

A szalma és egyéb szármaradványok hasznosítása a cirkuláris biogazdaság keretein belül

Alexander Kaszonyi,

Közös szlovák-magyar kémiai kutatólaboratórium a határmenti régió biogazdaságának támogatására (kaszonyia@gmail.com)

A mezőgazdaság hosszú fejlődése során a gazdák mindent, ami a termőföldön megtermett, a lehetőségekhez képest a legjobban hasznosítottak. Az emberi táplálék és állati takarmány mellett fontos helye volt még 100 éve is a szalmának és egyéb szármaradványoknak. A múlt század második felében, a nagy területeken gazdálkodók megjelenésével a térségünkben, sok helyen az értékesíthető magteremmel már nem volt arányos az állattenyésztés, ahol hasznosult volna a megtermett szalma is. Ez a gond megjelent az egészen kis területeken gazdálkodóknál is, mert a földön maradt szalma akadályozta a további földművelést. A termény többi része: gyökér, alacsony tarló, apróra tört szár, levél, magháj, stb., a mag betakarítása után a talajba gond nélkül beszántható.

Szalma alatt a továbbiakban azokat a szár és levél maradványokat fogjuk érteni, ami a magtermés betakarításakor visszakerül a földre és géppel összegyűjthető.

A szalma eltávolításának legegyszerűbb módszere a közvetlen elégetés, de a tűz átterjedhet a szomszéd területekre is. Ezért több jelentős tűzkár után ez a lehetőség hatóságilag be lett tiltva. A második legkézenfekvőbb módszer, amit ma már nagyon sok helyen használnak, a szalma aprítása és szétfűvése egy kombájnra szerelhető berendezéssel. Így a magon kívül a termés többi része visszakerül a földre, majd a földbe, ahol természetes lebomlása után tápanyagként és humuszként hasznosulhat. A szalma mennyisége kevesebb, ha genetikailag módosított rövid szárú gabonafajtákat termesztünk. Ez a gabonaféle jobban bírja a nagy szeleket és a felhasznált munka és energia egy részét is megtakarítjuk.

A szalma begyűjtéséhez speciális gépek, üzemanyag, tárolóhely és emberi munka szükséges, ami mind pénzbe kerül. Ezért csak ott van értelme, ahol a szalma hasznosítható. Sajnos a kombájnól kihulló friss szalmának a súlyához képest nagyon nagy a térfogata, ezért csak préseles után szállítható és tárolható gazdaságosan. A helybeni hasznosításnál, alom vagy takarmányként, elégséges az olcsóbb, kisebb nyomással való préseles is, ahol a célgépek kb. 200 kg/m^3 szalma sűrűséget érnek el. A biotermékeket termelő gazdák számára a szalma alomként való hasznosítása létszükséglet, ugyanis csak így tudnak számukra is engedélyezett trágyához jutni, ehhez azonban a szalma megfelelő tárolását kell megoldaniuk. Ha a szalma eladásra kerül, a gazdaságos szállításhoz nagyobb sűrűség kell, ami csak nagyobb nyomással és ezért drágábban érhető el. A szállítás és felhasználás szempontjából említhetjük a brikettálást is, ami után a szalma sűrűsége elérheti a 650 kg/m^3 -t is és a szalmabrikett már közönséges teherautón ömlesztve szállítható és szokványos berendezésekkel adagolható. Sajnos, ömlesztett formában a brikettek közötti szabad tér miatt az átlagos sűrűség jelentősen csökken (kb. $350\text{-}450 \text{ kg/m}^3$ -re) a brikettek alakja és nagysága szerint. A brikettálásnál a szalma sejtszerkezete erősen zúzódik, ezért a gyomornedvek számára könnyebben hozzáférhető, a növényevő állatoknak kevesebb energiát kell fektetni a kérődzésbe. Számukra az ilyen szalma könnyebben emészthető, tehát jobb takarmány. Ha a brikettálásnál a szalmához tápérték növelő adalékokat adunk, még értékesebb tápanyaghoz juthatunk.



Kis szalmabálák



Nagy szalmabála



Hengeres szalmabála



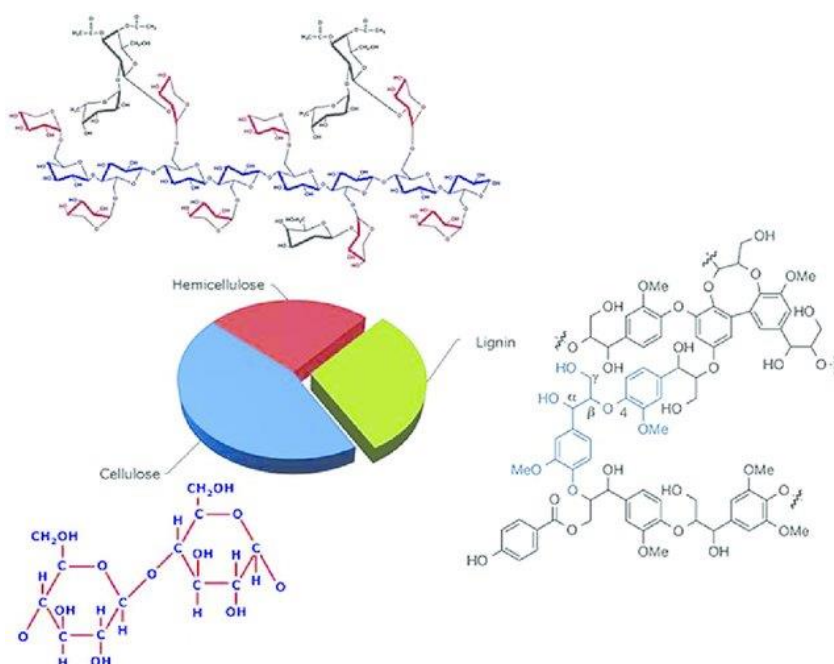
Apróbb szalmabrikett- pellet



Nagyobb szalmabrikett

Ha a szalmát a cirkuláris biogazdaság szabályai szerint szeretnénk hasznosítani, először tisztáznunk kell a cirkuláris (körforgásos) gazdaság, ill. a biogazdaság legfőbb követelményeit. A körforgásos gazdaság legfontosabb követelménye, hogy az elhasznált termék, megtermelt növény ne a környezetét szennyező szemétdombon kössön ki, sőt ami még rosszabb, a szabad természetet szennyezze, hanem minden benne levő anyag új termékben hasznosuljon úgy, hogy közben ne legyen negatív hatása a környező természetre és a klímára. Az „öko” vagy „bio” előtag, elsősorban a termékek előállítása, felhasználása és ártalmatlanítása során a magas szintű egészségügyi, környezetvédelmi és állatjóléti normák betartását jelenti. Így a követelmények betartásához szükséges ismerni a szalma anyagi összetételét is.

Mint a legtöbb növényi maradványnak, a szalmának is három fő összetevője van: Cellulóz, hemicellulóz és lignin. A cellulóz és hemicellulóz összetett cukor, mely speciális enzimekkel, ill. savakkal, egyszerű cukorra bontható le. Ezt használja ki minden növényevő állat és más élőlény is beleértve a talajban élő mikroorganizmusokat is, mert a cukrok az élővilág alapvető tápanyagai közé tartoznak. A lignin már összetettebb anyag. A növényekben a cellulóz váz szerkezetét erősíti és részlegesen vízhatlanítja. Csak nagyon kevés élőlény képes lebontani és még kevesebb utána hasznosítani, ezért csak kivételesen hasznosul energiaforrásként vagy a cukrokkal egyenértékű tápanyagként. A növényevő állatokból az ürülékkel távozik. A mikroorganizmusok legnagyobb része lényegében érintetlenül hagyja, mások csak azért bontják részlegesen, hogy hozzájuthassanak a ligninnel megkötött, vagy beborított cukrokhoz. Kivételt képeznek, az ún. fehér rothadást okozó mikroorganizmusok, melyek biokémiai oxidációs folyamatok keretén belül képesek a lignint lebontani, sőt még energiaforrásként is hasznosítani (oxidálni széndioxidra és vízre, hasonlóan, mint az élőlények többsége a cukrokat).

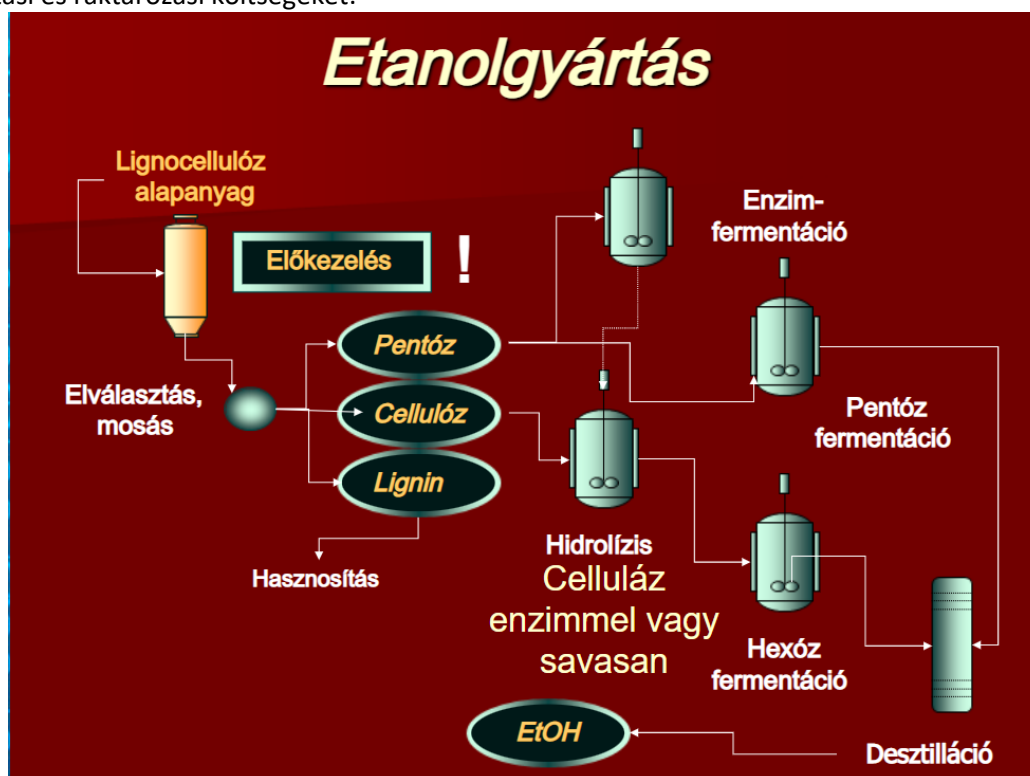


A szalma a fő összetevőkön kívül tartalmaz egyéb anyagokat is, ezek mennyisége azonban alacsony, nem lehet őket gazdaságosan kinyerni és felhasználni (pontosabban nincs rá megfelelő technológia).

A cellulóz és a hemicellulóz hasznosítására több lehetőség van, melyek közül megemlíthetjük a legfontosabbakat. Az gyakorlati alkalmazáshoz legközelebb a bioetanol és biometán, ill. zöld hidrogén áll.

A szalmából előállított bioetanol már az ún. második generációs modern bio-üzemanyagokhoz tartozik, melyek nem készülhetnek olyan nyersanyagból, ami emberi táplálkozásra is alkalmas, mint pl. a cukorból (cukornádból, cukorrépából), krumpliból, vagy a ma Európában és USA-ban leginkább használt kukoricából.

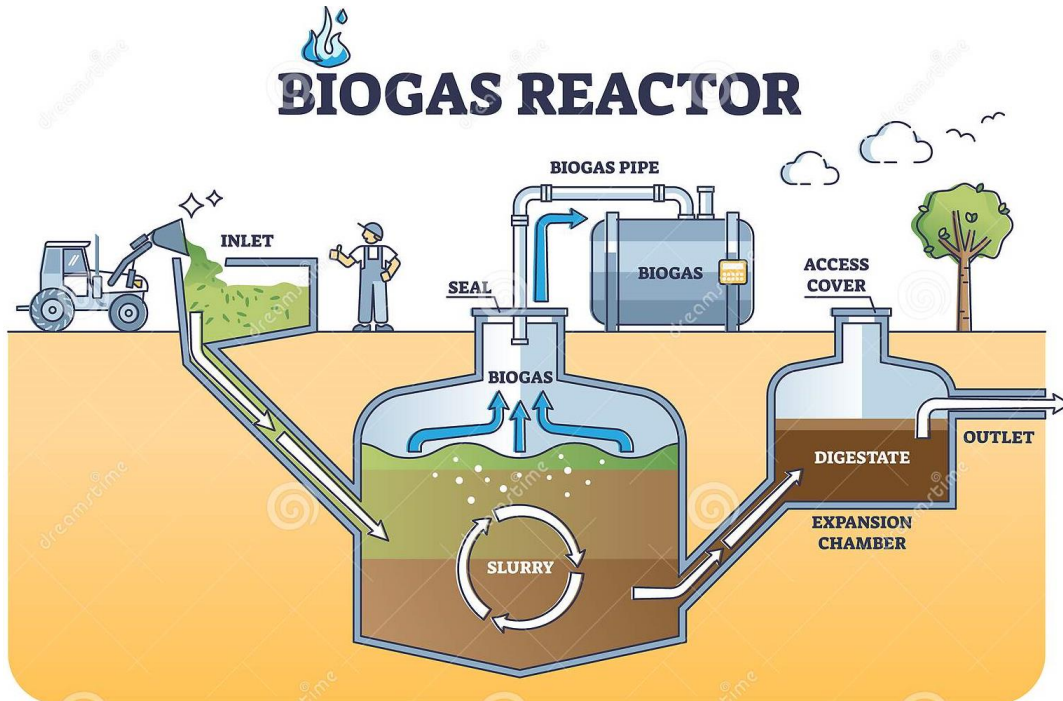
Három lényeges lépése van a bioetanol gyártásának a szalmából. Az első a cellulóz és a hemicellulóz lebontása egyszerű cukorrá, amit a második lépésben speciális élesztőgombák bioetanolá alakítanak. A harmadik lépés a bioetanol elválasztása a cefrétől, mert a folyamat minden lépése csak megfelelő mennyiségű víz jelenlétében lehetséges. A lignin sokszor az első lépés után van elválasztva a „cukros víztől”, mert több összetevője fékezheti az élesztőgombák hatékonyságát és ezzel lassítja az etanol keletkezését. A gyártási technológia jelenlegi fejlettségi szintje mellett a bioetanol előállítása csak évi több százezer tonna szalma felhasználása mellett gazdaságos. Ezért ennél a módszernél a szalmát nagyobb területről kell összegyűjteni. Gazdaságosabbá teszi a bioetanol gyártását, ha a bioetanol gyár környéki mezőgazdászok együttműködnek, mert ez csökkenti a szállítási és raktározási költségeket.



Zöld etanol, zöld metán és zöld hidrogén szalmából

A biometán és zöld hidrogén gyártása már jóval kisebb mennyiségű szalma felhasználásánál is gazdaságos lehet. A biometán az ismertebb biogáz része, mely több lépéses biokémiai reakcióval, egy vagy több darab hatalmas tartályban, az ún. fermentorban, keletkezik egyetlen technológiai lépésben az előkezelt szalmából. Az átalakítást megfelelő mikroorganizmusok kezdik, melyek képesek a cellulóz

és hemicellulóz lebontására egyszerű cukrokká. Ezeket más mikroorganizmusok több egymást követő biokémiai reakcióban átalakítják biogázzá (metán és széndioxid keverékévé). A biogázból a széndioxid legnagyobb része hideg vízzel megemelt nyomásnál, a maradék speciális oldószerrel eltávolítható. A széndioxid eltávolítása után a maradék a biometán, melyből ma már jól bevált kémiai technológiával zöld hidrogén állítható elő.



A szalmából az említett módszerekkel termelt etanolt, metánt és hidrogént a klíma védelem szempontjából igazi zöld etanolnak, zöld metánnak és zöld hidrogénnek tekinthetjük, mert a földön hagyott szalmából a mikroorganizmusok pont azt a cellulózt és hemicellulózt alakítják át széndioxiddá, amiből a gyártás során az etanol, a metán, ill. a hidrogén keletkezik. Tehát az így gyártott etanol és metán elégetésével, ill. a hidrogén gyártásánál, ugyanaz a széndioxid keletkezik, ami akkor keletkezne, ha a gyártásra használt szalmát a természetben (főleg földben) levő mikroorganizmusok bontanák le széndioxiddá és humusszá. A lényeges különbség az, hogy az etanol, metán, ill. a hidrogén (mint üzemanyag) égésekor keletkezett energiát felhasználhatjuk és ezzel értéket teremtünk, a mikroorganizmusok tevékenységénél az energia és ezzel a szalmában levő cellulóz és hemicellulóz értéke elvész.

További fontos szempont, hogy mai kiugróan magas földgáz árak mellett a biogáz és belőle a zöld metán gazdaságosan gyártható. A földgáz árától függően, még azokból a szár maradványokból is gazdaságos lehet a gyártás, amiket a mikroorganizmusok csak lassabban tudnak lebontani, mert a cellulóz és hemicellulóz nehezebben hozzáférhető bennük.

Üzemanyagként a zöld metán egyenértékű a földgázzal, mert vegyileg mindkettőben ugyanolyan metán van. Az adalékanyagok azonban másak. A földgázban egy kevés etán és propán is megtalálható, ami kissé megnöveli a fűtőértékét. A benne levő metán viszont egyértelműen ártalmas a klímára, magas üvegház hatása és a belőle keletkező széndioxid miatt. A zöld metánból keletkezett széndioxid hatása a klímára neutrális, mert nem növeli a levegőben lévő széndioxid mennyiségét egy cseppel sem többel, mintha a gyártására használt szalmát mikroorganizmusok bontanák le.

A zöld metánt nyugodtan bele lehet táplálni a helyi földgáz vezetékbe, vagy az út mentén a járműveknek töltő állomást lehet létesíteni zöld metánra és a belőle gyártott zöld hidrogénre, melyre feltehetően állami vagy EU-s támogatást is lehet kapni a klíma védelme érdekében. Mindehhez természetesen sikeres véghezvitt engedélyezési folyamat kell.

Az etanol, metán, ill. a hidrogén, nemcsak mint üzemanyag, hanem mint vegyi nyersanyag is hasznosítható, hasonlóan a köztes terméként keletkezett cukrokhoz. Ezekből a nyersanyagokból a hasznos anyagok széles skálája készíthető.

Az etanolból előállítható vegyszerek egyike az etilén, a polietilén nyersanyaga, a további a butadién, ami fontos összetevője pl. az autóguminak, speciális ragasztóknak, mobil és számítógéptokoknak, vagy a repülőgépi szállításnak is ellenálló bőröndnek. Jelenleg sok kutató fejleszti a butadién régi gyártási technológiájának a tökéletesített változatát.

További jelentős anyag a cukrokból gyártható furfural, mely több termék (többféle műanyag, üzemanyag, festékek, gyanták, cementek összetevői, többféle értékes vegyi anyag, stb.) kiinduló anyaga és a világon évente több százezer tonna készül belőle. A furfural gyártásánál a cellulóz és hemicellulóz lebontása cukorrá és annak átalakítása furfurallá egy tartályban (autoklávban) is megoldható. Ma leginkább kukoricaszárból gyártják. Mivel a keletkezett furfural mennyisége csak valamivel több, mint az eredeti kukoricaszár tömegének 10 %, a folyamat végén sok részlegesen lebontott kukoricaszár zúzalék marad. Ennek a hasznosítása nagyban befolyásolja a furfural előállításának gazdaságosságát.

A cukrokból gyártható levulinsav is jelentős kiindulási anyag, ún. bioplatform vegyület, mint a furfural. A belőle gyártott anyagok felhasználhatók üzemanyag, ill. élelmiszer adalékként, továbbá a gyógyszeriparban, mezőgazdaságban és a vegyiparban pl. oldószerek, kenőanyagok és polimerek gyártásánál.

A lignin, mint harmadik összetevő, szintén sok helyen használható fel. A cellulóz (és belőle papír) gyártás melléktermékeként kapott ligninből a gyártási folyamathoz elengedhetetlen hőenergiát állítják elő. Ennek a ligninnek (évente a világon kb. 50 millió tonna) csak 1-2 %-t használják másra, pl. festékek és kozmetikai termékek állandóságát növelő vegyszer előállítására. A szalmából és egyéb szármaradványokból kinyert lignin tulajdonságai függenek a felhasznált szalmától (növényi fajtától), a kinyerés módszerétől és annak körülményeitől. Mivel a tulajdonságai így különbözők lehetnek, több féleképpen is felhasználhatók. Lehet belőle üzemanyagot gyártani (ha nagyobb mennyiség áll rendelkezésre, mint pl. a bioetanol gyártásánál), továbbá kenőanyagot, antioxidánst és szénzálakat (műanyagok és gumik tartósságának növelésére), aszfalt emulgálószeret és a por megkötésére való vizes keveréket, ragasztóanyagot a faforgácsból készült deszkák gyártására. Többféle műanyaghoz adva növeli azok szilárdságát és ellenállását a hevítésnek, sőt a lángnak is (pl. javítja a PUR habból készült autóülés, matrac, stb., tűzvédelmét). A mezőgazdaságban segít megkötöni a vizet és nagy esőben helyén tartani a növényi tápanyagokat, főleg a trágyákból származó karbamid alapúakat.

A szalma vegyileg feldolgozható a fő összetevői szétválasztása nélkül is. Erre különböző ideig tartó hőkezelést alkalmaznak, több lehetséges hőmérsékleten és többféle adalékanyag (főleg a bomlási folyamatot gyorsító és irányító katalizátorok) hozzáadásával. A szalmából a folyamat végén gáz, folyadék és szilárd anyag keletkezik. Magas hőmérsékleten (1000 °C fok körül) vízgőz és megfelelő katalizátor jelenlétében főleg hidrogén, szénmonoxid és széndioxid keletkezik, amikből szintén zöld hidrogént lehet előállítani. Ez egy kissé kevésbé zöld, mint a cellulózból gyártott, mert ez a hidrogén ligninből is keletkezik, ami a természetben sokkal lassabban alakul át széndioxiddá, mint a cellulóz. Az említett három gáz keverékéből nagyon sokféle anyag állítható elő, de ez csak évente sok tíz-, sőt százezer tonnánál gazdaságos.

Ha ugyanilyen magas hőmérsékletre hevítjük a szalmát víz és levegő (oxigén) jelenléte nélkül, a gázokban a zöld hidrogén mellett sokkal kevesebb lesz a szénmonoxid és széndioxid. A szalmában lévő szén legnagyobb részéből ún. bioszén keletkezik. Ez a bioszén hasonlóan segíthet megkötöni a vizet és növényi tápanyagokat a mezőgazdaságban, mint az említett lignin és a humusz. Sőt van egy nagy előnye, az így megkötött szénből soha nem lesz a klímát károsító széndioxid (ahhoz el kellene égetni). Ennél a technológiánál a növények által megkötött széndioxidnak csak nagyon kis része jut vissza a levegőbe. Ezért a szalmának ezzel a technológiával való hasznosítása a klímára kifejezetten pozitív hatása van.

Ha a szalmát csak 500 - 600 °C-ra hevítjük, a folyamat fő terméke folyékony bio-olaj lesz. Minél gyorsabban hevítjük a szalmát 600 °C felé, a keletkezett terméknek annál nagyobb rész lesz

folyékony bio-olaj (100 °C/másodperc sebességnél több mint 90 %-a). A melléktermék gáz lényegesen kevesebb hidrogént és szénmonoxidot tartalmaz, mint a fent említett gáz keverékek, ezért inkább hőtermelésre, mint zöld hidrogén előállítására alkalmas. A keletkezett bio-szén felületén sok a megkötött folyadék, ami fékezheti a talajbaktériumok szaporodását, ezért ezt a bio-szenet használat előtt forró vízgőzzel tisztítani kell. A bio-olaj első ránézésre (főleg színe miatt) hasonlít a kőolajra, a valóságban teljesen más anyagok keveréke. Míg a kőolaj elsősorban szén és hidrogén alapú szerves anyagokból áll, a bio-olaj majdnem minden összetevője oxigént is tartalmaz. Ezek vegyi tulajdonságai egészen mások, egymással könnyen nagyobb molekulákat hoznak létre. Ettől a bio-olaj elég gyorsan besűrűsödik. A bio-olaj a kőolajjal nem társítható. A kőolaj feldolgozásánál használt technológiákkal belőle, sem a mai követelményeknek megfelelő üzemanyag, sem meghatározott vegyi anyag nem gyártható. Új technológiákat kell kifejleszteni. Ezekben a kutatók már a múlt század végétől dolgoznak. A mai kőolaj áraknál a fejlesztés alatt álló technológiák még nem gazdaságosak, de a jövőre nézve reményt keltők. A szalma és egyéb származványok feldolgozása és hasznosítása területén induló versenyben azok a vállalkozások tehetnek szert előnyre, melyek az elsővel együtt indulnak. Erre ma még van lehetőség.

Részletesebb tájékoztatást a szalma hasznosításáról a cikk szerzőjétől, a Szlovák-Magyar közös laboratórium szlovák részlegének vezetőjétől, Alexander Kaszonyitól (Kaszonyi Sándortól) és a laboratórium munkatársaitól lehet kapni a kaszonysia@gmail.com postafiókon keresztül.

*A határmenti régió biogazdaságának támogatására, különös tekintettel a mezőgazdasági mellékterméket hasznosítására, közös szlovák-magyar kémiai kutatólaboratórium létesült a pozsonyi **Szlovák Műszaki Egyetem** és az **ELKH Természettudományi Kutatóközpont** közös projektjeként (Projektazonosító: SKHU/1902/4.1/001, web oldal : [_skhulaboratorium.sk](http://skhulaboratorium.sk)), melynek célja a határon átnyúló, a régiós biogazdaság támogatását szolgáló közös tevékenység elősegítése. A projekt része valamennyi szlovák-magyar határon átnyúló tevékenység támogatása, melynek során az agrár- és az ipari üzletág együttműködik, hogy hulladék- és melléktermék bioanyagokból piacképes terméket, például energiát, üzemanyagot vagy vegyi anyagokat állítson elő.*

A projekt általános célja a bioökonómiai tevékenység elősegítése oly módon, hogy a célcsoportokat kémiai tájékoztatással látja el a szlovák-magyar határmenti régióban előforduló megújuló hulladék és melléktermék bioanyagokról. Az ismeret a bioanyagok szerkezetére, kémiai tulajdonságaira és vegyi terméké alakításuk lehetséges eljárásaira vonatkozik. A projekt egyik közvetlen célja a partnerek létező közös laboratóriumában működő műszeres infrastruktúra szélesebb körű felhasználása a magasabb tudományos értékű ismeretek átadására a gazdasági szereplőknek, szolgálva és segítve a biogazdaság elveinek megfelelő megoldások terjedését a régió agráriumában.