszap esetében a magas víztartalom miatt az iszap szárítás előtti kezelésre van szükség, ami miatt jelentősen megnő az előállítás költsége. \*\*
- ▶ A szennyvízből történő H<sub>2</sub> előállítására további eljárások is felhasználhatók, bár nem annyira elterjedtek. Ilyen például az elektrohidrolízis és egyéb biológiai kezelések, mint például mikrobiális fermentáció.\*\*\*

*\*Forrás: Tyagi és társai 2013*

*\*\*Chen és társai 2017*

*\*\*\*Yarımtepe és társai 2019*

# Mikrobiális üzemanyagcella

- ▶ A bioüzemanyagok és a biogáz előállítása mellett lehetőség van a szennyvíz energia visszanyerésére is a szerves anyagokból közvetlenül az ún. bioelektrokémiai rendszerek révén.
- ▶ Ezek a víz- és szennyvíziszapon egyaránt közvetlenül alkalmazható folyamatok nemcsak villamosenergia-termelést eredményeznek, hanem egyes szennyezőanyagok eltávolítására is sor kerül a folyamat során. Az elektródákat tartalmazó üzemanyag cellák (MFC-k) egy anaerob (anód) és egy aerob kamrából (katód) állnak, melyeket kationcserélő membrán választ el.
- ▶ Az MFC-ben keletkező feszültség nagysága néhány száz millivoltra tehető. Amikor az elektron töltés azon része, amely hozzájárul az áramtermeléshez 40% közeli, a hidraulikus tartózkodási idő pedig 20 óra, az energiapotenciál nagysága elérheti a 0,65 kWh/m<sup>3</sup>-t az MFC-ben.\*

# Hőszivattyúk: hőenergia-visszanyerés

- ▶ A háztartásban használt ivóvíz körülbelül 54% -át felmelegítik így átlagosan 27 °C-os hőmérsékleten hagyják el a házat: a fürdés és a zuhanyozás vize kb. 38–40 °C, a csapvíz 10 °C-os hőmérsékleten távozik a házból, míg 55 °C-os a mosogatógépből és mosógépből származó víz hőmérséklete kb. 40 °C.\*
- ▶ A modern holland házak összes energiaveszteségének 40% -át a házból kilépő meleg szennyvíz jelenti.
- ▶ 8 GJ/ház,év veszteség!
- ▶ A szennyvízből származó hőenergia-visszanyerésnek hátrányai:
  - ▶ A felületek eltömődése és a hőátadás mértékének csökkenése.
  - ▶ Megoldás a tisztított szennyvízben történő hőszivattyúzás (kevesebb szennyezőanyag).
  - ▶ A fejlesztések olyan csőanyagok és technológiai konfigurációk fejlesztésére összpontosít, amelyek késleltetik a hőcserélők szennyeződését.

# A vízenergia hasznosítása

- ▶ A szennyvízben lévő hidraulikus (kinetikus és helyzeti) energia szintén visszanyerhető a szennyvíztisztító telepeken.
- ▶ „Vízérőművek” rendszerbe építése, mini- és a mikro-vízérőművek alkalmazásával.
  - ▶ A hidraulikus energia hasznosítása megújuló energiaforrásnak tekinthető, üvegházhatást okozó kibocsátás nélkül.
  - ▶ Szemben más megújuló energiákkal, mint pl. a Nap-, vagy szélenergiával, a környezeti tényezőktől függetlenül egész évben lehetséges az energia kinyerése az időjárási viszonyoktól függetlenül.
  - ▶ A hidraulikus energia előállítása a szennyvíztisztító telep igénygörbéjéhez igazodik, azaz a fogyasztás csúcsai és a legnagyobb energiaigény időszaka egybeesik.\*\*

*\*Forrás: Sari és társai 2018*

*\*\*Bousquet és társai 2017*

# Nyersanyagok visszanyerése szennyvízből

▶ A települési szennyvíz fontossá váló alternatíva a tápanyagvisszanyerés szempontjából, különösen akkor, amikor egyes tápanyagok, elsősorban a foszfor mennyisége és hozzáférhetősége egyre kritikusabbá válik.

▶ (növényi tápanyagok körforgása)

▶ A növényi tápanyagok körforgásának megvalósítása a szennyvízkezelő létesítményeken: azok „erőforrás-helyreállító központokká” alakíthatók át.

▶ Különböző technikák alkalmazhatók a tápanyagok visszanyerésére, beleértve a kémiai, fizikai, és biológiai folyamatokat is.

▶ További anyagok, mint pl. a cellulózsálak, biopolimerek, bioműanyagok és fehérje visszanyerése a kutatás szintjén (laboratóriumi és félüzemi körülmények között működően) megjelentek, ám ipari méretű megvalósítása még nem történt meg.

*\*Forrás: Gottardo Morandi és társai 2018*

*\*\*Ruiken és társai 2013*

*\*\*\*Tamis és társai 2018*

*\*\*\*\*Jiang és társai 2012*

*\*\*\*\*\*Matassa és társai 2015*

# A foszfor kinyerése a szennyvízből

- ▶ A foszfor korlátozott mennyiségben található elem.
- ▶ Jelentős mennyiségű foszfor elvész az anyagok körforgásában. A mezőgazdasági területekre kijuttatott foszfát egy része nem hasznosul, illetve, ha a szennyvizet nem megfelelően kezelik, a felszíni befogadókba jut, abban kedvezőtlen biológiai folyamatokat okozva.
- ▶ Az élővizek védelmében szükséges a foszfor terhelés csökkentése. Ezért a szennyvíztisztítás során célszerű foszfor kinyerést megvalósítani, azaz olyan foszforvegyületeket és termékeket előállítani, amelyek gazdasági értékkel bírnak. A foszfor szennyvízből történő eltávolítását követően pedig a legtöbb esetben nem nyerik ki az iszapból, azaz az újrahasznosítása nem történik meg
- ▶ A foszfor több módon is kinyerhető a települési szennyvíztisztító telepeken: a közvetlenül a tisztított szennyvízből (tehát azt követően, hogy a szennyezőanyagok nagy része már eltávolításra került) kémiai kicsapás alkalmazásával, vagy a csurgalékvizekből. A foszfor elválasztása az rothasztott iszapból is lehetséges a víztelenítést megelőzően.
- ▶ A legszélesebb körben alkalmazott módszer a foszfor kinyerésére a struvit (magnézium-ammónium-foszfát) képzése kristályosodás/kicsapás révén. A **struvit** kiváló műtrágya, mivel a vízben lassan oldódik így lassú a felszabadulása, és közvetlenül alkalmazható a talajra is\*. A struvit kinyerésére számos, bevált eljárást ismerünk (Pearl<sup>®</sup>, PhosNix<sup>®</sup>, AirPrex<sup>®</sup>, PHOSPAQ<sup>®</sup> és Crystalactor<sup>®</sup>). A kinyerés során a kristályosításra is szükség van, melyeket a Ostara<sup>®</sup> DHV, Crystalactor<sup>®</sup>, és P-RoC<sup>®</sup> technológiák képesek biztosítani.
- ▶ A magnézium-kloriddal történő kémiai reakció során olyan termék állítható elő, amely a mezőgazdaság számára értékes, lassú kioldódású foszfortartalmú műtrágyát ad.

*\*Forrás: Cieslik és  
Konieczka 2017*

# A nitrogén kinyerése

- ▶ A nitrogén eltávolítása: befogadók védelme
- ▶ A nitrogén azonban nem korlátozott erőforrás és előállítható levegőből és földgázból is.
- ▶ A nitrogénsók kémiai kicsapással történő eltávolítása lényegében lehetetlen.
- ▶ A szennyvíztisztításban a biológiai módszereket alkalmazzák a nitrogén eltávolítására, de vannak egyes kémiai-fizikai módszerek a nitrogén leválasztására.
  - ▶ adszorpció,
  - ▶ ioncsere és
  - ▶ struvitcsapadék képzés.
- ▶ Ezek költségesek!
- ▶ Ha a víz nagyobb nitrogén tartalmú, mint például a csurgalékvizekben, és a nitrogén ammónium formában van jelen, a **sztrippelés** költséghatékony megoldás lehet. Vannak működő példák szennyvíztisztító telepeken, ahol ammónium-nitrátot vagy szulfátot állítanak elő sztrippelési technológiák alkalmazásával. Az ammónium-szulfátot használjuk közvetlenül a mezőgazdaságban műtrágyaként, míg az ammónium-nitrátból ásványi műtrágyákat állítanak elő.



# A nehézfémek kinyerése a szennyvíziszapból

- ▶ Különböző nehézfémek, köztük Cu, Ni, Zn, Cd, Pb, Cr és Hg találhatóak a szennyvíziszapban. A mezőgazdaságban problémákat okoznak!
- ▶ Mennyiségük nagymértékben változik a szennyvíziszap eredetétől függően. Az USA szennyvíztisztítóiban történt felmérés adatai szerint a legnagyobb Cu (468 mg/kg) és Zn (803 mg/kg) értékei megtalálhatók az szilárd anyagaiban, ami miatt az iszapból a nehézfémek visszanyerése szükséges annak (mezőgazdasági) kihelyezése előtt.\*
- ▶ A nehézfémek kinyerésére különféle módszerek ismertek: például kelátképzők: EDDS (etilén-diamin-N, N'-borostyánkősav; biológiailag lebontható) és EDTA (etilén-diamin-tetraecetsav; nem biológiailag lebontható) és szerves sav (citromsav) alkalmazása lehetséges. Az EDDS segítségével a réz visszanyerése körülbelül 70%-os mértékű volt 4,5-nél magasabb pH-érték mellett. Hasonló mértékű Cu-extrakció (72%) érhető el EDTA-val. A citromsavval a Cu és Zn 60–70%-os és 90–100%-os visszanyerést sikerült elérni.\*\*
- ▶ Az eltávolítás a szennyvíziszap kilúgozásával és membrántechnológia alkalmazásával is lehetséges. A legmagasabb eltávolítási tapasztalatokat kaptak a HNO<sub>3</sub> alkalmazásával: az kinyerés mértéke a Cr, Cu, Ni és Zn esetében sorrendben 27%, 22%, 30% és 32% volt.
- ▶ Az elektrokinetika kezelés\*\*\* a nehézfémek eltávolításának lehetséges módszereként is vizsgálták. Megállapítást nyert, hogy ennek a kezelésnek a kombinációja egy kelátképző szer (tetra-nátrium N, N-bisz (karboxi-metil) -glutaminsav) és biológiailag lebontható biológiai felületaktív anyag (ramnolipid) alkalmazásával hatékony lehet.

*Forrás: \*Mulchandani, és Westerho, 2016  
\*\*Zhang és társai 2008  
\*\*\* Tang és társai 2018*

# Adszorbens anyagok gyártása szennyvíziszapból

- ▶ Az adszorpciós szennyezőanyag eltávolítás műveletét az ivóvíztisztításban is gyakran alkalmazzák.
- ▶ Az ammónium, vagy a szerves és szervesetlen mikroszennyezők eltávolítása az adszorpciót alkalmazó rendszerek könnyű kezelhetősége miatt terjedt el.
- ▶ Tekintettel arra, hogy az adszorber gyártók egyre nagyobb figyelmet fordítanak a hulladékból származó adszorbensek fejlesztésére és olcsó termékek létrehozására, a szennyvíziszap érdekes alternatíva lehet, ugyanis az adszorbensek szintéziséhez magas széntartalmú anyagok szükségesek.
- ▶ Az adszorbens anyagok készítéséhez alkalmazott legelterjedtebb eljárások a karbonizálás, fizikai aktiválás, a kémiai aktiválás, valamint a fiziko-kémiai aktiválás kombinációja.

# Bioműanyagok

- ▶ A polihidroxi-alkanoátok (PHA) biológiailag lebontható polimerek, és hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a kőolaj alapú poliolefinok, ezért a kőolaj alapú műanyagok fenntartható alternatívájának tekinthetők.
- ▶ A PHA-termelés a szennyvíztisztító telepeken egy négy szakaszból álló folyamatot foglal magába:
  - ▶ (1) biológiailag könnyen lebontható szén eltávolítása a szennyvízből a szelektív biomassza növekedéshez kapcsolva a PHA-tárolási kapacitás növelését elérendő,
  - ▶ (2) az iszap savas rothasztása magas illékony zsírsavtartalommal (VFA),
  - ▶ (3) PHA felhalmozása a nagy VFA-koncentrációjú folyadékáramból dúsítás alkalmazásával és
  - ▶ (4) a PHA visszanyerése

# Építőanyagok készítése szennyvíziszap felhasználásával

- ▶ A szennyvíziszap **oxidokat** ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$  és  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) tartalmaz, hasonlóan a portlandcementhez vagy az agyaghoz (ökocement, téglá, kerámia anyagok, cementkötésű anyagok, vagy könnyű adalékanyagok).
- ▶ A szennyvíziszap nagy szervesanyag tartalma befolyásolhatja a cement tulajdonságait, mivel alacsony kötési szilárdságot okoz. A szennyvíziszap mint alapanyag költséghatékony felhasználása leginkább a cementszerű anyagok előállításához javasolható.
- ▶ Az iszap tulajdonságaitól, összetételétől függően azonban különféle kondicionálási lépésekre lehet szükség.
- ▶ A szárított iszap mészkőhelyettesítőként történő felhasználására van gyakorlati példa. A mészkő előállítás során a cement  $1400^\circ\text{C}$ -on, a mészkő optimális mennyisége 18 m% alatt kell tartani a könnyítés érdekében a kristályos fázis során a cementklinkerben. A
- ▶ A száraz szennyvíziszap részben felhasználható a hagyományos alapanyagok helyettesítésére (5-15% mennyiségig) annak érdekében, hogy a portlandcementhez hasonló tulajdonságokkal rendelkező ökocement jöjjön létre. Ezenkívül a szennyvíziszap a cementben lévő klinkert részben helyettesítheti öncementáló szerként.
- ▶ A portlandcementnél részben helyettesíthető a szennyvíziszappal (25% és 50% közötti tartományban), a portlandcement előállításához. Az iszapban található szerves anyag degradációja megtörténik a cement lúgossága miatt: ennek a folyamatnak a felgyorsítása érdekében  $\text{CaCl}_2$  és  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  adható hozzá adalékanyagok.
- ▶ A nagy nedvességtartalmú szennyvíziszap biztosíthatja a habarcs elkészítéséhez szükséges víz mennyiséget a pernyével történő kondicionálás révén, így elkerülve a víztelenítést és a szárítást is.

# Fehérjék kinyerése

- ▶ Az élelmiszeripari szennyvízben, illetve a települési szennyvíztisztítók nyers szennyvizében is található további kinyerhető anyagok: a tejipari szennyvízben például **fehérjék és lipidek** is találhatóak, amelyek felhasználhatók állati takarmányként.
- ▶ Speciális körülmények között egy alacsony költséggel lignoszulfonát kinyerése lehetséges, mely során a lipid 96%-os és a fehérjék (többnyire kazein) visszanyerése 46%-os.
- ▶ Az eleveniszap nagy fehérjetartalmának (legfeljebb 61%, illetve a baktériumsejtek száraz tömegének körülbelül 50% -a fehérje) szintén lehetséges. A fehérjék nagy hozzáadott értékű termékeknek tekinthetők, mivel folyékony műtrágyaként történő felhasználásuk lehetséges (pl. állati takarmányokban).
- ▶ *Hidrolitikus enzimek kinyerése\*\**
  - ▶ A szennyvízben megtalálhatók hidrolitikus enzimek, például az **amiláz, foszfatáz, lipáz**, és a **proteáz-glükózidáz**. Az aminosavak is jelen vannak az iszapban, és felelős a szerves anyagok biodegradációjáért az aerob lebontás során. Az enzimeket széles körben használják a mezőgazdaságban, a mosószer, a cellulóz- és papírpapír és a kozmetikumok és tejtermékek gyártásánál is. A proteáz a terápiás szerek fontos összetevőjeként, alkalmazzák például a malária vagy a rák kezelésében. Az enzimek kinyerése tehát ígéretes cél lehet, ám napjainkban még nincs jól kidolgozott módszer.

\*Forrás: Gopinatha Kurup és társai, 2019

\*\*Karn és társai 2019

# Fékező erők

## ▶ Bizonytalanság és érzékenység

- ▶ Nagy a bizonytalanság a technológiai fejlődés sebességében, mivel a gyorsan változó környezeti és piaci viszonyok erősen megszabják az új technológiák megjelenését.
- ▶ A jogszabályok és a társadalmi elfogadottság bizonytalanságot jelentenek, amelyek befolyásolhatják a stratégia megvalósulását. A szennyvízből kinyert termékek „szennyezettek” lehetnek, és patogén mikroorganizmusokat tartalmazhatnak, melyek akadályozhatják például a szennyvízből kinyert struvit műtrágyaként történő felhasználását.
- ▶ Az **alapelv megváltoztatása szükséges lehet** annak érdekében, hogy jogi értelemben is elfogadható legyen például a nitrogén visszanyerése a hulladékokból és a szennyvízből mikrobiális fehérjeként, az állatok takarmányának és élelmiszerének felhasználása során.\*
- ▶ A piaci viszonyok, a kereslet és kínálat mértéke további bizonytalanságot eredményez. A szennyvízből történő erőforrás-visszanyerés pénzügyi előnyöket és költségeket egyaránt jelent a szennyvíztisztító rendszerekben, amelyek a helyi körülményektől erősen függenek és sok más változóval is kölcsönhatásba lépnek.
- ▶ A szennyvízből történő **struvit** visszanyerés pénzügyi tekintetben pozitív eset, mert ez csökkenti a szennyvíztisztító fenntartási költségeit, miközben alacsonyabb üvegházhatásúgáz-kibocsátást eredményez. A **bioműanyagok** versenyben vannak a petrokémiai iparból származó műanyagokkal, amelyek nagy mennyiségben, viszonylag alacsony díjak mellett állnak rendelkezésre. Így a bioműanyagok piaci lehetőségei jelenleg korlátozottnak tűnnek. Az **alginsavval** szembeni elvárások ellentétesek: az alginátokat többnyire tengeri moszatokból állítják elő, de az alginátos moszatok hozzáférhetősége és költségei az alginát-termelők számára nehézséget okoznak. A magas költségeket a művelet nagy energiaköltsége, a felhasznált vegyi anyagok ára okozza.\*\* Ezek a piaci körülmények kedvezhetnek az alginsav a szennyvízből történő kinyerésének.

\*Forrás: Matassa és társai 2015

\*\*Bixler és Porse 2011

# A SZENNYVÍZTISZTÍTÁS BEKAPCSOLÁSA A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁGBA – LEHETŐSÉGEK ÉS A JOGI KÖRNYEZET AZ EU-BAN

- ▶ 2015. decemberében az Európai Bizottság körforgásos gazdaságtervet fogadott el „A hurok lezárása - az Európai Unió (EU) cselekvési terve a Körforgásos gazdaságról” címmel.\*
- ▶ A stratégia az európai polgárok új fogyasztási modelljének irányába történő áttérést, az éghajlat-semleges körforgásos gazdaság megvalósítását célzó, a környezetre gyakorolt hatást minimalizáló elképzelést tartalmaz. Ez a terv elsősorban a hulladék csökkentésére, újrafeldolgozására és hasznosítására összpontosít, elsősorban a papírra, a fémekre, az alumínium, üveg, műanyag és faanyagokra. A kör lezárásának gondolata azonban túllép bármelyik fent említett anyagon és ipari ágazaton, és közvetetten a **szennyvíztisztítási szektort is magába foglalja.**
  - ▶ A **tisztított szennyvizek újrafelhasználása:** a jelenlegi jogszabályok alapján az látható, hogy az újrafelhasználási lehetőségek változatosak, mivel mezőgazdasági, ipari, városi, rekreációs, vagy akár emberi fogyasztásra is felhasználható a (megfelelő mértékben) megtisztított szennyvíz.
  - ▶ Az Egyesült Államokban tisztított szennyvizek újrafelhasználása már több éve folyik egyes arid területeken, a túlzott mértékű vízkitermelés miatt megfogyatkozott vízkészletek pótlására. Az aszályokkal sújtott európai országok (ilyen például Spanyolország, vagy dél-Olaszország egyes területei), esetében az Európai Unió is kezdeményezte az újrahasonosítás növelését.
  - ▶ Az EU tagországok között vannak olyanok, melyek támogató és koherens keretet adnak, míg más, a szárazságnak kevésbé kitett ország jogalkotása nem segíti az újrafelhasználás elterjedését. Néhány európai ország jól kidolgozott jogszabályokkal rendelkezik a szennyvíz újrafelhasználásnak felgyorsítására (pl. Spanyolország, Portugália, Franciaország stb.) míg másoknak egyáltalán nincs is ilyen irányú fejlesztési céljuk. Ezért a Bizottság egy közös szabályozást dolgoz ki és teremti a körforgásos gazdaság céljaihoz jól kapcsolható jogszabályi környezetet.



# A KÖRFORGÁSOS GAZDASÁG KIALAKÍTÁSÁT CÉLZÓ RENDSZEREK - ESETTANULMÁNYOK, PÉLDÁK

## ▶ NEWater, Szingapúr

- ▶ Közel húsz éve szennyvízből ivóvíz (Szingapúr). A globális megújuló édesvízi erőforrásokat tekintve a 0,6 km<sup>3</sup> rendelkezésre álló vízmennyiséggel és 5,6 millió lakossal, Szingapúr adottsága hasonló Líbiához, Jordániához vagy Szudánhoz.
- ▶ Szingapúr már az 1970-es években megkezdte a szennyvíz újrahasználatát.
- ▶ A membrántechnológia magas költségei ellenére az 1990-es évek kísérleteit követően a 2000-es években már a sziget egészen hozzáférhetővé vált a membrán tisztítók segítségével előállított ivóvíz.
- ▶ A NEWater, egy márkanév. Napjainkban a szingapúri vízigény 30% -át biztosítják NEWater-ből, amely szám várhatóan emelkedni fog az elkövetkezendő 40 évben, egészen 55%-ig.
- ▶ A NEWater társadalmi elfogadottságához **szemléletformálást kellett végezni** a helyi lakosság körében. Ennek során egyes, korábban használt fogalmaknak a lakosság számára könnyebben elfogadható módosítására is szükség volt: pl. az oktatás során nem a szennyvíz, hanem a „*használt víz*”, nem szennyvíztisztító telep, hanem „*vízvisszanyerő telep*” fogalmakat használták.\*

# Amszterdam szennyvízlánca

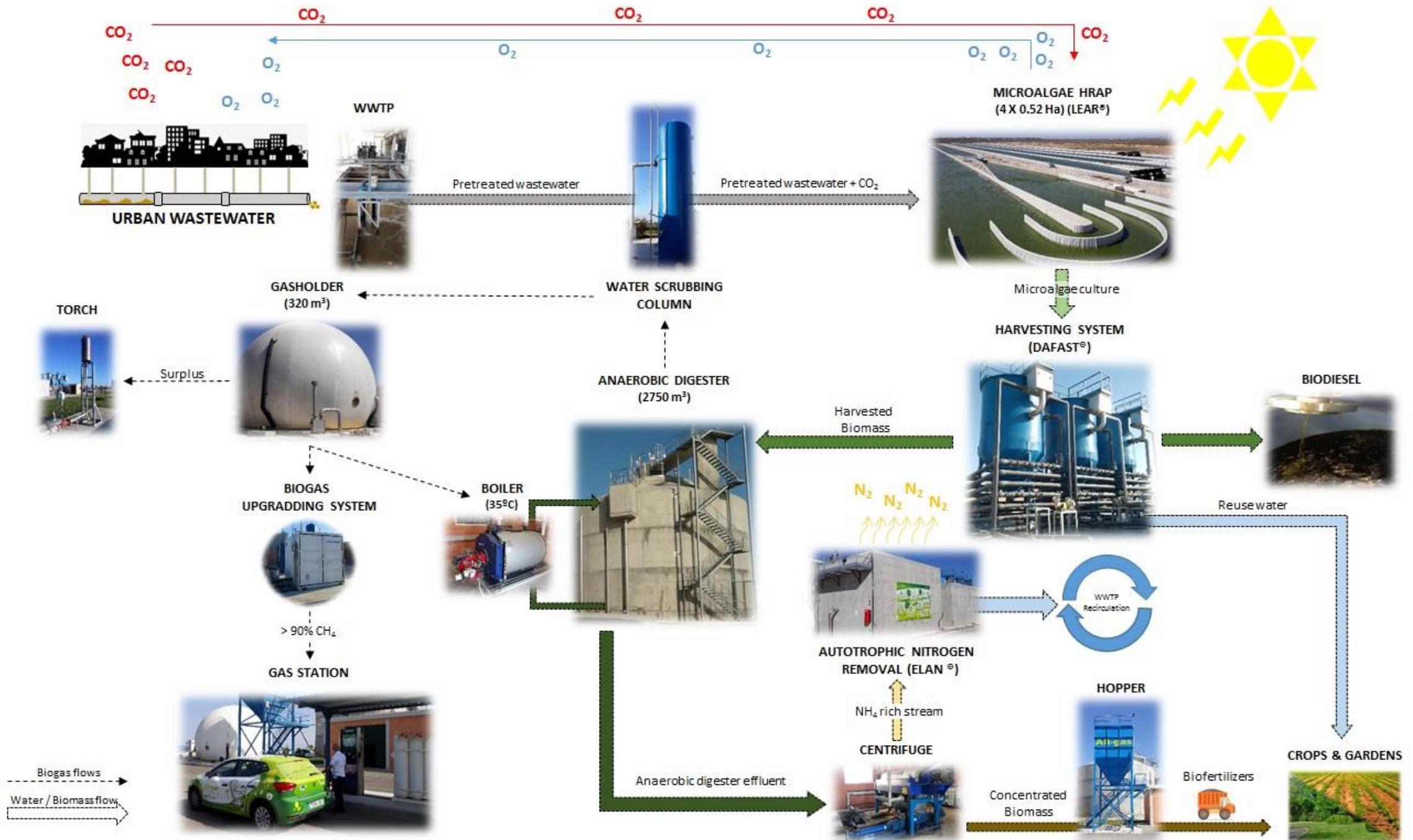
- ▶ Az amszterdami szennyvízrendszerre kidolgozott komplex stratégia, amely révén a város teljes csatornahálózatát és szennyvíztisztító telepét (szennyvízláncát) egy összefüggő rendszerbe illesztették, és ezen a rendszeren tervezték meg a körkörös gazdaságot támogató beavatkozásokat.
- ▶ *Adaptív politikai döntéshozatal*
- ▶ *Anyagáramok analízise*
- ▶ *Korlátozó tényezők és lehetőségek feltárása*
- ▶ *A szükséges intézkedések kiválasztása*

Intézkedés helye	Célja	Módja
Háztartás és vállalkozások	Zöldhulladék elhelyezés	A háztartásokban és/vagy a vállalkozásoknál zöldhulladék darálók vannak felszerelve, ahonnan az örleményt a szennyvíztisztító telepekre szállítják.
	Vízfogyasztás csökkentés	Víztakarékos zuhanyzók és WC-k telepítése.
	Vizelet elválasztása a szennyvízáramtól	A vizelet külön gyűjtése nagyobb szállodákból, irodákból és rendezvényekről. A kezelést és a visszanyerést hagyományos módon végzik a meglévő szennyvíztisztító telepen, de a vizeletet az iszapvonalban kezelik.
	Vizelet külön tisztítása	Külön vizeletgyűjtés után az erőforrások kinyerése külön vizeletkezelő létesítményben történik.
	Pharmafilter alkalmazása	Pharmafilter egység (gyógyszermaradvány és mikroszennyező visszatartás céljából) telepítése kórházakba és egyéb gondozó helyekre.
Szennyvízcsatornák	A csatornarendszerek még nagyobb mértékű szétválasztása	Az egyesített csatornákat elválasztott csatornákra cserélik, így kevesebb csapadékvíz jut a szennyvíztisztító telepekre.
	Talajvíz infiltráció csökkentése	A régi szennyvízcsatornákat újakra cserélik, ami kevesebb talajvíz beszivárgást eredményez.
Szennyvíztisztító telep	Előülepítő	A nyersiszap elválasztása a szennyvíztisztító telepeken ülepítéssel
	Bioműanyag előállítás	Rothasztással (vegyes vagy gazdag kultúra) a bioműanyag (PHA) előállítása (elsősorban nyersiszapból).
	Cellulóz visszanyerése nyersiszapból	Az előülepítő nyers iszapjából a cellulóz kinyerhető.
	Finom hálós szita alkalmazása cellulóz visszanyerésére	Finom hálós szitát használnak a nagyobb részecskék, köztük a cellulózsálak elválasztására
	Módosított UCT (University of CapeTown) eljárás (mUCT)	Jelenlegi biológiai tisztítási folyamat eltávolítja a foszfort és a szerves anyagokat a vízből, és azokat (részben) az eleveniszap pelyhekben tárolja
	Nereda eljárás alkalmazása	Biológiai tisztítási folyamat eltávolítja a foszfort és a szerves anyagokat a vízből, és (részlegesen) a granulált iszapban tárolja.
	Alginsav termelés	Az alginsav, egy poliszacharid, granulált iszapból állítható elő.
	Termikus hidrolízis	Az iszap előkezelése hő és nyomás alkalmazásával, amely sterilizálja az iszapot és biológiailag jobban lebonthatóvá válik.
	Mezofil rothasztás	A hagyományos iszap rothasztása körülbelül 36 ° C-on, mintegy 20 napos tartózkodási idővel.
	Termofil rothasztás	Az iszap rothasztása körülbelül 55 ° C-on, legalább 12 napos tartózkodási idővel.
Iszap elhelyezés	Struvit kicsapás	A rothasztott iszaphoz magnézium-klorid hozzáadásával a struvit kicsapódik. Ezt a struvitot elválasztják az iszaptól, és így kinyerhető a foszfor.
	Iszapégetés a hulladékhasznosító műben	A rothasztott iszapot és a szilárd hulladékot együtt égetik el
	Mono égetés	A rothasztott iszapot a szilárd hulladéktól elkülönítve elégetik, így lehetővé válik a foszfor kinyerését az iszap hamuból.
	Foszfor visszanyerése az iszap hamujából	Az iszap hamuban található foszfort vas-sókkal kicsapják.

*\*Forrás: Van der Hoek és társai, 2016*

# Algafarm a biogáz termelésben - All-gas projekt, EU

- ▶ Algákat felhasználó szennyvíztisztító rendszerét Spanyolországban építették ki.
- ▶ Az algákkal és a baktériumokkal történő szennyvíztisztítás során az algák biztosítják az oxigént a baktériumok számára, a baktériumok pedig a nem szerves szénforrást az algák számára; a kétfajta mikroorganizmus biomassza kombinációjával lehetővé válik a fokozott mértékű **biogáz termelés**, ahol autókban felhasznált metánt állítanak elő.
- ▶ Az algákat flotálással választják el a víztől, majd a biogázt hagyományos rothasztókban termelik.
- ▶ Ez a teljesen új perspektíva a szennyvíz bioüzemanyagként történő felhasználását teszi lehetővé. Az eljárás megvalósításának területigénye azonban jelentős, mert nagy méretű reaktorokra van szükség az algák életben tartásához.
- ▶ Az All-gas koncepció esetében öt évre volt szükség, hogy a laboratóriumi kísérleti fázisból eljussanak üzemi szintű megvalósításig.





# All-gas projekt (Spanyolország)



**4 x 5.200 m<sup>2</sup>**

# Hazai fejlesztések

▶ A nagyobb települési szennyvíztisztító telepeinken mono- (azaz csak telepi iszapokat kezelő), illetve ko-rothasztásra (a telepi iszap mellett egyéb, szerves hulladékot is fogadó) is találunk jól működő példákat.

▶ Észak-pesti és Dél-pesti Szennyvíztisztító Telepek, Miskolc, Pécs, Zalaegerszeg stb.) a biogázból nyert villamosenergia a telep tisztítóegységeinek energiaigényét (fűvők, szivattyúk) részben, illetve néhány esetben teljes mértékben is fedezni tudják.

▶ A tisztított szennyvíz mozgási energiájának Archimedes turbinával történő hasznosítása a Budapest Központi Szennyvíztisztító Telepen valósult meg\*\*, mely a termofil rothasztással kiegészülve a telepi energiaigény több, mint 62%-át fedezni tudja.

▶ Több hazai szennyvíztisztító telepen (pl. Budakeszi, Debrecen, Tata stb.) megvalósult már a tisztított szennyvíz hőtartalmának kinyerése hőszivattyúk segítségével. A kinyert hőenergiát többnyire épületek fűtésére, használati melegvíz előállításra használják.

▶ REWATER – Bdl Kft.

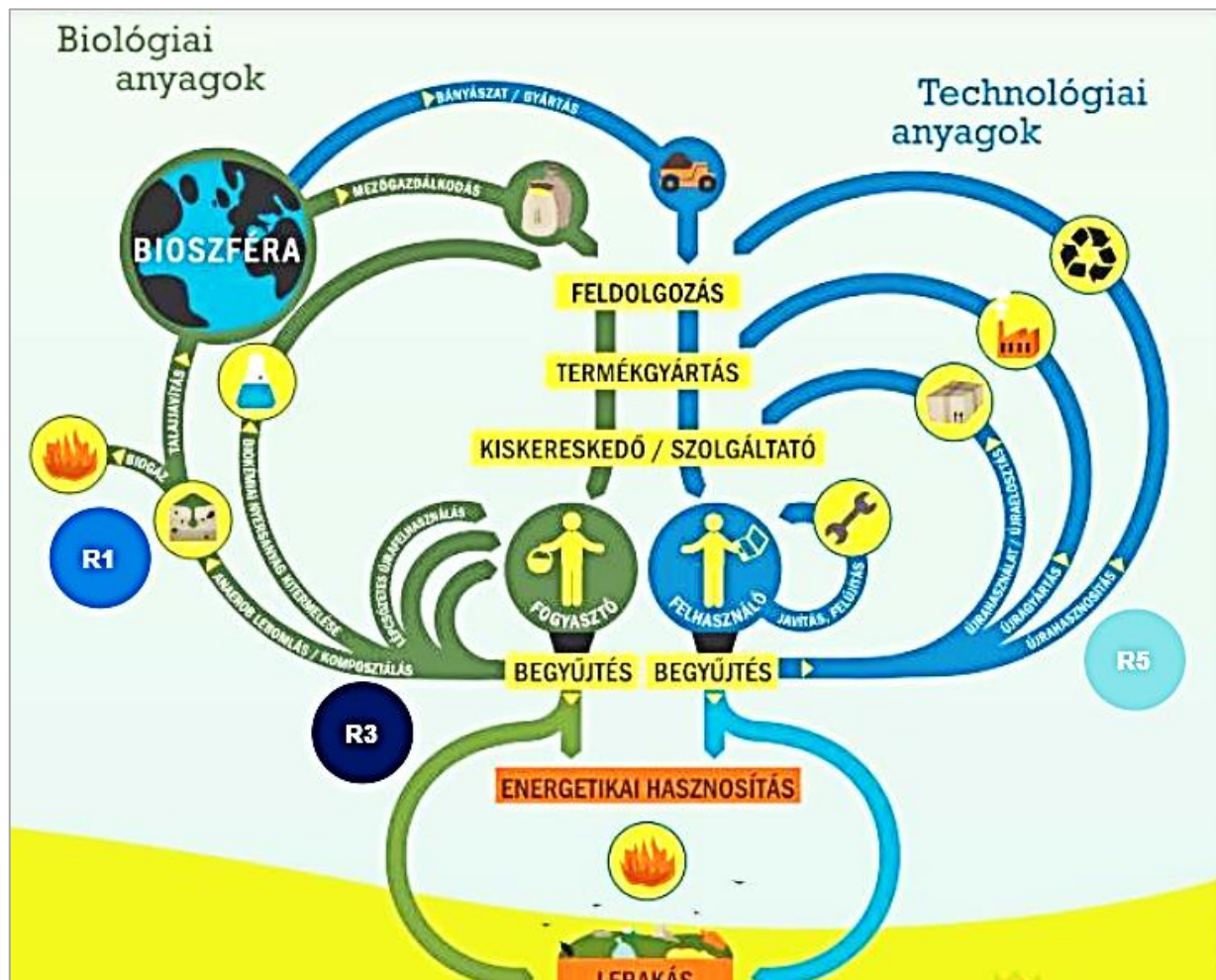
▶ Észak-pesti Szennyvíztisztító Telep: ko-rothasztás (növényi és állati eredetű hulladékok fogadása és a szennyvíziszappal történő együtt rothasztása) és a mosott csatornaiszapot és homokot habbeton terméké alakítják. A nagy szervesanyag tartalmú iszapokat a csomádi komposztáló telepen zöld hulladékká, illetve részben szilárd tüzelőanyaggá alakítják.

\*Forrás: Román 2012 és 2016

\*\*Váczai 2017



# A körforgásos gazdaság megvalósulása az Észak-pesti Szennyvíztisztító Telepen



**R5**  
Csatornaiszap  
Homokfogó üledék  
 Durva anyag leválasztás  
 Homokfogás  
 Homokmosás

**R1**  
Szerves hulladékok  
Idegen és saját szennyvíziszap  
 Rothasztás  
 Biogáz hasznosítás

**R3**  
Szennyvíziszap  
Zöld hulladék  
 Darálás  
 Komposztálás  
 Rostálás

\*Forrás: Román, 2016

# Összefoglalás

- ▶ Az energia és nyersanyagok kinyerése a szennyvízből a kutatás fókuszában van.
- ▶ Várható a fejlett technológiák elterjedése, melyet főként a jogi, és a gazdasági igények támogatnak.
- ▶ Nincsen univerzális módszer, mert:
  - ▶ Eltérő a közmű fejlettség szintje és az elérhető pénzügyi források nagysága. A szegényebb országok korlátozott anyagi erőforrásai miatt a nagy beruházási költséggel járó nyersanyag és energiavisszanyerő rendszerek kiépítése nehezen megvalósítható (az Európai Unió 27 országából már 18 használ fel újra valamilyen szinten újrahasznosított szennyvizet).
- ▶ Több szennyvíztisztító telep elérte az energia függetlenséget (önellátás), mivel energiaigényük akár 150% -át is meg tudják termelni.
- ▶ Szemléletváltásra van itt is szükség (melyet az oktatással lehet elősegíteni).