

SZENNYVÍZISZAPOK – ÚJRAHASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEIK – EU GYAKORLAT

DR. KÁRPÁTI ÁRPÁD
PANNON EGYETEM, KÖRNYEZETMÉRNÖKI INTÉZET

Kulcsszavak: szennyvíziszap, elhelyezés, újrahasznosítás, jogi szabályozás, Európai Unió gyakorlat

BEVEZETŐ

A lakosság szennyvizeit bizonyos értelemben szelektált, másrészt az ipari részarányaik miatt meglehetősen vegyes folyékony hulladékaiknak kell tekintenünk. „Csővégi” vegyes tisztításuk nagy térfogataik miatt, amihez némi talajvíz infiltráció is csatlakozhat, csakis biológiai úton képzelhető el. Ez a biológiai tisztítás szükségszerű iszaptermeléssel jár. A szennyvíziszap döntően a szerves szennyezők mikroorganizmusok által történő átalakításának a szilárd halmazállapotú maradéka, amely az eredeti szerves széntartalomnak mintegy a felét tartalmazza szilárd formájú szerves vegyületben. Az eredeti széntartalom másik fele CO_2 formájában a levegőbe jut. A szennyvíz redukált nitrogén tartalmából (ammónium-N és szerves-N az iszapba csak annak a mintegy negyede kerül, háromnegyede nitrogéngázzá alakul. Oldott szerves maradék a lakosság tisztított vízébe a nyersvízből már minimális mennyiségben jut (a tisztítóba érkező szerves anyagnak átlagosan talán csak az 5 %-a). A szennyvíz sótartalmának

(eredeti és hozzáadott) számottevő része szintén a tisztított vízzel távozik. Kivétel ez alól a foszfát tartalom, melynek döntő része (mintegy 80-90 %-a) az iszapmaradékba kerül. Ugyanitt akkumulálódik a szennyvíz nehézfém szennyezőinek mintegy a fele (Stephenson és társai (1987), Karvelas és társai (2003)). Felmérésük alapján a Mn és Cu mintegy 70 %-a, a Cr, Cd, Pb, Fe, Ni, és Zn-nek viszont csak 40-50 %-a kerül át a szennyvízből a szennyvíziszapba. Az utóbbiak, az iszap izzítási maradékába kerülő anyagok a nyers iszap szárazanyagának a 20-25 %-át teszi ki. Annak a döntő hányada az asszimiláció révén termelődő új élő sejt tömeg és extracelluláris poliszacharid melléktermék (Extracellular Polimeric Substrate – EPS - kapszula), valamint az elhaló sejtek aerob úton tovább alig bontható maradványa.

A szennyvíziszap legcélszerűbb további hasznosítási lehetősége az utóbbi években egyre jobban háttérbe szoruló mezőgazdasági hasznosítás lehetne. Ennél a nitrogént

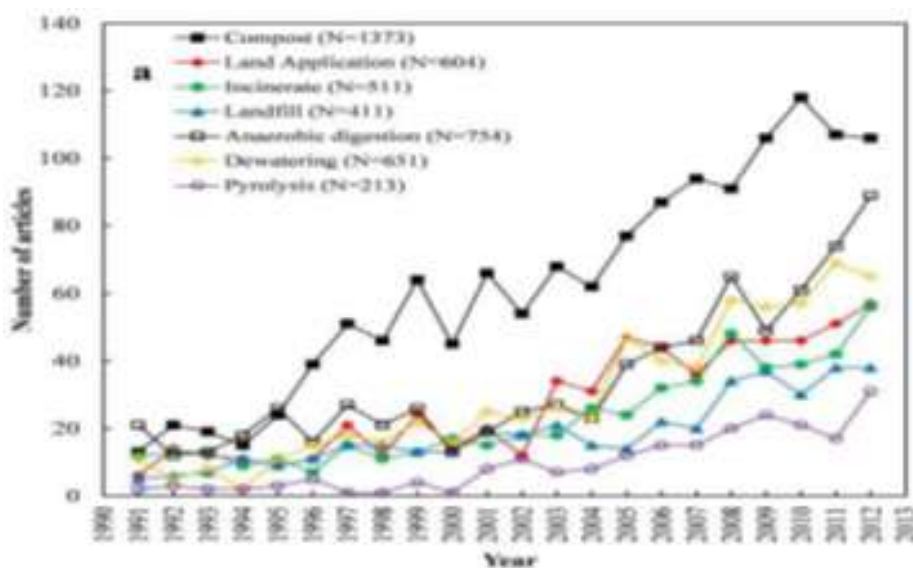


és foszfort is tartalmazó sejttanyag növényi tápanyagként hasznosulhat. A szerves rész rothasztásával ugyanakkor akár a tisztítás energiaigényének több mint a fele biztosítható a belőle keletkező biogázból történő áramtermeléssel, ezért széleskörű a gyakorlata. A nedves maradék égetésével csak kevés energia nyerhető vissza, viszont szárazon, több mint fele eredeti szárazanyagát kiégetve javulnak a deponálási lehetőségei, szállítási költségei. Az égetésnél a szénnel együtt az iszap nitrogénje is inert formájában gázfázisba kerül. Foszfátja, és nehézfém tartalma viszont továbbra is benne marad az égetés hamujában.

A nyers iszapok szerves anyagának a fele már a rothasztásnál széndioxiddá és metánná alakul, ami energetikailag hasznosul. A maradékban így a szerves anyag, és nitrogéntartalom is a nyers iszapéhoz képest mintegy a felére csökken, inert anyag hányada viszont 35-40 %-ra nő. A maradékba kerül a szennyvíz eredeti foszfor tartalmának a 80-90 %-a (eredetileg oldott orto-foszfát, sejtek DNS, ADP és ATP tartalma, a sejtekben akkumulált poli-foszfát) részben eredeti, részben az elbomlásukkor felszabaduló orto-foszfát vízfázisból vassal, vagy alumíniummal kicsapott formában. Növeli ezt az inert hányadot a kicsapó vegyszerek hidroxidja is. A nagy fajlagos felületű iszap mellettük a nyersvizek/szennyvizek eredetileg oldott kalcium, magnézium, szilícium tartalmának egy részét, valamint szennyvizek adott pH-n csapadékot képező nehézfém tartalmát is megköti. Az eleveniszap inert (nem szerves) részének a döntő hányada azonban foszfát. A rothasztási maradéknak viszont ezzel együtt a legértékesebb része annak a szerves anyaga, s az abban kötött redukált nitrogén. A foszfát őket követi. Ta-

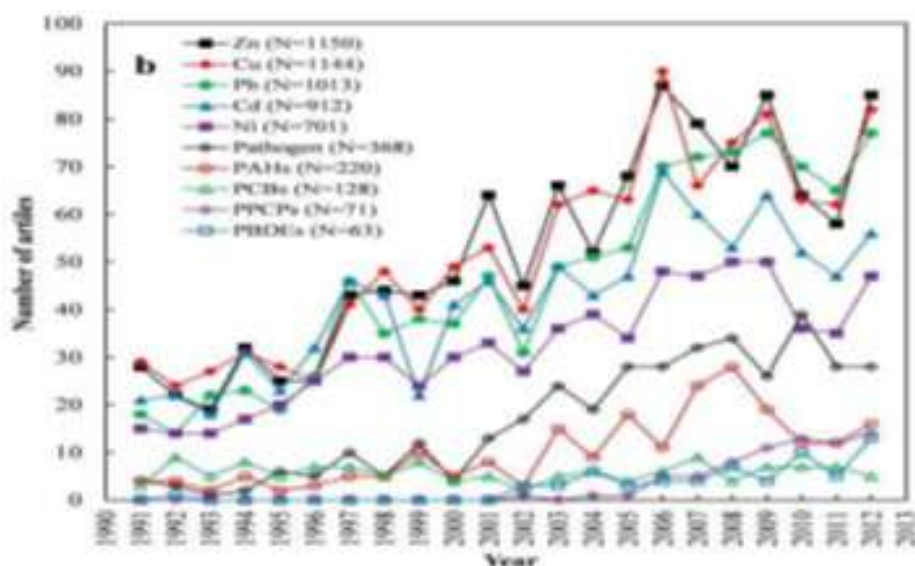
lán azért is, mert felvehetősége a növények részére a mindenkori formájának a függvénye, s ennek kapcsán eléggé korlátozott. A segédanyagokkal történő komposztálása növeli a szerves anyag tartalmát, s annak a minőségét (humusz), ami további előny a hasznosításánál. Az iszaprothasztás maradékát elégetve a maradékban már csak a foszfor lehet értékes tápanyag a talajoknak. Pontosabban annak közel negyede csak a közvetlenül hasznosítható, semleges ammónium-citrátban oldódó része. Változatlanul a hamuban marad ugyanakkor a fém-tartalom döntő része, azzal együtt, hogy az égetésnél az illékonyabb veszélyes fémek egy része is kikerülhet a maradék hamuból. A mezőgazdasági hasznosítást zavaró szára-zanyagra mérhető nehézfém koncentráció tehát az iszap feldolgozása során változik.

Felhasználhatóságukat talajtápanyagként pedig éppen ez a nehézfém koncentráció li-mitálásával korlátozzák leginkább. Mellettük ugyan ma már nyilvánvaló, hogy az iszapokban maradó, biológiailag nehezen bontható gyógyszermaradványok és egyéb szintetikus szerves anyagok is veszélyt jelenthetnek, de közülük csak kevésre van jelenleg rendeleti korlátozás, elsősorban mérési problémáik, valamint hatásaik hiányos ismerete miatt. Az utóbbiak az iszap égetésekor elbomlanak, széndioxiddá alakulnak. Így szennyvíziszap hamu azoktól legalább mentes. Mindezek ismeretének fontosságát bizonyítja, a különböző iszaphasznosításokkal, felmerülő problémáikkal foglalkozó cikkek nagy száma az utóbbi években (**1. és 2. ábra** - Yunyi Li és társai, 2016).



Komposztálás
Mezőgazdasági
hasznosítás
Elégetés
Deponálás
Anaerob szennyvízi-
szap rothasztás
Víztelenítés
Pirolízis

1. ábra Adott témakörökben publikált cikkek száma 1991-2012 időszak egyes éveiben



2. ábra A szennyvíziszap nehézfém és egyéb szennyezői témakörében publikált cikkek száma 1991-2012 időszak egyes éveiben

Különböző szennyvíziszapok keletkezése, anyagmérlege és energiatartalma

A szennyvíztisztítás gyakorlatában a kis telepeknél csak nyers (primer, szekunder, vagy keverékük, esetleg előülepítés nélküli teljes oxidáció terméke) iszap keletkezik. Nagyobb telepeken ezeknek az anaerob rothasztással részben stabilizált változata jelentkezik. Az iszapstabilizálás a kisebb telepeken lehet aerob iszapstabilizálás is, aminek a teljes oxidáció ezeknél egy mérsékelt iszapstabilizálási változata. A nagy telepeken az anaerob rothasztás általános, esetleg a kisebbekről begyűjtött iszappal vegyesen is. Ezt célszerűsíti a nyersiszapokból így előállítható 60-65 % metán tartalmú biogáz termelődése, s vele a rothasztott iszap szerves anyag tartalmának a mintegy 45-50 %-os csökkenése. Ez az iszapmaradék mennyiségét csökkenti, szárazanyag tartalmára számítható foszfor

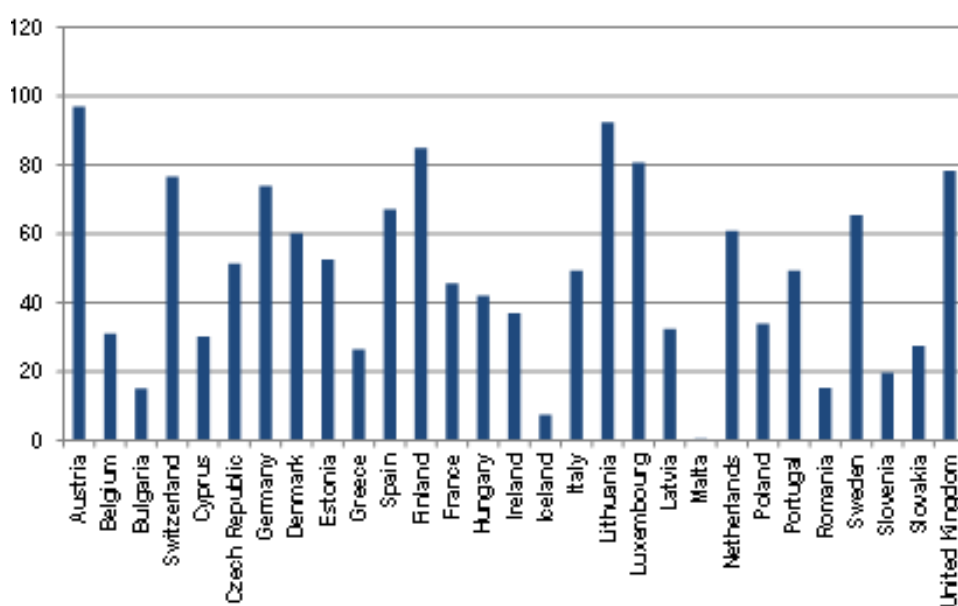
és nehézfém koncentrációját ugyanakkor mintegy másfélszeresére növeli (Fazekas és társai, 2013).

A lakosegyenérték (LEÉ) fajlagosait felhasználva kiszámolható, hogy a 60 g BOI5/főxd eltávolításából 36 g iszap szerves szárazanyag (MLVSS)/főxd keletkezik. 25% inert anyaggal számolva az iszapban, szárazanyagban 48 g vegyszeres iszap (MLSS)/főxd a teljes iszaphozam. A 36 g/főxd szerves anyagnak a közel fele alakul a rothasztóban metánná és széndioxiddá, így a maradék összes mennyisége 30 g MLSS/főxd, amiből 12 g/főxd az inert rész. Ebben lesz benne a szennyvíz foszfor tartalma, ami átlagosan közel 1 g/főxd. Természetesen a foszfor foszfát formájában lesz jelen, ami az előző minimálisan három és félszeres

(112/32) mennyisége foszfátként az iszapban. Mivel a sejtben akumulált poli-foszfát is tartalmaz valamennyi kapcsolódó, döntően kálium kationt, ennél nagyobb szorzóval is számolhatunk. Ha a sejtből kiszabadulva, alumíniummal vagy vassal csapódik ki a foszfát, az iszap mennyisége tovább nő. A 12 g/főxd inert anyagnak harmada – fele lesz a foszfát, illetőleg a hamujának csaknem a tizede (1/12) a foszfor. A foszfátot kicsapó, keletkező szulfidot megkötő Fe^{3+} túladagolásakor ugyanakkor az inert anyag hozam jelentősen nőhet, növelve az iszap, majd égetés esetén az iszaphamu-maradék mennyiségét is. Megállapítható ugyanakkor, hogy a rothasztott iszap szárazanyagának lényegesen kisebb a szerves anyag hányada, s azzal a fűtőértéke is (csak mintegy a 3/5-e) a nyers iszapénak. A fenti adatokkal jól egyezik az EU egyes országainak fajlagos iszaptermelését bemutató **3. ábra** (Mininni és Dentel, 2013)

A nyers szennyvíziszapokat mérsékelt víztelenítés után (anaerob rothasztás nélkül, vagy megfelelő tárolást, rövidebb hideg rothasztást követően) injektálással is a talajfelszín alá juttathatják, ahol a vegetációs ciklust követően kellő idő áll rendelkezésére a biológiai stabilizáláshoz, hideg komposztálódáshoz. Az iszap viszkozitása miatt az injektálást csak kis, 7-8 % szárazanyag tartalmú iszapokkal lehet megvalósítani. Ennek elterjedt gyakorlata van hazánkban is, bár korlátozza a tartós időszakos iszaptárolás igénye, illetőleg talajba történő injektálás gépigényének a költsége (terepre történő iszapelosztás, injektálás).

Általános ugyanakkor a nagyobb szennyvíztisztítóknál (20-50 ezer lakosegyenérték felett) a nyers iszapok anaerob rothasztása, s azzal kisebb mértékű stabilizálása. A gáz hasznosításának a kiépítése sem egyszerű. Gázmotorral egyébként csak a gáz



3. ábra Napi szennyvíziszap termelés az egyes EU országokban (g szárazanyag/fő x nap)

energiatartalmának a 45 %-át, vízgőzön keresztüli áramtermelésnél csak 15 %-át lehet villanyárammá alakítani. Sajnos a gázmotor is fajlagosan drága. Ezen túl a teljes termelt villamos energia felhasználását is telepen belül célszerű, megfelelő termelés-szabályozással (puffer gáztárolás, gázmotor üzemeltetés) biztosítani, mert a kifelé történő értékesítés ma még nehézkes.

A szennyvíziszapból visszanyerhető, növények révén hasznosítható foszfor a jövőben, a természetes foszfát készletek csökkenése miatt a jelenlegi becslések szerint mintegy száz éven belül fontos mezőgazdasági segédanyaggá válhat. Az eddig vázolt út módosításával ezért a foszfor egy részét napjainkban kristályos struvitként ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \times 6 \text{H}_2\text{O}$), minimális nehézfém szennyezettséggel akarják a még nem víztelenített rothasztott iszapból közvetlenül kinyerni magnézium-oxid adagolásával. Ez a legkedvezőbb lehetőségének tűnik napjainkban az iszap foszfát tartalmának a hasznosítására. Ha azonban ez gyakorlattá válik, a rothasztott, valamint komposztált szennyvíziszapok mezőgazdasági értéke is tovább csökken, hiszen bár változatlan marad azoknak a redukált nitrogén és szerves anyag tartalma, foszfor tartalma csökken, nehézfém tartalma pedig valamelyest nő.

Az iszap megfelelő hőkezelésére egyébként az iszap higienizálása (fertőzésveszély csökkentése), biológiai stabilizálása miatt van szükség. Alkalmas erre bármelyik termofil aerob (55-60 °C között folytatott) biológiai kezelés is. Mindegyik a szerves anyag oxidációval történő stabilizálását eredményezi. Iszapmaradékuk talajban történő további lassúbb oxidációja már nem okoz csírázásgátlást, vagy fitotoxicitást a növényekre. Az utóbbit egyébként a nehézfém-tartalom is okozhatja, különösen savas talajoknál.

A folyadékfázisú termofil oxidáció az iszap-rothasztás megkerülésére adhat lehetőséget a jövőben. Ez ma még nagyon ritka, de nem zárható ki a terjedése a jövőben az egyszerűsége, iszapstabilizációja kapcsán (biztonságos fertőtlenítés és iszaptömeg csökkentés). Ennél az iszaptömegből mind a foszfátnak, mind a redukált nitrogénnek a nagyobb része is a folyadékfázisba kerül. A foszfát egy része struvitként ekkor is kinyerhető, a nagyobb rész azonban a nehézfémek csapadékával együtt az iszapban marad. Az ammónium tartalom a folyadékfázisból az anaerob rothasztásnál általános, biológiai tisztítás főágára történő visszaforgatással mehet veszendőbe. Az ammóniumon a meleg iszapvízből ciklikus nitrifikációval / denitrifikációval közvetlenül is eltávolítható. Az iszapvíz ammónium koncentrációja egyébként az öntözéssel történő hasznosításhoz kevés. Ilyenkor a centrifugamaradék nehézfém tartalma az anaerob módon rothasztott iszapokénál is nagyobb lehet, ami a mezőgazdasági felhasználását tovább korlátozhatja. Marad benne ugyan valamennyi foszfát, de azt végképpen nem érdemes a fémektől elválasztani. A szilárd maradékot víztelenítés után talán legcélszerűbb valamiképpen megszáritani, majd kis szerves anyag tartalmú szilárd maradékként téglába, vagy cementbe égetve vitrifikálni.

Mindegyik biológiai iszapstabilizálás (aerob oxidáció, anaerob rothasztás) maradék iszapja a szerves anyag tartalma révén valamennyi fajlagos energiatartalommal rendelkezik. Ezeknél az átalakításoknál gyakorlatilag a nyers iszapok energiatartalmának mintegy a harmada-fele megy veszendőbe. Maradékaik nedvességtartalma a centrifugás víztelenítés után eltérő. A nagyobb energiatartalmú nyers iszapoknál centrifu-

gálással maximálisan 14-16 % szárazanyag tartalom érhető el, míg a rothasztott iszapoknál az 25-28 % is lehet. A fenti iszapkezelések szerepe mindenképpen az, hogy csökkentse iszaptömeget, s annak nedvességtartalmát, ami az elhelyezésük (szállítás, kijuttatás a földekre), vagy az energetikai hasznosításuk költségeit csökkenti (Fazekas és társai, 2013).

Stanier és társai (1986) virulens sejtnak az elemi összetételét a makro-elemekre az alábbiak szerint adták meg:

A szennyvíziszap és a virulens sejtek összetétele azonban igen eltérő lehet a poliszacharid termelésük, sejtelhalásuk, valamint

Azt sem szabad figyelmen kívül hagyni, hogy az utóbbi évtizedekben igen jelentős csökkenés következett be a szennyvizek nehézfém szennyezésében az ipar kibocsátásának a fokozott korlátozása, ellenőrzése következtében. Hogy ez mennyire így van, s mennyire bizonytalan egy iszap nehézfém szennyezettségéből általánosítani, a világon talán legszélesebb körű, közlemények adatai alapján készült felmérés (4. – 6. ábrák – Cieslik és Konieczka, 2017) adatsorai igazolhatják. Az ábrákon bemutatott iszapok szárazanyag tartalmának a csökkentése további szárítással természetesen megoldható (külső hővel, Nap energiájával történő szárítás). Talán legolcsóbb erre az utóbbi, a

Elem	C	O	N	H	P	S	K	Na	Ca	Mg	Fe
Sza.%	50	20	14	8	3	1	1	1	0,5	0,5	0,

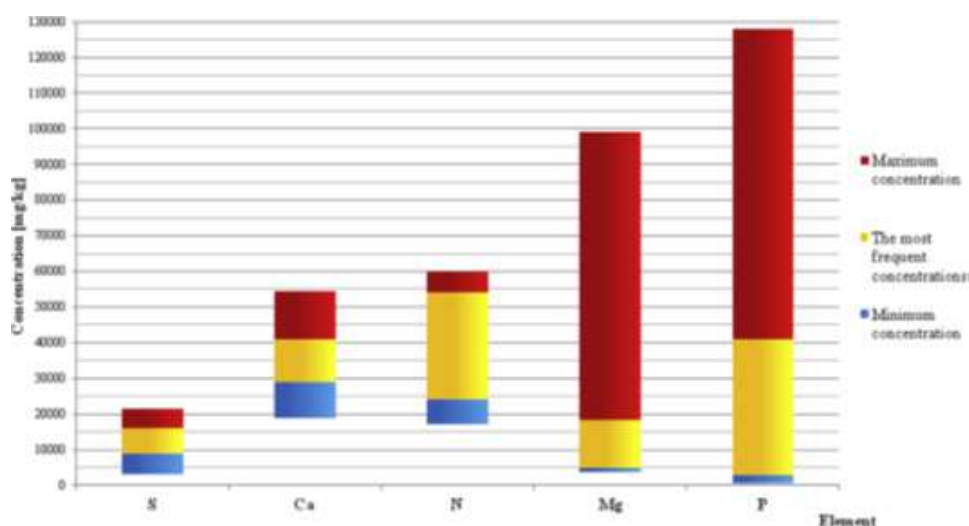
külső kation megkötésük miatt. A virulens sejtek nehézfém tartalmára ugyanígy találhatók adatok, de abból a szennyvíziszapokban bekövetkező nehézfém akkumulációt nincs értelme kiszámolni, hiszen azok kicsapódása, adszorpciója lényegesen nagyobb szereppel bír az eltávolításuknál, iszapba épülésüknél.

szolár-szárítás, aminek azonban jelentős a beruházási költsége, s nagy a felületet igénye is. Az iszapszárítás végtermékei azonban a szárazanyagra mérhető változatlan nehézfém tartalmuk miatt továbbra is elég korlátozottan hasznosíthatók közvetlenül a mezőgazdaságban.

Az iszapösszetétel pontosabb érzékeltetésére a Szlovéniában néhány éve mért átlagos szennyvíziszap összetételét és nehézfém koncentrációkat mutatja be az **1. táblázat** (Dobersek és társai, 2012). Kis pontatlansága lehet az 1 táblázat adatsorának, hogy az országos átlagból adódóan ezek nyers és rothasztott iszapok átlagolt adatai. További gondja ezen túl az országos átlagos adatoknak a szélesebb általánosítás tekintetében, hogy az ipari üzemekből országonként eltérő mennyiségű a bekerülő nehézfém szennyezés is.

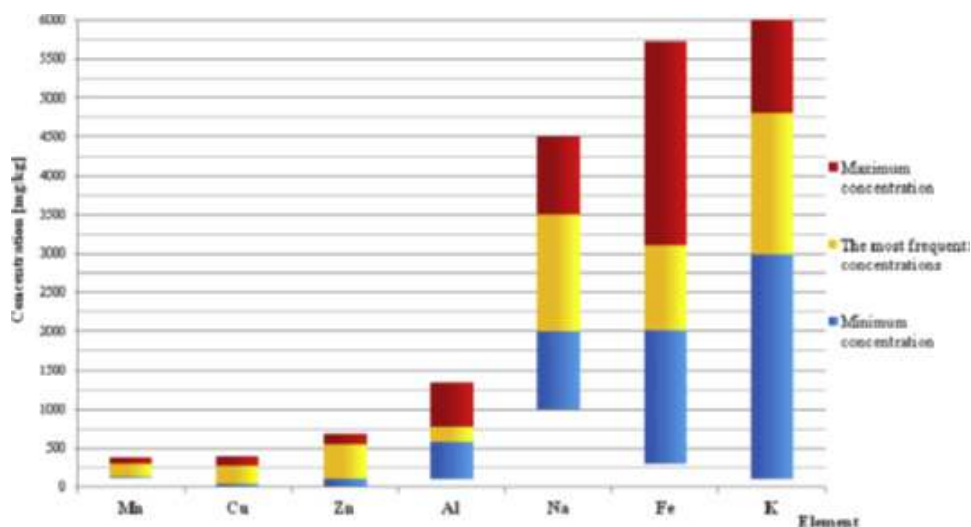
Komponens	Koncentráció	Nehézfémek	Koncentráció
Szárazanyag, %	30,50 %	Pb	53,82 mg/kg szá
Szerves N	14,18 g/kg szárazanyag	Cd	1,19 mg/kg -,-
Összes N	25,19 g/kg -,-	Cr	43,40 mg/kg -,-
Ca	70,98 g/kg -,-	Co	6,53 mg/kg -,-
K	2,63 g/kg -,-	Cu	197,10 mg/kg -,-
Mg	9,17 g/kg -,-	Mn	220,86 mg/kg -,-
P	31,00 g/kg -,-	Mo	3,90 mg/kg -,-
As	6,05 mg/kg száraz- anyag	Ni	27,69 mg/kg -,-
Zn	809,52 mg/kg -,-	Hg	1,00 mg/kg -,-
pH	7,70		

1. táblázat: A Szlovéniában 2007-ben mért átlagos szennyvíziszap összetétel (Dobersek és társai, 2012)

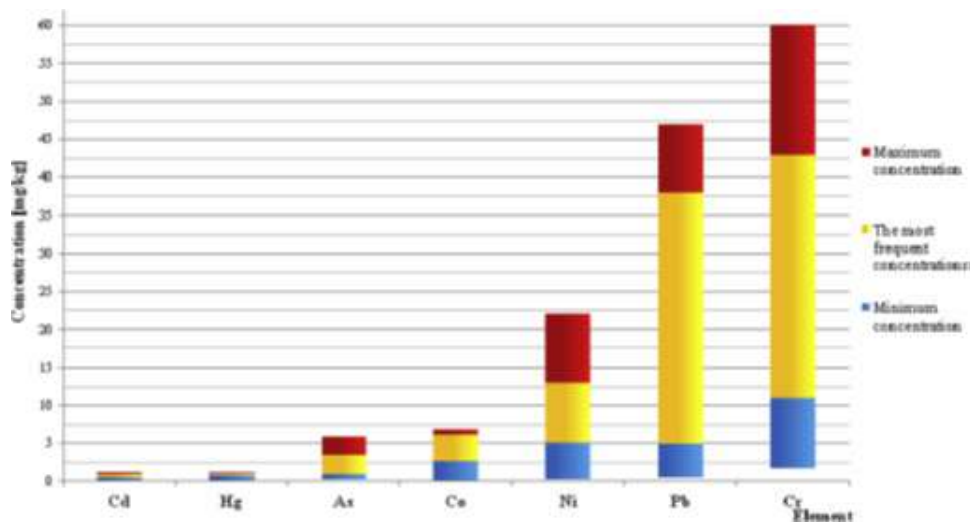


4. ábra A főbb komponensek (elemek) koncentrációi az európai és ázsiai országok szennyvíziszapjaiban (maximumok/átlagok/minimumok)

Tovább nő viszont a szennyvíziszapok, vagy termékeik maradékának a nehézfém koncentrációja, ha azokból a szerves anyagot kiégetik. A korábbi elméleti számítások szerint a szárazanyag tömeg (C, N, S, kristályvíz tartalom eltávózása miatt) rothasztott iszapokénak közel a felére csökken. Így a rothasztott szennyvíziszap szárazanyagában a nehézfémek koncentrációi a nyers iszapénak több mint másfélszeresére, míg az iszapégetés hamujában több mint a nyers iszapénak a négyszeresére nő.



5. ábra A szennyvíziszapokban közepes koncentrációkban levő elemek koncentrációi az európai és ázsiai országok szennyvíziszapjaiban (maximumok/átlagok/minimumok)



6. ábra A szennyvíziszapokban kis koncentrációkban levő elemek koncentrációi az európai és ázsiai országok szennyvíziszapjaiban (maximumok/átlagok/minimumok)

A komposztálás (szerves anyag további levegős – aerob- oxidációja) a rothasztott, majd centrifugált (víztelenített) iszapok, iszapkeverékek segédanyagokkal (szalma, faforgács, zöldhulladék, stb...) együtt történő higienizálását, biológiai stabilizálását, humifikálását és szárítását biztosítja (Alexa és Dér, 2001; Epstein, 2003). Ez tehát már segédanyaggal kombinált energetikai és növényi tápanyag újrahasznosítás. Megfelelő komposztálás kialakításához eleve szükséges a 40 % körüli kiindulási szárazanyag tartalom, ami a víztelenített 20 % körüli nyers, vagy 25 % körüli rothasztott szennyvíziszap és a szárazanyaguk mintegy 2-3 szorosa mennyiségű száraz, cellulóz és lignin tartalmú növényi anyag előkeverésével biztosítható. A komposztálás végére mintegy 50 % alá csökken a keverék (végül termék) nedvesség tartalma. Szerves anyag tartalma s ezzel a szárazanyagra vonatkoztatott fűtőértéke a segédanyagok hozzáadása, majd annak is a részleges oxidációja eredményeként alig változik. A szerves anyagnak ez a részleges oxidációja biztosíthatja a termikus higienizálást, csíraszám csökkentést, patogének elölését, a lignintartalommal csaknem kétszeres mennyiségének megfelelő humusz keletkezését, s a komposztálódó keverék további száradását. A jó komposztban már mintegy 60 % körüli a szárazanyag tartalom.

Természetesen az áruházakban, növényboltokban, üzemanyag töltő állomásokon vásárolható komposztok ennél nedvesebbek a kedvező állag és célszerű árkialakítás miatt. A 60 % szárazanyag tartalmú komposzt ugyanakkor már el is tüzelhető, nem kell az égetéséhez támasztó-hő. Ennek biztosításához a víztelenített rothasztott iszapok ese-

tében a minimálisan szükséges szárazanyag tartalmat mintegy 50 %-ra becsülik, nyers iszapoknál ehhez már 35-40 % is elegendő. Víztelenített rothasztott iszap közvetlen égetése hazánkban a Váci Cementgyárban van, míg a Budapesten keletkező szennyvíziszapok nagyobb részét komposztálás után a Mátrai Erőműben égetik el. Az utóbbi esetben a komposztálás elsődleges célja a szárítás, és azzal a szállítási költség csökkentése. Természetesen a komposztált iszapokat legcélszerűbb lenne a mezőgazdaság arra szóba jöhető talajaiban hasznosítani, azonban a szállítás, kihelyezés költsége ezt gazdaságilag kedvezőtlennek is teheti.

A komposzt termék szárazanyag tartalmára mérhető nehézfém koncentráció a segédanyagok adagolásának hatására a rothasztott szennyvíziszapokéhoz képest csökken. A mezőgazdasági hasznosítást azonban számos ország arra vonatkozó előírásai ettől függetlenül szinte teljesen megakadályozzák a szigorú nehézfém határértékekkel.

Jogi szabályozás és hatása a szennyvíziszapok, komposztok hasznosítására

A szabályozás alapvetően az iszap felhasználásának az egészségügyi biztonságát és a növényekre gyakorolt hatását veszi irányadónak. Ennek megfelelően nem lehet a talajokra kikerülő termékekben adott mértéket meghaladó csíraszám, fertőző ágens (szalmonella, patogének) nem lehet, illetőleg nem lehet az iszapnak csírázás gátló és fitotoxikus hatása sem. Ezeket nehezebb egyébként megfelelően ellenőrizni az iszapok mindenkor inhomogenitása miatt. Ezen túl a megfelelő minőségű termékek visszafertőződése is potenciális veszély.

Természetesen emellett növényi tápanyagból sem lehet nagyobb dózist kihelyezni belőlük, mint amennyit az adott talajokon a növény hasznosítani képes (N és P dózis). A nitrogén felhasználására azon túl az előírás megadhat egy biztonsági tényezőt (hasznosulás mértéke), viszont nem veszik figyelembe, hogy a jó komposztok nitrogén tartalmának csak az ötöde hasznosul a kihelyezést követő első évben, majd a további években a felhasználódása az adott kihelyezésből tovább lassul. Évente történő kihelyezésnél a kumulációt, valamint a hasznosulást is annak megfelelően kell számba venni.

A szabályozás másik kulcskomponense az iszapok, komposztok, vagy hamu ma már igen egyszerűen mérhető nehézfém komponenseinek koncentrációja. Ennek alapján eltérő határértékek vannak az üzletláncokban forgalmazható komposztoknál, valamint a nagy tömegben mezőgazdasági haszno-

sításra kerülő iszapoknál, komposztoknál. Ez egyébként a kiskerti, háztáji, valamint az iparszerű felhasználás eltérő ellenőrizhetőségének a szükségszerű következménye.

A nehézfém koncentrációkra a különböző országok az adottságaiknak, lehetőségeiknek megfelelő határértékeket írtak elő. A mezőgazdasági hasznosítás jelenlegi, országokénti koncentráció határértékeit a kihelyezhető iszaptermékek nehézfém tartalmát, valamint limitált szerves anyag szennyezett-ségét a **2. és 3. táblázat**ok mutatják (Mininni et al, 2015).

Nagyok az eltérések például Cu és Cd esetében. A legszigorúbbak általánosan: Ausztia, Flandria, Dánia, Finnország, Szlovénia Svédország. Mérsékelt tiltás a mezőgazdasági felhasználásra: Franciaország, Németország, Olaszország, Spanyolország (a legnagyobb iszaptermelők) és hasonlóképpen az USA

Europe	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As	Mo	Co	Se
Directive 86/278/EEC	20-40	-	1,000-1,750	16-25	300-400	750-1200	2,500-4,000				
Austria	2-10	50-500	300-500	2-10	25-100	100-500	1,500-2,000	20	20	10-100	
Belgium (Flanders)	6	250	375	5	100	300	900	150			
Belgium (Walloon)	10	500	600	10	100	500	2,000				
Bulgaria	30	500	1600	16	350	800	3,000				
Czech republic	5	200	500	4	100	200	2,500	30			
Denmark	0.8	100	1,000	0.8	30	120	4,000	25			
Finland	3	300	600	2	100	150	1,500				
France	20	1000	1,000	10	200	800	3,000				
Germany	10	900	800	8	200	900	2,500				
Greece	20-40	500	1,000-1,750	16-25	300-400	750-1200	2,500-4,000				
Hungary	10	1,000 - 1(Cr VI)	1,000	10	200	750	2,500	75	20	50	100
Italy	20		1,000	10	300	750	2,500				
Netherlands	1.25	75	75	0.75	30	100	300	15			
Poland	10	500	800	5	100	500	2,500				
Portugal	20	1,000	1,000	16	300	750	2,500				
Romania	10	500	500	5	100	300	2,000				
Slovenia	0.5	40	30	0.2	30	40	100				
Spain	20-40	1,000-1,750	1,000-1,750	16-25	300-400	750-1200	2,500-4,000				
Sweden	2	100	600	2.5	50	100	800				
United States 503 Rule											
Ceiling concentration	85	-	4,300	57	420	840	7,500	75	75		100
Exceptional quality (EQ)	39	-	1,500	17	420	300	2,800	41			100

2. táblázat: A különböző EU országokban érvényes nehézfém koncentráció korlátozása a mezőgazdasági talajokra kihelyezhető iszapokra és komposztokra (mg/kg, szá tartalom).

Térségünkben kiemelkedik Szlovénia és Ausztria nehézfémeket illető szigorú korlátozása, míg Németország valamelyest mérsékeltebb. Franciaország, Anglia, Olaszország, Spanyolország és Portugália, no és Magyarország az EU országok közül a kevésbé szigorú, ami a természeti adottságaiknak, rendelkezésre álló nagy mezőgazdasági terület-hasznosításuknak köszönhető. Ezeknél a szennyvíziszap mintegy 30-50 %-a kerül mezőgazdasági hasznosításra. Esetenként nem is a rothasztott iszapé, hanem a nyers iszapoké a kisebb tisztítók környezetében, injektálással, vagy fél-egy éves stabilizálódást követően szórással, beszántással.

A **2. táblázat** adatsorát a **3. táblázat** határértékeivel összehasonlítva látható, hogy a nehézfém tartalom alapján országoként eltérő szabályozás szükségszerűen alakítja az adott helyen kialakuló gyakorlatot is. Szlovéniában éppen ez a szigorúság eredményezte a mezőgazdasági iszaphasznosítás megszüntetését, s az általános iszapégetést. Eltérő az egyes EU országok megítélése az

iszapokban maradó, ugyancsak veszélyt jelentő, nehezen bontható, illetőleg klórozott szerves anyag tartalomra is. Az utóbbiakra ma még kevésbé általános a korlátozás, talán az ellenőrzésük költségigénye miatt is.

AOX

Adszorbeálható szerves halogénvegyületek

DEHP

Dietil-hexil- ftallátok (műanyaglágyítók)

LAS

Lineáris-alkilbenzol-szulfonátok (mosószerek)

NP/NPE

Nonilfenolok és nonilfenol-etoxilátok

PAH Poliaromás szénhidrogének

PCBs Poliklórozott bifenilek

PCDD/F Poliklórozott dibenzo-dioxinok és dibenzo- furánok

1- javasolt határérték

2- acetonaftének, fluorének, fenantrének, pirének, benzo(b+j+k)fluorantének, benzo(a)pirén, benzo(ghi)perilén, indofeno(1,2,3-c,d)pirén

3- nanogramm/kilogram szárazanyag

	AOX	DEHP	LAS	NP/NPE	PAH	PCBs	PCDD/F ³	Others
EC (2000, 2003) ¹	500	100	2,600-5,000	50-450	6 ²	0.8 Σ of 7 congeners	100	
Lower and Upper Austria	500	-	-	-	-	0.2 Σ of 6 congeners	100	
Carinthia	500				6 ²	1	50	
Denmark (2002)		50	1,300	10	3 ²			
France					Fluoranthene: 4 Benzo(b)fluoranthene: 2.5 Benzo(a)pyrene: 1.5	0.8 Σ of 7 congeners		
Germany	500					0.2 for each congener	100	
Germany (proposed limits)	400				Benzo(a)pyrene: 1	0.1 for each congener	30	2-Mercaptobenzothiazole +2-hydroxybenzothiazole: 0.6
								Tonalid:15
								Glaxolide:10
Sweden	-	-	-	50	3 ²	0.4 Σ of 7 congeners	-	
Czech Republic	500					0.6		

3. táblázat: Szerves mikro-szennyezők koncentrációinak limitálása az EU-ban a mezőgazdasági felhasználás tekintetében.

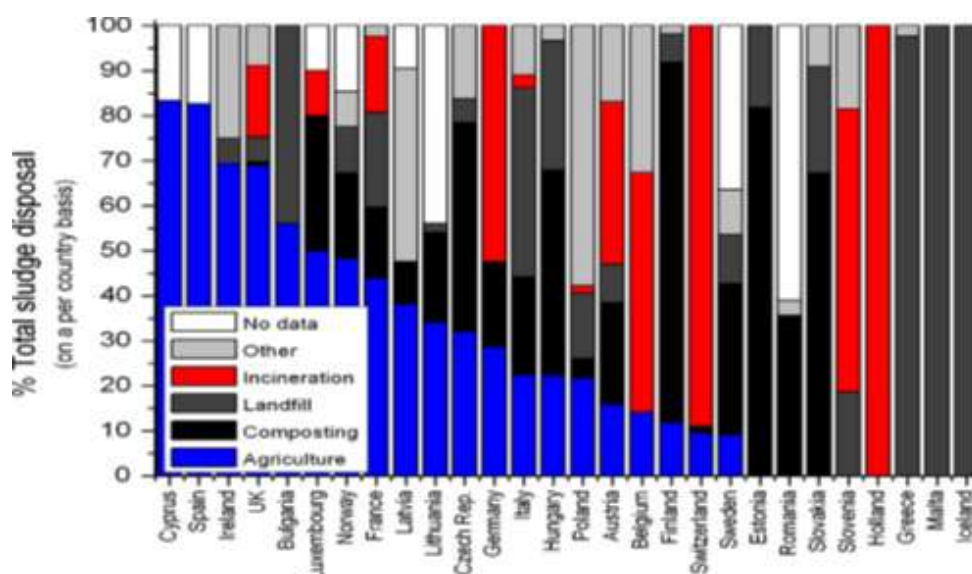
A komposzt felhasználásának a fentiekén túl talán a konkurencia a legnagyobb gátja, amely a tőzegnek és homoknak a műtrágyával történő keverésével gyártható, üzletláncokban árusítható termékeivel a szennyvíziszap komposzt kistermelői hasznosítását teljesen lehetetlenné is teszi, sőt a mezőgazdaság általános hozzáállását is erősen meghatározza. A legnagyobb félelem a szennyvíziszap komposztokkal szemben azok esetleges fertőzőképessége, valamint a nehézfém tartalom veszélyének a felfokozása. Viszont a mezőgazdasági hasznosítás a jelenleg legolcsóbb megoldás szennyvíztisztításunknak az iszapmaradékára, hiszen a talajban történő deponálás mára már teljesen tiltott. Ettől még néhány országban ma is ez az elhelyezés főiránya.

Hosszú távon szóba jöhető megoldás ezért a jövőre még továbbra is a mezőgazdasági hasznosítás, no meg az iszap égetése marad. Az utóbbit követően persze le kell mondani az iszap szerves anyagának a talajjavító hatásáról, valamint az azzal történő tartós nitrogén utánpótlásról is. Megmarad viszont a iszapégetés hamujában továbbra

is foszfor, mint potenciális talajtápanyag. Ez azért fontos komponens, mert meg nem újuló tápanyagforrása a növénytermesztésnek. Az iszaphamu mezőgazdasági hasznosítását viszont az iszapéhoz hasonlóan a nehézfém tartalom limitálja mind annak a koncentrációjában, mind a talajhoz adagolható mennyiségében. A talajok nehézfém tartalmát ugyanis nem lehet a növényekre már kedvezőtlennek ítélt koncentráció fölé emelni. Az erre vonatkozó határértékeket a **4. táblázat** mutatja be (Mininni és társai, 2015)

A szennyvíziszap elhelyezés, hasznosítás jelenlegi gyakorlata

A **4. táblázat** előírásának a betartása még a koncentráció határérték tartásánál is nehezebb a mezőgazdasági talajok térségi inhomogenitása miatt. A szabályozás hatására a különböző országokban kialakult helyzetet a **7. ábra** mutatja. Látható abból, hogy a szennyvíziszapok mezőgazdasági hasznosítása a különböző EU országokban azok gazdasági és műszaki lehetőségei által is erősen befolyásolt mértékű.



7. ábra: Különböző EU országok szennyvíziszap elhelyezési, hasznosítási gyakorlata 2009-ben (az EUROSTAT adatai alapján, Dánia és Portugália adatok hiányában nincs feltüntetve) – (Donatello, S., Cheeseman, C. R., 2013)

Komposztálás / Mezőgazdasági hasznosítás / Elégetés / Deponálás / Anaerob szennyvíziszap rothasztás / Víztelenítés / Pirolízis

4. táblázat Az iszap adagolását követően a talajokban megengedhető legnagyobb nehézfém koncentrációk az EU országokban (mg/kg száraz talaj)
(Sede and Arthur Andersen 2002)

	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
86/278/EEC Direktíva	1–3	100	50–140	1–1.5	30–75	50–300	150–300
Ausztria átlag 300/150e		1	100	100	1	60	100
Karinthia 5<pH<5.5	0.5	50	40	0.2	30	50	100
5.5<pH<6.5 150		1	75	50	0.5	50	70
pH>6.5	1.5	100	100	1	70	100	200
Belgium (Flanders)	0.9	46	49	1.3	18	56	162
Belgium (Walloon)	2	100	50	1	50	100	200
Bulgária pH=6–7.4	2	200	100	1	60	80	250
pH>7.4	3	200	140	1	75	100	300
Cyprus	1–3	50	140	1–1.5	30–75	50–300	150–300
Dánia	0.5	30	40	0.5	15	40	100
Finnország	0.5	200	100	0.2	60	60	150
Franciaország	2	150	100	1	50	100	300
Németország (agyag) 200		1.5	100	60	1	70	100
vályog/iszap 100		1	60	40	0.5	50	70
homok	0.4	30	20	0.1	15	40	60
Görögország	3	-	140	1.5	75	300	300
Írország	1	-	50	1	30	50	150
Olaszország	1	-	100	1	75	100	300
Luxemburg	1–3	100–200	50–140	1–1.5	30–75	50–300	150–300
Észtország	3	100	50	1.5	50	100	300
Magyarország	1	75/1d	75	0.5	40	100	200
Lettország		0.5–0.9	40–90 70	15– 70	0.1–0.5 15– 70	20–40	50–100
Litvánia	1.5	80	80	1	60	80	260
Málta pH 5–6	0.5	30	20	0.1	15	70	60
pH 6–7	1	60	50	0.5	50	70	150
pH >7	1.5	100	100	1	70	100	200
Hollandia	0.8	10	36	0.3	30	35	140
Portugália pH<5.5	1	50	50	1	30	50	150
5.5<pH<7 300		3	200	100	1.5	75	300
pH>7	4	300	200	2	110	450	450
Lengyelország /könnyű 120	1	50	25	0.8	20	40	80
Közepes talaj 120		2	75	50	1.2	35	60
Nehéz talaj 180		3	100	75	1.5	50	80

Románia	3	100	100	1	50	50	300
Szlovákia	1	60	50	0.5	50	70	150
Szlovénia	1	30–100 20–60	0.8	15–50	70–85	60–200	
pH<7	1	100	50	1	30	50	150
pH>7	3	150	210	1.5	112	300	450
Svédország	0.4	60	40	0.3	30	40	100
Egyesült Királyság		3	400c	80–200a 1	50–110a	300b	200– 450a

a - pH ≥ 5.0 talajoknál, kivéve a Cu é Ni a pH 6.0–7.0 tartományt, de pH 7.0 fölött Cu 200 mg/kg, Ni 110 mg/kg Zn 450 mg/kg,

b – Csökkentése javasolt 200 mg/kg koncentráció alá elővigyázatosságból,

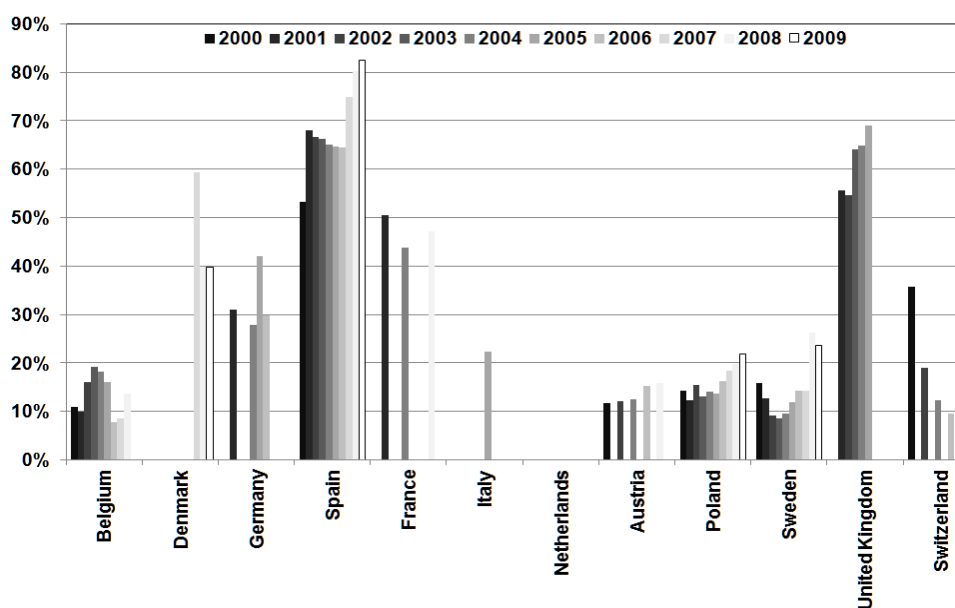
c – javasolt érték DoE, 1989 szerint,

d - 5<pH<6 talajkémhatásnál engedélyezett a mésszel sterilizált iszap használata,

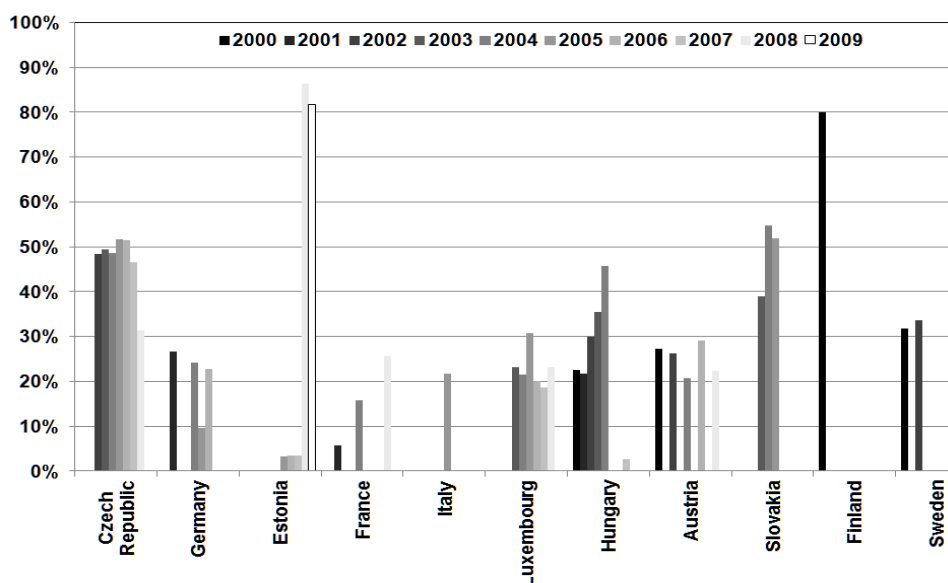
e - pH<6 talajoknál javasolt alacsonyabb határértéke

Közelítő számítással az **1. táblázat** átlagos szlovén adataiból visszaszámolhatók a különböző iszapok átlagos nehézfém koncentrációi, amiből azután becsülhetők az egyes országok szabályozása adta lehetőségei a különböző iszapelhelyezések tekintetében. Ennek a gyakorlata természetesen a napjainkra nagy számban készített statisztikai felmérésekből is igen jól megítélhető.

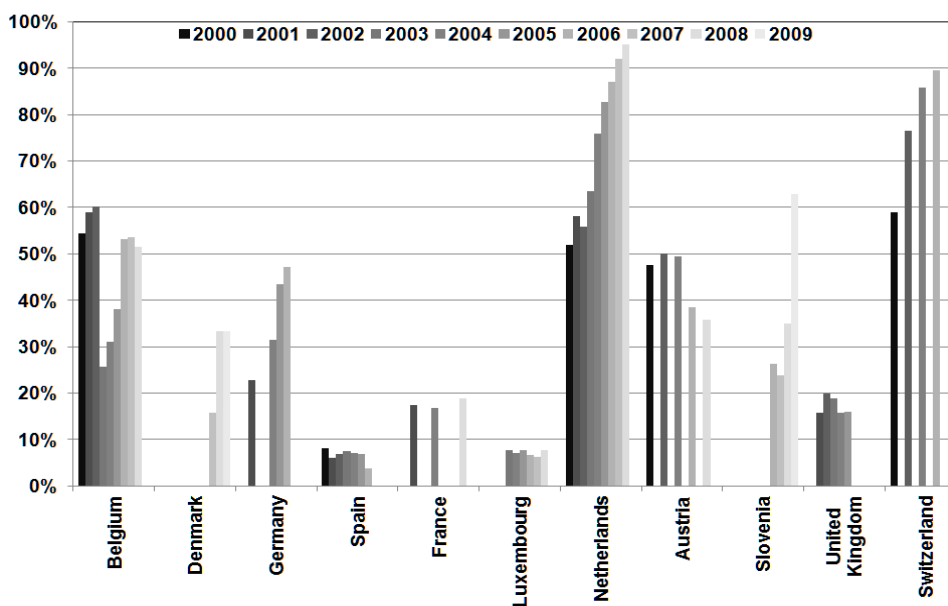
Az országonkénti mezőgazdasági felhasználás, komposztálás és iszapégetés **8. 9. és 10. ábrákon** látható, 2000 - 2009 közötti alakulása jól mutatja, hogy milyen eltéréseket eredményez a szabályozás enyhítése, szigorítása az egyes országokban (Mininni és Dentel, 2013). Ez a komposztálásra is igaz, de különösen az iszap égetésének mértékére.



8. ábra A szennyvíziszapok mezőgazdasági hasznosítása részarányainak (%) alakulása a nagyobb iszaptermelő EU tagállamokban 2000-2009 között.



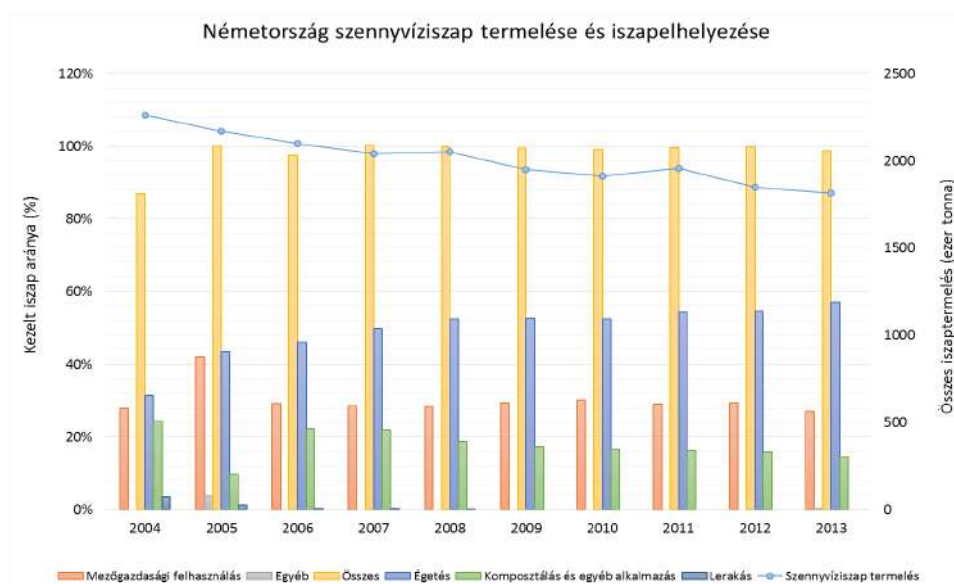
9. ábra A szennyvíziszapok komposztálása hányadainak (%) alakulása az EU országokban 2000-2009 között



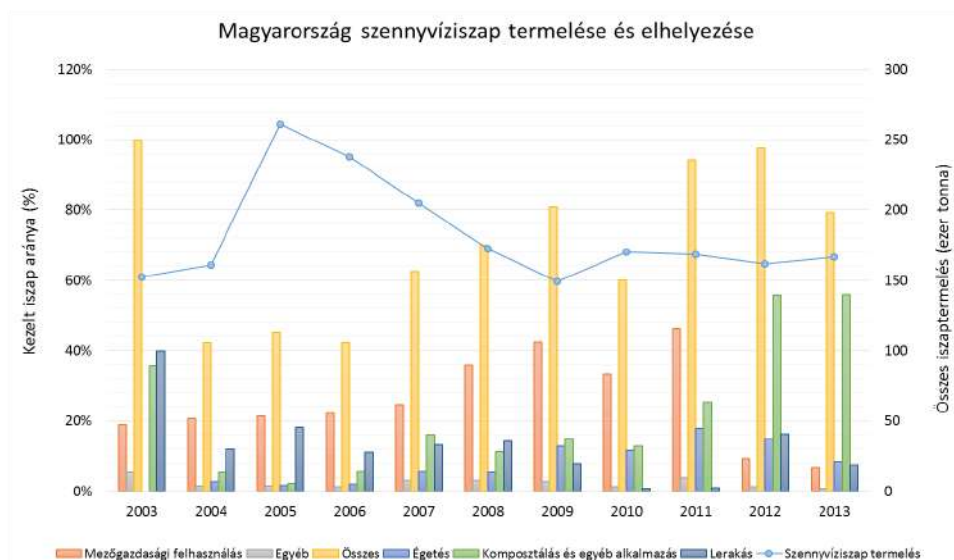
10. ábra Az égetett szennyvíziszap mennyiségek az összes termelés hányadában a nagyobb iszaptermelő EU tagállamokban 2000-2009 között

A lakossági szennyvíziszapoknak napjainkban országoként eltérő hányadát hasznosítják a mezőgazdaságban, vagy égetik el energetikai hasznosításra. Az utóbbinál persze lehet az elsődleges cél a mennyiségének és veszélyességének a csökkentése is. Érdekes összehasonlítani az előző

ábrák adatsoránál pontosabban is ebben a tekintetben Németország és Magyarország utóbbi években követett gyakorlatát. A **11-12. ábrák** az iszapjaik különböző módokon történt elhelyezésének mennyiségeit és azok részarányait mutatják be (EUROSTAT).



11. ábra Németország szennyvíziszap termelésének és iszap elhelyezési gyakorlatának az alakulása 2004-2013 között (éves összes iszaptermelés és az elhelyezés megoszlása)



12. ábra Magyarország szennyvíziszap termelésének és iszap elhelyezési gyakorlatának az alakulása 2004-2013 között (éves összes iszaptermelés és az elhelyezés megoszlása)

Látható az ábrákból, hogy Németországban messze nagyobb részarány az iszapégetésé, míg Magyarországon a mezőgazdasági hasznosításé. Németországban viszont már korábban is a mezőgazdaságban felhasznált iszapmenyiség jelentősebb hányadát komposztálták is. Természetesen az is látható, hogy hazai adatszolgáltatásunk az EUROSTAT felé a korábbi években meglehetősen pontatlan volt. Nem látható a két táblázatból az sem, hogy míg a német iszapok döntő többsége mono-égetés során került hasznosításra, addig a hazai iszapok égetése cementműben, illetőleg erőműben történt napjainkig. Ezért nálunk iszaphamu elhelyezési probléma sem jelentkezhetett, csak a mezőgazdasági iszaphasznosításé, komposztálásé. Az utóbbiakkal több konferencia előadás, egy napos rendezvény is foglalkozott az utóbbi időszakban. A nálunk közeljövőben tervezett fővárosi iszapégetés várható következményeiről ugyanakkor semmi nem tudható. Talán ezért érdemes lehet egy részletesebb magyar nyelvű áttekintő tanulmány készítése a hazai szakmai körök és döntéshozók részére az utóbbival kapcsolatosan felmerülő problémákról, távlati lehetőségekről.

Következtetések

Valamennyi ország környezetpolitikai döntéshozását eddig meghatározóan befolyásolta annak a népsűrűsége, természeti adottságai, települései nagyságának, rendelkezésre álló mezőgazdasági területeinek és termelésre történő kihasználtságának a mértéke, gazdaságának ereje. Döntésüket többségében a múlt század végén kellett meghozniuk az iszapok mezőgazdasági alkalmazására vonatkozóan a nehézfém koncentrációkat illetően. Ma már ezeket a rendelkezéseket ismételten célszerű lenne felülvizsgálni, hiszen a kettős szabályozás (iszap fémkoncentrációi, valamint adott területre kihelyezhető nehézfém dózis) kellő

biztonságot adhatna az elsőnek az esetleges tájékoztató jelleggel történő figyelembe vétele esetén is. Ez azért is indokolt lehet, mert az iszapégetés kiépítése komoly gazdasági teher, melyet követően a maradék elhelyezése messze korlátozottabb, kedvezőtlenebb, mint a komposztált iszapé. A komposztálás kiépítése egyébként jóval kisebb költségigény is a gazdaságnak, mint az égetés.

Köszönetnyilvánítás

A munka kidolgozásának támogatásáért köszönet a Pannon Egyetem GINOP-2.3.2-15-2016-00016 azonosító számú „Vízbázis-védelem, moduláris, mobil vízkezelő rendszerek és szennyvízkezelő technológiák fejlesztése a Pannon Egyetem bázisán hazánk dinamikus export növekedésének elősegítése érdekében” című projektjének.



Hivatkozások

- Alexa, L., Dér, S. (2001) Szakszerű komposztálás. Elmélet és gyakorlat. Profikomp, Gödöllő
- Cieslik, B., Konieczka, P. (2017), A review of phosphorus recovery methods at Various steps of wastewater treatment and sewage sludge management. The concept of "no solid waste generation" and analytical methods. *Journal of Cleaner Production* 142 (2017) 1728-1740.
- Dobersek, D., Goricanec, D., Trop, P. (2012), Municipal wastewater treatment plants in Slovenia. *International Journal of Energy and Environment*, Volume 6, Issue 6, <http://www.huber.de/solutions/sewage-treatment-plants/systemsconcept-for-centralized-wastewater-treatment.html>
- Donatello, S., Cheeseman, C. R., (2013) Recycling and recovery routes for incinerated sewage sludge ash (ISSA): A review. *Waste Management* 33 (2013) 2328–2340.
- Epstein, E. (2003) Land application sewage sludge biosolids, Ch 2, Lewis Publishers
- Fazekas, B., Kárpáti, Á., Kovács, Zs. (2013) Szennyvíztisztítás korszerű módszerei. Elektronikus jegyzet. Környezetmérnöki Tudástár. Pannon Egyetem, Sorozat szerkesztő: Domokos, E. XXXII. kötet.
- Karvelas A., Katsoyiannis A., Samara C., (2003), Occurrence and fate of heavy metals in the wastewater treatment process, *Chemosphere*, 53, 1201–1210.
- Mininni, G., Dentel, S. (2013) Highlights of current legislation on sludge and bio-waste in EU member states and in the United States. Conférence Internationale « Gestion innovante des boues d'épuration a l'échelle européenne » Charleroi Espace Meeting Européen, 22 Octobre 2013. mininni@irsa.cnr.it, dentel@udel.edu
- Mininni, G., Blanch, A. R., Lucena, F., Bersell, S. (2015) EU policy on sewage sludge utilization and perspectives on new approaches of sludge management. *Environ Sci. Pollut. Res.* (2015) (22) 7361–7374. DOI 10.1007/s11356-014-3132-0
- Sede és Arthur Andersen (2002) Disposal and recycling routes for sewage sludge, Available at: http://ec.europa.eu/environment/waste/sludge/sludge_disposal.htm
- European Commission, DG Environment – B2, 2002.
- Stanier, R. Y., Ingraham, J. L., Wheelis, M. L., Painter, P. R. (1986), *The Microbial World*; Prentice-Hall: Englewood Cliffs, New Jersey.
- Stephenson T., Jester J.N., (1987), Heavy metal behaviour during the activated sludge process – I. Extent of soluble and insoluble metal removal, *Science of the Total Environment*, 63, 199-214.
- Yunyi Li , Shuai Shi , Li Zhang, Yangsheng Liu (2016), Global trends and performances of publication on sewage sludge from 1991 to 2012 *Procedia Environmental Sciences* 31. 65 – 74.