

„A HÍGTRÁGYÁRA IS FIGYELNI KELL”. DE MUSZÁJ IS, VAGY CSAK ÉRDEMES?

Gubó Eduárd^{1,2}, Molnár Tibor^{3,1}, Pordán-Háber Dóra^{1,2}, Szakál Pál¹

1. BEVEZETÉS

A gazdálkodás fenntarthatósága és a természeti erőforrások hatékony kezelése létfontosságú feladattá vált a mezőgazdasági és a városi szennyvízgazdálkodás területén egyaránt. A hígtrágya és a kommunális szennyvíz, mint két jelentős tápanyagforrás különböző eredetű, de mindkettő kihívások elé állítja a környezettudatos tervezést és hasznosítást.

A hígtrágya az intenzív állattartás mellékterméke, a mezőgazdaságban fontos növényi tápanyag (N, P, K), ugyanakkor a kezelése és a felhasználása komoly kihívásokat rejt magában. A kiváló tápanyagforrás jelentős mennyiségű makro- és mikroelemet tartalmaz, ami előnyös a talaj tápanyagellátásában és a növények fejlődésében. A hígtrágyában megtalálhatóak az állattartó telepeken felhasznált gyógyszerek (antibiotikumok, gyulladáscsökkentők és hormonok) hatóanyagai és azok metabolitjai is, ami miatt a hígtrágya környezetszennyező-forrássá válhat, veszélyeztetve a vízminőséget és a környezeti ökoszisztémákat.

A kommunális szennyvíz leggyakrabban a városi vagy városiasodott területeken keletkező jelentős mennyiségű szennyezőanyag-forrás (hormonok és hormonszerű vegyületek,

antibiotikumok...). A háztartások, kereskedelmi egységek szennyvize hasznos szerves és szervetlen anyagokat tartalmaz, miközben magas koncentrációban találhatóak benne különféle szennyezőanyagok is. A szennyvízkezelésnek kulcsfontosságú szerepe van abban, hogy ezeket a káros anyagokat eltávolítsuk, mielőtt a víz visszakerül a környezetbe (főleg a víztestekbe).

A hatékony és fenntartható kezelési megoldások kidolgozása mindkét témakörben elengedhetetlen. Csökkenti kell a negatív környezeti hatásokat. Jelen tanulmány a szarvasmarha-hígtrágya ösztrogén- és antibiotikumtartalmának vizsgálatáról szól, kiemelve azt a területet, ahol az ösztrogénhatású anyagok kapcsolatba lépnek az élő szervezetekkel (növények), ezáltal bekerülve a táplálékláncba.

De mit keres egy hígtrágyás kutatás egy szennyvízkezeléssel foglalkozó folyóiratban?

A két anyag között rengeteg hasonlóság van, ezért néha érdemes egyszerre vizsgálni azokat. Például: A szarvasmarha-hígtrágya és a kommunális szennyvíz összetétele számos ponton hasonló. A hígtrágya és a kommunális szennyvíz is változatos vegyületeket

¹ Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Mosonmagyaróvár, Magyarország

² reAgro Kutató és Fejlesztő Kft. Győrújbarát, Magyarország

³ Szegedi Tudományegyetem, Természettudományi és Informatikai Kar, Szeged, Magyarország

tartalmaz, beleértve szerves és szervetlen anyagokat, nitrogént, foszfort, káliumot és persze főként vizet.

Mindkét anyag biológiailag lebontható, és a mikroorganizmusok fontos szerepet játszanak a szervesanyagok átalakításában és lebontásában. A szarvasmarha-hígtrágya esetében ezt a talajban élő baktériumok, gombák és egyéb mikroorganizmusok végzik, míg ezt a feladatot a szennyvíztisztító telepeken a helyben kialakított és fenntartott mikrobaközösség látja el.

Mindkét anyag jelentős mennyiségű nitrogént és foszfort tartalmaz, amelyek a szántóföldi növénytermesztésben értékes tápanyagok, ugyanakkor a természetes vizekbe kerülve hozzájárulhatnak a vízi ökoszisztémák eutrofizációjához.

Mind a szarvasmarha-hígtrágya, mind a kommunális szennyvíz negatív környezeti hatásokkal járhat. Vizsgálataink során bizonyosságot nyert hormonok és antibiotikumok jelenléte is aggodalomra ad okot, ugyanis ezek a szennyezőanyagok nagyon kis koncentrációban is befolyásolhatják az élőlények normális működését. A kommunális szennyvízben a nemszteroid gyulladáscsökkentő gyógyszerek, valamint a fogamzásgátlók maradványai (EE2) dominálnak, melyeket a biológiai tisztítás képtelen eltávolítani. Ugyanakkor a hígtrágyában az antibiotikumok mellett a hormonkezelés hatására megnövekedett saját hormonkibocsátás jelentkezik (ösztrogén dominancia), melyek viszont kívül esnek a szokásos kezelési eljárásokon. A közös vonás tehát a kommunális szennyvíz és a hígtrágya között az alacsony koncentrációban is nagy hatású vegyületek (pl. EDC Endocrine Disrupting Chemicals – hormonháztartást

megzavaró vegyületek) jelenléte, melyek miatt mindkettő külön figyelmet és sajátos kezelést igényel.

2. A HÍGTRÁGYA

A hígtrágya olyan folyékony mezőgazdasági „melléktermék”, amely állati bélsárból, vizeletből, ivó- és technológiai vízből, valamint kis mennyiségben egyéb hulladék anyagokból áll. Az almozás nélküli állattartás jellemző produktuma. Ennek a trágyaféleségnek a megjelenése Magyarországon az 1970-es évek elejére tehető, amikor a nagyüzemi állattartó telepek kezdtek elterjedni.

A hígtrágyát különféle technológiák alkalmazásával lehet elkülöníteni a szilárd és folyékony alkotórészeire, eltérő mértékben. A szilárd fázist kiszűrhetik vagy kiülepíthetik, majd szikkadás után olyan módon kezelhetik, mint az almos trágyát. A megmaradó híg szuszpenzió nem azonos a trágyalével, mivel kevesebb tápanyagot tartalmaz (Csávás et al., 1975, Vermes 1995).

3. ÖSZTROGÉNEK A KÖRNYEZETÜNKBEN

A világ több mint 7 milliárd lakosa évente körülbelül 30 000 kg természetes szteroid ösztrogént (E1, 17 β -E2 és E3) és további 700 kg szintetikus ösztrogént (17 α -EE2) juttat a természetbe. Az utóbbit kizárólag a fogamzásgátlók használata révén. Ugyanakkor az állattenyésztés által kibocsátott ösztrogének jóval nagyobb mennyiséget tesznek ki. Az Egyesült Államokban és az Európai Unióban például az állatállomány éves ösztrogén kibocsátása 83 000 kg/év, ami több mint a duplája az emberi kibocsátásnak (Shrestha et al., 2012). Az ösztrogénvegyületek

hatékonyságát általában a 17β -E2 referencia-vegyülethez viszonyított relatív potenciálként fejezik ki, mivel ez meghatározza a vegyületek hatását a receptorokra. Coldham és munkatársai (1997) tanulmányából származó adatok szerint az EDC vegyületek receptor affinitása a 17β -E2 ösztrogén potenciáljához viszonyítva az alábbiak szerint alakul: 17α -EE2 (88,80%), E1 (9,60%), 17α -E2 (5,25%), E3 (0,63%), bisfenol-A (0,005%). Vagyis, ha más vegyületeket is vizsgálunk, akkor újabb értékeket jönnének.

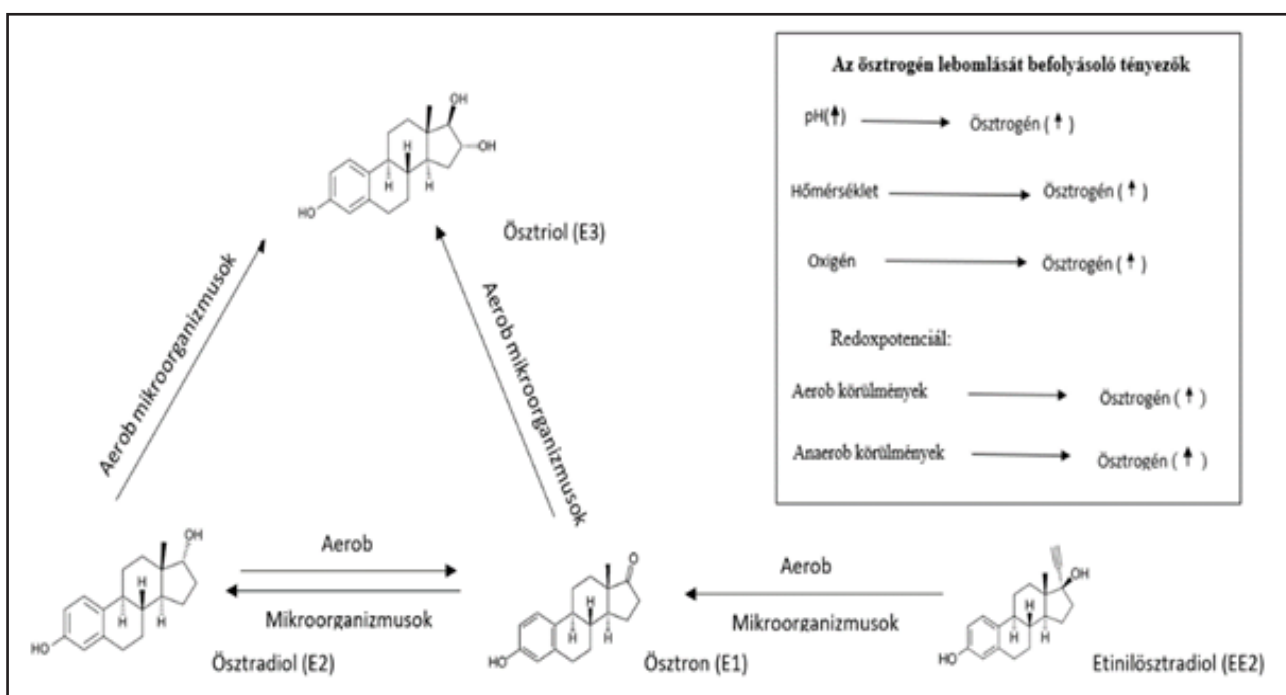
Hanselman és munkatársai (2003) kutatásukban részletezik, hogy egy 1000 kg tömegű nem vemhes ill. 80 nap alatti vemhességű szarvasmarha naponta 300-600 μ g ösztrogént választ ki, míg egy 1000 kg-os, 80 nap feletti vemhességű szarvasmarha esetén ez az érték 1500-11400 μ g/nap.

Johnson és munkatársai (2006) becslése szerint egy átlagos tejelő tehén naponta mintegy 384 mg 17β -E2-t bocsát ki a környezetébe

a vizelettel és az ürülékkel, míg egy vemhes koca esetén ez az érték 700-17 000 mg ösztro-ron (E1) lehet naponta.

Az ösztrogének legtöbbször állati trágyával vagy szennyvíziszappal kerülnek a vízbe és a talajba (Kakaley et al., 2020). A talajban való mozgásuk során előbb a pórusvízbe mosódnak az öntöző- vagy csapadékvízzel, majd onnan a talajvízbe szivárognak. Kimosódás útján a felszíni vizekbe kerülhetnek (Cerna et al., 2022), vagy a talajszemcsékhez szorpció útján kötődhetnek. Bizonyos ösztrogének, például az E1, akár több mint két hónapig is megmaradhatnak a talajban (Caron et al., 2010).

Különböző tanulmányok rámutattak arra, hogy az E1 a 17β -E2 biodegradációs köztes terméke. Xuan és munkatársai (2008) kutatása kimutatta, hogy iszapos talajban, abiotikus körülmények között a 17β -E2 biodegradációja során az E1 keletkezik (Xuan et al., 2008). Masthare és munkatársai (2013) tanulmányai



1. ábra Ösztrogének transzformációja aerob mikroorganizmusok jelenlétében (Forrás: Adeel et al., 2017)

szerint a 17α -E2 és 17β -E2 szintje exponenciálisan csökken a talajmintákban, miközben az E1, mint degradációs metabolit előbb ugárásszerűen növekszik, majd csökken.

Száraz körülmények között az ösztrogének magasabb koncentrációban is megmaradhatnak, míg a talajnedvesség emelkedésével a bomlásuk üteme megnövekszik (Xuan et al., 2008; Mansell et al., 2011). Az E1, a 17β -E2 és az E3 képes egymásba átalakulni, melyet a 1. ábrával szemléltetünk. Egyes mikrobák (például nitrifikáló baktériumok) képesek E1-et E3-má alakítani és a szintetikus 17α -EE2 átalakítható E1-gyé a *Sphingobacterium* sp. jelenlétében (Haiyan et al., 2007) China. On the basis of its morphology, biochemical properties and the 16S rDNA sequence analysis, this strain was identified as *Sphingobacterium* sp. JCR5. This strain grew on EE2 as sole source of carbon and energy, and metabolized up to 87% of the substrate added (30 mg l⁻¹. Tóvizek üledékében, anaerob körülmények között az 17β -E2 metanogén, szulfát-, vas- és nitrát- redukáló körülmények között E1-gyé alakult át, viszont a 17α -EE2 nem bomlott le (Czajka és Londry, 2006).

4. ANTIBIOTIKUMOK A TRÁGYÁBAN

Az antibiotikumok a múlt század egyik fő felfedezését jelentik, amely jelentős mértékben megváltoztatta számos fertőzés kezelését. A megnövekedett fogyasztás azonban soha nem várt módon gyűrűzött be a környezeti és közegészségügyi károkozások a szervezetből kiszabaduló antibiotikum-maradvány szennyezése révén (Kulik et al., 2023). Az antibiotikumok két szennyezési útját vizsgálják napjainkban. Egyik az ATB rezisztencia kialakulása, másik a hatóanyagok környezetben

való perzisztálása a talaj-víz-növény mátrixban. A két jelenség azonban nem különíthető el teljesen egymástól.

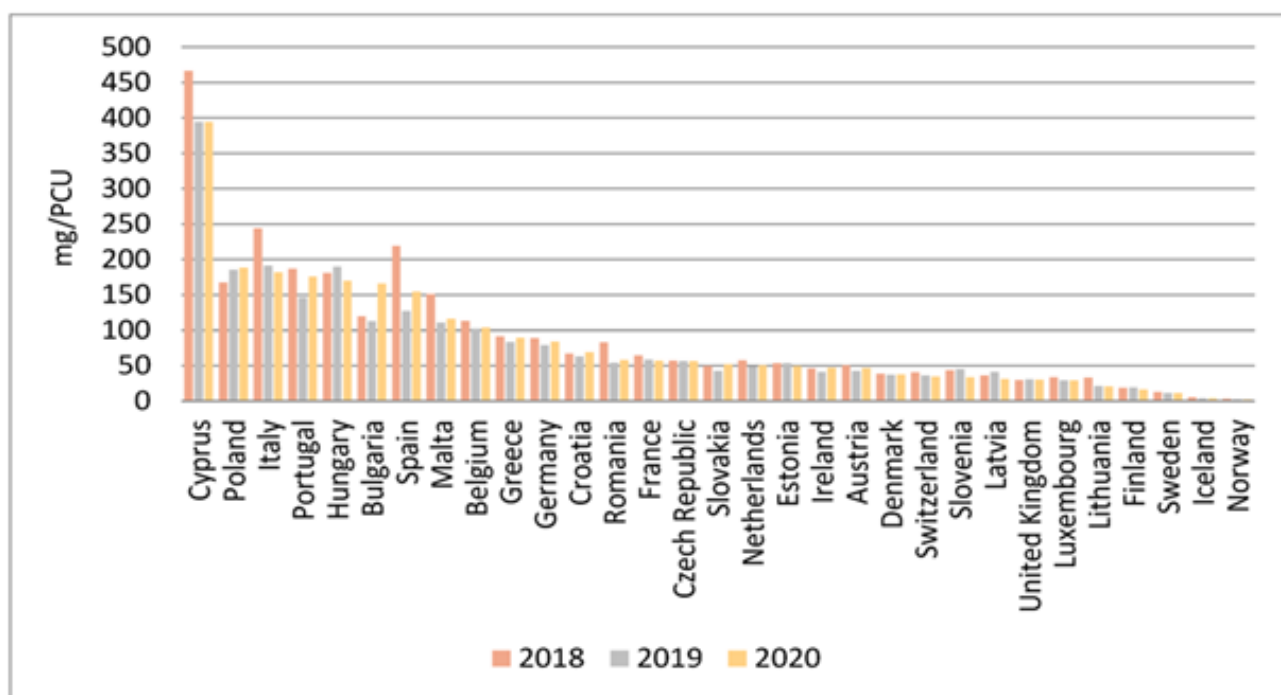
Az állattenyésztés során már a születés pillanatától kezdve megkezdődik az állatok táplálkozása, majd takarmányozása és gyógyszeres kezelése is. Ezen kezelések maradványainak mennyisége tovább követhető az állatokból előállított végtermékekben, az anyagcserefolyamatok után a trágyában, majd az azzal kezelt talajban, sőt a növényben akkumulálódva, és a folyamat végén akár humán hatás is jelentkezhethet (Boxall et al., 2004).

4.1 Antibiotikum-rezisztencia

Az elmúlt néhány évtizedben az antibiotikum-rezisztens bakteriális törzsek számának növekedését figyelték meg, amelyek egyre súlyosabb, nehezen kezelhető és sokszor halálos fertőzéseket okoznak. A megfelelő koncentrációjú antibiotikumok jelenlétében a környezetben egyes baktériumtörzsek, vírusok és fágok képesek rezisztencia kialakítására a hatóanyagokkal szemben. Az antibiotikum-rezisztencia kifejlődésére és elterjedésére vonatkozó számos faktor ismert: szennyvízelvezetők, szennyvíz és szennyvíziszap, gyógyszergyártó létesítmények, akvakultúrák, folyékony trágyatárolók és a szerves trágyázott mezőgazdasági területek (Polianciuc et al., 2020).

Az európai szakhatóságok statisztikát vezetnek és minden évben jelentést is adnak ki a tagállamok gyógyszerfelhasználásáról.

A Population Correction Unit (PCU) a népesség létszám-gyarapodására ható egység, az Európai Gyógyszerügynökség (EMA) által kifejlesztett és Európa szerte elfogadott elméleti mértékegysége. Figyelembe veszi egy ország állatállományának alakulását egy tárgyévi alatt, valamint az egyes fajok becsült tömegét



2. ábra Állategészségügyben alkalmazott antibiotikumok felhasználása 31 európai országban, mg hatóanyag/PCU-ban kifejezve 2018 és 2020 között (a tizenegyedik ESVAC jelentés alapján, 2020) (Forrás: ESVAC, 2020)

az antibiotikum-kezelés idején. Ez a becslés, lehetővé teszi az évről évre történő összehasonlítást és tendenciák megfigyelését (Khan et al., 2021, ESVAC 2020)

Sajnos Magyarország évek óta előkelő helyen szerepel a rangsorolásban, az 1 kg állati termék előállításánál legtöbb antibiotikumot használó országok között (2. ábra). Léteznek már olyan, természetes összetevőket tartalmazó takarmánykiegészítők (pl. az Anavrin), amelyek alkalmasak az antibiotikum-felhasználás csökkentésére.

Az antibiotikumok kezelésének ellenálló kórokozók kifejlődését az egyik legsürgetőbb közegészségügyi problémának tekintik. A 2019 februárjában nyilvános konzultáció tárgyát képező tudományos szakvélemény az antibiotikumokat rangsorolta, figyelembe véve mindazt a kockázatot, amelyet az állatokban való

alkalmazásuk okozhat a humán közegészségügyben az antimikrobiális rezisztencia kialakulása révén. Az Antimikrobiális Tanácsadó Szakértői Csoport (AMEG) készítette, és az EMA (European Medicines Agency) állat- és humángyógyászati bizottsága is elfogadta, összhangban az EMA irányelveivel, a szoros és integrált együttműködést elősegítő „One health – Egy egészség” megközelítést a humán- és állatgyógyászat között (EMA/CVMP 2021). A frissített rangsorolás figyelembe veszi az antibiotikumok 2014-es kezdeti kategorizálása óta szerzett tapasztalatokat, amelyek három kategóriát javasoltak az Egészségügyi Világszervezet listáján a kritikusnak fontos antimikrobiális szerek besorolásához, vagyis azon antibiotikumoknál, amelyek az emberi egészség szempontjából leginkább relevánsak. A felülvizsgált kategorizálás az antibiotikumok minden osztályát figyelembe veszi,

és további kritériumokat is tartalmaz, például az alternatív antibiotikumok elérhetőségét az állatgyógyászatban. A besorolás jelenleg négy kategóriát foglal magában: Avoid-Kerülje, Restrict-korlátozza, Caution-Vigyázzon vele és Prudence-Fontolja meg (WHO 2017, EMA 2020).

A 2000-es évek eleje óta világszinten 65 százalékkal emelkedett az antibiotikum-felhasználás. Meglepő módon a legnagyobb antibiotikum-fogyasztó nem az egészségügy, hanem az állattenyésztés. A 2015-ös adatok alapján az Amerikai Egyesült Államokban az antibiotikumok 80 százalékát használták az állattenyésztésben, és ezek 70 százaléka a humán gyógyászatban is használt antibiotikum-csoportokba tartozott. A hatalmas szelekciós nyomás mellett ez azért jelent problémát, mert a rezisztens baktériumok állatról emberre terjedhetnek közvetlen érintkezés útján, a nem megfelelően kezelt hús vagy a trágyázott kertészeti és haszonnövények elfogyasztásával (Klein et al., 2018).

Az állattenyésztés során folyamatosan és elkerülhetetlenül keletkező hígtrágyát régóta alkalmazzák a talajok tápanyag-ellátására, azonban a trágyaféleségek analitikai vizsgálata a jogi szabályozást követve egyelőre csak az alapvető kémiai paraméterek meghatározására terjed ki, a további szennyezőanyagok, mint a gyógyszerek mennyiségének, toxicitásának elemzése nem része az általános gyakorlatnak. Noha ez saját ökotoxikológiai vizsgálataink szerint is indokolt lenne.

Azonban napjainkban a precíziós mezőgazdaság térnyerésének köszönhetően sokkal fontosabbá vált, hogy a gazdálkodók mérésére alapozott egzakt eredményekre támaszkodva jutassák ki a hígtrágyát a növények számára. Viszont félő, hogy az ösztrogének

a növénybe kerülve egészség-romboló hatásúak lesznek.

Sajnos az Európai Unióban jelenleg az ivóvízből kimutatható gyógyszer- vagy hormonmaradványokra nincs határérték meghatározva. Ennek oka, hogy a rendelkezésre álló tudományos bizonyítékok alapján nem alakult ki konszenzus a közegészségügyi kockázat szempontjából releváns határértékekre vonatkozóan (O.K.K. 2016).

A humán és állatgyógyászatban használt antibiotikumok vizelettel és ürülékkel jutnak a környezetbe, ezért az antibiotikumok használatának optimalizálása és/vagy ellenőrzése kulcsfontosságú a környezetszennyezés csökkentésében. A beadott antibiotikum dózis 40-90%-a (gyógyszerosztálytól függően) átalakulás nélkül választódik ki, eljutva így a környezetbe, szennyezve a talajt, vizeket, növényeket stb. Az állattenyésztésben alkalmazott nagy mennyiségű antibiotikum az agroökoszisztéma szennyeződéséhez vezethet, többek között a mezőgazdasági területeken felhasznált szennyezett trágya és a növények szennyvízzel történő öntözése révén (Polianciuc et al., 2020).

4.2 Talaj-víz-növény kontinuum

A fentebb tárgyalt antibiotikum-rezisztencia kockázata mellett az antibiotikum-maradványok felszívódhatnak a növényekben, beavatkozhatnak a fiziológiai folyamatokba, és potenciális ökotoxikológiai hatásokat válthatnak ki.

A hígtrágyával kijuttatott antibiotikumok elsősorban azt a veszélyt jelenthetik, hogy az élelmiszerként, vagy a takarmánynövényként termelt növények felveszik azokat a talajból. Kumar és munkatársai (2005) kísérletében azt

vizsgálták, hogy a kukorica, a zöldhagyma és a fejeskáposzta milyen mértékben veszi fel az antibiotikumokat a talajból. Mindhárom növényből kimutathatóak voltak az antibiotikumok. A növényi szövetekben megjelenő antibiotikum-koncentráció arányosan növekedett a trágyában jelenlévő mennyiséggel. A negatív hatások feltárására számos krónikus és akut toxicitási tesztet végeztek, amelyek igazolták az antibiotikumok negatív hatását a fotoszintézisre és a mitokondriumokra. A mezőgazdasági talajokban található antibiotikumok továbbá gátolhatják a csírázást és/vagy csökkenthetik a biomassza tömegét (Wang et al., 2015).

Erre a megállapításra jutott több kutatás, amely szerint egyes hatóanyagok növényfajonként eltérő mértékben termés-csökkenést okozhatnak. Az antibiotikumok felhalmozódhatnak a növény gyökerében, hajtásában és termésében is. Zöldségek esetében a folyamatnak nagyobb a jelentősége, mert ebben az esetben a nyers fogyasztás miatt az ember közvetlenül ki van téve ezeknek a szennyezőanyagoknak (Xu et al., 2023).

Jelenlegi ismereteink szerint a legbiztonságosabb módja annak, hogy elkerüljük a növények antibiotikumokkal való szennyeződését az, hogy a hígtrágya szántóföldre történő kijuttatása előtt biztosítjuk a megfelelő vegyületek lebomlását. Mindezt a termelési költség növekedését okozó komposztálással és egyéb trágyakezelési módszerekkel érhetjük el. Szennyvíz esetében komplikáltabb helyzettel állunk szemben, mivel ott a több mint 200 000 szerves vegyület egymásra hatása (szinergia) következtében sem annak összetételét, sem mérési módszerét még nem ismerjük.

5. ÁLLÍTÁSAINKAT IGAZOLÓ KUTATÁSI MÓDSZEREK

Vizsgálataink során két Pest megyei intenzív szarvasmarhatartó telep hígtrágyájának ösztrogén- és egyes antibiotikum tartalmát vizsgáltuk.

Az ultranagy-hatékonyságú folyadékkromatográfia (Ultra-High Performance Liquid Chromatography, UHPLC) egy elválasztási technika, mely a vizsgált anyag két, egymással nem elegyedő fázis közötti megoszlási különbségén alapul. A kromatográfiás körülmények (kolonna töltetanyaga, eluens minősége stb.) megfelelő megválasztásával szinte minden vegyületcsalád és minta vizsgálatára alkalmas, ezért választottuk mi is ezt a vizsgálati módszert.

5.1. Mintaelőkészítés és a módszer leírás

Mintáinkból körülbelül 6-8 ml állt rendelkezésünkre, metanolos oldat formájában. Az UHPLC méréseknél nagy jelentősége van annak, hogy az oldószerek és az injektált minták is mentesek legyenek mindenfajta lebegő szennyeződéstől. Ezt úgy érhetjük el, ha az oldószereket és a mintáinkat is megfelelően kis pórusméretű szűrőn, ún. membránszűrőn átszűrjük. 10 ml-es fecskendőbe felszívtuk a mintáinkat, majd 4-5 ml-t átengedtünk a 0,45 mm-es üvegcszűrőn (Chromafil® GF/PET-45/25), ezzel telítettük a membránt, majd 0,5-1 ml-t üvegcsébe engedtünk. A minták ezzel készen álltak a mérésekre, melyeket három ismétlésben végeztünk el.

Az ösztrogének és a gyógyszerhatóanyagok koncentrációját fluoreszcens (FLD) és diódasoros detektorral (PDA) kapcsolt UHPLC-vel mértük (Shimadzu Nexera X2 LC-30AD).

Az elválasztáshoz fordított fázisú Kinetex C18; 2,6 µm-os oszlopot használtunk (150 mm). A vizsgálandó hatóanyagokat 280 nm gerjesztési hullámhosszú és 310 nm emissziós hullámhosszúságú fluoreszcencia detektor alkalmazásával detektáltuk. A mozgófázis 57-43% -os ultratiszta víz (10 mM H₃PO₄-val savanyított) és acetonitril keveréke volt. Az áramlási sebességet 0,8 ml/perc értékre állítottuk be, 40 °C-on. A minták injektálási térfogata 1 µl volt Gubó et al. 2023).

6. EREDMÉNYEK

Kutatási eredményeinkből egy komplett ciklust mutatunk be. A hígtrágya talajba történő kijuttatása után, a talaj és növény vizsgálatával foglalkozik. Bemutatjuk a talajban mért eredményeket és az ezen a területen termesztett silókukorica gyökerében, hajtásában ill. szemtermésében mért értékeket. A kör pedig az erjesztett tömegtakarmánnyal a kukoricaszilázzsal zárul.

6.1. Ösztrogénvizsgálatok eredményei

Hígtrágya:

Vizsgálataink során 5 db szteroid ösztrogént (E1, 17β-E2, 17α-E2, 17α-EE2, E3), 3 db ivarzásindukáló hormonkészítmény-hatóanyagot (D-Phe6-gonadorelin, kloprostenol,

dinoproszt-trometamin) és 2 db kísérővegyületet (klórkrezol, benzil-alkohol) vizsgáltunk UHPLC mérésel a hígtrágyában.

A megbízhatóság érdekében 32 db hígtrágyamintát vizsgáltunk UHPLC-FLD módszerrel. Az összes mintánkból kimutatható volt legalább egy, az ösztrogéncsoportba tartozó vegyület. Az ivarzásindukáló gyógyszerek (D-Phe6-gonadorelin, kloprostenol és dinoproszt-trometamin) és a vizsgált kísérőanyagok (klórkrezol, benzil-alkohol) a kimutatási határ alatt voltak az összes minta esetében. E3-mat a minták 100%-a tartalmazott, 17α-E2-t a minták 78%-a, míg 17β-E2-t a minták 66%-ból mutattunk ki. Az E1 és 17α-EE2 mennyisége a határérték alatt volt (1. táblázat).

A hígtrágya iszapfrakciójában minden esetben magasabb értékeket kaptunk: a 17β-E2 jellemzően hat-hétszer magasabb koncentrációban volt jelen, mint a folyékony frakcióban.

Talaj:

Az UHPLC mérés eredményei E1-re és 17α-EE2-re mindkét kontroll és valamenyi minta esetében a kimutatási határ alatt voltak (2. táblázat). A vizsgálati időszak alatt öt talajmintát vettünk (1-vetéskor, 2- vetés után 25 nappal, 3- vetés után 65 nappal, 4- vetés után 105 nappal, 4- vetés után

1. táblázat: A hígtrágyaminták analitikai eredményei

	pozitív minták (%)	koncentráció (µg/L)	Átlag (µg/L)
E1	0	0	0
EE2	0	0	0
E3	100	3,9-32,1	15,5
α-E2	75	1,88-3,9	2,3
β-E2	66	0,4-10,9	4,6

2. táblázat: A talajminták analitikai eredményei

	pozitív minták (%)	koncentráció (µg/L)	Átlag (µg/L)
E1	0	0	0
EE2	0	0	0
E3	73	0,2-4,6	2,5
α -E2	20	0,1-0,9	0,4
β -E2	70	0,2-1,4	0,7

150 nappal, betakarításkor). A 17α -E2-re jellemzően az első vagy második mintavételnél kaptunk értékelhető eredményt, bár nagyon alacsony értékben. A többi mérésnél kimutatási határértékalatt voltak az eredmények. Ez azt feltételezi, hogy vagy a kultúrnövény veszi fel, vagy pedig a talaj kémiai és biológiai folyamatai átalakítják. Ugyanez a tendencia figyelhető meg a 17β -E2 esetében: az első két mintavételre kapott közepes vagy alacsony értékek, a 3-4. mintavételre a kimutatási határérték közelébe, vagy akár az alá csökkentek. Az E3 esetében is egy magas kezdeti értékről istállótrágyázott területeken közepes, míg hígtrágyázott területeken alacsony értékre csökken.

Gyökér:

A gyökér és hajtásokból négy darab mintát vettünk a fent említett időközökben.

Az UHPLC mérés eredményei E1, 17α -E2 és 17α -EE2 mindkét kontroll és valamennyi minta esetében a kimutatási határ alatt voltak (3. táblázat). A 17β -E2 esetében az istállótrágyázott területek 1. mintavétele, a hígtrágyázott területek 1-2 mintavétele 1 µg/kg alatti értéket adott. A növényi akkumulációt jelzi, hogy a 2. és 3. mintavételt követően ugrásszerűen megnőnek a mennyiségek. Erre a folyamatra a nitrogén fejtrágyázás minden bizonnyal hatással van, hiszen az eredmények emelkedése ezt követően indult meg. Hasonló tendencia figyelhető meg az E3 esetében, magasabb számértékekkel.

Növényi hajtás:

Az UHPLC mérés eredményei E1, 17α -E2 és 17α -EE2 mindkét kontroll és valamennyi minta esetében a kimutatási határ alatt voltak (4. táblázat). A 17β -E2-re nem minden minta esetében kaptunk értékelhető eredményt:

3. táblázat: A gyökérminták analitikai eredményei

	pozitív minták (%)	koncentráció (µg/L)	Átlag (µg/L)
E1	0	0	0
EE2	0	0	0
E3	75	0,9-5,6	3,1
α -E2	0	0	0
β -E2	75	0,2-4,2	1,8

4. táblázat: A hajtásminták analitikai eredményei

	pozitív minták (%)	koncentráció (µg/L)	Átlag (µg/L)
E1	0	0	0
EE2	0	0	0
E3	60	0,1-1,1	0,5
α-E2	0	0	0
β-E2	33	0,1-0,8	0,4

minden esetben 1 µg/kg alatti, több esetben kimutatási határ alatti szintet mértünk, melyekből tendenciát nem tudtunk értelmezni. Az E3 esetében alacsony értékeket kaptunk, azzal a tendenciával, hogy az értékek az 1. és 2. mintavétel között alig változtak, alacsonyak voltak. A nitrogén-fejtrágyázás után azonban ugrásszerűen emelkedtek, ezért a 3. mintavétel értékei mintegy dupláját mutatják, mint a 2. mintavételnél. Később a növekedés üteme csökken, a szemtermésben jellemzően nagyon alacsony értékek vannak a kimutatási határ közelében.

Termés:

A kukorica-szemtermés esetében csak az E3-t tudtuk kimutatni a vizsgált vegyületek közül (istállótrágyával kezelt terület estében 0,3 µg/kg értéket, míg hígtrágyával kezelt területeken 0,1 és 0,3 µg/kg közötti értékeket mértünk). A többi vegyületre kimutatási határ alatti értékeket kaptunk. Kukoricaszilázs esetében a 17β-E2 dominált, viszonylag magas (7,6 és 10,8 µg/kg) értékkel. A 17α-E2-re közepes értékeket (1,7 és 2,2 µg/kg) kaptunk. A többi vegyület kimutatási határ alatt volt.

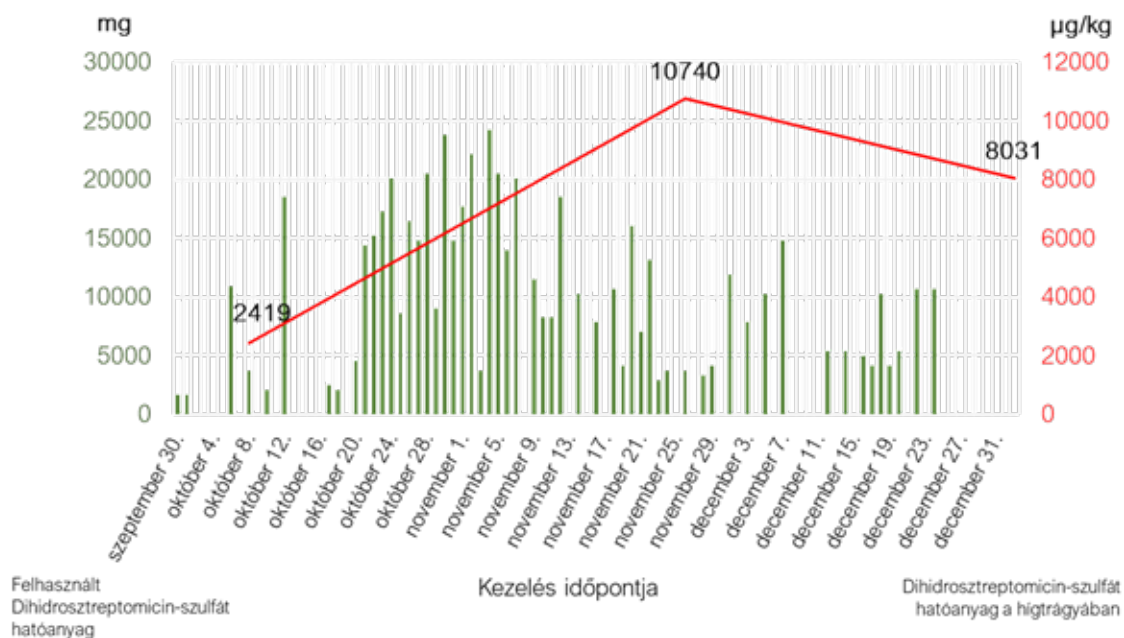
Az ösztrogén adaptállással kapcsolatos következtetések:

Az UHPLC-vizsgálatok során az ivarzásindukáló gyógyszereknek sem a hatóanyagait, sem a segédanyagait nem tudtuk kimutatni, valamennyi a kimutatási határ alatt volt. Ez azt jelzi, hogy a beinjektált anyagok mindegyike metabolizálódik, direkt módon egyik sem jelenik meg a hígtrágyában. Erre utal az a tény is, hogy egy tipikus metabolit (E3), valamennyi mintából kimutatható volt.

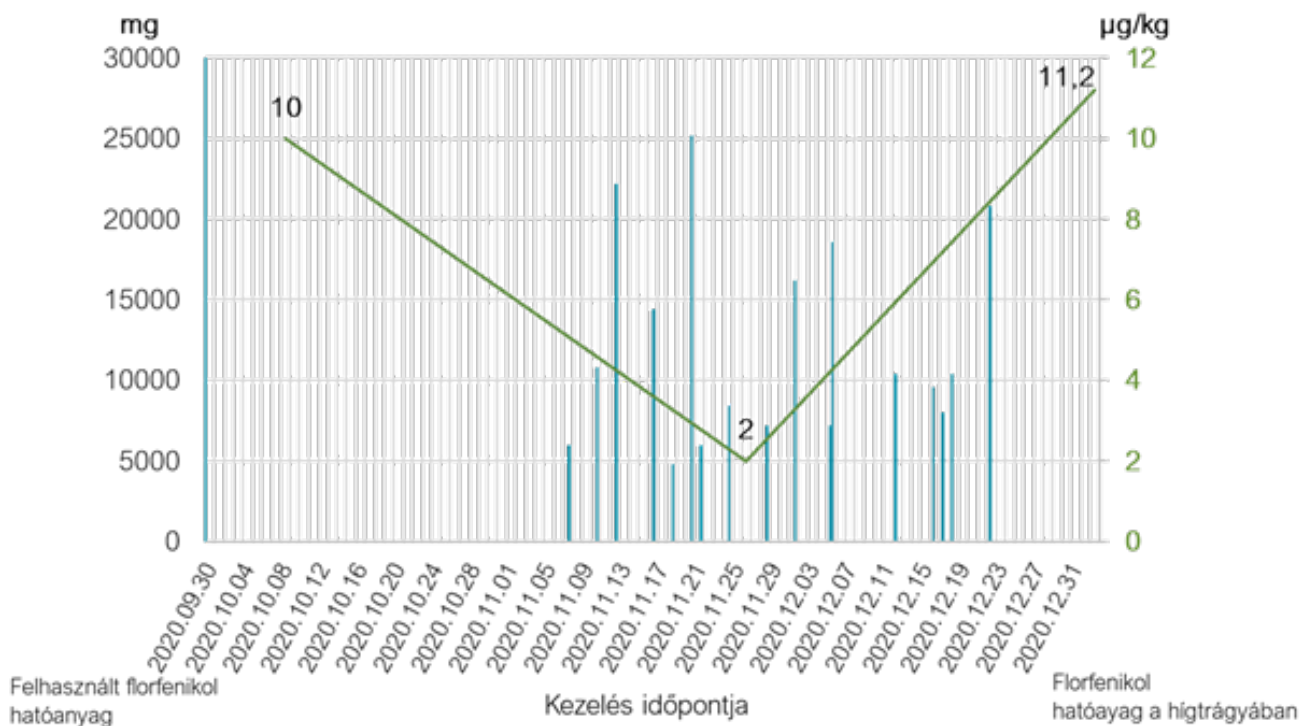
A növényminták esetében, biológiai minták lévén, kevésbé az egzakt számértékek, sokkal inkább a tendenciák a relevánsak. Jellemző tendencia, hogy a kijuttatott trágya EDC-tartalma csökkenő mértékkel átkerül a növénybe. Annak ellenére, hogy a hajtásban viszonylag alacsony értékeket mértünk, a betárolt kukoricaszilázs sokkal magasabb értékeket mutatott. Ebből következik, hogy a törzs sokkal többet vesz fel.

6.2. Antibiotikumvizsgálatok eredményei

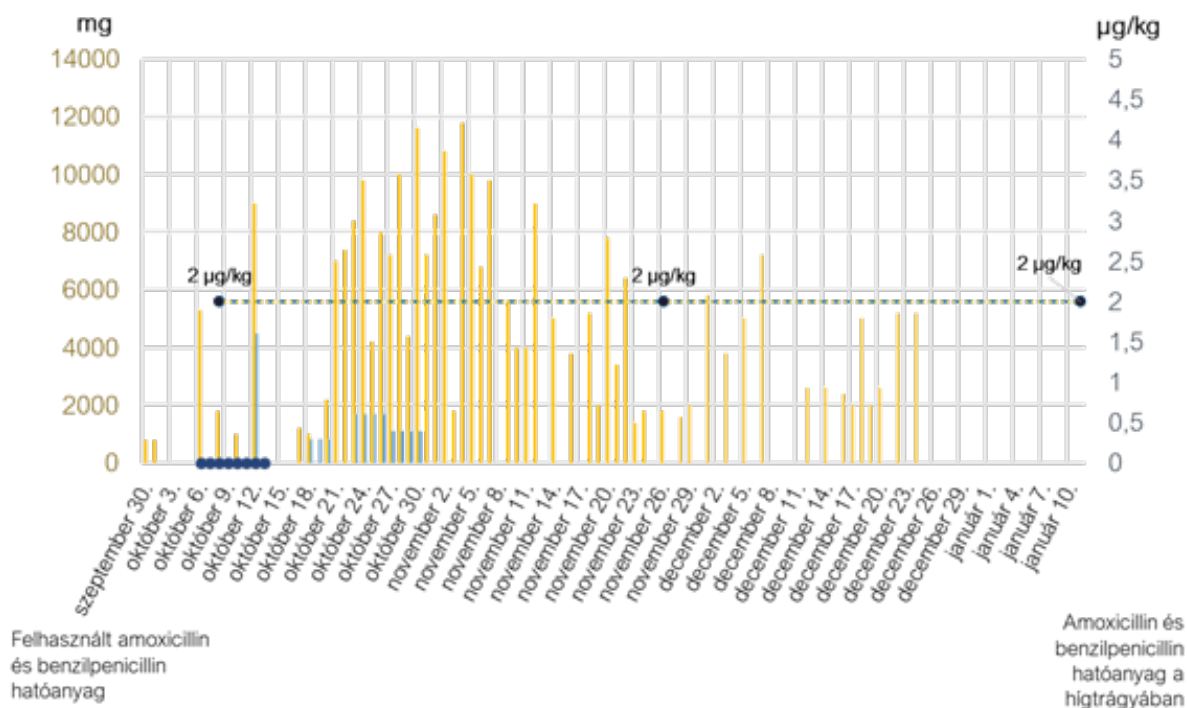
Korábbi vizsgálataink során kimutattuk, hogy a borjaknak beadott dihidrosztreptomycin-szulfát hatóanyag a hígtrágyából 10 740 ng/kg mennyiségben kimutatható volt, mely a szakirodalomban előforduló eredmények több mint tízszerese (3. ábra).



3. ábra Dihidrosztrepomicin-szulfát (DHSS) hatóanyag kimutatása az állategészségügyi kezeléssel összevetve.
Forrás: Saját kimutatás (2021)



4. ábra Florfenikol (FF) hatóanyag kimutatása az állategészségügyi kezeléssel összevetve.
Forrás: Saját kimutatás (2021)



5. ábra Amoxicillin-trihidrát és benzil-penicillin hatóanyag kimutatása a vizsgálat három fázisában az állategészségügyi kezeléssel összevetve. *Forrás: Saját kimutatás (2021)*

A további vizsgált hatóanyagok esetében, mint például a florfenikol, esetén a kapott eredményeket a 4. ábra mutatja be.

A penicillin és amoxicillin hatóanyagok előfordulásának mértékét az 5. ábrán mutatjuk be.

Felmerülő kérdések és további kutatási irányok
Kémiai jellemzői alapján a hígtrágya egy rendkívül sajátos és változatos anyagnak tekinthető, melyet nagyon nehéz vizsgálni. A hígtrágya ösztrogén- és antibiotikumtartalmával kapcsolatos kutatási területeken több vitatható kérdés is felmerül, amelyek irányt mutathatnak a további vizsgálatok elvégzésére. Néhány ilyen kérdés:

- Milyen változatosság mutatkozik az ösztrogéntartalomban, különböző típusú hígtrágyák között?
- Hogyan befolyásolja az állatok takarmányozása, az állományméret és más tényezők az ösztrogéntartalmat?
- Változik-e az antibiotikumok koncentrációja a hígtrágya különböző fázisaiban?
- Hogyan és milyen sebességgel történik a biotikus és abiotikus lebontás az ösztrogének és antibiotikumok esetében a talajban?
- Milyen környezeti tényezők befolyásolják ezt a lebontási folyamatot (levegős talajszerkezet, nedvességtartalom)?
- Milyen mértékben veszik fel a növények az ösztrogéneket és antibiotikumokat a hígtrágyából és a talajból?
- Hogyan alakul ki a biológiai akkumuláció és milyen következményei lehetnek a fogyasztókra nézve?
- Milyen hatásokat gyakorolhatnak az ösztrogének és antibiotikumok a környezeti

szervezetekre, például a talajban élő mikroorganizmusokra vagy a vízi élőlényekre?

- Milyen kumulatív hatásokat okozhatnak hosszútávon?
- Milyen mértékben lehetnek károsak az ösztrogének és antibiotikumok az emberi egészségre a mezőgazdasági termékek fogyasztása vagy a környezeti expozíció révén?
- Milyen mennyiségek esetén jelentenek kockázatot a humán egészségre?
- Ezek a kérdések kiindulópontjai lehetnek az olyan tudományos kutatásoknak, amelyek további információkkal szolgálhatnak a hígtrágya ösztrogén- és antibiotikumtartalmáról, valamint az azokkal kapcsolatos környezeti hatásokról és következményekről.

Következtetések

A körforgásos gazdálkodás olyan megközelítés, amely a természeti erőforrásokat fenntartható módon használja, minimalizálja a hulladékot, és támogatja a gazdasági, társadalmi és környezeti egyensúlyt. Ez azért fontos, mert a jelenlegi lineáris gazdasági modell, amelyben a termékeket előállítják, használják, majd eldobják, jelentős mértékben kimeríti a természeti erőforrásokat és növeli a környezeti terhelést.

Irodalmi források és az általunk elvégzett kutatások is azt igazolják, hogy az intenzív állattartásból származó hígtrágya termőföldre történő kijuttatása számos környezeti problémát vet fel.

A szteroid ösztrogének, ideértve az ösztron E1-t, az ösztradiol E2-t, az ösztriol E3-at, valamint a szintetikus ösztrogén EE2-t, megtalálhatóak a termőtalajokban. A növények a gyökereikben és hajtásaikban képesek felhalmozni ezeket a vegyületeket, bekerülve a táplálékláncba pedig az emberekre is veszélyt jelenthetnek. A nem megfelelő antibiotikum-felhasználás, a gyógyszerek túlzott alkalmazása állatokban és emberekben, valamint az antibiotikumok környezeti terjedése, mind hozzájárulnak az antibiotikum-rezisztencia kialakulásához. Fontos természetesen az antibiotikumok felelős és célzott felhasználása, hogy megelőzzük a rezisztencia kialakulását, és biztosítsuk, hogy a jövőben továbbra is hatékonyan kezelhessük a bakteriális fertőzéseket. Perspektivikus lehet törekedni a természetes eredetű takarmánykiegészítők használatára, melyekkel csökkenthető az antibiotikum-felhasználás.

A hígtrágya kijuttatása mezőgazdasági területekre kizárólag talajtani szakvéleményre alapozott talajvédelmi hatósági engedély birtokában engedélyezett. Ez az engedély pontosan meghatározza, hogy milyen mennyiségű hígtrágya juttatható ki a területre. Míg a hígtrágya tápanyagösszetétele a vizsgált paraméterek közé tartozik, addig toxikológiai hatásokkal a kijuttatás engedélyezése során nem foglalkoznak. A hígtrágyák ösztrogén és antibiotikum tartalma nagyban eltérő lehet, ezért tartjuk fontosnak, hogy előtérbe kerüljenek a toxikológiai vizsgálatok. Szükség esetén az energia- vagy ipari növények tápanyagpótlására hasznosítsuk az így keletkező hígtrágyát.