



*A kép illusztráció / Picture is for illustration only
Fotó/Photo: Tolokán Adrienn*

A biofoszfát élelmiszer-biztonsági jelentősége a biztonságos élelmiszeripari növénytermesztésben

Kulcsszavak: bioszén, növénytáplálás, foszfor trágyák, pirolízis

1. Összefoglalás

A tápanyagok körforgalma Európa- és világszerte felborult. Az élelmiszer-termelés folyamán a foszfor és nitrogén a hulladékáramokba kerülnek, így veszendőbe mennek a környezetben ahelyett, hogy növénytáplálási céllal hasznosulnának. A foszfor műtrágyákat illetően az Európai Unió (EU) kitettsége jelentős, hiszen az alapanyagul szolgáló foszfát kőzetet az Unió területén kívül bányásszák. A foszfor a mezőgazdaságban és az állattenyésztésben mással nem helyettesíthető anyag, így elmondható, hogy a foszfor visszanyerése és újrahasznosítása a fenntartható mezőgazdasági rendszerek egyik kulcsfontosságú kérdése az EU-ban és az egész világon.

A „3R” (Recycle-Reduce-Reuse) nulla kibocsátású pirolízis technológiát speciálisan a nagy hozzáadott értékű, újrahasznosítással visszanyert termékek előállítására dolgozták ki. Az így készülő biofoszfát, bio-NPK-C tápanyagok, valamint a különböző struktúrával rendelkező szenesített anyagok biztonságosan használhatók az ökológiai gazdálkodásban vagy a szorbenseket előállító iparágban.

Az élelmiszer minőségű állati csontőrleményből előállított bioszén (ABC – Animal Bone bioChar, csontszén) nagy tápanyagtartalommal (30% P_2O_5) rendelkező, újrahasznosított foszfortartalmú terméknövelő anyag. Az állatitermék-feldolgozó iparból származó, 3. kategóriába sorolt csontőrleményből készült bioszén (ABC, csontszén) egy makroporozus, akár 92% kalcium-foszfát- és mindössze 8% széntartalommal rendelkező szerves terméknövelő. A csontszén minden esetben optimális NPK-C tápanyagtartalom beállítással formulázzák, így az előnyös a talaj mikrobiológiájának szempontjából, valamint szerkezete révén hozzájárul a talaj víz- és a szerves tápanyagmegtartó képességéhez. A teljesen biztonságos ABC-termékeket jellemzően kis dózisban (100-600 kg/ha), de indokolt esetben akár 1000 kg/ha mennyiségben használják.

A csontszén többfunkciós termék, hiszen szerves terméknövelőként, talajjavítóként, valamint termesztőközegként és/vagy egyéb terméknövelő készítmények alkotójaként is használható. Az importból származó foszfát kiváltása újrahasznosított foszfort tartalmazó termékekkel már rövidtávon is fontos cél az európai mezőgazdaságban. A 3R technológiával előállított ABC termékekkel az EU28 országok 2030-ig tervezett foszfátszükségletének 20%-a kiváltható lenne.

¹ Terra Humana Ltd., Biofarm Agri Center, <http://www.3ragrocarbon.com>, <http://www.refertil.info>

² WESSLING Hungary Kft.

2. Bevezetés

A foszfor és a nitrogén nem hasznosul megfelelően az élelmiszer-termelés folyamán, pedig a mezőgazdaságban igen nagy szükség van ezekre az anyagokra. Ehelyett hulladékáramokba kerülnek, így veszendőbe mennek a környezetben [10]. Mindemellett tudjuk, hogy a foszfát műtrágyák előállítására használt kőzetek készletei végesek, s várható, hogy belátható időn belül kimerül a világon bányászható foszfor tartalék. A hosszú távú globális élelmiszer-biztonság érdekében a fenntartható foszforellátás kulcsfontosságú a talaj-termékenység megőrzésében, hiszen ez a tápanyag nem helyettesíthető mással [7]. A műtrágyák egyik fő összetevője a foszfát kőzet, amelyet az Európai Bizottság 2014-ben kritikus nyersanyaggá nyilvánított.

A Fertiliser Europe adatai alapján 2014-ben az EU 27 tagországában a becsült éves foszfor műtrágya felhasználás 1,11 Mt volt [12]. P_2O_5 értékben kifejezve ez 2,55 Mt műtrágyát jelent.

A foszfor műtrágyák előállításához szükséges foszfát kőzet szempontjából az EU importfüggősége jelentős a bányák földrajzi elhelyezkedése miatt (az EU-ban felhasznált foszfor műtrágyák több mint 90%-a import, elsősorban Marokkóból, Tunéziából és Oroszországból származik) [9]. Felmerültek olyan agyályok, amelyek szerint ezek szennyezettek lehetnek kadmiummal, uránnal, tóriummal vagy egyéb szerves szennyezőanyagokkal. A bányák EU-n kívüli elhelyezkedése az európai műtrágyaipart és az egész lakosságot importfüggővé, sebezhetővé teszi a magas nyersanyagárak, illetve az ellátó országokban uralkodó politikai helyzet miatt [10]. Ebből kifolyólag a foszfor visszaforgatása az egyik kulcsfontosságú cél a fenntartható mezőgazdasági rendszerek megalkotásában. A globális foszfátkőzet-piacon mutatkozó trendek az EU foszfát ellátását egyre nagyobb nyomás alá helyezik [18].

Az élelmiszerpazarlás környezeti, gazdasági és társadalmi következményei egyre nagyobb aggodalommal töltik el a társadalmat világszinten [8]. Csak az EU-ban 90 millió tonna élelmiszer válik hulladékká évente, ez fejenként 180 kg-ot jelent [7].

A szarvasmarha-, hal- és szárnyasfeldolgozó iparágak az állati eredetű hulladékok legnagyobb forrásai [16]. Az ilyen hulladékokat magas fehérjetartalmuk miatt nem lehet kezelés nélkül a környezetbe kibocsátani. Az Eurostat adatbázisa alapján hasított súlyra vonatkoztatva az EU 28 országában több mint 51 millió tonna állatot (szarvasmarhát, baromfit, sertést) dolgoznak fel. Az állatnak - az élő súlyra vetítve - a szarvasmarha esetében kb. 49, a sertésnél 44, míg a baromfi feldolgozásnál kb. 37%-a emberi fogyasztásra alkalmatlan [17]. Az emberi fogyasztásra vagy feldolgozásra nem kerülő rész a legmagasabb a szarvasmarha esetében (42%), sertéseknél ez 34%, míg a szárnyasok esetében 25% [5]. Az európai feldolgozóipar (35 EFPPRA tag 26 tagállamból) több mint

17 millió tonna nyersanyagot dolgozott fel 2014-ben, amelyből a 3. kategóriába eső feldolgozott termékek 12 millió tonnát tettek ki. Az EU-ban keletkező állati melléktermékek legnagyobb részét az EFPPRA tagok dolgozzák fel, de jelentős anyagáramokat termelnek olyan vállalatok is, amelyek nem tagjai a szervezetnek [6].

Az állatok hasított súlyának akár 20%-át is a vázrendszer teheti ki, ami azt jelenti, hogy az EU-ban évente 4 millió tonnánál is több állati csont hulladék keletkezik. Az ilyen hulladéka - a többi állati hulladékkal összehasonlítva - jellemző a rendkívül magas foszfortartalom. Szárazanyagra vonatkoztatva a szarvasmarha és baromfi esetében a csont foszfortartalma körülbelül 10,5% [2]; [14]. Ezzel szemben a mezőgazdaságban széles körben használt 2-10% szárazanyag-tartalmú sertés hígrágya foszfortartalma 0,2-1,25%, míg a 20-30% szárazanyag-tartalmú sertésrágya 1,6-5,08% foszfort tartalmaz [1].

A terméshővelő anyagok piacra kerülésének feltételeit csak részlegesen harmonizálták EU-s szinten. A piac nem harmonizált részének fragmentáltsága a kereskedelem komoly akadályát képezi [5]. Mindemellett a forgalomban lévő terméshővelő anyagok kb. 50%-a a műtrágyákról szóló 2003/2003/EK rendelet hatályán kívül esik. Ide tartozik néhány szerves és szerves eredetű terméshővelő, mint például az állati vagy egyéb mezőgazdasági eredetű melléktermékek, valamint az élelmiszerláncból származó biohulladék [9].

A bioszén (biochar) olyan szilárd anyag, amelyet biomassza (állati csontok vagy növényi maradványok) szénesezésével állítanak elő. A bioszén használható a talajok funkciójának javítására vagy termékenységének növelésére [10]. A bioszén abban különbözik a faszéntől, hogy előállítása a talajban történő felhasználás szándékával történik, a talaj termőképességének, termékenységének vagy szénraktározó képességének növelése céljából, vagy akár ezek együtteseként [19].

1870-től, az ipari forradalom idejétől egészen a XXI. századig a szénesezési technológiákat és a szén alapú termékeket széles körű energetikai, acélpipari, szorbens-előállítási, gyógyszeripari, biotechnológiai és egyéb alkalmazások miatt átfogó módon kutatták. A bioszén gyártása mintegy 2000 éves technológia, amelynek segítségével mezőgazdasági eredetű melléktermékekből kiindulva talajjavító anyagot állítottak elő. A bioszén eredetileg Terra Preta-nak, amazóniai feketeföldnek nevezték [21].

A modern korban az új környezet- és klímavédelmi, termékbiztonsági elvárások új és fejlett bioszén-gyártási technológiát és minőségbiztosítási rendszereket igényelnek jelentős mértékben fejlesztett technológiával, termékminőséggel és termékbiztonsággal a környezet, az emberi egészség és az élelmiszer-biztonság hatékonyabb védelme érde-

kében. Ennek szellemében a 3R nulla kibocsátású pirolízis technológia új technikai, gazdasági és környezetvédelmi lehetőségeket nyújt a fejlett bioszéngyártás és -felhasználás terén.

Sok tagállam részletes nemzeti szabályozással és szabványokkal rögzíti a nem harmonizált terménővelő anyagokra vonatkozó környezeti előírásokat (pl. potenciálisan toxikus elemek [nehézfémek] határértékei), amelyek nem vonatkoznak az EK-műtrágyákra (az Európai Közösség műtrágyáira) [9]. Számos EU-tagállamban már régóta szabályozzák a talajjavítók (pl. növényi alapú bioszén/plant based biochar – PBC), szerves terménővelők (pl. állati csont bioszén/Animal Bone bioChar – ABC) és egyéb szerves termékek forgalmazását. Azonban az egyes tagállamokban alkalmazott szabályok egymástól jelentősen eltérnek, így a kölcsönös elismerés elvét a gyakorlatban nehéz alkalmazni.

A körforgásos gazdaság startégiája értelmében várhatóan 2018-2020 között hatályba lépő, műtrágyáról szóló felülvizsgált EU-rendelet teljes jogharmonizációt biztosít sok mezőgazdasági és élelmiszeripari melléktermék-eredetű anyagnak, valamint szerves anyagáramnak, így a bioszén termékeknek és formulázott változataiknak is.

Az EU terménővelő anyagokra vonatkozó legújabb kezdeményezése [COM(2016) 157 final] várhatóan megteremti az egyenlő esélyeket EU szinten a különböző terménővelő anyagoknak, így növelve az iparág esélyét a belső piachoz jutásra, de megtartva közben a nemzeti szabályozásokat a nemzeti piacra korlátozó termékekre vonatkozóan, így elkerülve bármilyen piaci zavart [11].

A bioszénben jelen lévő potenciálisan toxikus elemek (PTE – potentially toxic elements) a szennyezett alapanyagokból származhatnak, de egyéb nemkívánatos vegyületek is keletkezhetnek, ha képződésükhez kedvező feltételek alakulnak ki a gyártás során [20]. Amikor a bioszén a talajok nyitott és komplex ökológiai rendszerében alkalmazzák, annak hatása az érintett területen visszafordíthatatlan lesz. Mivel a talajok közvetlen kapcsolatban állnak a felszín alatti vizekkel, elengedhetetlen, hogy csak minősített és

biztonságos termékek jussanak ki a javítani kívánt talajokra.

Európai szinten jelenleg nem léteznek egységes szabványok a bioszén termékek minőségi követelményeire és biztonságosságára vonatkozóan. Ennek ellenére EU-s és tagállami szabályozások, valamint a REACH rendelet (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) [23]. alapján már most is szigorú és komplex minőségi és biztonsági kritériumok, hatékonysági mutatók, és teljes körű jogi, környezet- és élelmiszer-biztonsági követelmények vonatkoznak a nyitott környezeti és ökológiai rendszerekben alkalmazott bioszénokra.

A fejlett és biztonságos bioszén termékek elősegítik a szántóföldi növénytermesztés környezeti, ökológiai és gazdasági fenntarthatóságát, így csökkentik a kedvezőtlen ökológiai lábnyomot, és összességében hozzájárulnak a klímaváltozás csökkentéséhez. A Terra Humana Kft. 2002 óta a bioszén termékek alkalmazott kutatásával foglalkozó, az Európai Bizottság által kiemelten támogatott projektek koordinátora és technológiai tervezője, elsősorban a csontszén (ABC) ipari előállítására és mezőgazdasági felhasználására fókuszálva. A vállalat fő kompetenciája a különböző értékes anyagok – így pl. a foszfor – viszszerése pirolízis technológiával. Ezt figyelembe véve Magyarország a csontszénnel kapcsolatos kutatás és technológia tudományos és ipari központja az EU-ban és a világon.

A Terra Humana közelmúltban lezárta projektjét a REFERTIL (EU szerződés szám: 289785) [22] keretében kutatómunkát végeztek és komplex fejlesztéseket dolgoztak ki a bioszén gyártására, aminek köszönhetően a gazdaságos ipari léptékű előállítás és forgalmazás kidolgozását is elősegítették. A 2011-ben megkezdett REFERTIL projekt kiemelt célja a bioszén termékekkel kapcsolatos jogalkotás támogatása, így a projekt végén egy átfogó jogharmonizációt elősegítő dokumentációt nyújtottak be az Európai Unió Bizottsága felé. A projekt laboratóriumi partnere a WESSLING Hungary Kft., ahol a minőségi és biztonsági jellemzők meghatározására több száz minta (alapanyag és termék) vizsgálatát végezték el a projekt 4 éves futamideje alatt.



A kép illusztráció / Picture is for illustration only
Fotó/Photo: Terra Humana Kft.

3. Anyag és módszer

A minták akkreditált vizsgálatát a WESSLING Hungary Kft. végezte. A REFETRIL projekt során használt analitikai módszerek az Európai Szabványügyi Bizottság (CEN – European Committee for Standardization) horizontális és a tagállamok által kölcsönösen elismert szabványokon alapulnak. Amennyiben ilyen horizontális szabvány nem állt rendelkezésre, jól ismert és validált módszerrel történt a vizsgálat. A policiklikus aromás szénhidrogének (PAH) koncentrációjának meghatározása a bioszén termékekben a CEN/TS 16181:2013 szabvány alapján [24], gázkromatográfiás-tömegspektrometriás (GC-MS) módszerrel történt. Szintén GC-MS módszerrel, az EN 16167:2013 szabvány előírásai szerint határozták meg a hét jelző poliklórozott bifenil vegyületet (PCB7*) [25]. A bioszén termékek potenciálisan toxikus elemtartalmának meghatározása az EN 13650:2002 szabványban rögzített minta-előkészítési lépést követően [26] induktív csatolású plazma-tömegspektrometrián (ICP-MS), illetve induktív csatolású plazma-optikai emissziós spektrometrián (ICP-OES) alapuló módszerekkel történt az EPA Method 6020A:2007 [27] és az EPA Method 6010C:2007 alapján [28].

4. Eredmények

Az állati melléktermék a feldolgozóiparból származó, 3. kategóriába sorolt csontörleményből készült bioszén egy makroporozus, akár 92% kalcium-foszfát- és mindössze 8% széntartalommal rendelkező szerves terménővelő. A csontszén minden esetben optimális NPK-C tápanyagtartalom beállítással formulázzák, így az előnyös a talaj mikrobiológiájának szempontjából, valamint szerkezete révén hozzájárul a talaj víz- és a szerves tápanyag megtartó képességhez. A teljesen biztonságos ABC termékeket jellemzően kis dózisban

(100-600 kg/ha), de indokolt esetben akár 1000 kg/ha mennyiségben használják. Az élelmiszer minőségű állati csontból előállított bioszén (ABC – Animal Bone bioChar) nagy tápanyagtartalommal (30% P₂O₅) rendelkező, újrhasználított foszfortartalmú terménővelő. A csontszén többfunkciós termék, hiszen szerves terménővelőként, talajjavítóként, valamint természetközegként és/vagy terménővelő készítmények alkotójaként is használható. Az importból származó foszfát kiváltása újrhasználított foszfort tartalmazó termékekkel már rövidtávon is fontos cél az európai mezőgazdaságban. Az agráriumban használt, importált foszfátkőzet alapú műtrágyák biológiai eredetű ABC termékekkel való kiváltása 2025-ig meghaladhatja az 5%-ot (>125.000 t/év P₂O₅). 2030-tól pedig ez az arány 20% feletti érték is lehet.

A növényi eredetű bioszén (PBC) magas és stabil széntartalommal rendelkező mikro- és mezoporozus talajjavító termék, amely nagy víz- és tápanyag-visszatartó, szénraktározó kapacitással rendelkezik, de az állati eredetű bioszénnel ellentétben gazdaságilag jelentős növényi tápanyagtartalma nincsen.

A bioszén termékek minőségét leginkább a pirolízis technológia minősége és hatékonysága határozza meg, amely egyedi és jól felismerhető lenyomatot hagy a termékek minőségében és biztonságosságában. Ennek értelmében a rossz minőségű gyártási technológiák rossz minőségű és alacsony piaci értékű termékeket eredményeznek (ha értékesíthetők egyáltalán). Szintén fontos még az alapanyag minősége, amely ugyanúgy visszatükröződik a végtermékben.

A fejlett, új generációs „3R” Recycle-Reduce-Reuse pirolízis technológia egy nulla kibocsátású, termokémiai dekompozíciós folyamat. Ez a technológia nagy

1. táblázat. A REFETRIL projekt során kidolgozott ajánlás a maximálisan megengedhető szennyezőanyag-koncentrációkra
Table 1. REFETRIL recommended biochar safety parameters

Paraméter Parameter	ABC, csontszén (szerves terménővelő) / Animal Bone bioChar (Organic P-fertiliser)	Növényi bioszén (talajjavító) Plant based biochar (Soil improver)
Potenciálisan toxikus elemek megengedhető koncentrációja (mg/kg) Maximum concentration of potentially toxic elements (mg/kg)		
As	10	10
Cd	1.5	1.5
Cr	100	100
Cu	200	200
Pb	120	120
Hg	1	1
Ni	50	50
Zn	600	600
Szerves szennyezők megengedhető koncentrációja Maximum concentration of organic pollutants		
PAH16 (mg/kg)	6	6
PCB7 (mg/kg)	0.2	0,2
PCDD/F (ng/kg I-TEQ)	20	20

hatásfokkal szenesít állati és növényi eredetű melléktermékeket oxigénmentes környezetben 450-850 °C maghőmérséklet között. A 3R egy eredeti megoldás és egy egyedi technológia, amellyel szerves melléktermékek gazdaságos újrahasznosításával nagy hozzáadott értékű szén- és ásványi termékek előállítása lehetséges, adott alkalmazási területre célzott funkciókkal és maximális környezeti és egészségi biztonsági karakterrel. Fontos megjegyezni azonban, hogy **olyan technológia és termék, amely minden felhasználási igényre megoldást kínálna, nem létezik.** Ezért a különböző típusú alapanyagok a felhasználás függvényében más-más pirolízis és formulázási megoldásokat igényelnek.

Az EU támogatásával megvalósult REFERTIL FP7 alkalmazott K+F projekt keretében kifejlesztett ipari technológiák alkalmasak a helyben keletkező szerves melléktermékekből újrahasznosított, piaci körülmények között is versenyképes, EU-s és tagállami jogszabályoknak megfelelő, biztonságos bioszén termékek előállítására. A REFERTIL projekt keretében sikeresen megvalósult az ipari méretekben gyártott bioszén termékek fejlesztése, mezőgazdasági tesztelése, akkreditált laboratóriumi értékelése, valamint hatósági engedélyeztetése.

A munka során 2012-2016 között rendezett szakmai konzultációk lehetőséget biztosítottak az Európai Bizottság képviselőivel és a bioszén kutatásával foglalkozó csoportokkal folytatott tapasztalatcserére.

A REFERTIL konzorcium munkája kezdetén előzetesen áttekintettük a vonatkozó EU-s és nemzeti irányelveket és jogszabályokat, aminek során megállapítottuk, hogy az Unióban hiányoznak az előírások a bioszén-termékek felhasználására vonatkozóan. A REFERTIL projekt kutatás-fejlesztési munkájának egyik eredménye az, hogy elősegítettük az EU-s jogalkotást, hiszen a projekt végén elkészült dokumentációban ajánlást tettünk a bioszén mint biztonságos szerves terménővelők és talajjavítók szabályozási rendszerének a felülvizsgálat alatt álló 2003/2003/EK-rendeletbe való beillesztésére. Mivel a műtrágyáról szóló jelenleg hatályos EU rendelet csak az ásványi eredetű anyagokat szabályozza, ezért a különböző szervezetek által készített javaslatok alapján folyamatban van a rendelet felülvizsgálata a teljes piaci harmonizáció érdekében. Így lehetőség nyílik majd a különböző terménővelők, így a természetközégek, talajjavítók, szerves trágyák, növényi biostimulánsok és egyéb szerves terménővelők kölcsönös tagállami elfogadására. A REFERTIL során kidolgozott ajánlás ezt a jogalkotási folyamatot támogatja.

Az ajánlásban meghatároztuk a szennyezőanyagok maximálisan megengedhető mennyiségét is, különös tekintettel a PAH-okra, mert a bioszén előállítása során ez a vegyületcsoport veszélyezteti a legnagyobb mértékben a termék jó minőségét. A PAH-ok, mint elsőbbségi szennyezők, rendkívül toxikusak, a környezetben perzisztensek, ennél fogva hajlamosak a bio-akkumulációra.

2. táblázat. A REFERTIL projekt során kidolgozott ajánlás a minimális minőségi követelményekre vonatkozóan
Table 2. REFERTIL recommended biochar quality parameters

Paraméter Parameter	ABC, csontszén (szerves terménővelő) / Animal Bone bioChar (Organic P-fertiliser)	Növényi bioszén (talajjavító) Plant based biochar (Soil improver)
Szemcseméret eloszlás Particle size distribution	1-5 mm, 90%	1-20 mm, 90%
Térfogat-sűrűség halmazsűrűség Bulk density	Önkéntes nyilatkozat Declaration needed	Önkéntes nyilatkozat Declaration needed
Szárazanyag-tartalom Dry matter content	Minimum 80%	Minimum 60%
pH / pH	6-10	6-10
Összes szerves szén Total organic carbon	Önkéntes nyilatkozat* Declaration needed *	Minimum 20%*
Összes nitrogén / Total nitrogen	Önkéntes nyilatkozat Declaration needed	Önkéntes nyilatkozat Declaration needed
Összes kálium / Total potassium	Önkéntes nyilatkozat Declaration needed	Önkéntes nyilatkozat Declaration needed
Összes foszfor (P ₂ O ₅ egyenértékben) Total phosphorus (in P ₂ O ₅)	Minimum 25%	Önkéntes nyilatkozat Declaration needed
Csírázás gátló hatás Germination inhibition assay	Nincs gátlás / No inhibition	Nincs gátlás / No inhibition
Fitotoxicitás / Phytotoxicity	Nem fitotoxikus / No Phytotoxicity	Nem fitotoxikus / No Phytotoxicity
Agronomiai hatékonyság Agronomic efficiency	Igazolni kell / Should be proved	Igazolni kell / Should be proved

*A minimális szerves széntartalom még egyeztetés tárgyát képezi. Talajjavítóknál 7,5%-ot; szerves terménővelőknél 15%-ot vagy 7,5%-ot javasolt a munkacsoport. / *There is still an ongoing discussion about the determination of the total organic carbon. For soil improvers and organo-mineral fertilizers 7.5% and for organic fertilizers 15%, possibly 7.5 % proposed by the working group.

A REFERTIL projekt során kidolgozott ajánlásban 6 mg/kg PAH₁₆* határértéket fogalmaztunk meg (**1. táblázat**), azzal a kitételrel, hogy a tagállamok ennél szigorúbb értékeket is elvárhatnak, mint például az 1 mg/kg PAH₁₆ vagy PAH₁₉** követelmény, amely már 2006 óta érvényben van bizonyos tagállamokban. Erre példa a Magyarországon érvényes 1 mg/kg PAH₁₉ határérték [13]. Az általunk javasolt bioszén-termék minőségi jellemzőit a **2. táblázatban** ismertetjük. Az egyes bioszén szabványt kidolgozó csoportoknál előírt határértékeket a **3. táblázatban** foglaljuk össze.

4.1. Növényi és állati eredetű bioszenek PAH-tartalma

Az ipari gyártási technológia konstrukciója az egyik legfontosabb olyan tényező, amely a bioszén termékek végső minőségét meghatározza. Ennek szellemében határozták meg a végtermékekben legfeljebb megengedett 1-6 mg/kg PAH₁₉ határértéket. A csontszén gyártása és felhasználása sokkal bonyolultabb technológiai folyamatot igényel, mint a növényi bioszéné. A termék kémiai, analitikai eredményeiből jellemzően következtetni lehet a gyártási technológia megfelelőségére.

A REFERTIL projekt keretében több mint 100 (állati és növényi) bioszénminta vizsgálata történt meg.

A vizsgálatokat a WESSLING Hungary Kft. Környezetanalitikai Laboratóriumában végeztük. A vizsgált anyagok egyrészt a projekt keretén belül gyártott, valamint egyéb európai előállítóktól beszerzett minták voltak. A laboratóriumi eredmények egyértelműen igazolták, hogy a projekt során a már fejlesztett technológiával előállított bioszén minták minősége megfelelő volt, mert PAH₁₆ szennyezettségük egyetlen esetben sem haladta meg az 1 mg/kg határértéket. Vizsgálatainkkal sikerült bebizonyítani, hogy a korszerű, megfelelően tervezett gyártási technológia alkalmazásával hatékonyan csökkenthető a bioszén PAH-szennyezési kockázata, a dioxin pedig a kimutatási határ alatt volt.

A laboratóriumba érkező mintákból – amelyek különböző országok különböző gyártóitól, többféle alapanyagból származtak – összesen 41 csontszén- és 36 növényi bioszén-minta PAH tartalmát határoztuk meg. Mérési eredményeink szerint a növényi bioszén minták 83%, az állati csont-eredetű bioszén minták PAH-tartalma pedig 88%-ban nem haladta meg a projektben általunk javasolt 6 mg/kg-os határértéket (**4. táblázat**). Megjegyezzük, hogy a csontszén-minták (ABC) a Terra Humana Kft-től származtak, mivel az Európai Unióban ez az egyetlen szervezet, amelyik a csontszén-technológiát és nagy-értékű, újrahasznosított foszfortermékeket rendszerszerűen fejleszti.

3. táblázat. Maximálisan megengedhető szennyezőanyag-koncentrációk az egyes bioszén szabványt kidolgozó csoportoknál és egy tagállami jogszabályi példa összehasonlítása

Table 3. Comparison of maximum concentration and allowable limits for biochar quality from the major biochar standardization groups and a Member State mandatory regulation as a legal case example

Paraméter Parameter	REFERTIL BIOCHAR	IBI International Biochar Initiative [15]	EBC European Biochar Certificate basic [4]	EBC European Biochar Certificate premium [4]	BQM Biochar Quality Mandate High grade [3]	BQM Biochar Quality Mandate standard [3]	Member State regulation Hungary [13]
Potenciálisan toxikus elemek (mg/kg) / Potentially toxic elements (mg/kg)							
As	10	13-100	na	na	10	100	10
Cd	1.5	1.4	1.5	1	3	39	2
Cr	100	93-1200	90	80	15	100	100
Cu	200	143-6000	100	100	40	1500	100
Pb	120	121-300	150	120	60	500	100
Hg	1	1-17	1	1	1	17	1
Ni	50	47-420	50	30	10	600	n.a
Zn	600	416-7400	400	400	150	2800	n.a
Szerves szennyezők / Organic pollutants							
PAH ₁₆ (mg/kg)	6	300	12	4	20	20	1
PCB ₇ (mg/kg)	0.2	0.2-1	0.2	0.2	0.5	0.5	n.a
PCDD/F (ng/ kg I-TEQ)	20	9	20	20	20	20	n.a

* 16 vegyület US EPA ajánlás alapján / * 16 compounds based on US EPA offer

** US EPA PAH₁₆ + 1-metilnaftalin; 2-metilnaftalin; benzo[e]pirén / ** US EPA PAH₁₆ + 1-methylnaphthalene; 2-methylnaphthalene; benzo[e]pyrene

A különböző gyártási körülmények alkalmazása mellett igazolást nyert, hogy a technológia befolyásolja a termék minőségét. Megfelelő kezelési körülmények mellett kitűnő minőségű termékek gyárthatók alacsony PAH tartalommal (<1 mg/kg PAH19) (1. és 2. ábra és 4. táblázat).

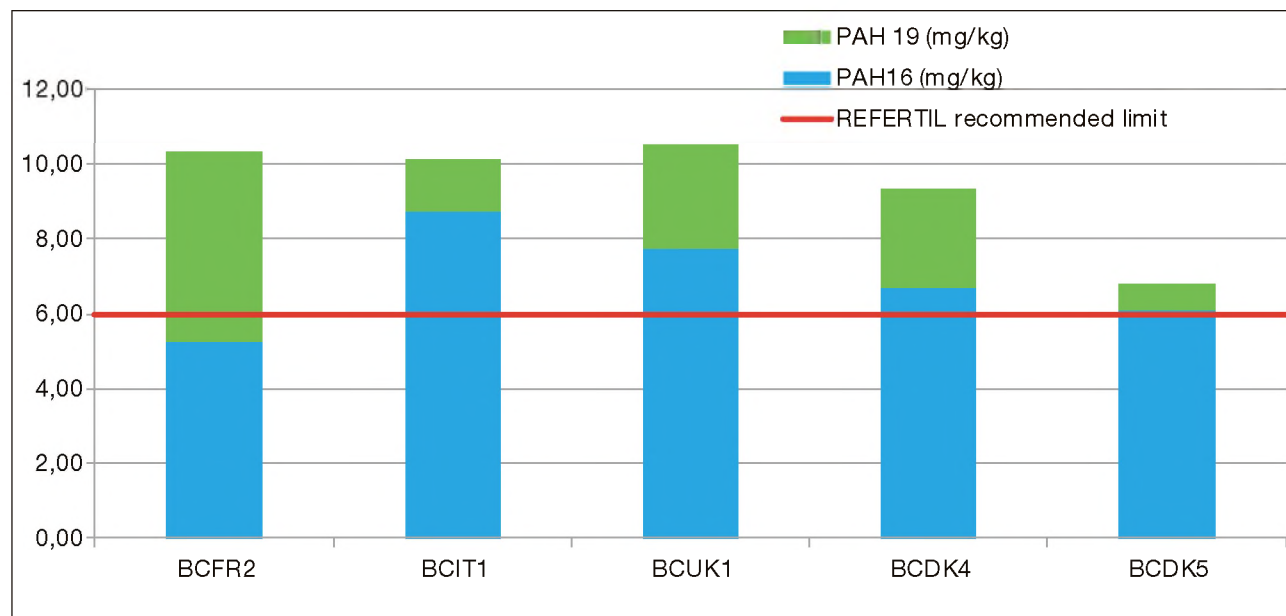
4.2. Állati és növényi bioszenek PCB-tartalma

A termékekben kimutatható mennyiségű PCB-konzenereket nem találtunk. A kimutatható PCB-k hiánya várható is volt, hiszen állati melléktermékek nem tartalmaztak számottevő mennyiségű klórt. Hasonló-

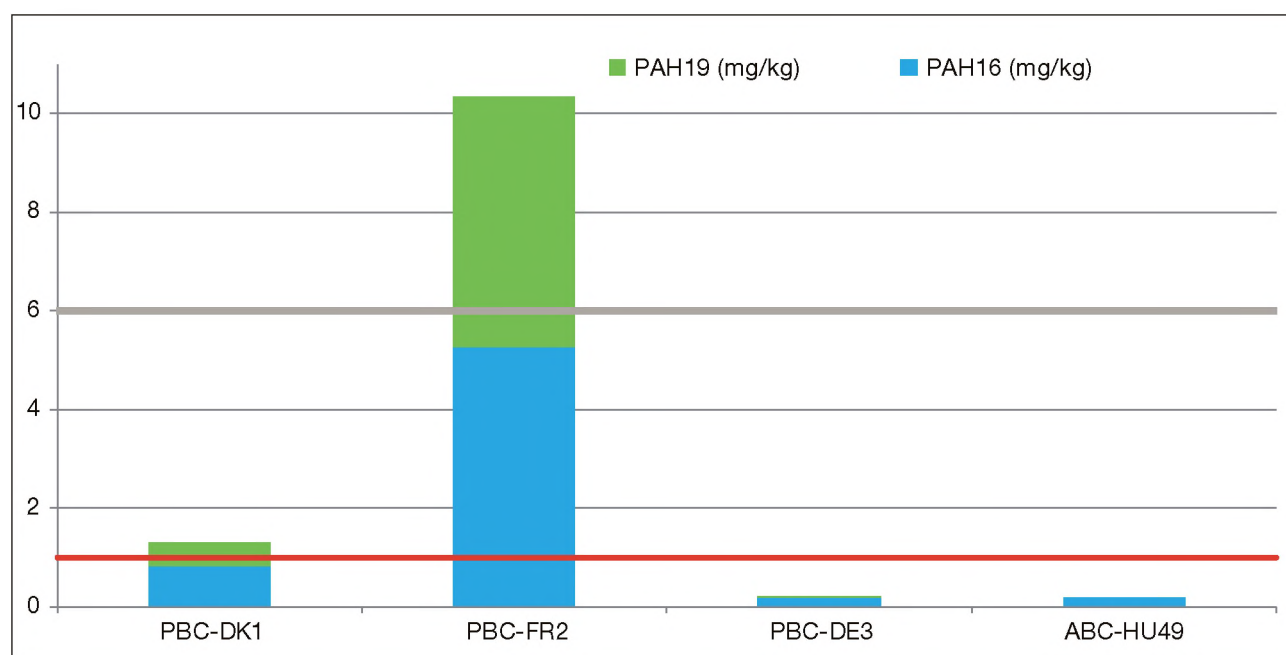
an a PCB-khez, mintáink egyikében sem találtunk kimutatható mennyiségű dioxin-származékokat. Mivel ezek a vegyületek keletkezésüket és szerkezetüket tekintve hasonlóak, úgy véljük, hogy a PCB-k a bioszén készítményekben esetleg előforduló perzisztens és bioakkumulatív dioxinok megfelelő indikátorai lehetnek.

4.3. Állati és növényi bioszenek potenciálisan toxikus elemtartalma (PTE)

A 2008/105/EK-rendelet a higanyt, kadmiumot, nikelt és az ólmot elsőbbségi szennyezőanyagként



1. ábra. Példák a PAH16 és PAH19 eredmények közötti különbségre, valamint a REFERTIL határérték.
Figure 1. Examples for the difference of PAH16 and PAH19 results and the REFERTIL recommended limit value.



2. ábra. PAH19 értékek a határérték átlépését eredményezhetik, de a jó minőségű termékek a szigorú 1 mg/kg érték alatt maradnak. PCB: Különböző európai gyártóktól származó növényi bioszén minták.
ABC: REFERTIL projektben előállított származó csontszén

Figure 2. PAH19 values can result in exceeding the limit values, but high quality pyrolysis products were below the strict 1 mg/kg PAH19 limit.

tartja nyilván. Ezeken belül a kadmiumot és a higanyt elsőbbségi veszélyes anyagnak is minősítik. A bioszén mintákban a potenciálisan toxikus elemek (fémek) koncentrációjának ellenőrzése azért fontos, mert a gyártás folyamatában a pirolízis után a fázisválasztással járó lépés (gáz, olaj és szilárd termék keletkezik) során ezekből az elemekből 3-5-szörös dúsulással kell számolnunk. A dúsulás a szilárd végtermékben a kiindulási anyagnál jóval nagyobb koncentrációkat eredményezhet. Minél nagyobb a kiindulási szerves-

anyag-tartalma, annál kisebb a bioszén termék kihozatali aránya, ezért a dúsulás elsősorban a növényi eredetű bioszénre jellemző. Ennek mértéke függ az adott elem kiindulási anyagban mutatkozó koncentrációjától és az adott pirolízis technológia által biztosított bioszén kihozattal. Az összes melléktermékből előállított ABC és jó minőségű PBC mintákban mért PTE koncentrációk jóval a szigorú tagállami és REFERTIL által javasolt határértékek alatt maradtak, amelyeket a **5. táblázatban** foglaltunk össze. Ha a bioszén PTE

4. táblázat. Különböző bioszén minták PAH tartalma.
Table 4. PAH content of different biochar samples.

Paraméter / Parameter	Különböző európai gyártóktól származó minták Samples from different European manufacturers Növényi bioszén / Plant based biochar							REFERTIL minta REFERTIL sample Csontszén (ABC) Animal Bone bioChar
	BCFR2	BCIT1	BCUK1	BCDK4	BCDK5	BCDK1	BCDE3	BCHU49
Naftalin <i>Naphthalene</i>	1.62	2.98	4.31	3.72	3.33	0.28	0.16	0.18
1-metilnaftalin <i>1-Methylnaphthalene</i>	2.29	0.51	0.93	1.06	0.33	0.17	<0.02	<0.02
2-metilnaftalin <i>2-Methylnaphthalene</i>	2.64	0.69	1.75	1.53	0.30	0.30	0.02	<0.02
Acenaftén <i>Acenaphthene</i>	0.15	0.41	0.55	0.16	0.12	<0.02	<0.02	<0.02
Acenaftilén <i>Acenaphthylene</i>	0.14	0.63	0.21	0.43	0.54	<0.02	<0.02	<0.02
Antracén <i>Anthracene</i>	0.26	0.24	0.17	0.20	0.22	0.13	<0.02	<0.02
Benzo[a]antracén <i>Benzo[a]anthracene</i>	0.16	0.22	0.06	0.12	0.13	0.04	<0.02	<0.02
Benzo[a]pirén <i>Benzo[a]pyrene</i>	0.17	0.21	<0.02	0.08	0.09	<0.02	<0.02	<0.02
Benzo[b]fluorantén <i>Benzo[b]fluoranthene</i>	0.14	0.34	<0.02	0.03	0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Benzo[e]pirén <i>Benzo[e]pyrene</i>	0.13	0.20	0.14	0.06	0.07	<0.02	<0.02	<0.02
Benzo[k]fluorantén <i>Benzo[k]fluoranthene</i>	0.03	0.09	<0.02	0.04	0.05	<0.02	<0.02	<0.02
Benzo[ghi]perilén <i>Benzo[ghi]perylene</i>	0.11	0.20	<0.02	0.04	0.05	<0.02	<0.02	<0.02
Dibenzo[a,h]antracén <i>Dibenzo[a,h]anthracene</i>	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Fenantrén <i>Phenanthrene</i>	0.92	1.15	1.15	0.78	0.58	0.15	0.04	<0.02
Fluorantén <i>Fluoranthene</i>	0.31	0.78	0.32	0.30	0.32	<0.02	<0.02	<0.02
Fluorén <i>Fluorene</i>	0.46	0.17	0.45	0.27	0.06	0.13	<0.02	<0.02
Indeno[1,2,3-cd]pirén <i>Indeno[1,2,3-cd]pyrene</i>	0.10	0.14	<0.02	0.05	0.06	<0.02	<0.02	<0.02
Krizén <i>Chrysene</i>	0.20	0.22	0.09	0.12	0.14	0.03	<0.02	<0.02
Pirén <i>Pyrene</i>	0.50	0.94	0.42	0.37	0.38	0.06	<0.02	<0.02
Naftalinok összesen (3) <i>Sum of naphthalenes (3)</i>	6.55	4.18	6.99	6.31	3.96	0.75	0.18	0.18
Összes PAH (16) <i>Sum of PAH (16)</i>	5.27	8.72	7.73	6.71	6.09	0.82	0.2	0.18
Összes PAH (19) <i>Sum of PAH (19)</i>	10.33	10.12	10.55	9.36	6.79	1.29	0.22	0.18

tartalma a határértéknek megfelelő, a fémkoncentráció akkor is meghatározza a biztonságosan alkalmazható mennyiséget területegységre vonatkoztatva. A nagyobb, 10-20 t/ha dózisok nagyobb PTE terhelést jelentenek a területen.

5. Következtetések

A biofoszfát élelmiszer-biztonsági jelentősége a biztonságos növénytermesztésben kiemelten fontos. A tápanyagok körforgalma Európa- és világszerte felborult. Az élelmiszertermelés folyamán a foszfor és nitrogén ahelyett, hogy növénytáplálási céllal hasznosulnának, hulladékáramokba kerülnek, így veszendőbe mennek a környezetben. A foszfor műtrágyákat illetően az Európai Unió (EU) kitétsége jelentős, hiszen az alapanyagul szolgáló foszfát kőzetet az Unió területén kívül bányásszák. A foszfor a mezőgazdaságban és az állattenyésztésben mással nem helyettesíthető anyag. Az állati eredetű csontszén és általánosságban a bioszén szabályozása várhatóan bekerül az EU műtrágyákról szóló rendeletének fe-

lülvizsgálata során végrehajtandó jogharmonizációba, ugyanis a Bizottság által meghozott jelenlegi ajánlás [COM(2016) 157] várhatóan megteremti az egyenlő esélyeket EU szinten a különböző terménövelő anyagok felhasználhatóságára. Ezzel növekedhet az érintett iparágak esélye a belső piacra jutásra, miközben megtartanák a nemzeti piacra korlátozó termékekre vonatkozó előírásokat is a piac zavartalan fenntartása érdekében. A magas tápanyagtartalmú csontszén többfunkciós termék, hiszen szerves terménövelőként, talajjavítóként, termeszőközegként és/vagy terménövelő készítmény alkotójaként is használható.

Vizsgálatai eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a megfelelő technológiai lépésekkel előállított bioszén alacsony károsanyag-tartalma – különös tekintettel a PAH-, dioxin- és PCB-kongenerekre, valamint toxikus fémekre – a környezet- és élelmiszer-biztonság fenntartása mellett alkalmas mezőgazdasági célú felhasználásra, egyben az Európai Unió területén várhatóan jelentkező mezőgazdasági

5. táblázat. Néhány jó minőségű bioszén potenciálisan toxikus elemtartalma.
Table 5. PTE content of some high quality biochar samples.

PTE	REFERTIL ajánlás REFERTIL proposal	Tagállami jogszabály (Magyarország) MS regulation (Hungary)	Növényi bioszén / Plant based biochar							Csontszén Animal Bone bioChar
			BCFR2	BCIT1	BCUK1	BCDK4	BCDK5	BCDK1	BCDE3	BCHU49
As	10	10	<1	<5	<1	2	2	<1	1	<1
Cd	1,5	2	<0,3	<1	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	0,4	<0,3
Cr	100	100	9	4	11	12	6	6	15	<1
Cu	200	100	9	6	6	9	11	3	49	8
Pb	120	100	8	3	1	18	3	1	14	<1
Hg	1	1	0.04	0.06	<0.2	0.04	0.04	<0.02	<1	<0.03
Ni	50	50	13	2	6	45	5	3	14	<1
Zn	600	600	150	16	16	59	16	19	294	203
Co	-	50	1	<1	<1	2	1	<1	3	<1
Se	-	5	<0.3	<1	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	0.5	<0.3



A kép illusztráció / Picture is for illustration only.
Fotó/Photo: Terra Humana Kft.

foszforhiány mérséklésére. A biológiai hulladékok oxigénmentes hőkezelésével egyúttal a XXI. század egyik legégetőbb nehézségének csökkentését, a hulladékáramok egy részének a termelési folyamatokba való visszaforgatásának lehetőségét is biztosítottuk.

A csontszén azon anyagok egyike, amely hosszú távú, biztonságos és fenntartható megoldást jelenthet (ökológiai gazdálkodási rendszerekben is) az ásványi foszfor import több mint 20%-nak folyamatos kiváltására az EU28 tagállamokban 2030 előtt.

6. Köszönetnyilvánítás

A REFERTIL (289785) projekt az Európai Unió 7. Keretprogramjának társfinanszírozásával valósul meg, a 289785 számú támogatási szerződés keretében 2011-2015 között. A cikkben megjelent tartalomért kizárólag a szerzők vállalnak felelősséget. Az Európai Közösség nem felel az itt megjelenő adatok egyéb felhasználása miatt.

7. Irodalom

- [1] Agrotechnology Atlas (2016): Livestock manure [ONLINE], available at: <http://www.agro-technology-atlas.eu/>. Agro Business Park, Tjele, Denmark.
- [2] Beighle D.E., Boyazoglu P.A., Hemken R.W. & Serumagazake P.A. (1994): Determination of calcium, phosphorus, and magnesium values in rib bones from clinically normal cattle. *American Journal of Veterinary Research* **55**: 85-89.
- [3] Bioszén Quality Mandate (BQM) V.1.0, (2014): [ONLINE], available at <http://www.britishbioszenfoundation.org/wp-content/uploads/BQM-V1.0.pdf>
- [4] EBC (2012): European Bioszén Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Bioszén. European Bioszén Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland. [ONLINE], available at <http://www.european-bioszen.org/en/download>. Version 6.1 of 19th June 2015, DOI: 10.13140/RG.2.1.4658.7043
- [5] EFPRA, Rendering in numbers [ONLINE] available at <http://www.efpra.eu/Objects/3/Files/EUInfographic.pdf>
- [6] Dobbelaere D. (2015) Statistical overview of the Animal By-Products Industry in the EU in 2014, EFPRA Congress, Cracow 2015
- [7] European Commission (2011a):, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, Roadmap to a Resource Efficient Europe, COM(2011) 571 final, Brussels, Belgium.
http://ec.europa.eu/environment/resource_efficiency/pdf/com2011_571.pdf
- [8] European Commission (2011b): Communication from the Commission to the European Parliament, The Council, The European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, A resource-efficient Europe – Flagship initiative under the Europe 2020 Strategy, 26.1.2011 COM(2011) 21, Brussels, Belgium
- [9] European Commission (2016a): Circular Economy Package, Proposal for Regulation of the European Parliament and of the Council laying down rules on the making available on the market of CE marked fertilising products and amending Regulation EC No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009. COM(2016)157 final, Brussels, Belgium, 2016
- [10] European Commission (2016b): Circular Economy Package, Commission staff working document, Impact Assessment, Accompanying the document Proposal for Regulation of the European Parliament and of the Council laying down rules on the making available on the market of CE marked fertilising products and amending Regulation EC No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009. SWD(2016)64 final, Brussels, Belgium, 2016
- [11] European Commission (2016c): Commission staff working document, Executive summary of the impact assessment, Accompanying the document Proposal for Regulation of the European Parliament and of the Council laying down rules on the making available on the market of CE marked fertilising products and amending Regulation EC No 1069/2009 and (EC) No 1107/2009. SWD(2016)64 final, Brussels, Belgium, 2016
- [12] Eurostat (2016): Eurostat – your key to European statistic [ONLINE], available at: <http://ec.europa.eu/eurostat/data/database>
- [13] FVM (2006): Decree 36/2006 (V. 18.) FVM, Ministry of Agriculture and Rural Development, on the authorisation, storage, marketing and use of yield enhancing substances
- [14] Hemme A., Spark M., Wolf P., Paschertz H. & Kamphues J. (2005): Effects of different 3913 phosphorus sources in the diet on bone composition and stability (breaking strength) 3914 in broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* **89**: 129-133.
- [15] IBI (2015): International Bioszén Initiative, Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Bioszén That Is Used in Soil, Version 2.1, [ONLINE], available at: http://www.bioszen-international.org/sites/default/files/IBI_Bioszen_Standards_V2.1_Final.pdf
- [16] Jayathilakan K., Sultana K., Radhakrishna K. & Bawa A.S. (2012): Utilization of byproducts

and waste materials from meat, poultry and fish processing industries: a review. *Journal of Food Science and Technology-Mysore* 49: 278-293.

- [17] Meeker D.L., C.R. Hamilton (2006): An Overview of the Rendering Industry, Essential Rendering, Edited by D.L. Meeker, National Renderers Association, ISBN: 0-9654660-3-5.
- [18] de Ridder M., de Jong S, Polchar J., and Lingemann S. (2012): Risks and Opportunities in the Global Phosphate Rock Market Robust Strategies in Times of Uncertainty, The Hague Centre for Strategic Studies No 17/12/12, The Hague, The Netherlands
- [19] Scholz S.M., Sembres T., Roberts K., Whitman T., Wilson K. & Lehmann J. (2014): Bioszén systems for smallholders in developing countries - leveraging current knowledge and exploring future potential for climate-smart agriculture. Washington.
- [20] Verheijen F.G.A., Jeffery S., Bastos A.C., van der Velde M. & Diafas I. (2010): Bioszén application to soils. A critical scientific review of effects on soil properties, processes and functions. Luxembourg.
- [21] Wikipedia (2016): Terra Preta, [ONLINE], available at https://en.wikipedia.org/wiki/Terra_preta
- [22] www.refertil.info
- [23] European Parliament and of the Council (2006): Regulation (EC) no 1907/2006 of the European Parliament and of the Council concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency,

amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC

- [24] CEN/TS (2013): CEN/TS 16181:2013. Sludge, treated biowaste and soil - Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) by gas chromatography (GC) and high performance liquid chromatography (HPLC)
- [25] EN (2013): EN 16167:2013 Sludge, treated biowaste and soil - Determination of polychlorinated biphenyls (PCB) by gas chromatography with mass selective detection (GC-MS) and gas chromatography with electron-capture detection (GC-ECD)
- [26] EN (2002): EN 13650:2002 Soil improvers and growing media. Extraction is aqua regia soluble elements
- [27] EPA (2007): EPA Method 6020A Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry Revision 1 February 2007
- [28] EPA (2007): EPA Method 6010C Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry Revision 3 February 2007
- [29] Directive 2008/105/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on environmental quality standards in the field of water policy, amending and subsequently repealing Council Directives 82/176/EEC, 83/513/EEC, 84/156/EEC, 4/491/EEC, 86/280/EEC and amending Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council



A kép illusztráció / Picture is for illustration only
Fotó/Photo: Terra Humana Kft.

Terra Humana Kft. félüzemi K+F, kísérleti és oktató berendezés 2004-2016, Fejér megye, Polgárdi
Terra Humana Kft. semi-industrial R&D, experimental and teaching equipment 2004-2016, Fejér county, Polgárdi