

DEBRECENI EGYETEM

**KERPELY KÁLMÁN NÖVÉNYTERMESZTÉSI ÉS KERTÉSZETI
TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

Doktori iskola vezető:

Dr. Nagy János
egyetemi tanár, az MTA doktora

Témavezető:

Dr. Blaskó Lajos
egyetemi tanár, az MTA doktora

**A CIROKFÉLÉK ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSI
LEHETŐSÉGEI**

Készítette:

Jóvér János
doktorjelölt

**Debrecen
2018**

A CIROKFÉLÉK ENERGETIKAI HASZNOSÍTÁSI LEHETŐSÉGEI

Értekezés a doktori (Phd) fokozat megszerzése érdekében a Növénytermesztési és
kertészeti tudományok tudományágában

írta: Jóvér János, okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Növénytermesztési és Kertészeti
Tudományok Doktori Iskola (Növénytermesztési tudományok doktori programja)
keretében

Témavezető: Dr. Blaskó Lajos, egyetemi tanár, az MTA doktora

A doktori szigorlati bizottság:

elnök: Dr. Pepó Péter DSc.
tagok: Dr. Sinóros-Szabó Botond DSc.
Dr. Kakuszi-Széles Adrienn Phd.

A doktori szigorlat időpontja: 2017. június 22.

Az értekezés bírálói:

Név	fokozat	aláírás
.....		
.....		

A bírálóbizottság:

	Név	fokozat	aláírás
elnök:			
tag:			
titkár:			

Az értekezés védésének időpontja:

Tartalomjegyzék

BEVEZETÉS.....	5
1. TÉMAFELVETÉS.....	8
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	11
2.1. A cirokfélék, mint bioenergetikai alapanyagok.....	11
2.1.1. A takarmánycirok bioenergetikai felhasználása	11
2.1.1.1. Az energetikai célú ciroknemesítés alapjai.....	11
2.1.1.2. A biohajtóanyagok előállítása.....	12
2.1.2. Az első- és második-generációs bioalkohol előállítása cukorcirokból.....	15
2.1.2.1. Az első-generációs bioalkohol előállítása.....	15
2.1.2.2. A második-generációs bioalkohol előállítása	17
2.2. A cirokfélék és egyéb növényi biomassa hasznosítása biomassa-tüzeléssel	20
2.3. A ciroktermő-területek megválasztásának általános szempontjai	23
2.3.1. A cirokfélék klimatikus és edafikus igényei.....	23
2.3.2. A cirokfélék termesztésének agronómiai jellemzői.....	26
2.3.2.1. A cirokfélék morfológiája.....	26
2.3.2.2. A cirokfélék növénytermesztési vonatkozásai.....	28
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	30
3.1. A cirokfélék bioetanol szempontú jellemzésének módszertani háttere	30
3.1.1. A refraktométeres szárazanyag-tartalom meghatározása	30
3.1.2. A potenciális etanol-hozamok számításának módszere.....	31
3.1.3. A detergens rostfrakciók kimutatásának módszere	32
3.1.4. A detergens rostfrakciók spektroszkópiai vizsgálatának módszere.....	34
3.2. A cirokfélék biomassa-tüzelési célú jellemzésének módszertani háttere	35
3.2.1. A kalorimetrikus égéshő meghatározásának módja.....	35
3.2.2. A hamu elemtartalmának vizsgálati módszere	36
3.3. A termőhelyi kockázatok értékelésének módszertana	37
3.3.1. A klimatikus kockázatok értékelésének módja.....	37
3.3.2. A termőterületek leválogatásának talajtani szempontjai	39
3.3.3. A területek leválogatásának klimatikus szempontjai.....	41
3.3.4. Az alkalmazott térinformatikai eljárások.....	42
3.4. Az adatok kiértékelésének módszere	43
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	45
4.1. A cirokfélék energetikai vizsgálatának eredményei	45
4.1.1. A silócirok hibridek etanol-hozamainak értékelése.....	45

4.1.2. A cirokfélék lignocellulóz-tartalmának értékelése	50
4.1.3. A rostfrakciók spektroszkópiai vizsgálatának eredményei	52
4.1.4. A vizsgált hibridek második-generációs alkoholhozamai	54
4.2. A cirokfélék biomassa-tüzelési célú jellemzése.....	57
4.2.1. A cirokfélék kalorimetrikus égéshőinek értékelése	57
4.2.2. A cirokfélék égéshőinek összevetése egyéb energiahordozók égéshőivel	61
4.2.3. A biomassa-tüzelés során visszamaradó hamu elemtartalmának értékelése	66
4.3. A ciroktermesztés klimatikus és talajtani vonatkozásainak értékelése.....	70
4.3.1. Az energetikai célú ciroktermesztés klimatikus kockázatainak értékelése	70
4.3.2. A ciroktermesztési szempontú területlehatárolás eredményei.....	74
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	89
6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	94
7. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK	96
8. ÖSSZEFOGLALÁS.....	98
9. SUMMARY	101
10. IRODALOMJEGYZÉK	104
11. KÖZLEMÉNYEK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN	121
12. NYILATKOZATOK	127
13. MELLÉKLETEK.....	128
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	137

BEVEZETÉS

A fosszilis energiahordozók készletének folyamatos csökkenésével egyre növekszik a megújuló energiaforrások felhasználása iránti igény. A környezetvédelmi megfontolások és az Európai Unió törekvései egyaránt aktuálissá teszik megújuló energiák, illetve azon belül is a biomassza-energia széleskörű alkalmazásának kérdését.

Az energiaigények korábban sohasem tapasztalt módon növekednek az egész világon (IEA, 2011), a megváltozott körülményekhez való alkalmazkodás egyre hangsúlyozottabbá válik mind a mezőgazdaság, mind pedig az energiaellátás részéről. A világ energiafelhasználásának jelenleg 19 %-a származik megújuló forrásokból, amelyeknek megközelítőleg a fele biomassza eredetű, viszont az egyes államok között igen jelentős különbségek mutatkoznak a megújuló energiák összesített részarányában (REN21, 2013). A megújuló energiák széleskörű elterjesztésének támogatására a 2009/28/EK Irányelv 2020-ra a megújuló energiák részarányának 20 %-ra való növelését irányozza elő a közösségi energiafogyasztásban az EU tagállamok számára. Az Európai Unióban, illetve más kontinenseken is megfigyelhetők a célzott törekvések a biomassza eredetű üzemanyagok használatának növelésére. Az előállított bioetanol mennyisége döntően cukornádból eredeztethető, mint például Brazíliában, vagy pedig kukoricából, amelyre az Amerikai Egyesült Államokat említhetjük példaként (Barótfi, 2000). A XX. század végén 210-220 millió hl bioetanol előállítása történt meg, ennek közel kétharmadát Brazíliában, míg megközelítőlegesen 30%-át az USA-ban, a fennmaradó részt pedig Európában készítették (Réczey I-né, 2000).

Ezen energiaforrások jelentősége kiemelkedő, hiszen alkalmazásuk összhangban van a fenntartható fejlődés alapelveivel. Széleskörű használatuk nem igényli a kialakult infrastruktúra gyökeres átszervezését, de ennek ellenére nem gátolják az új fenntartható technológiák gyakorlatba ültetését sem. A másodnyersanyag-gazdálkodás tekintetében számos alternatíva létezik a mezőgazdasági eredetű melléktermékek hasznosítására. Ezek az anyagok jellemzően a talajba dolgozva hasznosulnak, de egy potenciális irányvonal lehet a tüzelési célú hasznosításuk is. Környezetvédelmi megközelítésben a biomassza-tüzelés kedvező környezeti hatásokkal bír szemben a fosszilis tüzelőanyagokkal, hiszen a kiindulási alapanyag növényi eredetű, amely CO₂ semlegesnek tekinthető mivel csak oly mértékű CO₂ kibocsátás jellemzi, amennyit az alapanyagként szolgáló növény élete során megkötött és szervezetébe épített.

Ezen anyagok évről évre igen nagy mennyiségben keletkeznek, amelyeknek mezőgazdasági és ipari célú hasznosításán túl igen komoly potenciált rejt a bioenergetikai hasznosítás is. Erre a célra jellemzően fás szárú növényeket termesztene, de igen komoly potenciál rejlik a lágyszárú növényekben, sőt a különféle növénytermesztési és feldolgozási melléktermékek energetikai célú hasznosításában is.

A lágyszárú energetikai célra termesztett növények köre számos ígéretes növényfajt foglal magába (*Arundo donax*, *Mischantus giganteus*, *Sida hermaphrodita* stb.), amelyek közül a hazai mezőgazdasági körülmények között a silócirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) jelentős szerepet tölthet be, tekintettel arra, hogy morfológiájában és agrotechnikájában is sok hasonlóságot mutat a hazánkban is jelentős termesztési hagyománnyal bíró kukoricával.

A biomassza energetikai célú hasznosításában világszerte igen sok kísérlet folyt a közelmúltban, amelyek alapján egy potenciális megoldás lehet a cirokfélék energetikai célú felhasználása. E növények igen változatos megjelenési formákkal és jó környezeti stressztűrő-képességgel jellemezhetők, amely az aszálytűrés vonatkozásában kifejezetten fontos. Tekintettel azokra az előnyökre, amelyek a cirokféléket jellemzik, napjainkban is előszeretettel választják a biogáz- és bioetanol-előállítás alapanyagának (Zhikai et al., 2016.; Ostovareh et al., 2015.).

E növény energetikai hasznosításában meghatározó szerepet tölt be a szárban felhalmozódó mono- és diszacharidokat (glükóz, fruktóz, szacharóz) tartalmazó nedv, amely fontos alapanyaga lehet a bioetanol-gyártásnak, míg a visszamaradó, összetett szénhidrátokban (cellulóz, hemicellulóz, lignin) gazdag préselési maradék a második generációs biohajtóanyagok előállításának alapanyagaként lehet ígéretes (Shen és Liu, 2009.; Sipos et al., 2009.; Yu et al., 2010.). Kihasználva azon képességét e növénynek, hogy képes elfogadható termést hozni azokon a területeken, amelyek kedvezőtlenebb talajtani jellemzőkkel bírnak, lehetőség nyílik arra, hogy megújuló energiát állítsunk elő az élelmiszer-előállítás szempontjából kevésbé perspektivikus területeken. A biohajtóanyagok új szerepkörben való megjelenésére az első olajárrobbanás után a nagyszabású tervek egyikét az 1975-ben indult Proalcohol program tartalmazta, amelynek kidolgozásával Brazília függetlenedni kívánt az olajimport kedvezőtlen hatásaitól. A program pozitív eredményei sok szempontból önmagukért beszélnek, hiszen Brazíliában már 1995-ben a gépjárművek közel 45 %-a tiszta bioalkohollal, a többi pedig az 1993-ban kötelezően bevezetett 22:78 arányú alkohol-benzin keverékkel került meghajtásra (Emőd et al., 2006).

Mindezek ellenére a biomassza alapú energia előállítása sok esetben ellentmondásos szakmai megítélés alá esik. A bioüzemanyagok előállítása a 90-es évek végétől megoldásnak tűnt arra a relatív mezőgazdasági túltermelésre, ami Európát is jellemezte. Több országban a mezőgazdaságból élők helyzetének javítása érdekében bevezették a bioüzemanyagok termelésének állami támogatását. Mivel a biohajtóanyagok ágazatának gyors fejlődését ezek az intézkedések eredményezték, számos szakember szkeptikusan ítélte meg e hajtóanyagok létjogosultságát. Ezen összefüggések miatt bizonyos szakmai szempontok a gazdaságosság, míg más megközelítések az energiahatékonyság, vagy épp a környezetvédelmi összefüggések vonatkozásában tárnak fel nyílt kérdéseket. Ezen összefüggések a megfelelő szakmai hitelességgel rendelkező kutatási eredményekre vonatkozó igényeket támasztják alá, amelyeknek meghatározó szerepük lehet a bioenergetika jövőbeni perspektíváit illetően. Felismerve a problémakör összetettségét megállapítható, hogy a megfogalmazódott kérdések megválaszolása érdekében kiemelt fontossággal bírnak a különféle interdiszciplináris kutatási tevékenységek, amelyek a kérdéskört a maga komplexitásában képesek releváns módon értékelni.

1. TÉMAFELVETÉS

Az életszínvonal javulása jellemzően magával hozza az energiafogyasztás növekedését is, amelyen belül az üzemanyagok szerepe meghatározó. A fosszilis energiahordozókon alapuló közlekedés átszervezése napjaink egyik jelentős problémaköre. A kőolajkészletek műre való mennyisége folyamatosan csökken, így egy új energiahordozó integrálása, amely nem igényli a kialakult kőolaj alapú infrastruktúra alapvető megváltoztatását különösen fontos kérdés. A biomassa eredetű hajtóanyagok és ezen belül a bioalkohol, egy perspektivikus megoldás lehet a közlekedés üzemanyag-ellátásának vonatkozásában. 2012-ben a megújuló energiaforrások részaránya a közép- és kelet-európai országokban 9,6% és 35,8% között változott, s ezek közül négy ország esetében ez alacsonyabb volt, mint az EU-28-re jellemző 14,1% érték (*IEPP, 2014*). A közép- és kelet-európai országok közül Magyarország, Lettország, Litvánia és Szlovákia esetében a földgáz a legjelentősebb energiaforrás, míg Bulgária, Csehország, Lengyelország és Románia esetében a kőszén a meghatározó igen nagyarányú importfüggőség mellett (*IEPP, 2014*). A bioetanol termelése és felhasználása a közúti közlekedésben egy igen meghatározó elem a megújuló energiák részarányának növelésében, ennek érdekében az Európai Unióban is jól nyomon követhető annak intenzív terjedése. Az EU jogharmonizációjának és közös szankcionálási rendszerének eredményeképpen már minden tagállamban jelen van a bioetanol, amely bizonyos részarányban benzinhoz keverve tankolható. Azonban némely országok egészen kiemelkedő mennyiségben állítják elő és használják ezt a megújuló energiaforrást. A biohajtóanyagok előállításában Európai Unióban belül Németország, Olaszország, Franciaország, Nagy-Britannia, Spanyolország és Ausztria élen jár (*Eder és Schulz, 2006*).

A mezőgazdasági termékek olykor problematikus értékesítési lehetőségei piaci szempontból lehetővé teszik a biohajtóanyag termelését, míg energiapolitikai és környezetvédelmi szempontok pedig hosszabb távon adnak szakmai indokot a biomassa eredetű folyékony hajtóanyagok előállításában rejlő potenciál nagyobb mértékű kihasználására. Ezen eljárások igen alkalmasak a termelés biztonságának fokozására, hiszen diverzifikálják a gazdálkodók tevékenységét és piacképes, de akár saját felhasználásra is alkalmas termékeket állítanak elő.

Az első generációs bio-hajtóanyagok alkalmazása minden bizonnyal a hatékonyabb technológiák versenyképessé válásáig, illetve elterjedéséig – a közlekedéspolitika

módosításával - szükségszerű és indokolt. A tömegközlekedésben való alkalmazás mennyiségi, műszaki, környezetvédelmi és ellenőrzési szempontból is releváns megoldásnak tekintendő. Magyarországi tapasztalatokra alapozva megállapítható, hogy az elterjedés gátja jellemzően a gazdasági okokban rejlik, ugyanis a bioetanol a jelenlegi közgazdasági szabályozási viszonylatokban a gazdaságosság határán mozog. A második- és harmadik-generációs biohajtóanyagok esetében a helyzet még kedvezőtlenebb, ugyanis az előállítási technológia negatív gazdasági mutatói miatt, előállításuk és széleskörű alkalmazásuk még várat magára.

Bár a hazai biohajtóanyag-előállításának és felhasználásának vonatkozásában intenzív fejlesztések a figyelhetők meg, továbbra is indokolt a töltőállomásokon megvásárolható üzemanyagok biokomponens-tartalmának növelése, valamint a töltőállomásokat kiszolgáló rendszerek technológiai fejlesztése. E technológiai fejlesztésben fontos támpont lehet a melléktermékek hatékony felhasználása, amely a másodikgenerációs bioalkohol-előállításában és a biomassa-tüzelésben is jelenthet lehetőségeket, illetve további kutatási igényeket.

Kutatómunkám szellemi előzménye a Dr. Balogh István vezetésével 2006-2008 között folytatott, „Biomasszára alapozott, komplex, kapcsolt hő- és villamosenergia előállítása technológia” című kutatási projekt volt, amelynek keretein belül a Karcagi Kutatóintézetben különböző silócirok hibridek energetikai értékelése valósult meg. A projekt eredményei, illetve tapasztalatai alapján kerültek megfogalmazásra jelen írásmű célkitűzései is.

Az értekezés átfogó célkitűzései:

A kutatómunka alapvető célja volt, a silócirokban – mint potenciális energianövényben – rejlő bioenergetikai lehetőségek számszerű meghatározása mind a biohajtóanyag-előállítás, mind a biomassa-tüzelés vonatkozásában köztermesztésben is jelenlévő hibridek vizsgálata által. További célként tűztem ki, a silócirok másodikgenerációs biohajtóanyag előállítása szempontjából fontos összetett szénhidrátok mennyiségi meghatározásának módszertani fejlesztését, valamint a silócirokban – mint energianövényben – rejlő potenciál értékelését, továbbá egy térbeli döntéstámogatási módszertan alapjainak kidolgozását annak érdekében, hogy számszerű képet kaphassunk a potenciálisan számításba vehető, energetikai célú ciroktermesztésre alkalmas területek nagyságáról és elhelyezkedéséről.

Az értekezés részletes célkitűzései:

Az értekezés célja a silócirok hibridekre jellemző maximális cukortartalom és cukorfelhamozódási dinamika vizsgálata volt hat silócirok hibrid alapján, továbbá a silócirok alapú bioetanol-előállítás melléktermékeként keletkező préselési maradék (bagasz) kalorimetrikus égéshőinek vizsgálata és összehasonlító értékelése egyéb biomassza-tüzelési alapanyagokkal. Cél volt a vizsgált silócirok hibridek bagaszaiban lévő, különböző detergenssek által meghatározott poliszacharidok kvantitatív jellemzése a hibridek második generációs bioetanol-előállításban betölthető potenciális szerepük tisztázása érdekében, valamint a detergensrost frakciók mennyiségi meghatározásának módszertani fejlesztése non-invazív spektroszkópiai módszerekkel.

További célkitűzés a hazai klimatikus és edafikus viszonyok tükrében a magyarországi silócirok alapú bioenergia potenciál kvantitatív becslése AGROTOPO, CORINE és CarpatClim térképállományok alapján, amely egy regionális szintű döntéstámogatási rendszer alapját is képezheti.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A cirokfélék, mint bioenergetikai alapanyagok

2.1.1. A takarmánycirok bioenergetikai felhasználása

2.1.1.1. Az energetikai célú ciroknemesítés alapjai

Kedvező tulajdonságait, valamint magas hozamait alapul véve, a cirokfélék biogáz és bioetanol célú hasznosításának kutatásaiból számos hazai (Fogarassy, 2001; Bai, 2004; Kalmár és Nagy, 2007; Kovács *et al.*, 2011) és külföldi (Zhao *et al.*, 2009; Ratnavathi *et al.*, 2010; Daliva-Gomez *et al.*, 2011) tanulmány készült. A cirok energetikai hasznosításának kutatása már több évtizedes múltra tekint vissza hazánkban is (Surányi, 1946; Bányai, 1980; Kapocsi *et al.*, 1983), így a cirok cukortartalmára vonatkozóan hazai és külföldi irodalom igen széles köre áll rendelkezésre (Blaskó *et al.*, 2008; Mojovic *et al.*, 2009; Daliva-Gomez *et al.*, 2011; Kovács *et al.*, 2011; Goshadrou *et al.*, 2011). A kérdéskör fontosságát támasztja alá az a tény is, hogy az elmúlt években számos hazai doktori értekezés tűzte ki célul, hogy a silócirok termesztéstechnológiájának és bioenergetikai hasznosításának technológiai fejlesztésében hasznos támpontokat szolgáltatson (Németh, 2009; Erdei, 2013; Kovács, 2014). Az igen jelentős bioenergetikai potenciál alapja, hogy a silócirok hibridek nedvességtartalomra vonatkoztatott cukortartalma akár 18-20% is lehet, amely legnagyobb részt szacharóz, továbbá glükóz, illetve fruktóz (Kovács *et al.*, 2011).

A kedvező kísérleti eredmények és gyakorlati tapasztalatok indokoltá teszik a cirok hibridek előállításánál során kitűzött speciális nemesítési célkitűzések meghatározását, így a magas cukortartalmú hibridek előállítására irányuló keresztezések alapvető fontosságúak lehetnek a bioenergetikai ágazat számára (Pepó *et al.*, 2011; Erdei, 2013). A ciroknemesítés egyik alapvető eszköze a heterózisnemesítés. Ebben az esetben nem fajtákat, hanem beltenyésztett törzseket keresztezünk annak érdekében, hogy a hibridvigor által a szülők teljesítményét meghaladó egyedeket állítsunk elő (Bálint, 1966). A heterózishatást cirokban először Conner és Karper (1927) írta le, amelyet követően Argikar és Chavan (1957) 26-201%-os növekedést állapítottak meg a szemtermés mennyiségében és az ezerszem-tömegben a heterózishatás eredményeként. Beltenyésztett vonalak rákeresztelési kísérletében egyes törzsek az átlagot 70 %-kal

meghaladó, míg más törzsek ettől elmaradó hatást mutattak (*Barabás, 1961*). Cirok keresztezésekben *Thokoza (2005)* a virágzás, a növénymagasság, az oldalhajtások, a szárátmérő, a buga mérete, valamint a hektáronkénti hozam tekintetében írt le a heterózishatás eredményezte teljesítménynövekedést.

A cirok cukortartalmának növelésére irányuló nemesítésben igen perspektivikus kutatási eredmények kerültek leközlésre az elmúlt években (*Corn, 2008; Pfeiffer et al., 2010; Umakanth et al., 2012*), amely alapján a cukorcirok területegységre vetített potenciális bioetanol hozama igen kedvező lehet (*Makanda, 2009*).

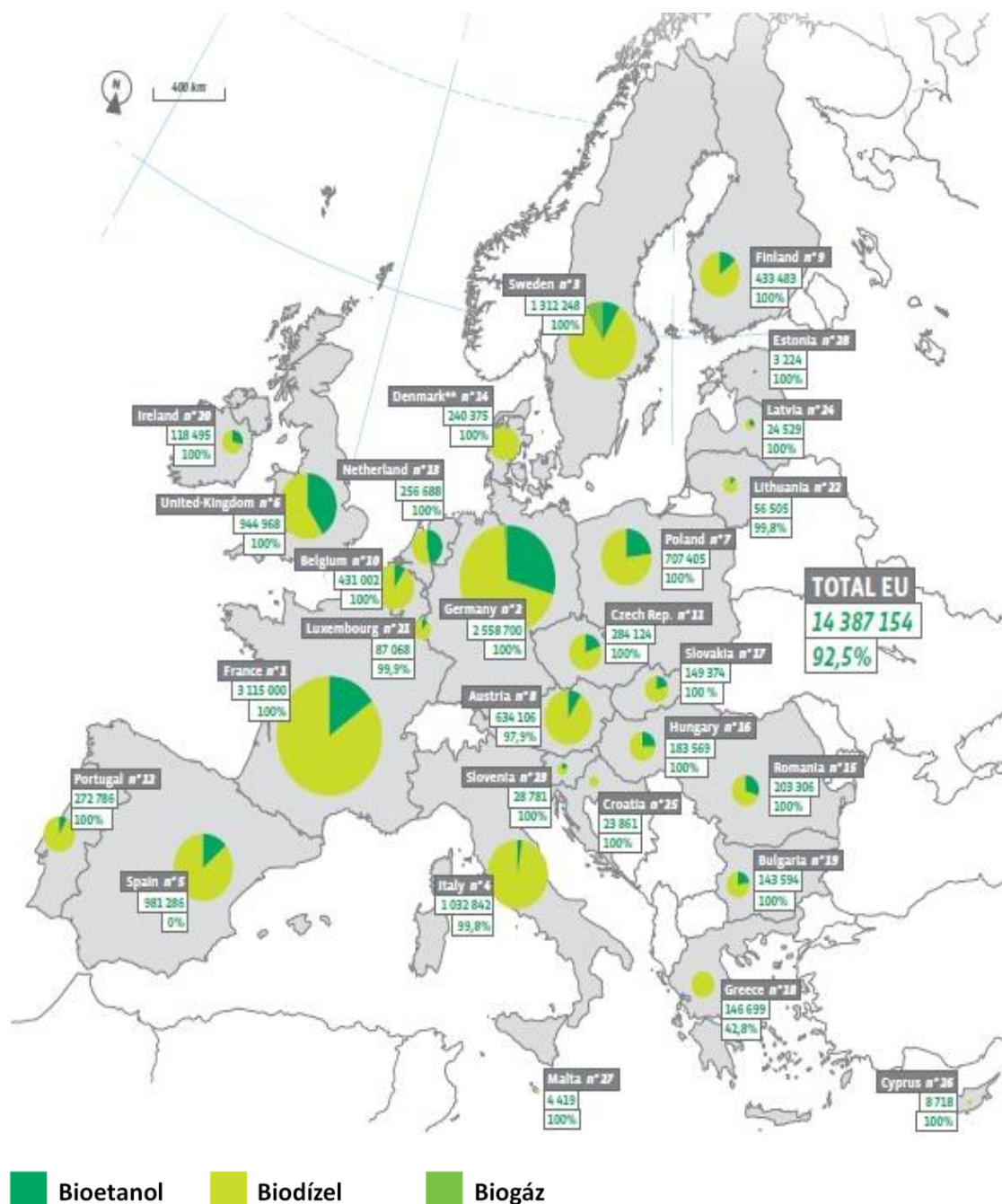
2.1.1.2. A biohajtóanyagok előállítása

A bioetanol az egyik legmeghatározóbb biohajtóanyag (*Balat et al., 2008.; Balat és Balat, 2009*), amely benzinnel keverve és – bizonyos technológiai feltételek betartása mellett – tisztán is használható (*Kim és Dale, 2005*). Hazánkban 5, 10 és 85%-os bekeverési arányok a jellemzőek, amely üzemanyagok E5, E10, illetve E85 néven váltak ismeretessé a hazai töltőállomásokon (*Kiss és Mlinarics, 2008*). A bioetanol széleskörű alkalmazása által csökkenthető a fosszilis tüzelőanyagok felhasználása és az üvegházhatású gázok légköri kibocsátása, ezért az elkövetkezendő időszakban az egyik legelterjedtebb bioüzemanyag lehet (*Nguyen és Li, 1991; Zhang et al., 2003; IEA, 2008; Mojovic et al., 2009*). Ezt támasztja alá az a tény is, hogy 2002 óta több mint tízszeresére növekedett az Európai Unióban felhasznált biohajtóanyagok – és ezzel párhuzamosan bioetanol – felhasználása. (*Euroobserver, 2017*)

Az Európai Unió bioüzemanyag irányelve 2010-re 5,75%-os energiatartalom alapú bekeverési arányt írt elő a biohajtóanyagok vonatkozásában, így tekintettel arra, hogy a 2006-ban felhasznált 65 milliárd liter bioüzemanyag a közlekedés energiaigényének energia-egyenértékben kifejezett 1%-át tette ki (*Popp, 2007*), indokolt az ágazat infrastrukturális fejlesztése. Az EU vonatkozásában megállapítható, hogy a biohajtóanyagok közül legnagyobb részarányban a biodízel kerül felhasználásra, míg a bioetanol részaránya 18,4% volt 2016-ban (*EurObserver, 2017*).

Az Európai Unió a megújuló energiaforrásokból előállított energiának a közösségi energiafogyasztásban 2020-ra elérendő 20%-os részarányával, a közlekedést illetően pedig 10%-os részarányával kívánja elősegíteni a bio-üzemanyagok és ezáltal a bioetanol felhasználásának elterjedését (*2009/28/EK Irányelv*), amely aktualitást ad a potenciális

alapanyagokra vonatkozó kutatási tevékenységeknek is. Az Európai Unió jogszabályi harmonizációja kiemelten fontos a globális célkitűzések elérésében, tekintettel arra, hogy az egyes EU-s tagállamok között igen jelentős különbségek jelentkeznek a felhasznált biohajtóanyagok mennyiségében. (1. ábra)

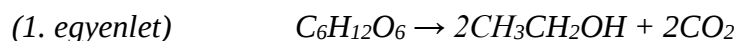


Forrás: EurObserver, 2017

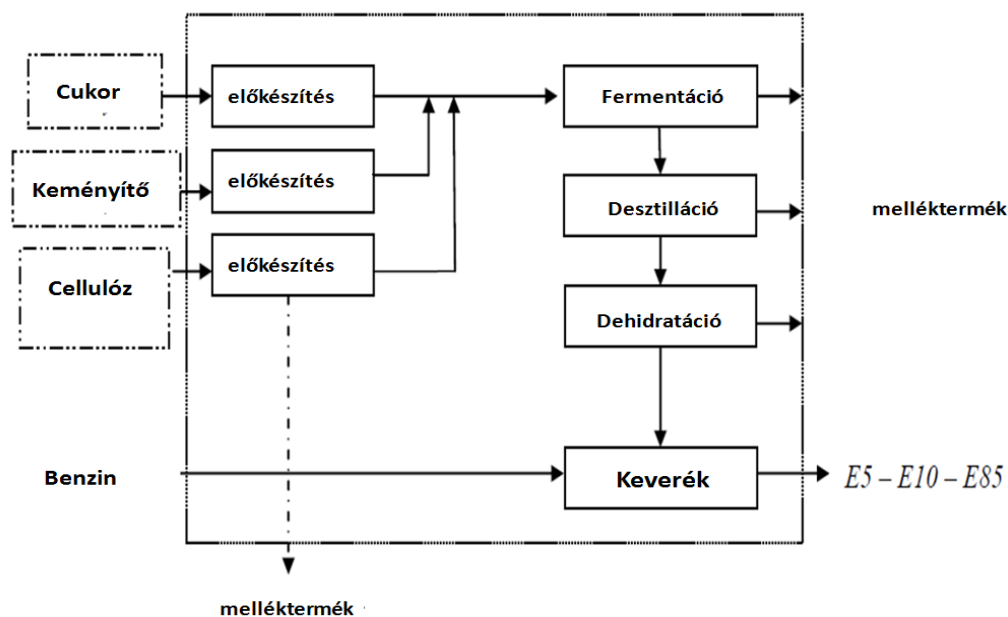
1. ábra: A közlekedésre felhasznált bio-hajtóanyagok mennyisége az EU-ban 2016-ban (toe)

Magyarországon a növényekből előállított alkohol felhasználása motorhajtóanyagként 1927-ben kezdődött, de a stabilan olcsó kőolajszármazékokkal nem volt versenyképes (*Bai et al., 2002*). Az 1970-es években az olajválság alatt újra előtérbe került a bioetanol előállítás, amelynek a kőolajhoz viszonyított gazdaságossági mutatói már kedvezőbbek voltak (*Sembery és Tóth, 2004*). Hazánkban az Európai Unió csatlakozása előtti években nem volt jellemző a bioetanol hajtóanyagként való hasznosítása. A csatlakozást követően, annak érdekében, hogy az EU-s szabályozásoknak megfeleljünk, hazánk a bio-hajtóanyagok, így a bioetanol elterjedése érdekében is lépéseket tett. Ilyen intézkedés volt a 2233/2004. IX. 22.9 Kormány határozatának megalkotása, amely által kialakított adókedvezmény rendszer, eltérő jövedéki adót biztosít a biokomponenst tartalmazó hajtóanyagokra vonatkozóan (*Baranyi, 2010*).

A bioetanol előállításának tekintetében három fő alapanyagtípust különböztetünk meg: cukortartalmú alapanyagok (pl: cukornád, cukorrépa, cukorcirok), keményítő tartalmú alapanyagok (pl: kukorica, búza, burgonya) és cellulóz tartalmú alapanyagok (pl: fa, növényi száraz) (*Uriarte, 2010; Mojovic et al., 2012*). A különböző alapanyagtípusok esetén az egyes előkezelési eljárások különbözhetnek, de a bioetanol előállítás alapvetően három lépésből áll, amelyek a következők: fermentáció, desztilláció és dehidratáció (2. ábra) (*Uriarte, 2010*). Amennyiben az alapanyag valamilyen összetett szénhidrát (keményítő, cellulóz, hemicellulóz), úgy az első lépés a makromolekulák hidrolízise, amely kémiai vagy enzimatisz uton. Ezen összetett szénhidrátok derivátumai (glükóz monomerek) pedig már a cukortartalmú alapanyagok technológiai lépcsőin haladnak át, majd a híg fázisban lévő cukrok erjesztő mikrobák segítségével etanollá alakulnak. Ezt a tevékenységet általában valamilyen *Saccharomyces* faj végzi, amelyek élettevékenységeikhez cukrot használnak fel, anyagcseréjük folytán pedig szén-dioxidot és etanolt juttatnak környezetükbe (1. egyenlet) (*Kiss és Mlinarics, 2008*).



A hajtóanyagként felhasználandó bioetanolnak vízmentesnek kell lennie, így a keletkezett 12-18% alkoholtartalmú cefréből desztillációs eljárással 95% tisztaságú etilalkoholt készítenek, majd a maradék 5% vizet membránszűréssel távolítják el (*Giber, 2005*).



Forrás: Uriarte, 2010 nyomán

2. ábra: A bioetanol előállításának sémája

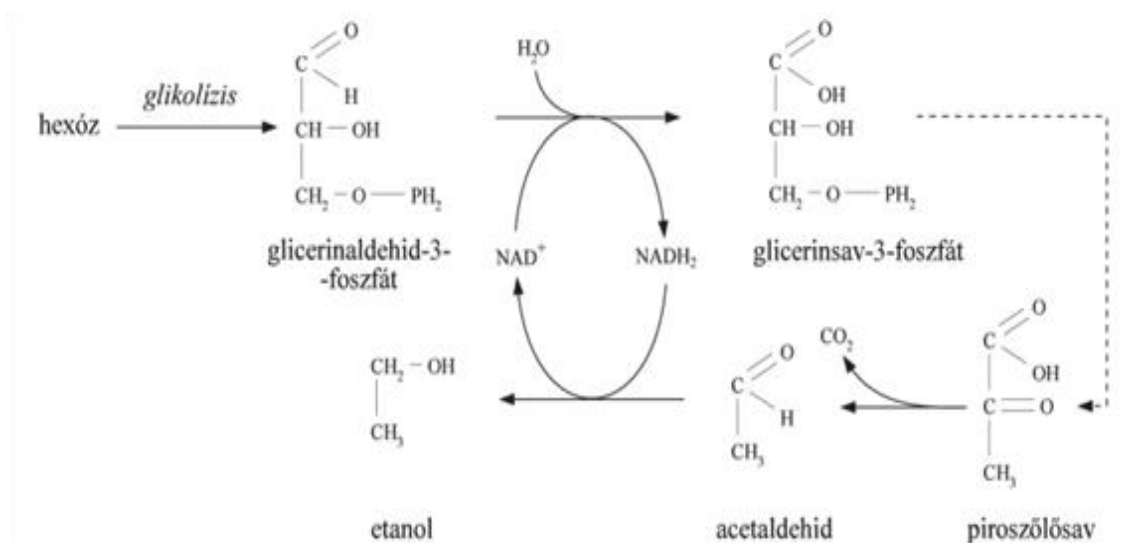
A bioetanol előállításának rendszerében a cirokfélék cukor, keményítő és cellulóz tekintetében is potenciális alapanyagok lehetnek (Drapcho et al., 2008; Makanda, 2009). A cirokfélék bioetanol célú hasznosításában elsődlegesen a cukor alapú rendszerek jönnek számításba, de a szemtermések keményítő-tartalmán alapuló előállítás is perspektivikus lehet, amit alátámaszt, hogy 2006-ban az USA-ban megtermelt szemescirok hozamának 15%-át Kansas és Nebraska államok bioetanol üzeimben használták fel (Drapcho et al., 2008). Ezen aktualitások tükrében várható a kettős hasznú cirok hibridek (szemtermés és cukros lé) előállításába fektetett növénynevelési erőfeszítések előtérbe kerülése, amely területen már az elmúlt években is biztató eredmények láttak napvilágot (Makanda, 2009).

2.1.2. Az első- és második-generációs bioalkohol előállítása cukorcirokból

2.1.2.1. Az első-generációs bioalkohol előállítása

A cukorcirok egy C4-es életformájú növény, magas biotartalommal, továbbá magasabb hektáronkénti cukortartalommal és nagyobb egységnyi területre vetített bioetanol hozammal jellemezhető, mint a cukorrépa (Billa et al., 1997; Dolciotti et al.,

1998; Barbanti et al., 2006; Zhao et al., 2009; Bryan, 1990; Kovács et al., 2011). A cukorcirokból préselt lé cukortartalma 16-20%-ot is elérhet, amelyet leginkább glükóz, fruktóz és szacharóz alkot (Kovács et al., 2011; Goshadrou et al., 2011). Megjegyzendő azonban, hogy Reddy et al. (2005) eredményeiben 23%-os refrakciós szárazanyag tartalomról (Brix%) is beszámol a cukorcirokra vonatkozóan. Smith és Buxton (1993) szerint cukorcirokból kipréselt nedv 54%-a szacharóz, 26%-a glükóz, míg 20%-a fruktóz. A cukor alapú bioetanol előállítása során leggyakrabban *Saccharomyces cerevisiae* gomba segítségével végzik az erjesztést, amelynek során glikolitikus úton etanol keletkezik a glükóz, fruktóz, galaktóz, szacharóz, maltóz és maltotrióz molekulák metabolizációja által (Drapcho et al., 2008). A folyamat első szakasza a glikolízis, amelynek során az egyszerű cukrokból piruvát (piroszölősav) keletkezik (Tóth, 2001). Az így keletkezett piruvát dekarboxilálódik, melynek eredményeképpen acetaldehid és széndioxid keletkezik, majd a folyamat végén egy redukció által az acetaldehid etanollá alakul (Szabó, 2008) (3. ábra).



Forrás: Kállay, 2010

3. ábra: A bioalkohol képződésének folyamata

Az alapanyag jellegétől függően fontos lehet, hogy a *Saccharomyces* fajok csupán a 3, 6 és 9 szénatomos cukrokat tudják fermentálni, míg egyes penészgombák, mint az *Aspergillus niger* vagy egyes *Mucor* fajok a pentózokból és glicerinnél is képesek etil-alkohol előállítására (Szabó, 2008). A leggyakrabban alkalmazott szervezeten (*Saccharomyces cerevisiae*) túlmenően más fajok is számításba jöhetnek az etanol előállításában, mint például a *Zymomonas mobilis*, amely egyes szerzők szerint

lényegesen gyorsabb etanoltermelésre képes, mint a korábbiakban ismertetett faj (*Panesar et al.*, 2006).

Kovács et al. (2011) szerint a cukorcirok tisztaszesz kihozatala 1000 l/ha és 5000 l/ha között alakul, míg *Mojovic et al.* (2009) munkája alapján ez az érték 1365 l/ha, ezzel szemben *Zhao* (2009) szerint a legjobb genotípusok akár 6000 l/ha bioetanol hozamra is képesek. A területegységre vetített fajlagos etanolhozam alakulásában meghatározó szerepe van a helyes agrotechnikának, amellyel a hatékonyság igen nagy mértékben fokozható (*Kovács et al.*, 2011). Fontos azonban megjegyezni, hogy a cukorcirok bioetanol potenciáljának értékelésekor jellemzően a cukor alapú elsőgenerációs bioetanol előállítására vonatkozó potenciált veszik figyelembe, míg a préselés során visszamaradó növényi melléktermék magas összetett szénhidráttartalmát, valamint a szemtermés keményítő-tartalmát jellemzően figyelmen kívül hagyják.

Mindezek tükrében megállapítható, hogy a cukorcirok hibridek bioetanol hozama leggyakrabban 3000 l/ha és 7000 l/ha között változik, míg a szántóföldi kísérletek eredményei 30-120 t/ha zöldhozamot feltételeznek ennek a növénynek (*Roman et al.*, 1998; *Dolciotti et al.*, 1998; *Woods*, 2001; *FAO*, 2002; *Claassen et al.*, 2004; *Anderson*, 2005). *Reddy et al.* (2005) szerint a cirokfélékből előállítható keményítő alapú bioetanol mennyisége 760 l/ha, míg a silócirok magas cukortartalmú nedvéből és a bagaszból előállítható bioetanol potenciális mennyisége 1400 l/ha illetve 1000 l/ha.

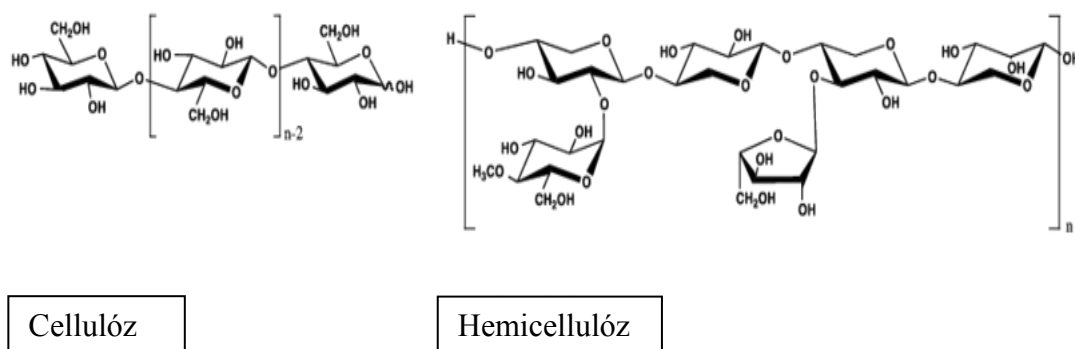
2.1.2.2. A második-generációs bioalkohol előállítása

A cirok alapú második generációs biohajtóanyagok tekintetében a sejtfalat szilárdító lignocellulózok jelentenek potenciális alapanyagot. A cellulóz és hemicellulóz a növényi sejtek falában lévő szilárdító anyagok, amelyek hosszú láncokat alkotva mikro-, illetve makrofibrillumokat képeznek a növényi sejtekben. Ezek a rostok erősek, alacsony sűrűségűek és ellenállóak (*Hepworth et al.*, 2000; *Madsen és Lilholt*, 2003), amelyeknek erőssége és rugalmassága a cellulóztartalomtól függ (*Klinke et al.*, 2001).

A növényi sejtfal két fő komponense a mikrofibrilláris struktúra, amit cellulóz alkot, illetve a jellemzően lignin-tartalmú mátrix, amelybe a rendezett struktúra ágyazódik (*Jurasek et al.*, 1967). A növényi sejtfalak két élesen elkülönülő formája az elsődleges, megnyúlásra képes sejtfal, valamint beépülő anyagok miatt megvastagodó, merev másodlagos sejtfal, melynek képződése az elsődleges sejtfal növekedésének leállításával

indul meg (Szabó, 1996). Az elsődleges sejtfal 90%-ban cellulózt, hemicellulózt, pektint, míg 10%-ban glikoproteineket tartalmaz, ezzel szemben a másodlagos sejtfalból a pektin és a proteinek jellemzően hiányoznak (Láng, 1998). A fák esetében a növényi sejt falának cellulóz-tartalma a faanyag megközelítőleg 60%-át teszi ki, amelyben a szekunder sejtfal tömege a meghatározó (Szabó, 1996).

A cellulóz egy lineáris struktúrájú glükóz polimer, amely a legnagyobb mennyiségben keletkező anyag a világon (Granström, 2009). Norkrans (1967) szerint a szerves anyaggá transzformálódott légköri szén-dioxid közel egyharmada cellulóz. Kémiai felépítéséből adódóan a cellulóz és a hemicellulóz cukor molekulákra hidrolizálható, amely által a makromolekulákat felépítő hexóz monomerekből lehetőség nyílik az etanol mikrobiológiai úton történő előállítására (Kiss és Mlinarics, 2008) (4. ábra).



Forrás: Fernandes et al., 2013

4. ábra: A cellulóz és hemicellulóz szerkezeti képlete

Nyersanyagként a cellulóz és annak derivátumai széles körben alkalmazott alapanyagok a papír- és textilgyártásban, továbbá a vegyiparban is (Lavanya et al., 2011). A növénytermesztési eredetű cellulóz celluláz enzim segítségével mikroszervezetek által bontható, így a cellulóz alapú bioetanol egy ígéretes biohajtóanyag lehet a jövőben (Watanabe, 2013; Wagner és Kaltschmitt, 2013), amelynek előállításával lehetőség nyílik arra, hogy az alapanyagok köre zömében melléktermék legyen. A faanyagok szénhidrátjai azonban jellemzően ellenállnak a cellulotikus enzimeknek, amely a cellulóz és a lignin szoros kapcsolatára vezethető vissza (Szabó, 1996). Ezek alapján az enzimatikus bontás sikerének alapvető kérdése, hogy milyen mértékben vagyunk képesek a hasznos szénhidrátok ligninnel alkotott komplexeinek szétválasztására. 1975-ben Toyama és Ogawa arról számoltak be, hogy *Trichoderma viridae* gombából származó celluláz enzimmal rizsszalma és fűrészpor lignocellulóz-tartalmát eredményesen hidrolizálták. Az

effektív hidrolízis alapja ebben az esetben az alapanyagok 1%-os NaOH oldatban való három órás főzése vagy egy óráig tartó 120°C-on történő autoklávus kezelése volt, amelynek során delignifikálták a kiindulási anyagokat. A növényi alapanyagok cellulotikus hidrolízise igen komoly előkészítést igényel, ami miatt ezen anyagok, mind enzimátikus, mind kémiai előkészítése igen költséges.

Amennyiben sikerül kidolgozni egy gazdaságossági szempontok alapján is releváns hidrolizációs folyamatot, a biohajtóanyag előállításának társadalmi problémái is csökkenthetők. Tekintettel arra, hogy ebben az esetben a bioetanol előállításának alapanyagai egyéb tevékenységek melléktermékei is lehetnek, az alapanyag előállítására vonatkozó területigény igen jelentős mértékben mérsékelhető. Éppen ezért napjainkban is a kutatási tevékenységek kiemelt figyelmet fordítanak a növénytermesztési melléktermékek második-generációs bioetanol alapanyagként történő hasznosítására (*Han et al., 2013; Khalil et al., 2015*)

Társadalmi és gazdasági viszonylatokban rejlő potenciális előnyeit szem előtt tartva, mindenképp indokolt e rostfrakciók – mint fermentációs alapanyagok – kvantitatív meghatározása. Ezen meghatározás rendszerint meglehetősen bonyolult analitikai eljárásokon alapult, tekintettel arra, hogy a cellulóz jellemzően hemicellulózzal és ligninnel együtt van jelen a növényi sejtekben (*Van Soest et al., 1991; Zhao et al., 2009; Erdei, 2013; Khalil et al., 2015*). Mivel a cellulóz analitikai úton történő meghatározása idő- és energia-igényes folyamat, indokolt lehet a non-invazív spektrális mérési eljárások alkalmazása, amelyek számos mezőgazdasági alkalmazásban szolgáltatnak megbízható és gyors adatot (*Riczu et al., 2012; Nagy et al., 2014*).

Számos közleményben igen jól prosperáló eredmények jelentek meg a cellulóz- és hemicellulóz-tartalom spektrális meghatározására vonatkozóan, amelyek fontos szerepet tölthetnek be e kémiai anyag gyors meghatározásában (*Daughtry et al., 1996; Nagler et al., 2000; Serrano et al., 2002; Yunyun és Shubin, 2010*). Egy ígéretes módszer lehet a Cellulose Absorption Index (CAI) alkalmazása, amely a 2000 nm, 2100 nm és 2200 nm hullámhosszúságú elektromágneses sugarak abszorbancia tulajdonságai alapján detektálja a cellulóz jelenlétét, megbízható alapot adva a növényi melléktermékek talajfelszíntől való spektrális elkülönítésére (*Daughtry et al., 1996; Daughtry, 2001; Daughtry et al., 2004*).

Bár a cellulóz alapú bioetanol előállításának megítélése napjainkban még ellentmondásos – mivel a cellulóz hidrolízise igen költséges – a potenciális alapanyagok gyors és

megbízható kvantitatív meghatározása mindenképp indokolt, amely által képet kaphatunk bizonyos anyagok energetikai potenciáljáról.

2.2. A cirokfélék és egyéb növényi biomassa hasznosítása biomassa-tüzeléssel

Az Európai Unió törekvéseinek eredményeképpen a közösségi szilárd biomassa alapú primer energia megtermelt, illetve felhasznált mennyisége is folyamatos növekedést mutat 2000 óta. (*Euroobserver, 2016*) Ennek környezetvédelmi és gazdasági eredményei is kiemelkedően fontosak, de azon tényről sem szabad elfeledkeznünk, hogy ezek az energiaellátó rendszerek jellemzően a helyi potenciál kihasználásán alapulnak, vagyis az energiafüggőség mérséklésének fontos eszközei.

A biomassa-energia előállításának gazdaságosságát alapvetően meghatározza a felhasznált alapanyagok köre, így a melléktermékekre alapozott energia-előállítás alapvető fontosságú lehet a megújuló energiák területén. Ezen anyagok évről évre igen nagy mennyiségben keletkeznek, amelyeknek mezőgazdasági és ipari célú hasznosításán túl igen komoly potenciált rejt a bioenergetikai hasznosítás is. *Vajda (2001)* szerint a magyar mezőgazdaságban előállított biomassa-mennyiség szervesanyag-tartalmának energia-egyenértéke 800–900 PJ/év (18-21,5 Mtoe) amelyből éves szinten 80–135 PJ (1,9-3,22 Mtoe) energiamennyiség jöhet számításba energetikai célra, amely igen jelentős potenciált képvisel. Ez a mennyiség lényegesen magasabb, mint a Magyarországon 2015-ben felhasznált összes szilárd biomassa alapú energia mennyisége, ami egyértelműen alátámasztja a mezőgazdasági melléktermékekben rejlő energetikai potenciált (*Euroobserver, 2016*) (5. ábra).

KJ/kg közötti (Parikh *et al.*, 2005). A kukoricaszár égéshője 17680 KJ/kg (Tortosa-Masiá *et al.*, 2007; Yin 2011), a napraforgó betakarítása során visszamaradt növényi anyagok vizsgálatai alapján pedig Kucukbayrak *et al.* (1991) 15870 KJ/kg égéshő értékről számolt be.

Magas hozamait alapul véve, a cirokfélék biogáz és bioetanol célú hasznosításának kutatásaiból számos tanulmány készült (Zhao *et al.* 2009; Ratnavathi *et al.* 2010; Daliva-Gomez *et al.* 2011), de jelentős lignocellulóz-tartalma által a növény a biomassa-tüzelési célú hasznosításban is perspektivikus lehet (Carillo *et al.* 2014).

A silócirok biomassa-energia célú hasznosítását vizsgálva Carrillo *et al.* (2014) 17840 KJ/kg égéshő értéket mért, míg Rennie és Tubeilech (2011) a silócirok égéshőjét 18900 KJ/kg-ra becsüli. Tiire *et al.* (1997) kilenc silócirok fajtát vizsgálva 16272 KJ/kg és 17210 KJ/kg közötti égéshő értékeket kapott, Jenkins és Ebeling (1985) pedig 17390 KJ/kg égéshő értékről számoltak be a szudánifüvet (*Sorghum sudanense*) illetően.

A bioetanol célú cukorcirok hasznosítás esetén, az alapanyag előkészítésének melléktermékeként jelentős mennyiségű növényi préselési maradék - vagy más néven bagasz - halmozódik fel, amelynek égéshője Grover *et al.* (2002) szerint 13730 KJ/kg. Amennyiben a bagaszt biomassa-tüzeléssel hasznosítjuk, úgy az adott területről kétféle módon is történhet a megújuló energia előállítása, amely a bioetanol előállítása során keletkező energiaigények fedezésében és így az etanol-előállítás energiahatékonyságában kiemelkedően fontos lehet.

A bioetanol előállítás során keletkező cirok bagasz mellett, a biogáz-előállítás során keletkező fermentált zagy szilárd fázisa is jelenthet energiaforrást. A melléktermék gyakran hasznos tápanyagok hordozójaként kerül hasznosításra a növénytermesztésben, de ezen anyagnak is fontos szerepe lehet a folyamat hőigények fedezésében is. Hasonló a helyzet a biodízel gyártása során visszamaradó melléktermékek esetében is, amely igen magas energiatartalommal jellemezhető és a legtöbb esetben takarmányként kerül hasznosításra. A betakarított napraforgó közel 60%-a olajpogácsaként marad vissza, amely anyag kalorimetrikus égéshője 20990 KJ/kg (Kobayashi *et al.*, 2008).

A mezőgazdasági hulladékok és melléktermékek égetésekor nyert energia a másodnyersanyag gazdálkodás egy hatékony megoldása, amely egy újabb környezetvédelmi problémát vet fel, a hulladékból képződő hamu miatt. Az égéstermékek koncentráltan tartalmazzák az elégetett hulladék nem illékony hamuképző elemeit (Ca, Al, K, Mg, Na, P, Si stb.) és az illékony (C, N, Cl, S stb. oxidos, illetve illanó formái), légkörbe jutó aeroszolokat, amelyek újabb szennyezési forrást jelentenek. Az inputanyag

égetése során a nitrogéntartalom közel teljes mennyisége a légkörbe kerül (*Demeyer et al., 2001*).

A nem illékony komponensek azonban megfelelő technológiai fegyelem mellett, tovább hasznosíthatók a termőtalajok tápelem-tartalmának pótlására, illetve talajjavításra. A termikus folyamat eredményeképpen a biomassza tüzeléséből eredő hamu jellemzően foszfor, kálium, kalcium és magnézium tekintetében kifejezetten jelentős lehet (*Etigéni et al., 1991; Huang et al., 1992; Ohno és Erich, 1993; Muse és Mitchell, 1995*). További fontos szempont, hogy e hamuféleségek lényegesen kevesebb nehézfémeket tartalmaznak, mint az ásványi szén tüzeléséből származó salakok (*Pels et al., 2005; Eijk et al., 2012*). A biomassza tüzelése során a magas alkálifém-tartalmú anyagok esetében – különösen az egyényári növények tekintetében – az alacsony hamuolvadási hőmérséklet salakosodáshoz, illetve lerakódásokhoz vezethet az energiaellátó rendszerekben (*Miles and Miles, 1995*). Ezekben az esetekben alacsony alkálifém-tartalmú anyagokkal való keverés, kémiai adalékanyagok adagolása vagy különféle mosási eljárások egyaránt alkalmasak lehetnek a potenciális kockázatok csökkentése érdekében (*Miles and Miles 1995; Jenkins et al., 1996; Jenkins et al., 1998; Davidsson et al., 2002; Jenkins et al., 2003; Das et al., 2004; Higgins et al., 2011*).

2.3. A ciroktermő-területek megválasztásának általános szempontjai

2.3.1. A cirokfélék klimatikus és edafikus igényei

A cirokfélék eredetét tekintve a szakirodalomban eltérések fedezhetők fel, ugyanis *Linné* (1753) a fajok rendszerésére irányuló munkássága során a cirokfélék géncentrumának Indiát jelölte meg, míg *Vavilov* (1949) szerint a cirok Afrikából, Szudán és Etiópia környékéről származik. Bár a géncentrum tekintetében a nézetek nem egységesek, a származási hely klimatikus jellegeiből adódóan melegigényes növények, sőt kiváló aszálytűrővel is jellemezhetők, így a cirokfélék termesztésnek integrálása a vetésváltásba a mezőgazdasági aszályhoz való alkalmazkodás egy ígéretes eleme lehet (*Tuinstra et al., 1997; Lux et al., 2002*). Ezen összefüggés kiemelt figyelmet érdemel, hiszen az aszályhoz való alkalmazkodás egy fontos szempont a magyar növénytermesztésben (*Juhász et al., 2013*). Melegigényességük gyakran a természetethőség korlátja is egyben tekintettel arra, hogy az egyenlítő-től távolodva a tenyészidőszak lehetséges hossza egyre rövidebb, így a

rendelkezésre álló hőösszeg mennyisége is kisebb. Ezen ismeretek tükrében igen fontos összefüggésként szögezhető le, hogy a hőösszeg-igény szoros korrelációt mutat a tenyészidőszak hosszával, ami a cirokfélék esetében 80 és 300 nap között változhat, jellemzően 150-200 nap értéktartományban (*Bálint, 1966; Craufurd et al., 1999; FAO, 2000; Geleta és Labuschagne, 2005*). *Doggett* (1988) az 1970-es és 1980-as évek tapasztalatai alapján a cirokfélék a termesztésének északi határát a 40. szélességi körre becsülte, míg *Chrappán et al.* (1997) szerint a 90-es években Magyarország volt a ciroktermesztés északi határa, ahol a mediterrán és kontinentális éghajlat klíma időszakos változásai olykor kedvezően, míg más esetekben kedvezőtlenül befolyásolják azt (*Horváth és Mikes, 1981*). Napjainkban azonban számos kedvező kísérleti eredményről számolnak be számos Magyarországtól északabbra fekvő országból, ami a ciroktermesztési övezet elméleti határainak további változását igazolja (*Idziak et al., 2013; Pazderů et al., 2014; Adamčík et al., 2016*). A ciroktermesztés határainak kitolódása szoros összefüggést mutat a biológiai alapok fejlődésével, hiszen az effektív növénynemesítési munkálatok eredményeképpen a hidegtűrés fokozódása és a tenyészidőszak csökkenése kulcskérdés a klimatikus viszonyokhoz való adaptációban.

A cirokfélék hőösszeg-igénye *Mijavec* (1972) szerint 2750-2950°C, míg *Faragó* 1975-ben egyes cirokfajták esetében 2600 – 3000°C hőösszeg-igényt közölt. *Horváth és Mikes* (1981) munkájukban 3200-3300°C hőösszeg-igényt fogalmaztak meg, míg *Késmárki* (2005) szerint ez az érték 2600 – 3300°C.

A hidegtűrés tekintetében igen fontos tényező az adott növény bázishőmérséklete – amely a növényi fejlődés hőmérsékleti intervallumának alsó küszöbértéke – ugyanis ezen érték döntően meghatározza a tenyészidőszak alatt rendelkezésre álló hasznos hőösszeg mennyiségét.

Siklósiné Rajki és Harmati (2001) szerint a cirokfélék mindazokon a területeken eredményesen termeszthetők ahol a nyári napi középhőmérséklet eléri a 20°C-ot és legalább 125 fagymentes nap van a tenyészidőszak folyamán. *Barabás és Bányai* (1985) szerint a cirok fejlődése 16-20°C között vontatott, míg 14°C alatt a növekedés megáll, néhány napos -1°C-tól -5°C-ig terjedő hőmérsékleten pedig elpusztul. Ezzel szemben *Horváth és Mikes* (1981), valamint *Chrappán et al.* (1997) azon összefüggéseket fogalmazták meg, miszerint a cirokfélék csírázása 11-12°C-os átlaghőmérsékleten vontatott, 12-14°C-on átlagos, míg 14°C feletti hőmérsékleten erőteljes. Az imént ismertetett szakirodalmi értékek alapján a cirokfélék bázishőmérséklete 11-14°C közöttire tehető, azonban egyes nemzetközi szakirodalmak eredményei alapján

megállapítható, hogy ezen érték a különböző cirok gyűjtemények vonatkozásában meglehetősen nagy variabilitást mutat. *Monk* (1977), *Angus et al.* (1981), *Gerik et al.* (2003) valamint *Hannaway és Myers* (2004) szerint a cirokfélék bázishőmérséklete 10°C, míg *Craufurd et al.* (1999) szerint ez az érték 8,3°C és 12,2°C között változik, míg *Hammer et al.* (1989, 1993), valamint az *Alagarswamy és Ritchie* (1991) által közölt írásművekben ez az intervallum 8°C és 12°C közötti. *Parthasaranthi et al.* (2013) eredményeikben 8°C és 10°C közötti hőkülönböztetésekről számoltak be. A bázishőmérséklet a hőösszeg-igény és ezáltal a tenyészidőszak hosszának vonatkozásában is igen jelentős, ugyanis a bázishőmérséklet értéke és a fenológiai fázis időtartama között jellemzően hiperbolikus összefüggés tapasztalható (*Szász, 1988*). Minél alacsonyabb egy adott cirok növény bázishőmérséklete, annál nagyobb effektív hőösszeggel számolhatunk a tenyészidőszak során, így a bázishőmérséklet alakulása kiemelten fontos a klimatikus viszonyokhoz való adaptációban.

A cirokfélék magas hőösszeg-igényéből adódó előnyök az aszálytűrésben mutatkoznak meg, amelyet alátámaszt az a tény is, hogy számos hazai szerző az aszályos területek egyik perspektivikus növényének tartja a cirokféléket (*Chrappán et al., 1997; Siklósiné Rajki és Harmati, 2001*). *Késmárki* (2005) szerint azonos körülmények között a cirok levelei sokkal kevesebb vizet veszítenek, mint a kukoricáé, sőt az aszályos időszakok után - amelynek során a cirok fejlődése ideiglenesen megállt - a csapadék megérkezésével újra fejlődésnek indul. A cirok vízigénye 500-580 mm, míg transzspirációs koefficiensük 150-250 l/kg, vagyis egységnyi tömegű szárazanyag előállításához kevesebb vizet igényel, mint a kukorica (*Munor és Rachie, 1956; Moldenhauer és Keating, 1958*).

Bár aszálytűrő növényként tartjuk számon a cirokféléket, a kritikus fenofázisokban (csírázás és a gyökérváltás időszaka) jelentkező csapadék deficit visszafoghatja a fejlődésben a cirok állományt. Éppen ezért *Tóth* (1962) és *Józsa* (1964) a cirok vetését április végén javasolja és csakis öntözési lehetőség esetén jelöli meg május első dekáját optimális vetésidőnek. *Tóth* (1969) szerint a cirok vetése utáni 15-18. napon következik be a gyökérváltás állapota, amely kritikus időszak a növény fejlődése során alapvetően meghatározva ezzel az optimális vetésidőt is.

A cirokfélék a talajjal szemben igénytelenek, a futóhomok és az erősen szikes, erősen savanyú (pH 5 alatti), kötött, hideg talajokon kívül minden talajtípuson termeszthetők (*Surányi 1954, Bajai 1957; Chrappán et al., 1997; Siklósiné Rajki és Harmati, 2001*), sőt más szántóföldi növényekhez képest jól tűrik a talaj magas sótartalmát is (*Vasilakoglou, 2011*). Ebből adódóan számos szerző szerint a cirok a kedvezőtlen termőhelyi

adottságokkal rendelkező területek növénye (Gyökér, 1978). Termesztése nemcsak a kötött, hanem a jobb minőségű homoktalajokon is lehetséges (Antal et al., 1966; Gyökér, 1977), sőt csapadékhiányos évjáratokban a homokos talajokon nagyobb termés hozamot biztosít, mint a kötött nehéz talajokon, ahol az aszály hatásai jobban kifejeződnek (Vinall et al., 1936). Hazai viszonylatban az aszályra hajló, öntözésre be nem rendezett, későn felszáradó, vagy adott esetben mély fekvésű, rossz vízgazdálkodású, sekély termőrétegű területeken a legnagyobb termésbiztonsággal termeszthető tömegtakarmánynak tekinthetőek. Mind ezek ellenére Harangozó (1988) szerint a cirokféléket gazdaságosan termeszteni csak a könnyen felmelegedő és megfelelő vízgazdálkodási jellemzőkkel bíró talajokon lehet. Bárdossy (1964) szerint a kukoricának különösen a sekély termőrétegű, kedvezőtlen vízgazdálkodású talajokon lehet versenytársa, de a szerényebb talajadottságokhoz való alkalmazkodás alapvető feltétele a helyes agrotechnika (Laddha és Totawat, 1997; Tsuchihashi és Goto, 2004).

A termőhelyi sajátosságokhoz való alkalmazkodás egy igen fontos kérdés a növénytermesztésben, amelyre vonatkozóan indokoltak a módszertani fejlesztések. Napjainkban is számos megoldás létezik a termőhelyi körülményekhez való alkalmazkodás fejlesztésére, amelyek jellemzően valamilyen informatikai eszköz segítségével teszik lehetővé, hogy a növénytermesztés hatékonyságának növelését (Rosa et al., 2003; Meyer és Grabaum, 2008; Mendas és Delali, 2012). Ezen eszközök alkalmazásával lehetővé válik, hogy az adott talajtani és klimatikus viszonyokhoz, továbbá egyéb környezeti feltételekhez illeszkedően a hatékonyabban állítsuk elő a növénytermesztési termékeket.

2.3.2. A cirokfélék termesztésének agronómiai jellemzői

2.3.2.1. A cirokfélék morfológiája

A cirokfélék taxonómiai osztályozása az elmúlt évtizedekben több jelentős változáson is átesett (Barabás és Bányai, 1985). A korábbi időszakban a cirokféléket *Sorghum vulgare* elnevezéssel illették és az egyes típusokat a faj varietasaként jegyezték, majd 1982-ben a nemzetközi szakirodalommal való összhang megteremtése érdekében egy újabb taxonómiai rendszerezés került bevezetésre. Tekintettel arra, hogy a különböző cirok variánsok egymással kereszteződhetnek, melynek során termékeny utódnövényt

hozhatnak létre, napjainkban a szemescirok, a silócirok és a seprőcirok tudományos neve *Sorghum bicolor*, míg a szudánifüvet *Sorghum sudanense* névvel illetjük (Izsáki, 2004). A cirokfélék vegetatív részei számos tekintetben hasonlóságot mutatnak a kukoricával. Gyökérrendszerük bojtos gyökérzet, amely elsődleges és másodlagos gyökerekből áll. Az elsődleges gyökeret erőteljes elágazás jellemzi, amely erősen mélyre hatol. A tenyészidő vegetatív szakaszában intenzíven növekszik, erőteljesebben, mint a kukorica (Chrappán et al., 1997). Sok esetben a cirokra jellemző lassú kezdeti fejlődés voltaképpen csak látszólagos, tekintettel arra, hogy ebben az időszakban a gyökérzet igen intenzíven fejlődik. Ezzel szemben a másodlagos gyökerek döntően a talaj felső 30 cm-es rétegében összpontosulnak, ami fontos az aszályal szembeni tolerancia tekintetében (Izsáki, 2004).

A cirokfélék hajtásrendszerét tekintve 1-3 cm átmérőjű, hengeres szárral jellemezhető, amely belül szivacsos bélállománnyal tömött, ami – főként a cukorcirok típusú egyedek esetében – gyakran magas cukortartalmú szárlevet tartalmaz (Siklósiné Rajki és Harmati, 2001). A növény jellemző tulajdonsága, hogy levelein és a szárán fehér viaszbevonat található, amely csökkenti a párolgást, ezzel is növelve a növény szárazságtűrését (Chrappán et al., 1997).

A cirokfélék formagazdagságának legekleatásabb példája a buga változékonysága. A cirokfélék bugája fürtös fürt virágzat, amelynek első-, másod- és harmadrendű oldalágai vannak. A másod-, illetve harmadrendű oldalágukon ülnek a kocsány nélküli hímnős virágok (Barabás és Bányai, 1985).

A cirokfélék morfológiája a magasság tekintetében is igen nagy variabilitást mutat, ugyanis némely szupertörpe vonal magassága alig haladja meg az 50 cm-t, míg egyes fajták magassága az 5 m-t is elérheti (Barabás és Bányai, 1985). A silócirok az egyik legnagyobb hozamú szántóföldi növényünk egyike, 80-120 t/ha zöldtermés és 20-30 t/ha szárazanyag-termés mellett (Grábner, 1942; Józsa, 1976; Barabás és Faragó, 1980; Szabó, 1983; Gyuricza, 2008). A szár-levél-buga arány igen változó lehet a különböző hibridek között, de a szár tömege jellemzően a teljes felszín feletti tömeg 60%-a fölött alakul (Jóvér et al., 2014)

Habitusát tekintve a silócirok nagyon sok hasonlóságot mutat a silókukoricával. Már a több évtizede megjelent hazai szakirodalmak is a silócirok és a szudánifü, silókukoricához viszonyított terméstöbbletére hívják fel a figyelmet (Józsa, 1976). Szárazságtűrő képessége mellett a csapadékot, vagy adott esetben az öntözővizet jól

hasznosítja, sőt a gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy még az időszakos vízállást is képes igen jól tolerálni.

Jellemzőek a lédús szárú, magas cukortartalmú hibridek, amelyekből jó minőségű szilázs készíthető, továbbá a nagy bugájú hibridek, amelyek magasabb keményítő-tartalmú szilázs készítésére alkalmasak (*Siklósiné Rajki és Harmati, 2001*). Mindezek mellett a köztermesztésben vannak olyan jellemzően hosszú tenészsídejű hibridek is, amelyek a hazai viszonyok között nem képeznek bugát.

2.3.2.2. A cirokfélék növénytermesztési vonatkozásai

A Nemzeti Fajtajegyzékben jelenleg 12 államilag elismert silócirok és egy 1 ipari cirok szerepel (*NÉBIH, 2017*). A hazai ciroknemesítéssel is foglalkozó nemesítőházak közül mindenhol kiemelt figyelmet szentelnek a silócirok nemesítésére és agrotechnikai sajátosságainak kísérletes fejlesztésére, amely a növényben rejlő igen jelentős potenciálra hívja fel a figyelmet.

A korai- és középérésű hibridek a vetésváltásba gond nélkül beilleszthetők, viszont elővetemény-értéküket gyakran lényegesen rosszabbnak tartják, mint amilyen az valójában (*Chrappán et al., 1997; Késmárki, 2005*). Meg kell azonban jegyezni, hogy egy ilyen jelentős biomassza-hozamot produkáló növény esetében elengedhetetlen a fokozott tápanyagigény kielégítése, mely a helyes vetésváltási gyakorlat kiemelkedően fontos szempont (*Chrappán et al., 1997*).

A silócirok tápanyagellátását tekintve is fontos szempont az adott termőhely ismerete, amelynek függvényében az okszerű tápanyag-gazdálkodás megtervezhető. Szakirodalmi adatok alapján elmondható, hogy a silócirok 1 t zöldterméshez átlagosan 4,2 kg N-, 2,6 kg P- és 3,7 kg K-hatóanyagot igényel, de természetesen ezek az adatok jelentős különbségeket mutatnak a termőterület tápanyag-ellátottságának függvényében (*Késmárki, 2005*).

A silócirok szerény talajtani értelemben vett igényei nem jelentenek azonosságot a talajmunkálatokra vonatkozó igényekkel. Mindamellett, hogy a legtöbb talajtípuson sikerrel termesztendő, a silócirok aprómag, ami a magágy minőségét illetően kiemelt figyelmet kíván (*Chrappán et al., 1997*). Mélyen gyökerező növény, ezért az őszi mélyművelés alapvető fontosságú. A magágy előkészítését illetően a leggyakrabban

alkalmazott eszköz a kombinátor, amellyel biztosítható a cirok számára szükséges aprómorzsás, rögmentes magágy (*Birkás, 2011*).

Április végén-május elején a silócirok vetése rendszerint megkezdhető. Kapás sortávú növény, amelynek optimális vetésmélysége jellemzően 3-5 cm. Az állománysűrűség tekintetében viszont az adott hibrid fajtafenntartójának, vagy forgalmazójának ajánlásai az irányadóak tekintettel arra, hogy ezen paraméterek alakulása sok esetben fajtajellegnek tekinthető. A hibrid habitusától, illetve egyéb tulajdonságaitól (pl. megdőlésre való hajlam) függően a hektáronkénti tőszám 200-300 ezer csíra/ha irányszámok mellett, igen széles határok között változhat (*Antal, 1987*). Vetés után a magágyat hengerezéssel zárjuk le a talaj nedvességtartalmának megőrzése érdekében, ezzel is elősegítve az egyöntetű és gyors kelést.

A növényvédelem oldaláról a kórokozók és kártevők tekintetében a vegyszeres védekezés csak bizonyos évjáratokra korlátozódik, ilyenkor eseti engedély szükséges az illetékes növényvédelmi szakhatóságtól. Alapvetően a csávázott vetőmag azonban a legtöbb esetben megvédi állományunkat a potenciális veszélyektől (*Chrappán és Bene, 2006*).

A gyomszabályozás kulcskérdés a sikeres silócirok-termesztésben, gyomnövényei alapvetően megegyeznek a kukorica gyomnövényeivel. A T₁ és T₂ életformába tartozó gyomok a vetést megelőző talajmunkálatok miatt általában nem jelentenek fenyegetést. A tavasszal csírázó, nyár eleji egyévesek közül ugyan néhány faj jelentkezhethet a termőterület fertőzöttségétől függően, de a legnagyobb fajgazdagsággal a tavasszal csírázó nyárutói egyévesek (T₄ életforma) jelentkeznak, ugyanis kelési idejük közel azonos a cirokfélék kelési idejével, így a cirok lassú kezdeti fejlődése mellett komoly konkurenciát jelenthetnek a korai fejlődési szakaszban, a védekezés hiányában pedig jelentős termés kiesés vagy cukortartalom deficitet okozhatnak (*Jóvér és Radócz, 2015*). Az évelő gyomok megjelenésére különös figyelemmel kell lenni, mivel ezek vegyszeres szabályozása cirok kultúrában meglehetősen nehéz feladat (*Kádár, 2013*).

Tekintettel az elérni kívánt legmagasabb cukorhozamra, a silócirok hibridek betakarítását viaszerés állapotában célszerű elvégezni, ugyanis a hibridekre jellemző cukorfelhalmozódási görbe rendszerint ebben az időszakban éri el a maximális értéket (*Barabás és Bányai, 1985*).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A cirokfélék bioetanol szempontú jellemzésének módszertani háttere

3.1.1. A refraktométeres szárazanyag-tartalom meghatározása

A szántóföldi kísérletek a Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Karcagi Kutatóintézetben voltak. A kísérleti időszakban a parcellák az Intézet B2, H2 és I2 jelzésű tábláin helyezkedtek el. A 2014-es kísérlet előveteménye pannon bükköny, míg minden más esetben őszi kalászos volt. A kísérleteket kötött réti csernozjom talajon állítottuk be. A területek talaja jellemzően mészhányos, savanyú kémhatású, agyagos vályog volt, amelyeket alacsony sótartalom jellemzett. A talajok jellemzően humusszal jól ellátottak voltak, K-ellátottságuk jó, míg a P-tartalmuk közepesnek ítéltető, N-ellátottság gyenge volt. A területek talajtani paramétereit az *I. melléklet* tartalmazza.

Az alapművelés minden esetben őszi szántás volt, amelyet tavasszal fogas borona segítségével munkáltunk el, míg a magágy előkészítése minden esetben kombinátor segítségével történt. A kísérlet vetésére rendszerint az április 25. - május 5. időszakban került sor. A vetés 70 cm sortávolság és 5 cm tőtávolság mellett történt, míg a vetésmélység 4,6 cm volt. A vetés egy HEGE 95 típusú önjáró szemenkénti parcellavetőgéppel történt. A kísérletekben 100 kg/ha N hatóanyagának megfelelő ammónium-nitrátot juttatunk ki, melynek talajba dolgozása a magágy-készítéssel egy menetben történt. A vetést követően, a vetőágy zárása minden esetben gyűrűshengerrel történt. A cirok kultúrában engedélyezett szerek szakszerű felhasználásával pre- és posztemergens gyomirtás egyaránt történt. A kísérletek során az eredményeket esetlegesen befolyásoló növényvédelmi probléma nem jelentkezett.

A bioetanol potenciálra vonatkozó mérések hat a hazai köztermesztésben lévő silócirok hibridre fókuszáltak, amely hibridek a Nemzeti Fajtajegyzékben és az EU szántóföldi növények fajtalistáján is szerepelnek. A méréseket a 2010-2015 időszakban végeztük, a kísérleti időszak legfontosabb meteorológiai adatait a *II. melléklet* tartalmazza.

A szántóföldi kísérletek mintázása jellemzően augusztus közepén kezdődtek és egészen a betakarításig tartottak átlagosan 10 napos időközök mellett. A vizsgálatok elvégzéséhez 4 m²-es mintaterületekről takarítottuk be a teljes növényeket. Minden hibrid esetében két ismétlésben történt meg a mintavétel. A kísérlet ismétléseinek csökkentett számát a betakarított anyag minőségromlásának elkerülése indokolta. A mintavételt követően

megmértük a friss minták tömegét, majd a növénymintákat egy AL-KO dynamic H1600 típusú szecskázógéppel leszecskáztuk. A szecskázott mintából meghatározott mennyiséget Nüve FN400 szárítószekrénybe helyezve, 105°C hőmérsékleten tömegállandóságig szárítva, négy ismételtsben megmértük az egyes mintákra jellemző nedvességtartalmat.

A bagasz elkészítéséhez a friss cirokmintákat egy Bologna S.T.M. AMP/E 50/2 csigás présgéppel préseltük, amelyet követően a préselési maradékot egy Nüve FN400 típusú szárítószekrényben 105°C hőmérsékleten tömegállandóságig szárítottunk.

A silócirok szárából nyert híg fázis refrakciós szárazanyagtartalmát refraktométer segítségével határoztuk meg, amely érték szoros korrelációt mutat a tényleges cukortartalommal (*Liu et al., 2008; Kawahigashi et al., 2013*). A kipréselt lé refrakciós szárazanyagtartalmát Brix%-ban határoztuk meg, amelyet az előbbiekben említett szakirodalmi eredmények alapján a továbbiakban cukortartalomként kezeltünk. A refrakciós szárazanyagtartalmak meghatározása mintaterenként négy párhuzamos méréssel történt. A mérések során a frissen vett minták esetében – az Állami Fajtakísérletek mérési gyakorlatával összhangban – a cirok szárának 4. és 5. nódusza közötti internódiumból történt a lé kézi présel történő kinyerése.

3.1.2. A potenciális etanol-hozamok számításának módszere

A potenciális bioetanol-hozamok meghatározását a vizsgált hibridekre vonatkozóan MS Office Excel táblázatkezelő szoftver alkalmazásával, az *Institution of Japan Energy* (2006) által közzétett számítási képletek felhasználásával számítottam ki (2. és 3. egyenlet).

2. egyenlet:

$$EP = c * szh * kf * fh * g$$

Ahol:

EP: cukor alapú etanol potenciál (l/ha)

c: cukortartalom (%)

szh: szárazanyag hozam (t/ha)

kf: konverziós faktor (0,51)

fh: fermentációs hatékonyság (0,85)

g: etanol sűrűsége (0,79 kg/l)

3. egyenlet:

$$EP = c * szh * hkf * hh * kf * fh * g$$

Ahol:

EP: összetett szénhidrát alapú etanol potenciál (l/ha)

c: cellulóz és hemicellulóz tartalom (%)

szh: szárazanyag hozam (t/ha)

hkf: hidrolízis konverziós faktora (1,11)

hh: hidrolízis hatékonyság (0,85)

kf: konverziós faktor (0,51)

fh: fermentációs hatékonyság (0,85)

g: etanol sűrűsége (0,79 kg/l)

3.1.3. A detergens rostfrakciók kimutatásának módszere

A 0,1-2 mm méretűre darált cirok bagasz lignocellulóz-tartalmát a *Georging és Van Soest* (1975) által kidolgozott analitikai eljárással mutattuk ki, amelynek eredményeképpen a szoros egymásutániségben végrehajtott, egymásra épülő reakciók segítségével kvantitatív módon határoztuk meg a bagasz minták neutrális detergens rost (Neutral Detergent Fiber – NDF), sav detergens rost (Acid Detergent Fiber - ADF) és sav detergens lignin (Acid Detergent Lignin – ADL) frakciói (6. ábra).



6. ábra: A detergens rostfrakciók kimutatásának módszere

Az NDF meghatározása során 1 g száraz bagasz mintát lombikba helyeztük, majd hozzáadtunk 50 ml NDF oldatot. Az elegyet 100°C-ra hevítettük, majd forrás után hagytuk hűlni. Hűlés után ismételtén hozzáadtunk 50 ml NDF oldatot, valamint 3-4 csepp dekalint (habzásgátló) és 0,5 g nátrium-szulfidot (Na_2SO_3). Az elegyet újból hevítettük, majd forrás után 60 percig főztük. A lehűlt mintát ismert tömegű, Robu-Glas borosilicat 3.3 üvegszűrőn átszűrtük, majd a szűrés után a visszamaradt fázist 2 órán keresztül 105°C-on Nüve FN400 típusú szárítószekrényben szárítottuk. A szárítást követően az üvegszűrővel együtt lemértük a visszamaradt anyag tömegét, amelyből az üvegszűrő tömegének ismeretében megmértük az NDF frakció mennyiségét.

Az ADF frakció meghatározása során az NDF mintákat lombikba helyeztük, majd 100 ml ADF oldat és 3-4 csepp dekalin hozzáadását követően 60 percig főztük az elegyet. Hűlést követően desztillált víz segítségével üvegszűrőre vittük az elegy teljes mennyiségét. A szűrés után visszamaradt fázist 105°C-on 2 órán keresztül szárítottuk, majd a szárítást követően analitikai mérlegen meghatároztuk az ADF minták tömegét.

Az ADL tartalom meghatározása során az ADF mintákat Erlenmeyer-lombikokban 72%-os kénsavban (H_2SO_4) 3 órán keresztül áztattuk, majd áztatás után az elegyet üvegszűrő segítségével leszűrtük. A szűrt maradékot 2 órán keresztül szárítószekrényben szárítottuk, majd hűlés után analitikai mérlegen megmértük az ADL minták tömegét. Az eljárások során alkalmazott oldatok összetételét *III. melléklet* tartalmazza.

A minták NDF tartalma a cellulóz, hemicellulóz és lignin összességét képezi, míg az ADF a cellulóz és lignin molekulákat tartalmazza. Az ADL a minták lignin-tartalmával egyenértékű. A mérési eredmények alapján a minták cellulóz-, hemicellulóz- és lignintartalmának kiszámítása az alábbiak szerint történt:

$$\text{NDF} - \text{ADF} = \text{hemicellulóz}$$

$$\text{ADF} - \text{ADL} = \text{cellulóz}$$

$$\text{ADL} = \text{lignin}$$

3.1.4. A detergens rostfrakciók spektroszkópiai vizsgálatának módszere

A spektroszkópiai méréseket AvaSpec NIR256-2.5-HSC Fiber Optic típusú spektrométer segítségével végeztük el 1000-2400 nm hullámhossz-tartományban. A mérések során a hullámhosszúságok közötti átlagos osztályköz 6,43 nm volt. Az AvaSpec 2048 rendszer egy AvaLight-HAL-MINI halogén fényforrásból, egy 8 µm átmérőjű száloptikából és egy detektorból áll. A megfelelő mérési pontosság biztosításához a méréseket egy speciális, spektrális mérésekhez rendszeresített „black box”-ba helyezett mintákon végeztük el a külső eredetű fény kizárása érdekében. A mérések alatt az optikai szál vége 5 mm távolságra volt a minta felszínétől. A spektrális adatokat AvaSoft 8.2 szoftver segítségével rögzítettük. A rögzített eredmények 30 mérés átlagát jelentették, amelyet háromszoros pixelfinomítás mellett jelenítettünk meg vizuálisan. A spektrális adatokat .xls formátumú fájlként exportáltuk és MS Office Excel szoftver segítségével ábráztuk a spektrális jellegeket mutató görbéket.

Mivel a 2000 nm és 2200 nm közötti hullámhossz-tartományú elektromágneses sugarakra a cellulóz érzékeny (Nagler *et al.*, 2003), lehetőség nyílt a CAI (*Cellulose Absorption Index*) kiszámítására, amely index általánosan elfogadott az elhalt növényi maradványok talajfelszíntől való elkülönítésére (Daughtry, 2001; Daughtry *et al.*, 2004). A mért reflektancia értékek alapján a CAI meghatározása a 4. *egyenlet* szerinti képlettel történt.

4. *egyenlet*:

$$\text{CAI} = 0.5 (\rho_{2000} + \rho_{2200}) - \rho_{2100}$$

Ahol:

ρ : a reflektancia értéke az adott hullámhosszon

3.2. A cirokfélék biomassa-tüzelési célú jellemzésének módszertani háttere

3.2.1. A kalorimetrikus égéshő meghatározásának módja

A kalorimetrikus égéshő meghatározásához a silócirok esetében a betakarított biomassa szárított, szecskázott mintáit használtuk. A szántóföldi növények melléktermékek köréből az őszi búza, a kukorica és a napraforgó betakarítása után visszamaradó növénymaradványok szárított, aprított mintáit használtuk, míg a vizsgált fafajok (nyár, éger, akác, fűz) esetében a vizsgálandó anyagból készített fakockákat alkalmaztunk mintaként a mérések során. Minden égéshő mérés során 1,00 g mennyiségű mintát mértünk be. A mérésekhez használt minták nedvességtartalma 4-6% között változott. A kalorimetrikus vizsgálatokhoz a szárított mintákat Condux növénydarálón 1-2 mm nagyságúra daráltuk, majd ezután a kaloriméterhez rendszeresített tablettázó prés segítségével 1,00 g tömegű tablettákat készítettünk. Ezt követően szárítószekrényben 45°C-on történő szárítással meghatároztuk a tabletták nedvességtartalmát, ami átlagosan 8-10 % között változott. A méréseket analitikai mérlegen négy tizedes pontossággal végeztük, ami az energetikai meghatározáshoz is követelmény.

A kalorimetrikus vizsgálatokhoz alkalmazott komposzt egy a régióban működő biogázüzemből származott, ahol a fermentorból kikerülő fermentlevet szeparálják, majd a szilárd fázist komposztálják, míg az olajpogácsa minták egy szintén a régióban működő olajpréselő üzemből származtak.

A mérések elvégzéséhez *IKA C2000 Basic* típusú adiabatikus kalorimétert használtunk. A tökéletes égés érdekében a kaloriméter-bombát tiszta oxigénnel töltöttük fel 20-30 bar nyomástartományban.

A mérés során a kaloriméterben lévő termodinamikai rendszerek és a környezet közötti hőátadás a mérőeszköz kialakításából adódóan elhanyagolható volt, így a mérési eredmények bizonytalansága e tekintetben minimalizálható volt. A kaloriméter I rendszerét egy speciális kialakítású kaloriméter bomba képezte, amelyben egy égető téglában helyezkedtek el a megfelelő módon előkészített és tablettázott minták. A mérés során a tiszta oxigénben lévő minták gyújtását pamutszál biztosította. Az I rendszer által leadott Q hőmennyiséget teljes egészében az ismert C hőkapacitású II rendszer vette fel, ami jelen esetben víz volt. A Q hőmennyiség felvétele következtében a II rendszer hőmérséklete ΔT változást szenvedett. A zavaró hőáramokat elhanyagolható mértékűre

szükséges csökkenteni, amelyet az eszköz környezettől való termikus szigetelése biztosított. A ΔT mennyiségének méréséből adódóan a kalorimetrikus égéshő meghatározása az 5. egyenlet szerinti energiamérlegen alapult.

5. egyenlet:

$$Q = -C * \Delta T$$

A hőmennyiség értékét a kaloriméter automatikusan számította ki a bemért mintatömeg és a ΔT értékének pontos értékeiből, amely az adiabatikus kaloriméterek általános jellemzőjének tekinthető (*Erdey-Grúz és Proszty, 1962*). A mérési eljárás során alkalmazott szoftver a mérőeszközhöz rendszeresített *CalWin Version 2.00.030*. 1999-es verziója volt. Minden mintát húsz párhuzamos méréssel mértük a statisztikai megbízhatóság érdekében. A méréseket kalibrálás előzte meg, ismert égéshőjű benzoeszav tablettaival négy mérést elvégezve, a négy mérés átlagából kapott C értékkel kalibráltunk (26470 KJ/kg).

A növénytermesztési és bioenergetikai melléktermékek mintái esetében a mérést követően laboratóriumi analitikai mérlegen négy tizedes pontossággal (g) megmértük a visszamaradó hamu mennyiségét.

3.2.2. A hamu elemtartalmának vizsgálati módszere

Az analitikai vizsgálatok alapanyagául szolgáló hamumaradékok kontrollált előállítását *OM SZÖV TypeOH 63* izzítókemencében végeztük. A kemencében történő égetésnél a mintákból átlagosan 6 g, pontosan ismert tömegű légszáraz mintát mértünk be az ismert tömegű kerámiaedényekbe. Az izzítás három lépésben történt annak érdekében, hogy elkerüljük a minták szétpattogását. Először a bemért mintákat $\sim 257^{\circ}\text{C}$ -ra izzítottuk, majd 570°C -ra, végül a hevítés harmadik fázisában $\sim 650^{\circ}\text{C}$ -ra emeltük az izzítási hőmérsékletet. Az izzítást 2 órán keresztül végeztük. A hamumaradékot tartalmazó kerámiaedényeket a kemencéből kivéve exsikkátorba helyeztük, hogy megvédjük az esetleges nedvességtől, illetve hogy az izzítási maradékok felvegyék a környezet hőmérsékletét.

Az analitikai vizsgálatokat négy párhuzamos méréssel végeztük. A P, K, Na, Ca és Mg kvantitatív meghatározásához a 0,4 g darált mintát DK-20 blokkroncsolóban (VELP

Scientifica) 360 °C-on, 4,0 cm³ cc. kénsavval, 40 percen át roncsoltunk atmoszferikus nyomáson szelén katalizátor jelenlétében. A roncsolási maradékot 100 cm³ jelzésig töltöttük fel, és ebből végeztük a meghatározásokat.

A P-tartalmat spektrofotometriásan vanado-molibdenát (ammónium-molibdenát, ammónium-metavanadát) reagenssel határoztuk meg Spekol 1100 spektrofotométerrel (Carl Zeiss Jena) 440 nm hullámhosszon.

A K, Na, Ca és Mg-tartalmat lángfotométerrel határoztuk meg levegő acetilén lángban, Spectra AA-10 atomabszorpciós spektrofotométer (Varian) segítségével.

A Cu, Zn, és Mn meghatározáshoz a minták 0,5 g mennyiségét HNO₃-H₂O₂ elegyében mikrohullámú roncsolóval tártuk fel, 190 °C-on, 27 bar nyomáson, 30 perc reakcióidővel egy MARS Xpress (CEM) típusú mikrohullámú roncsolóban. A minták elemtartalmát lángfotométerrel határoztuk meg levegő-acetilén lángban, Spectra AA-20 atomabszorpciós spektrofotométerrel (Varian).

A mért eredmények felhasználásával *Carillo et al.* (2014) nyomán az 6. egyenlet segítségével meghatároztuk a hamuféleségek alkálifém-tartalmát a salakosodás okozta kockázatok kvantitatív értékelése érdekében.

6. egyenlet:

$$\text{Alkálifém} - \text{tartalom} \left(\frac{kg}{GJ} \right) = \left(\frac{1 * 10^6}{100} \right) * \left(\frac{Hamu\%}{100} \right) * \left(\frac{K\% * Na\%}{100} \right)$$

3.3. A termőhelyi kockázatok értékelésének módszertana

3.3.1. A klimatikus kockázatok értékelésének módja

Az adatgyűjtést Karcagon, a Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Karcagi Kutatóintézetében (DE ATK KKI) végeztük. A Nagykunság kistérség Magyarország egyik legszárazabb, hőmérsékleti ingadozásokat tekintve legszélsőségesebb, illetve leginkább kontinentális jellegű területén található. Karcag a Szolnok-Túri-sík északi részén helyezkedik el, ahol az évi napfénytartam 1970-2020 óra közötti, a nyári negyedévben 790-800 óra napsütés valószínű. A fagymentes időszak átlagosan 196-200 nap, az átlagos éves csapadékmennyiség 500 mm körüli (*Ambrózy-Konkolyné, 2010*). Földrajzi koordinátái: É 47° 23', K 20° 56', átlagos tengerszint feletti magassága 87 m Bf.

A DE AKIT Karcagi Kutatóintézetében a növénynemesítési feladatokhoz hasonlóan az alapítás óta folynak meteorológiai megfigyelések, amelyek 2004 júliusában kibővültek, egy az Országos Meteorológiai Szolgálat hálózatába tartozó, meteorológiai állomással.

A meteorológiai paraméterek rögzítése egy VAISALA gyártmányú QLC-50 típusú meteorológiai mérő automata segítségével történt 10 perces gyakorisággal. A mért adatokból az 1995-2016 időszakból kiválogattuk a legkésőbbi tavaszi fagyok és talajmenti fagyok, valamint a legkorábbi őszi fagyok és talajmenti fagyok értékeit és időpontjait. A kapott időpontokat 5 napos osztályközökbe rendeztük és meghatároztuk azok 20 éven belüli előfordulási gyakoriságukat, a jelenségek valószínűségét, amely által lehetőség nyílt a tenyészidőszak hosszából adódó kockázatok értékelésére.

A 20 éves időintervallumra meghatároztuk a Karcagra jellemző effektív hőösszeg értékeket, különböző bázishőmérsékletek alkalmazásával.

Az effektív hőösszeg számításának hagyományos formulája a napi minimum és maximum hőmérsékleteket veszi figyelembe, ezekből számít átlaghőmérsékletet, majd értékét csökkenti az adott növényre jellemző bázishőmérséklettel (Dorka, 2005), így a számításokat a 7. egyenlet alapján végeztük.

7. egyenlet:

$$H\ddot{O} \text{ eff} = i \sum_{1}^n \frac{(T_{i,MIN} + T_{i,MAX})}{2} - T_B$$

Ahol:

$T_{i,MIN}$: a napi minimum hőmérséklet (°C)

$T_{i,MAX}$: a napi maximum hőmérséklet(°C)

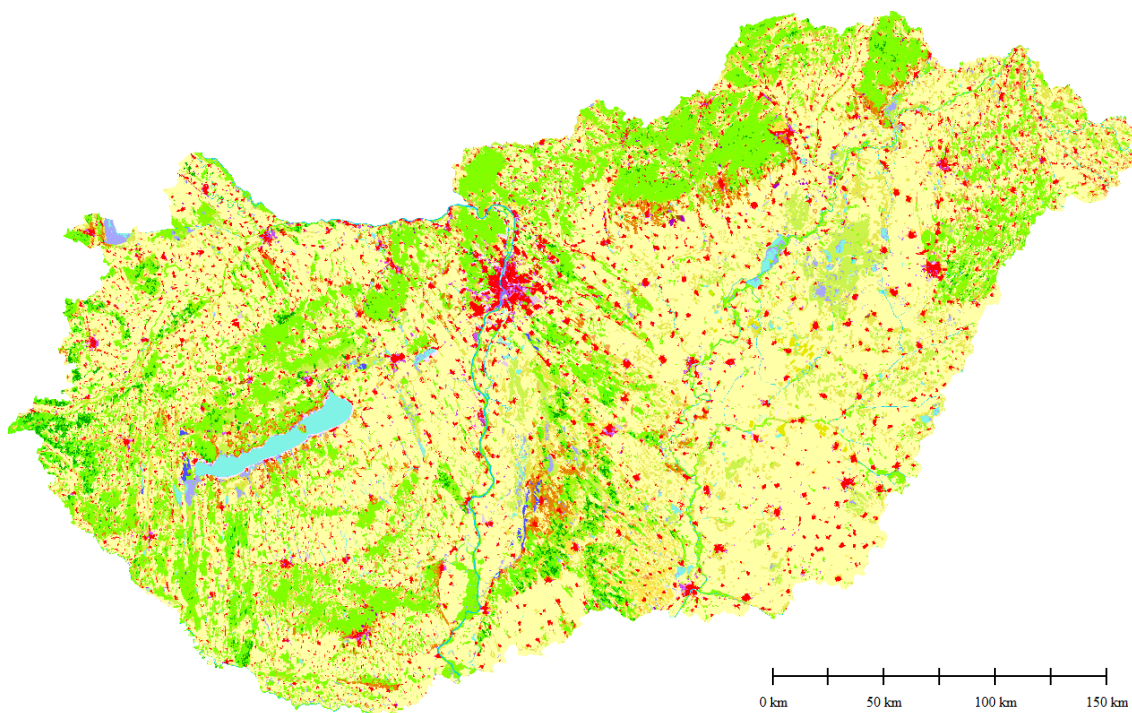
T_B : bázishőmérséklet (°C)

n : a fenofázis hossza nap.

A számítások két tenyészidőszak hossz mellett (május 1. – szeptember 30. illetve április 21. – október 10.) kerültek meghatározásra 8°C és 15°C közötti bázishőmérsékleti értékek alkalmazásával.

3.3.2. A termőterületek leválogatásának talajtani szempontjai

A vizsgálatok során lehatároltuk a cukorcirok termesztésének potenciális zónáit Magyarországon, melyhez különböző térinformatikai adatbázisokat használtunk fel. A modellezés egyik fontos adatbázisa a földhasználati térkép volt, amit a CORINE felszínborítás 2006-os (*Corine Land Cover – CLC*) adatbázisa biztosított. Az Európa csaknem egészére elkészült, 44 felszínborítási és földhasználati kategóriát tartalmazó adatbázis raszteres adatábrázolási módját a Copernicus Land Monitoring Service honlapjáról (*Internet 1*) töltöttük le. Ebben az adatbázisban Európai Környezetvédelmi Ügynökség tagságát képező 33 ország földhasználati kategóriái találhatók meg, több, mint 5,8 millió km²-nyi területet lefedve, maximális 100 x 100 m-es térbeli felbontásban (7. ábra).



7. ábra: Magyarország CORINE felszínborítási kategória térképe

Az országos CLC térkép 29 felszínborítási és földhasználati kategóriát tartalmaz, melyből a modellezés szempontjából szükséges „nem öntözött szántóterületeket” (*Non-irrigated arable land*) IDRISI Selva térinformatikai környezetben klasszifikáltuk.

Mivel az ország agroökológiai potenciálját jól jellemzi az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet által 1991-ben elkészített 1:100000 felbontású Agrotopográfiai adatbázis (AGROTOPO), így ez képezte elemzéseim másik főbb adatállományát. Az AGOTOPO

tartalmazza a növénytermesztési szempontból főbb talajtani paramétereket (genetikai talajtípus, talajképző közet, fizikai talajféleség, agyagásvány összetétel, talaj vízgazdálkodási tulajdonságai, kémhatás és mészállapot, szervesanyag készlet, termőréteg vastagság, talajértékszám), amelyek jelen esetben a talajtani leválogatás alapját képezték.

A ciroktermesztés több talajtípuson is lehetséges, ugyanakkor érdemes figyelembe venni azt, hogy egyes talajtípusokon célszerűbb adott esetben nagyobb profitot hozó növényeket (pl. kukorica, búza, stb.) termeszteni. Jelen írásműben ezért két csoportra osztottuk a leválogatott területeket, úgymint ciroktermesztés szempontjából „lehetséges”, valamint ciroktermesztés szempontjából „preferált” területek. A „lehetséges” kategóriába tartozó területek a cirokfélék termesztése szempontjából megfelelőek, azonban ezeken a területeken egyéb szántóföldi növények is eredményesen termeszthetők, úgymint pl.: a kukorica. A „preferált” kategóriába azon területek tartoztak, amelyeken az AGROTOPO adatbázisában szereplő talajtani paraméter miatt a szántóföldi kultúrák többségének termesztése csak kompromisszumokkal vagy számottevő terméskieséssel lehetséges, míg a cirokfélék számára talajtani szempontból az igények optimumát képviselik. Ezek alapján a ciroktermesztés szempontjából „lehetséges” területek jelen esetben azok a területek, ahol cirokfélék a talajtani adottságokat tekintve eredményes termesztési viszonyok mellett integrálhatók a vetésváltásba, míg a ciroktermesztés szempontjából „preferált” területek egy szűkebb kategóriát képeznek, ahol a talajtani jellegek alapján a cirok várhatóan versenyképesebb választás lehet a kukoricával szemben.

A talajtani jellegeket tekintve a talaj típusa és altípusa, a fizikai féleség, a talaj vízgazdálkodási tulajdonságai, a talaj kémhatása és mészállapota, továbbá a talaj termőréteg vastagsága vonatkozásában végeztünk területi lehatárolásokat. Ezek alapján ciroktermesztésre alkalmas talajtípusoknak és altípusoknak a humuszos homok talajokat, az agyagbemosódásos barna erdőtalajokat, a Ramann-féle barna erdőtalajokat, a csernozjom-barna erdőtalajokat, mészlepedékes csernozjom talajokat és az alföldi mészlepedékes csernozjom talajokat tekintettük. Ezzel párhuzamosan a pszeudoglejes barna erdőtalajok, a kovárványos barna erdőtalajok, a mélyben sós alföldi mészlepedékes csernozjom talajok, a réti csernozjomok, a mélyben sós réti csernozjomok, a mélyben szolonyeces réti csernozjomok, a sztyeppesedő réti szolonyecek, a szolonyeces réti talajok, a réti talajok és a réti öntéstalajok képezték a ciroktermesztés szempontjából preferált talajtípusok és altípusok csoportját. A talaj fizikai féleségét tekintve mind a két termőhelyi kategória esetében a homok, homokos vályog, vályog, agyagos vályog és

agyag talajok képezték a lehatárolás alapját. A talajok vízgazdálkodási tulajdonságait tekintve mind a két termőhelyi kategória esetén csupán az igen gyenge víznyelésű, szélsőségesen gyenge vízvezető-képességű, igen erősen víztartó, kedvezőtlen vízgazdálkodású talajok, valamint a sekély termőrétegűség miatt szélsőséges vízgazdálkodású talajok csoportja nem tartozott a lehatárolási kritériumok sorába. A talajok kémhatását tekintve a ciroktermesztés szempontjából „lehetséges” termőhelyi csoport számára a gyengén savanyú talajok és a felszíntől karbonátos talajok képezték a lehatárolás alapját, míg a „preferált” területek esetében a nem felszíntől karbonátos szikes talajok kerültek lehatárolásra. A termőhely vastagságát tekintve a „lehetséges” termőhelyi kategóriát 100 cm-nél vastagabb termőréteggel rendelkező területek jelentették, míg a „preferált” területek lehatárolása során a 40-70 cm termőréteg vastagságú talajokat határoltuk le. A két kategória lehatárolásának talajtani szempontjait tartalmazó térkép fedvényeket a *IV. melléklet* tartalmazza.

3.3.3. A termőterületek leválogatásának klimatikus szempontjai

A klimatikus viszonyok értékelése érdekében a talajtani szempontok alapján létrehozott „lehetséges” és „preferált” területeket ábrázoló térképeket további fedvényekkel láttuk el. Országos léptékben az *Ellenberg* (1988) által kidolgozott index fedvényét helyeztük a talajtani eredményeket ábrázoló térképekre, amely index a július havi középhőmérséklet és az éves csapadékösszeg hányadosa, amelyet ezerrel szorzunk, vagyis a júliusi időszak hőmérsékleti adatai alapján állapítja meg az esetleges aszálykárak valószínűségét. (8. egyenlet)

8. egyenlet:

$$EQ = (T_{07}/P_{ann})*1000$$

Ahol:

EQ: Ellenberg index értéke

T₀₇: július havi középhőmérséklet

P_{ann}: éves csapadékösszeg

A indexet eredményesen alkalmazzák az aszálykárok növényi vegetációban bekövetkezett károk értékelésekor, különösen az erdészeti tudományágakban (*Mátyás et al., 2010; Czucz et al., 2013*). Az indexeket tartalmazó térképi fedvényeket a 2001-2010 időszak értékelésére, $0,1^\circ \times 0,1^\circ$ felbontásban a Carpatclim online adatbázisából töltöttem le, amelynek célja alapvetően a Kárpát-medence éghajlatának részletes vizsgálata egy egységes módszertan alapján. A digitális klímaatlasz regionális éghajlatváltozási és egyéb klimatológiai vizsgálatok alapját képezi szoros együttműködésben a Joint Research Centerrel az European Drought Observatory keretein belül.

Az aszályjelenségek pontos földrajzi viszonyainak tisztázása érdekében az Alföldön, a CarpatClim adatai alapján az 1991-2010 között regisztrált csapadékmennyiségek felhasználásával térképi fedvényeken ábrázoltam a csapadékhiány következtében termesztési kockázatokat hordozó területeket, a cirok és a kukorica vízellátás szempontjából kritikus időszakainak figyelembevétele mellett. A kukorica esetében a vízigények szempontjából kritikusnak számító időszakot a kukorica generatív fejlődésének időszaka, vagyis július és augusztus hónapok jelentették, míg a cirok esetében ez a vetést követő kelési időszak volt, amely május volt. A talajtani és egyes klimatikus fedvények átfedését értékelve határoztuk meg az adott területegységre jellemző termesztési sajátosságokat a cirok vonatkozásában.

3.3.4. Az alkalmazott térinformatikai eljárások

Mivel az AGROTOPO adatbázis vektoros állományok formájában tárolja az egyes termőhelyi adottságokat és az adott poligonhoz több attributív adat is tartozik, ezért első lépésként az egyes talajparamétereket külön válogattuk, amit Global Mapper programban hajtottunk végre. Ezeket a poligonokat, az előzőekben említett Corine (raszter alapú) adatbázis vágóterületeként használtuk fel. Mivel az egyes talajparaméterek több felszínborítási kategóriát is lefedtek (pl. az AGROTOPO alapján réti csernozjom talajon lehet erdő, szántó, városi környezet, stb.), így a már kivágott földhasználati kategória térképről szegmentálással leválogattuk a szántókat.

Minden, a modellezés szempontjából szükséges termőhelyi adottságú kategória esetében elvégeztük a szántóterület leválogatását. Ezt követően összeadtuk a térképeket, így lehatárolhatóvá váltak azok a területek, ahol az adott talajparaméterek között átfedés van. Az átfedések esetében az „ÉS” térinformatikai logikai műveletet alkalmaztuk, így

kikerültek az elemzésekből azok a területek, amelyek legalább egy paraméter tekintetében nem feleltek meg az adott kritériumoknak.

A továbbiakban a CarpatClim adatállománya alapján létrehozott fedvényeket szintén „ÉS” logikai művelettel adtuk össze, így az „alkalmas” és „preferált” területeket ábrázoló térképi fedvényeken fentüetésre kerültek az Ellenberg Index és a csapadékmennyiségek által klimatikus kockázatokkal bíró potenciális termesztési területek.

3.4. Az adatok kiértékelésének módszere

A kapott eredményeket Microsoft Office Excel program segítségével dolgoztam fel, a statisztikai elemzést pedig R szoftver alkalmazásával R Studio felhasználói környezetben végeztem el (*R Core Team, 2016*).

A mért paramétereket doboz- illetve oszlop diagramon ábrázoltam. A dobozdiagramokon a medián és interquartilis terjedelem értékeket tüntettem fel annak érdekében, hogy képet adhassak a mért adatok eloszlási viszonyairól. A mérési eredményekre vonatkozóan a főbb szóródás mutatókat (átlag, szórás, variancia) határoztam meg, amelyeket rendszerint táblázatos formában ismerttettem. Az összetett szénhidrátok egymáshoz viszonyított arányát háromszög diagramon ábrázoltam.

Az adott paraméter alapján az egyes minták között jelentkező statisztikai különbségek igazolására varianciaanalízist (ANOVA) alkalmaztam 5%-os szignifikancia szint mellett. Az ANOVA feltételrendszerének ellenőrzése érdekében a függetlenségvizsgálat és a kiugró értékekre keresésekor boxplot diagramot készítettem, a homoszkedasztikus vizsgálatára Levene-tesztet, míg a normál-eloszlás vizsgálatára Kolmogorov-Smirnov és Shapiro-Wilk tesztek alkalmaztam. Az ANOVA által bizonyított statisztikai különbségek számszerűsítése érdekében LSD középérték összehasonlító tesztet alkalmaztam. A cukor-felhalmozódási görbék vizsgálatára polinomiális regresszióanalízist végeztem. A polinomiális regresszió-analízis során a függvényképeket harmadfokú egyenletekkel határoztam meg, amelyet a mért értékek véletlen ingadozásából adódó függvénygörbe torzulások elkerülése indokolt. A harmadfokú egyenletek által az adott hibridek esetében várható görbék meghatározása lehetővé vált. A potenciális etanolhozamok és a zöldhozamok, illetve cukortartalmak közötti összefüggések tisztázására Pearson-féle korreláció-analízist alkalmaztam.

Az égéshő értékek és a keletkezett hamumennyiségek közötti kapcsolatokat vizsgálatára scatterplot diagramot alkalmaztam, ahol a tengelyek mentén elhelyezett dobozdiagramok az interkvartilis terjedelmeket és a mediánt jelölik. A Cellulóz Abszorpció Index kapcsolatát a mért cellulóz-tartalommal lineáris regresszió-analízis segítségével határoztam meg.

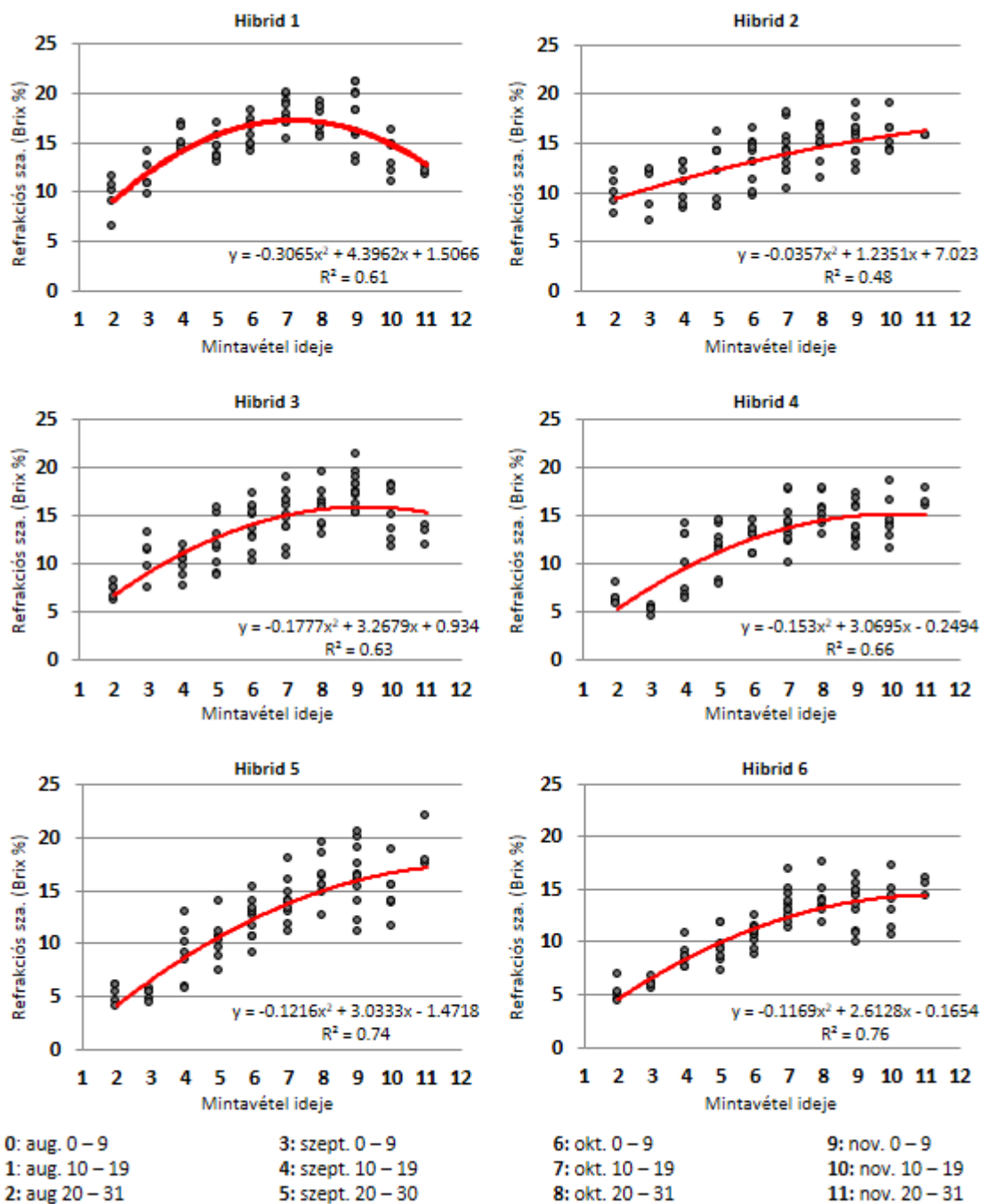
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. A cirokfélék energetikai vizsgálatának eredményei

4.1.1. A silócirok hibridek etanol-hozamainak értékelése

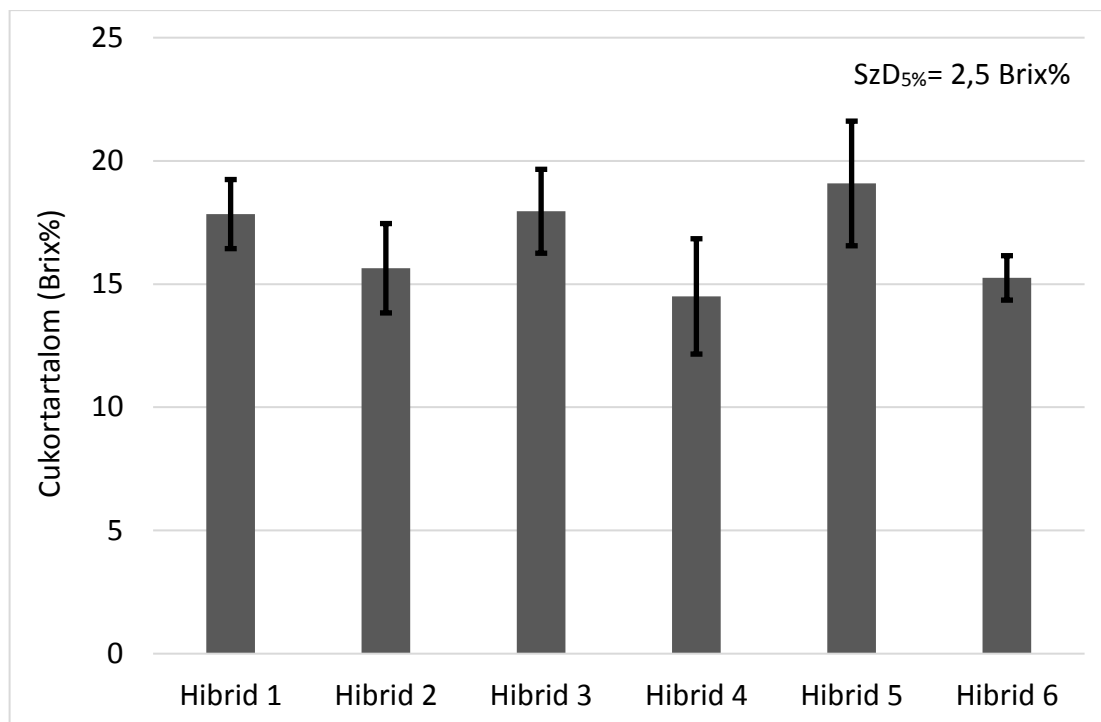
A mért adatok alapján megállapítható, hogy a vizsgálatok tárgyát képező hibridek között különbségek mutathatók ki a cukor-felhalmozódási dinamika jellegében. Ezek a különbségek a maximális cukortartalom mennyiségének, valamint a cukor-felhalmozódási görbe alakulásában is kimutathatók voltak. Tekintettel arra, hogy az elsőgenerációs bioalkohol előállításánál a magas cukortartalom – mint a fermentáció kiindulási anyagának mennyisége - egy kiemelten fontos szempont, a hibridek energetikai szempontú értékelésében is központi szerepet tölt be.

Barabás és Bányai (1985) szerint a cukor-felhalmozódási görbék jellemzően harang-görbe jelet mutatnak, amelynek csúcspontját a magok viaszérésének állapotában éri el a növény, így a hibridre jellemző maximális cukortartalom elérésének ideje szoros összefüggésben áll az adott hibrid tenyészidejének hosszával. Az eredmények ezen állítással összhangban vannak, ugyanis a vizsgált hibridek körében a Hibrid 1, mint középkorai éréscsoportba tartozó hibrid, érte el legkorábban a cukor-felhalmozódási görbe csúcspontját, míg más, hosszabb tenyészidejű hibridek esetében ez a maximális érték csak későbbi időpontokban volt meghatározható. (8. ábra) A jelenség alakulása különösen hangsúlyozott a Hibrid 2, Hibrid 5 és Hibrid 6 jelzésű hibridek esetében, ahol a görbék leszálló ága nem volt modellezhető a tenyészidőszak hosszából adódóan, ami a hibridek esetében a termőhely klimatikus sajátosságaiból is adódik, vagyis a szóban forgó hibridek számára a vizsgálati területen az őszi lehűlések következtében a fenológiai fejlődés jellemzően csak a viaszérés állapotáig volt lehetséges.



8. ábra: A cukorfelhalmozódási görbék alakulása a vizsgált hibridek esetében

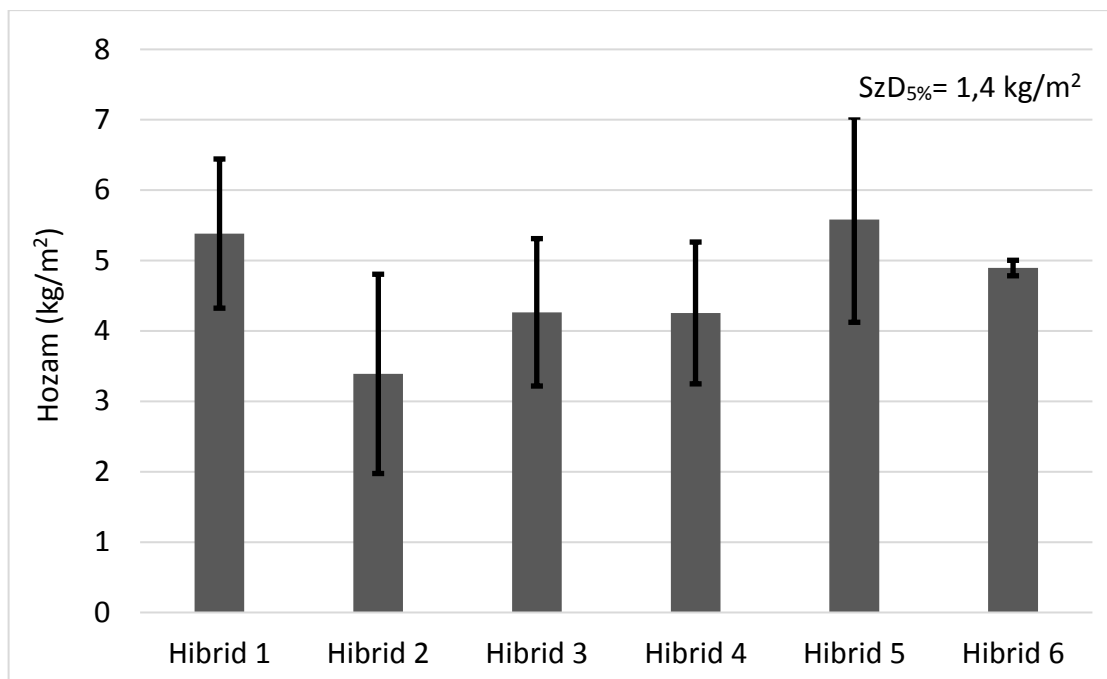
A görbejellegeken túlmenően különbségek mutatkoztak a maximális cukortartalom mennyiségének alakulásában is. A Hibrid 6 esetében a maximális cukortartalom 15,25 Brix% volt, míg a Hibrid 4 esetében ez 14,5 Brix% volt. Minden más hibrid esetében 15 Brix% feletti cukortartalmat határoztam meg. A felhalmozódási görbék csúcspontján mért értékek alapján megállapítottam, hogy a Hibrid 1 esetében az átlagos maximális cukortartalom 17,8 Brix%, míg a Hibrid 5 esetében ez az érték 19,1 Brix% volt. (9. ábra)



9. ábra: Az átlagos cukortartalmak alakulása a hibridre jellemző felhalmozódási csúcspontján

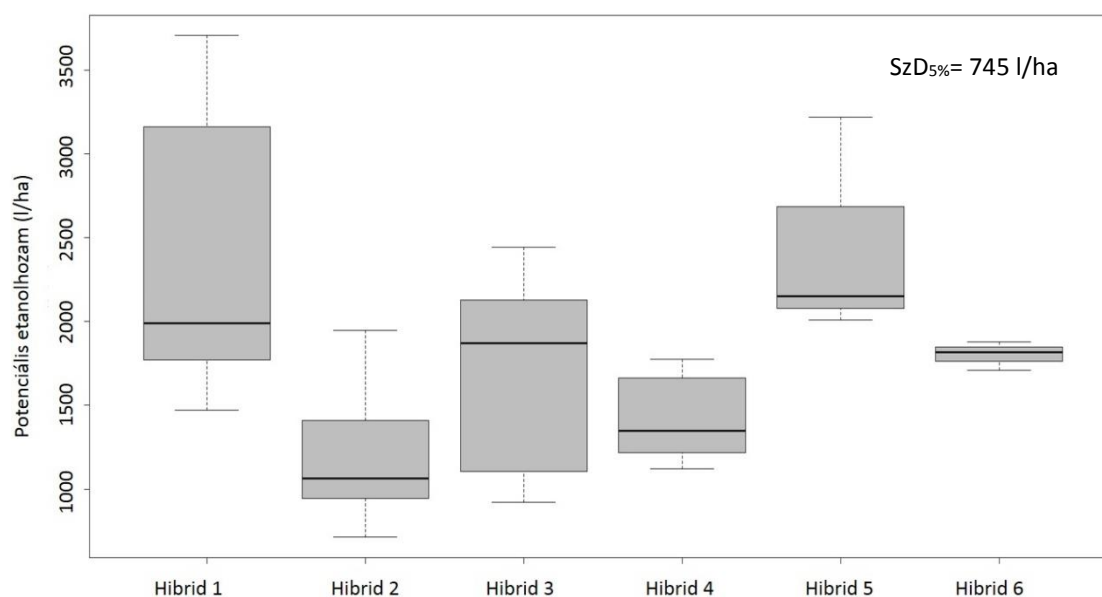
A cukorfelhalmozódási görbék maximumán mért értékek alapján megállapítható, hogy e paraméter alakulásában a hibridek között szignifikáns különbség van. A fentiek alapján fontos leszögezni, hogy a biohajtóanyag célú hasznosítás esetén fontos értékelési szempont az adott hibrid cukortartalma, amely tekintetben a hibridek között eltérés lehet. A maximális cukortartalom alakulása mellett egy igen fontos tényező a betakarításkori nedvességtartalom és hozam is. Vizsgálataink során a betakarított minták nedvességtartalma átlagosan 70% volt, továbbá e tekintetben a hibridek között szignifikáns különbség nem mutatkozott.

A hozamok tekintetében a vizsgált hibridek között szignifikáns különbségeket állapítottam meg, melynek eredményeképpen a vizsgálati szempont alapján a legkiemelkedőbb eredményeket a Hibrid 5 és Hibrid 1 jelzésű hibridek esetében mértem, míg a legkedvezőtlenebb értékeket a Hibrid 2 esetében határoztam meg. (10. ábra)



10. ábra: A hozamok alakulása cukorfelhalmozódási görbe maximumán

A cukorfelhalmozódási görbék csúcspontjain mért cukortartalmak alapján a területegységre vetített potenciális bioetanol-szolgáltatóképességben is jelentős eltérések alakultak. E mutató alakulásában is a Hibrid 1 és Hibrid 5 jelzésű hibridek emelhetők ki, amelyek átlagosan 2432 l/ha és 2460 l/ha potenciális etanolhozammal voltak jellemezhetőek. (11. ábra)



11. ábra: Az egyes hibridekre jellemző potenciális bioetanol-hozamok a cukorfelhalmozódási dinamika csúcspontját jelentő mintavételi alkalmakon

A variancianálízis alapján megállapítható, hogy a vizsgált hibridek között szignifikáns különbség van a cukorfelhalmozódási dinamika csúcspontjának időpontján potenciálisan előállítható bioetanol mennyiségét illetően, ahol a szignifikáns differencia értéke 745 l/ha. Az elemzés alapján a hibridek 1. táblázat szerinti rangsorolásba tehetők, ahol az egyes betűjelzések a szignifikáns differencia alapján elkülöníthető hibrideket jelölik. Az azonos betűjelzéssel ellátott hibridek esetében nincs szignifikáns különbség ($p \leq 0,05$).

1. táblázat: A vizsgált hibridek csoportosítása elsőgenerációs bioetanol-potenciáljuk alapján

Csoportok	Hibrid	Átlagos bioetanolhozam (l/ha)
a	Hibrid 5	2460
a	Hibrid 1	2432
ab	Hibrid 3	1716
b	Hibrid 4	1429
b	Hibrid 2	1205
b	Hibrid 6	1189

A számított SzD5% érték mellett a Hibrid 1 és Hibrid 5 hibridek képezték az „a” csoportot, amelyek a legkiemelkedőbbnek bizonyultak az elsőgenerációs alkohol

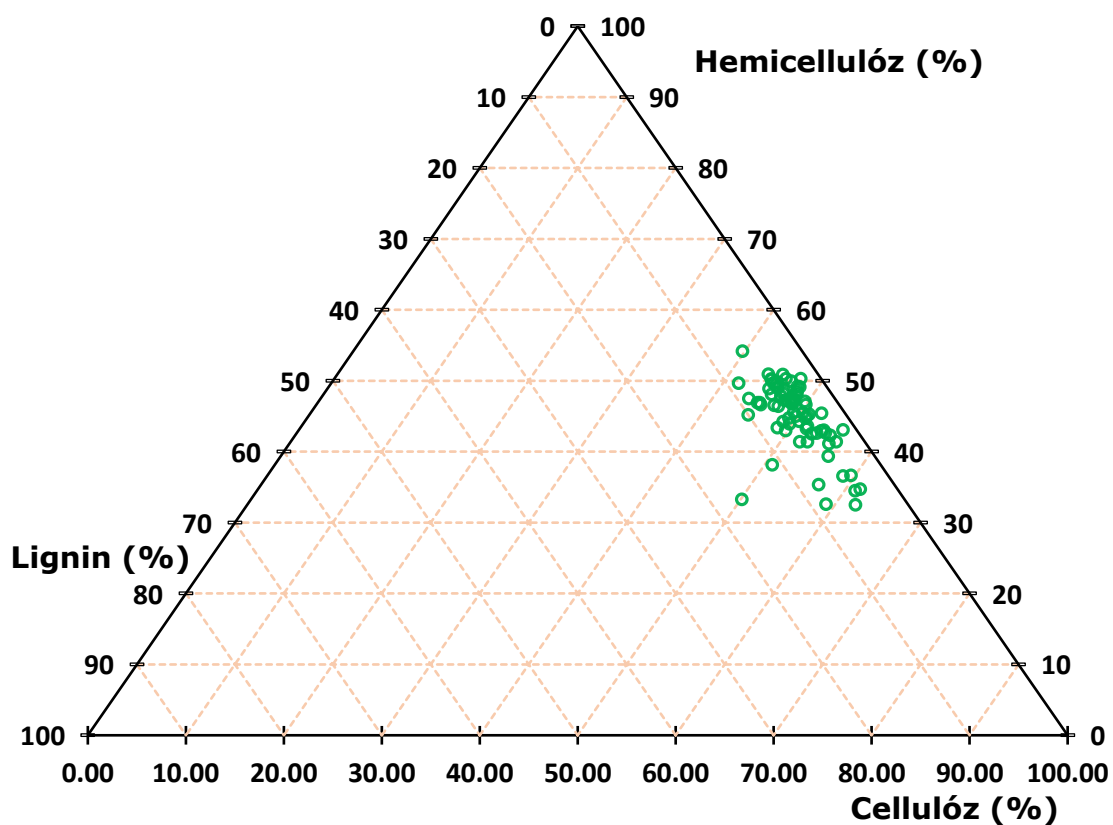
előállítás szempontjából, míg a Hibrid 2, Hibrid 4 és Hibrid 6 hibridek e specifikus céltermesztésre kevésbé alkalmasak. A Hibrid 3 jelzésű hibrid az adott szignifikancia szint mellett egyik csoporttól sem volt szignifikánsan elkülöníthető, vagyis a számított értékek intervalluma jelentős átfedést mutatott mind a két csoportra jellemző intervallummal.

A számított bioetanol-potenciálok alapján megállapítottam, hogy ezen érték egy erős összefüggés mutat az adott hibrid hozamával, míg a cukortartalommal való összefüggés elhanyagolható volt. A megállapítás alapját a Pearson-féle korrelációs együttható alakulása képezte, amely lényegesen erősebb lineáris kapcsolatot támasztott alá a bioetanol potenciál és a zöldhozamok között ($R=0,73$), mint a bioetanol potenciál és a cukortartalom viszonyrendszerében, ahol ez az együttható $R=0,38$ értéket vett fel.

A 11. ábrán részletezett elsőgenerációs alkohol hozamokat tehát szorosabb összefüggés jellemzi a betakarított hozamokkal, mint a mért cukortartalommal. Ez alapján megállapítható, hogy a cukortartalom megkérdőjelezhetetlen fontossága mellett a bioetanol célú növénynevelési tevékenységek során kiemelt figyelmet kell fordítani a hozamok alakulására is, amelyet jól alátámasztanak Hibrid 5 és Hibrid 1 esetében tapasztalt kedvező értékek is.

4.1.2. A cirokfélék lignocellulóz-tartalmának értékelése

A vizsgált minták eredményeinek összesített értékelése alapján megállapítható, hogy a cellulóz, hemicellulóz és lignin alkotta Neutral Detergent Fiber frakciók átlagosan 72 %-ban voltak jelen a mintákban. Megállapítást nyert, hogy a minták szárazanyag-tartalmának jellemzően 32%-a hemicellulóz, 36%-a cellulóz, 4%-a lignin, míg átlagosan 28 %-ban egyéb komponensek vannak jelen a növényi minták szárazanyagában. Az egyes szénhidrát polimerek mennyiségének egymáshoz viszonyított aránya a minták NDF tartalmára vonatkoztatva az 12. ábra szerint alakult. Tekintettel arra, hogy az NDF tartalom átlagosan 50%-ban cellulózból és 45%-ban hemicellulózból állt, megállapítottuk, hogy a cirokfélék préselési maradéka kifejezetten jó alapanyag lehet a második generációs bioalkohol-előállítás számára.



12. ábra: Az összetett szénhidrátok részarány a szárazanyagban a vizsgált hibridekben

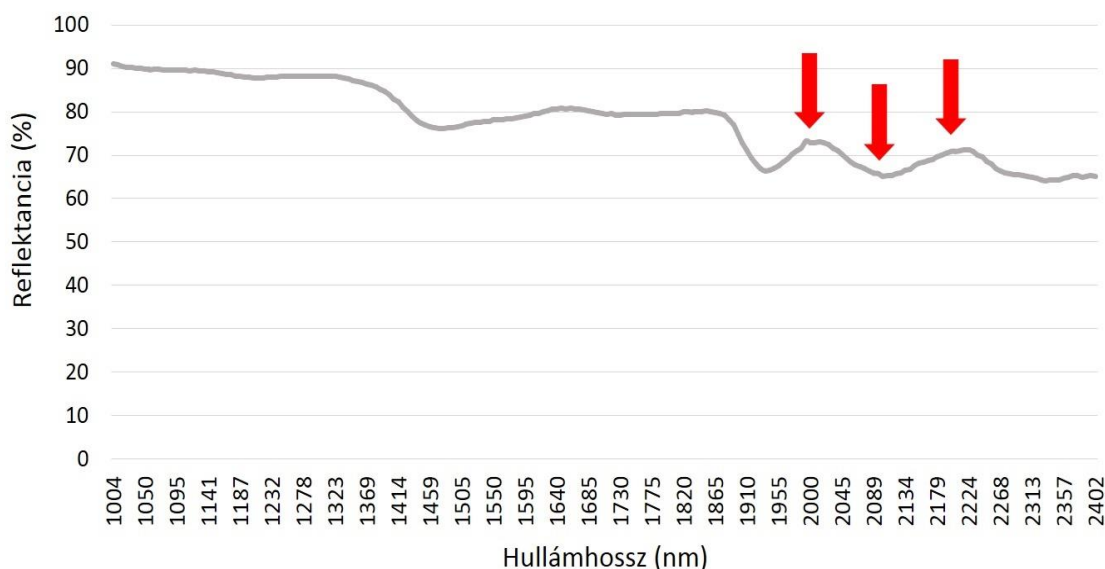
A varianciaanalízis eredményei alapján megállapítottam, hogy a hemicellulóz- és lignintartalom tekintetében a hibridek között nincs, szignifikáns különbség, míg a cellulóz-tartalom esetében a hibridek között szignifikáns eltérést igazoltam, amely alapján a vizsgált hibridek a 2. táblázat szerinti csoportosításba tehetők. Az azonos betűjelzéssel ellátott hibridek azonos csoportba sorolhatók a bagasz cellulóztartalma szempontjából, míg a több betűvel ellátott hibridek esetén az elkülönítés adott szignifikancia szinten ($p \leq 0,05$) bizonytalan.

2. táblázat: A vizsgált hibridek csoportosítása a bagasz cellulóztartalma alapján

Csoportok	Hibrid	Átlagos cellulóztartalom (%)
a	Hibrid 6	40,42
ab	Hibrid 2	36,39
ab	Hibrid 5	36,27
ab	Hibrid 4	35,28
b	Hibrid 1	32,88
b	Hibrid 3	32,87
SzD _{5%} = 4,9%		

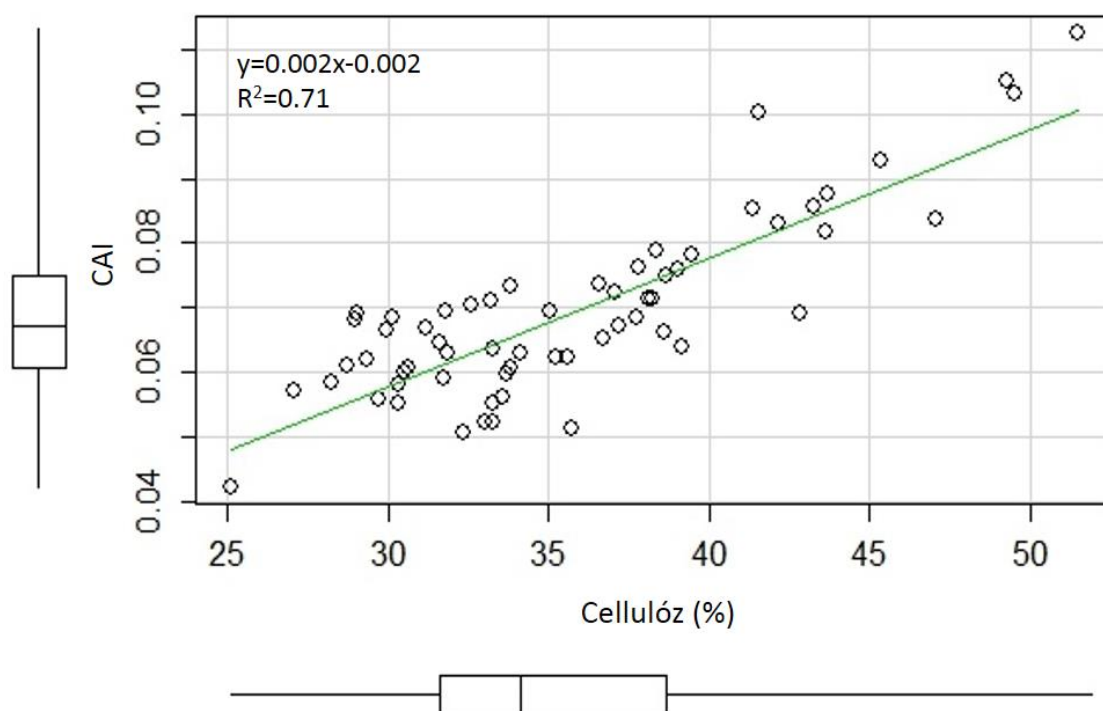
4.1.3. A rostfrakciók spektroszkópiai vizsgálatának eredményei

A cirokfélék etanol-célú hasznosítása során, a cukros lé kiperéselésének melléktermékét vizsgálva azt állapítottuk meg, hogy a 1000-2400 nm hullámhossz-tartományban a reflektancia spektrális görbéin két csúcs- és egy mélypontot azonosítottam. A két csúcspont 2000 nm és 2200 nm hullámhosszúságokon, míg a mélypont 2100 nm hullámhosszúságon volt detektálható. (13. ábra). Ezen a hullámhosszúságokon mérhető reflektancia értékek a cellulóz abszorpciós index számításának alapját képezik (Cellulose Absorption Index – a továbbiakban: CAI), amely index távérzékelte adatok alapján határozza meg a növényborítottság mértékét, annak szénhidrát-polimer tartalma alapján (Daughtry *et al.*, 1996).



13. ábra: A bagasz minták átlagos reflektancia értékeinek spektrális görbéje

A cellulóz-, illetve hemicellulóz-tartalom és az egyes hullámhosszúságokon tapasztalt reflektancia értékek között korrelációt nem találtam (2000 nm esetében $R^2=0,03$; 2100nm esetében $R^2=0,12$; 2200 nm esetében $R^2=0,04$). Ennek feltételezhetően az az oka, hogy a CAI alapvetően távérzékelte adatokra alapozott index, amely arra, hivatott, hogy a talaj elhalt növényi részekkel való borítottságát becsülje. Ez a becslés a talaj és növényi rész eltérő spektrális jellegeiből adódik, amelyben az elhalt növényi részek a cellulóz-tartalma meghatározó. Az indexet tehát nem közvetlenül a cellulóz spektrális jellegeire dolgozták ki, hanem magas cellulóz-tartalmú anyagok mennyiségi becslésére, ebből adódóan a minták cellulóz-tartalma jelen esetben túl szűk intervallumon belül változott, ami nem tette lehetővé a szélesebb skálán esetlegesen megjelenő összefüggések feltárását. Mindezek ellenére a mért reflektancia adatok felhasználásával további számításokat végeztem alapul véve a CAI alkalmazására vonatkozó tudományos eredményeket (Roberts et al., 1990; Roberts et al., 1993; Daughtry et al., 1996.; Nagler et al., 2003). A számított CAI értékek átlagosan $0,069 \pm 0,013$ értékkel voltak jellemezhetők, amely jelenség alátámasztja a feltételezést a cellulóz-tartalmak szűk intervallumára vonatkozóan, tekintettel arra, hogy ezen index értékei jellemzően -2 és 4 között alakulnak, ahol a negatív értékek a cellulóz hiányát jelölik a vizsgálati térben (Daughtry et al., 1996). Mind ezek ellenére az összesített eredmények azt támasztották alá, hogy a CAI és a bagasz cellulóztartalma között szoros korreláció van (14. ábra).



14. ábra: A cellulóz-tartalom és a CAI közötti korreláció

Az elemzések nem mutattak ki korrelációt az index értékek és a hemicellulóz-, illetve lignintartalom között ($R^2=0,01$, $R^2=0,00$), így a módszer alkalmas lehet a cellulóz-tartalom non-invazív becslésére. Fontos azonban megjegyezni, hogy a második-generációs alkohol vonatkozásában szintén jelentős hemicellulózra ezen index alkalmazásával nincs mód gyorsmérési eredmények előállítására.

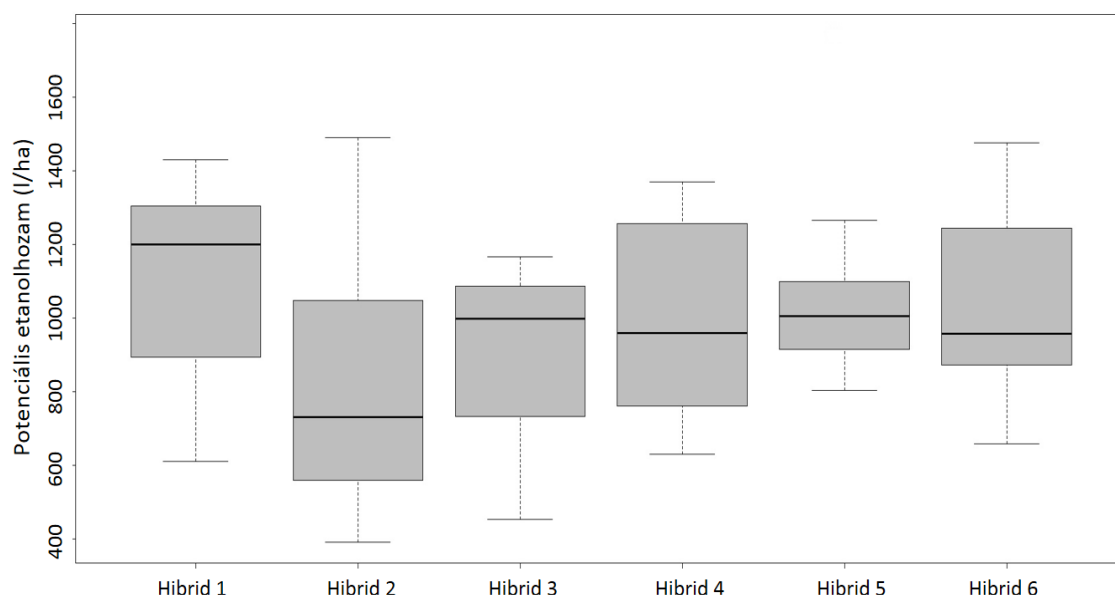
4.1.4. A vizsgált hibridek másodikgenerációs alkohol-hozamai

A második-generációs, vagyis a cellulóz és hemicellulóz alapú bioetanol potenciálokat tekintve megállapítást nyert, hogy a cukorcirok hibridek préselési maradék anyaga igen jelentős biohajtóanyag előállítás vonatkozásában. Ezt támasztja alá az a tény is, hogy minden vizsgált hibrid esetében az átlagos elméleti második-generációs bioetanol potenciál 900 l/ha fölött alakult, sőt egyes hibridek esetében (Hibrid 1, Hibrid 5, Hibrid 6) ez az érték több mint 1000 l/ha volt. (3. táblázat).

3. táblázat: A cellulóz és hemicellulóz alapú potenciális bioetanol-hozamok főbb statisztikai mutatói a cukor-felhalmozódás maximumának idején (l/ha)

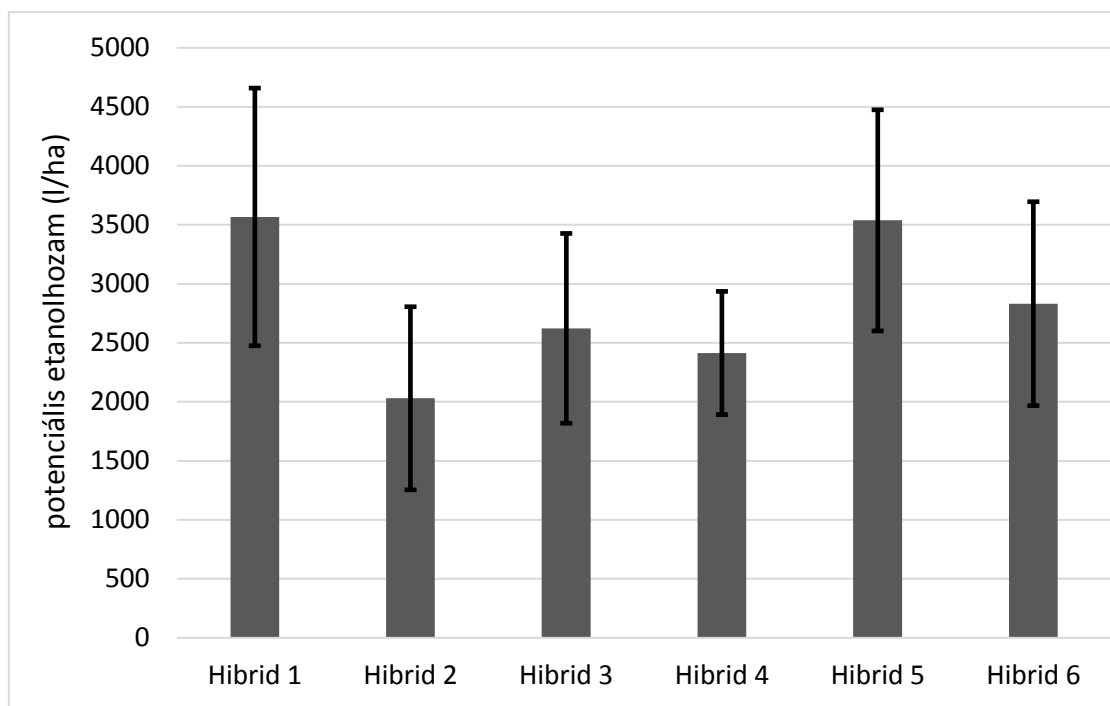
	Hibrid 1	Hibrid 2	Hibrid 3	Hibrid 4	Hibrid 5	Hibrid 6
Átlag	1126	825	907	985	1078	1030
Szórás	282	357	257	255	274	251
Minimum	611	391	452	630	804	658
Maximum	1431	1490	1167	1369	1769	1476

Az átlagos eredmények közel helyezkedtek el egymáshoz, sőt a szórás értékek is közel azonosak voltak, amely alapot képezett azon számítási eredményhez is, mely szerint a vizsgált hibridek között e tekintetben nincs szignifikáns különbség. (15. ábra) Ezek alapján megállapítható, hogy a cukros lé kipréselése után visszamaradó bagasz biohajtóanyag potenciálja közel azonos a hibrid megválasztásától függetlenül.



15. ábra: A cellulóz és hemicellulóz alapú potenciális bioetanol-hozamok főbb statisztikai mutatói a cukor-felhalmozódás maximumának idején

A 11. ábrán részletezett elsőgenerációs bioetanol potenciálokat összevetve az átlagos másodík-generációs bioetanol potenciálokkal megállapítható, hogy az egyes hibridek között igen jelentős különbségek vannak az összesített bioetanol potenciál tekintetében. A legkiemelkedőbb eredményekkel a Hibrid 1 (3567 ± 1092 l/ha), illetve Hibrid 5 (3538 ± 864 l/ha) hibridek rendelkeztek, míg a legkisebb összesített bioetanol-potenciállal a Hibrid 2 (2030 ± 776 l/ha) rendelkezett.



16. ábra: A vizsgált hibridek összesített potenciális bioetanol hozamai

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a Hibrid 1 és Hibrid 5 hibridek a legígéretesebbek a bioetanol előállítása szempontjából, azonban fontos megjegyezni, hogy a mért paraméterek alakulásában igen jelentős időbeni eltérés van. Ez azt jelenti, hogy bár mind a két hibrid kedvező tulajdonságokkal bír, a tenyésztidőszak hosszából adódóan bizonyos években a hibridben rejlő potenciál olykor nem használható ki. A koraőszi lehűlésből adódó kockázatoknak valószínűsége termőhelyenként változó lehet, amely további vizsgálatok tárgyát kell képezze, viszont mért paraméterek alakulása nem csak kockázatokat jelenthet. Amennyiben nagyobb kiterjedésű bioetanol célú ciroktermesztést folytatunk, úgy – a környezeti feltételekhez való alkalmazkodás mellett – célszerű lehet olyan hibridek blokkokban történő termesztése, amelyek különböző időpontokban érik el etanolszolgáltató-képességük maximumát ezzel is biztosítva a területegységről kinyerhető maximális bioetanol-hozamot a betakarítás ideje alatt.

4.2. A cirokfélék biomassa-tüzelési célú jellemzése

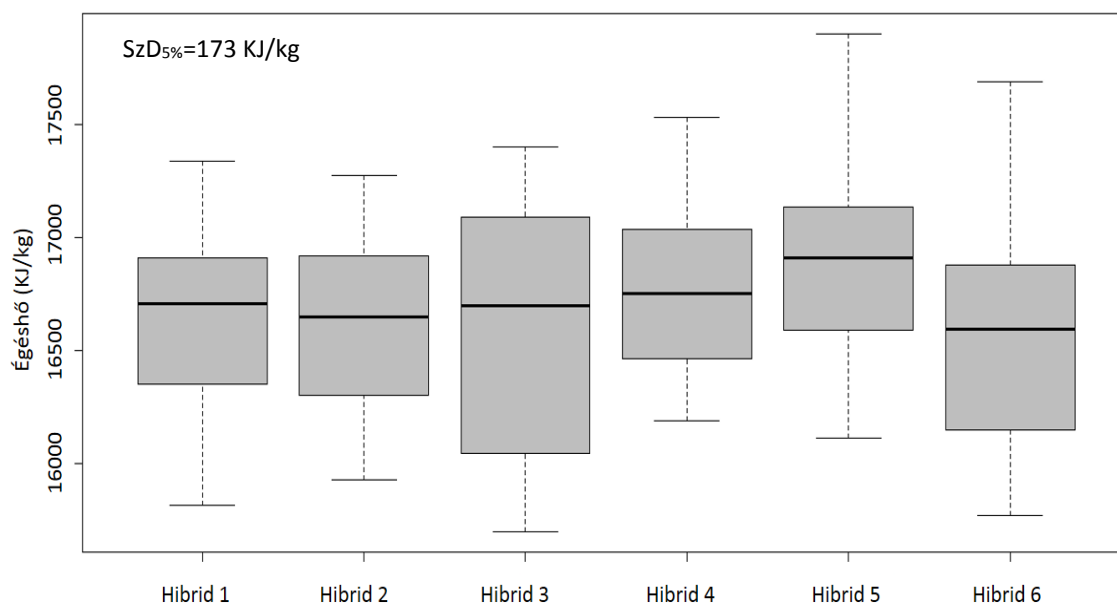
4.2.1. A cirokfélék kalorimetrikus égéshőinek értékelése

Amennyiben a cukorcirkot nem bioetanol előállítására használjuk, úgy annak tüzelési célú hasznosítása is számításba jöhet. Függetlenül azonban e döntéstől, a növényben rejlő energia mennyiségére vonatkozó információk mindenképp hasznosak lehetnek. A cirok minták kalorimetrikus égéshőire irányuló mérési eredmények 15699 KJ/kg és 17900 KJ/kg között változtak, jellemzően alacsony szórás értékek mellett. (4. táblázat) A Hibrid 5 jelzésű hibrid az égéshő értékek tekintetében is kiemelkedő volt 16876 KJ/kg átlagos égéshő érték mellett.

4. táblázat: A különböző hibridek égéshőinek leíró statisztikai mutatói (KJ/kg)

Hibrid	Átlag	Szórás	Minimum	Maximum
Hibrid 1	16752	361	15929	17272
Hibrid 2	16644	381	15814	17335
Hibrid 3	16570	443	15772	17688
Hibrid 4	16754	367	16190	17528
Hibrid 5	16876	408	16111	17900
Hibrid 6	16605	529	15699	17398

A boxplot diagram alapján megállapítható, hogy a kapott mérési eredmények többsége minden hibrid esetében 16400 KJ/kg és 17100 KJ/kg közötti tartományban volt (17. ábra). Ezen eredmények szoros összefüggést mutatnak *Türe et al. 1997*-ben publikált eredményeivel, amelyben a silócirok égéshő eredményei 16272 KJ/kg és 17210 KJ/kg értékek között változtak. Egyes hibridek, mint pl. a Hibrid 3 esetében igen széles tartományban mértem égéshő értékeket, amit jól szemléltet az értékcsoportha jellemző magas terjedelem, míg más hibridek pl.: Hibrid 6 esetén, egy az átlagostól nem kiemelkedően eltérő terjedelem mellett az értékek egy fokozottabb „elkenődést” mutattak, amit alátámaszt a hibrid égéshő-értékeire jellemző magas szórás is.



17. ábra. A hibridekre jellemző égésző értékek Boxplot diagramja

A mérési eredményeket varianciaanalízissel elemezve azt az eredményt kaptam, hogy a hibridekhez tartozó értékek között statisztikailag kimutatható különbség van.

Megállapítottam, hogy a hibridek közötti genetikai variabilitásból adódó különbségek a kalorimetrikus égésző értékek tekintetében az összes különbségek mindössze 5 %-át teszik ki ($H^2=0,052$). Az LSD teszt alapján kapott hibridcsoportokat az azonos betűk jelölik (5. táblázat). Az azonos betűjelzéssel ellátott hibridek szignifikánsan nem különböznek el egymástól. Az értékek alakulása, illetve a mérsékleten jelentkező szignifikáns különbségek összefüggést mutatnak a nemzetközi szakirodalomban közölt eredményekkel, ugyanis a silócirok kalorimetrikus égészőjét vizsgálva 16272 KJ/kg, illetve 18900 KJ/kg közötti értékekről is beszámoltak (*Türe et al., 1997; Rennie és Tubeilech, 2011; Carrillo et al., 2014*), amelyek alapján jelentős különbségek is feltételezhetők az egyes hibridek égészői – illetve energia-tartalma – között.

5. táblázat. Az LSD tesz eredménytáblázata a hibridekre vonatkozóan

Csoport	Hibrid	Átlag
a	Hibrid 5	16876
ab	Hibrid 4	16754
bc	Hibrid 2	16644
bc	Hibrid 1	16634
bc	Hibrid 6	16605
c	Hibrid 3	16570

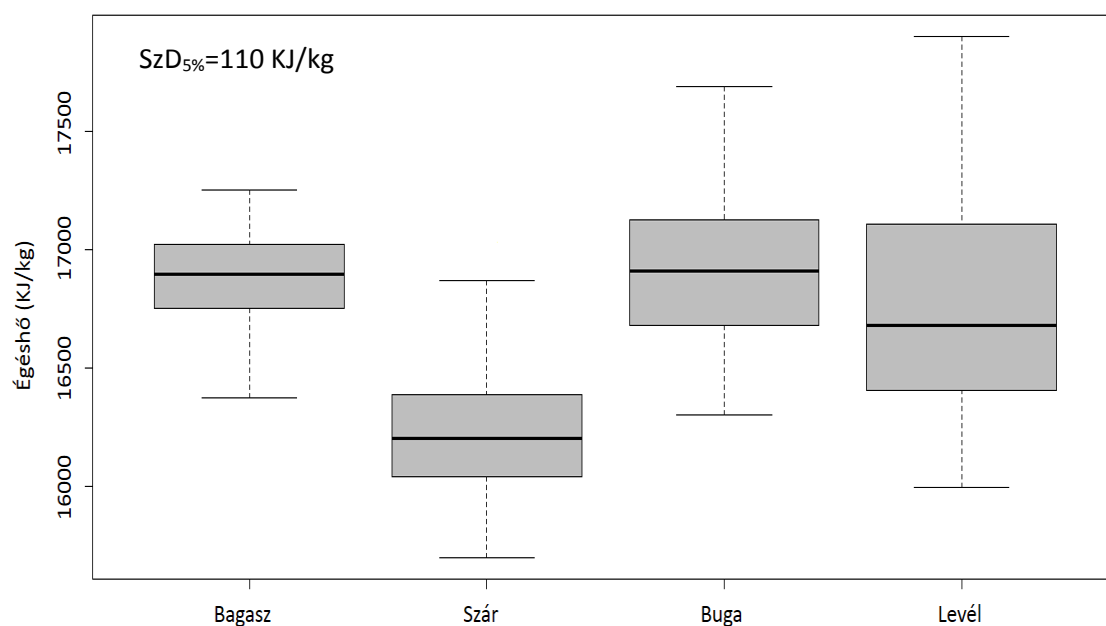
A kapott eredményeket a növényi részek kontextusában vizsgálva, ismételtlen meghatároztam a leíró statisztikai értékeket, amelynek során a vizsgálati csoportok a szár, a levél, a buga, valamint a bioetanol célú vizsgálatok alapanyag előkészítése során visszamaradt préselési maradék voltak. (6. táblázat) A bagasz átlagos égéshő értéke 16876 KJ/kg volt, ami lényegesen magasabb volt, mint a *Grover et al.* (2002) által közölt 13730 KJ/kg érték. Az eredmény igen jelentős energetikai potenciált feltételez ezen energetikai mellékterméknek, így megállapítottam, hogy az elsőgenerációs bioetanol előállítás során keletkező bagasz energetikai hasznosítása biomassa-tüzelés útján is perspektivikus lehet.

6. táblázat. A növényi részek égéshőinek leíró statisztikai mutatói (KJ/kg)

Növényi rész	Átlag	Szórás	Minimum	Maximum
Bagasz	16876	200	16376	17253
Szár	16242	295	15699	17011
Levél	16754	433	15996	17900
Buga	16926	316	16302	17688

Az értékek boxplot diagramon való ábrázolásából jól látszik, hogy a száraz égéshő értékei alacsonyabbak voltak, mint a levelek, vagy a bugák égéshői. A préselési maradék értékei meghaladták még a szár égéshőit is, ugyanis az átlagnál kisebb terjedelemmel 16862 KJ/kg átlagos égéshő értéket ért el (18. ábra). Különös figyelmet érdemel a buga magas energiatartalma, ami vélhetően a magokban lévő keményítőből adódik. A cirokmagvak biomassa-tüzeléssel történő hasznosítása gazdasági, élelmiszeripari és takarmány-előállítási aspektusok figyelembevételével nem lehet releváns megoldás, azonban a potenciális energiatartalom ismerete hasznos támpont lehet, amennyiben külső tényezők

a cirokmagvak jelentős tételének elégetését szorgalmazzák (pl.: ha egy fertőző ágens miatt a tétel megsemmisítendő).



18. ábra. A növényi részekre jellemző égőshő értékek Boxplot diagramja

A mérési eredményeket varianciaanalízissel elemezve azt az eredményt kaptam, hogy a különböző növényi részekhez tartozó értékek között statisztikailag kimutatható különbség van legalább két növényi rész égőshő értékeinek középértéke között.

Továbbá az eredmények alapján megállapítható, hogy az egyes növényi részek közötti különbségek a kalorimetrikus égőshő értékek tekintetében az összes különbségek 40 %-át teszik ki ($H^2=0,402$). Az LSD teszt alapján a növényi rész, mint csoportosító tényező három csoportot eredményez, amelynek során a buga és a bagasz azonos csoportot képez. (7. táblázat)

7. táblázat. Az LSD teszt eredménytáblázata a növényi részek égőshő értékeire vonatkozóan

Csoport	Növényi rész	Átlag
a	Buga	16926
a	Bagasz	16876
c	Levél	16754
d	Szár	16242

4.2.2. A cirokfélék égéshőinek összevetése egyéb energiahordozók égéshőivel

A vizsgált növénytermesztési melléktermékek égéshő eredményei alapján elmondható, hogy a kukorica esetében számítottam a legmagasabb átlagos égéshőt, míg 14388 KJ/kg átlagos érték mellett a napraforgó melléktermékeire voltak jellemzőek a legkisebb értékek. A búzaszalma égéshői kis terjedelem, és alacsony szórás mellett 16545 KJ/kg átlagértékek köré koncentráálódtak (8. táblázat).

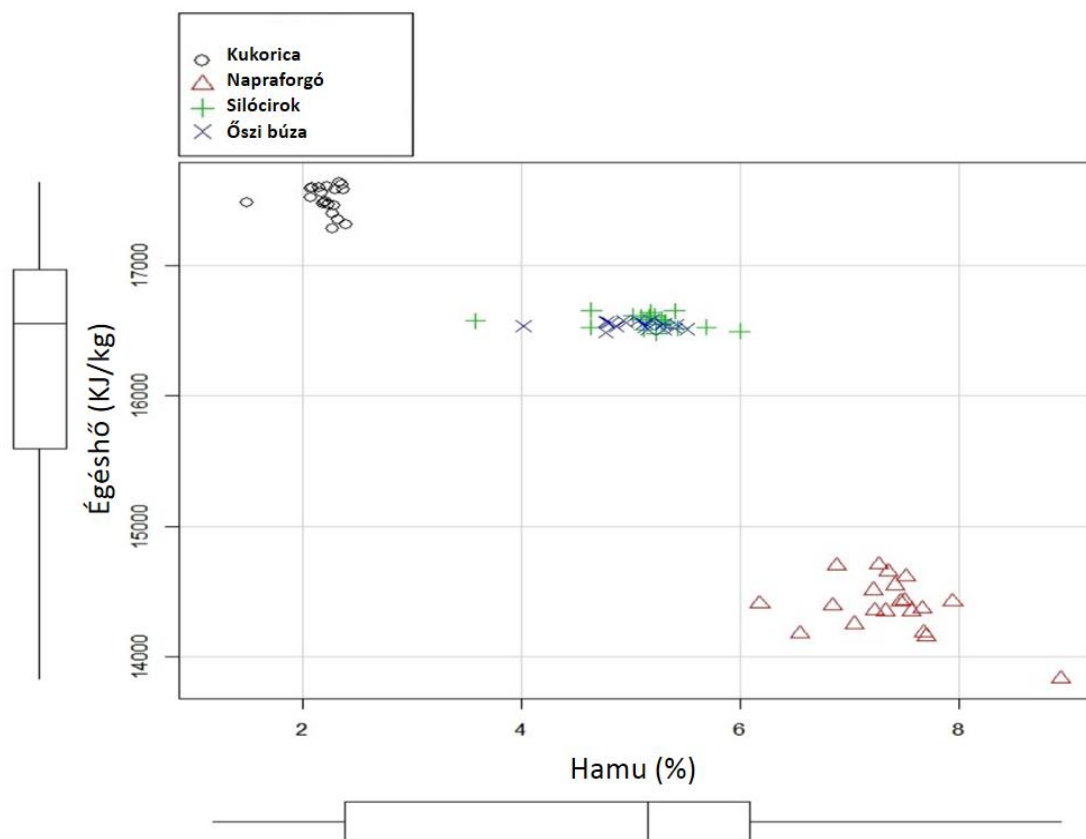
8. táblázat: A vizsgált növénytermesztési melléktermékek esetében mért égéshők legfontosabb statisztikai mutatói (KJ/kg)

		Égéshő (KJ/kg)	Hamu (%)
Kukorica	Átlag	17508.85	2.20
	Szórás	104.32	0.19
Búza	Átlag	16545.15	4.85
	Szórás	27.30	0.92
Napraforgó	Átlag	14388.40	7.36
	Szórás	210.61	0.56
Silócirok	Átlag	16573.85	5.14
	Szórás	51.50	0.47
SzD_{5%}		76.26	0.38

A négy vizsgálati anyagkör eredményei igen jól elkülönültek egymástól, amelyek között a legkisebb szignifikáns differencia értéke 76,26 KJ/kg volt. Az égetés során visszamaradt hamu tömegszázalékos mennyiségének tekintetében szintén elkülönültek a vizsgálati anyagcsoportok. A legtöbb hamu a napraforgó esetében keletkezett, amely 7,36%-os átlagos hamumennyiséggel volt jellemezhető, míg a kukorica esetében 2,2%, a búza esetében 4,85 % volt ez az érték. A kukorica esetén kihangsúlyozandó, hogy az igen alacsony átlagos hamuérték mellett, igen kicsi terjedelem, illetve kis szórás és variancia jellemezte ezt az anyagcsoportot.

Az égéshő értékeket és a hozzájuk tartozó hamutartalmakat diagramon ábrázolva elmondhatjuk, hogy az égéshők tekintetében az értékek 13827 KJ/ kg és 17643 KJ/kg minimum, illetve maximum értékek között voltak. Ezen két szélsőérték között az értékek fele a 16549 KJ/kg medián és a maximum érték között koncentrálódtak (19. ábra). A hamuértékek 1,18% és 6,18% között változtak, amely szélsőértékek között a mérési

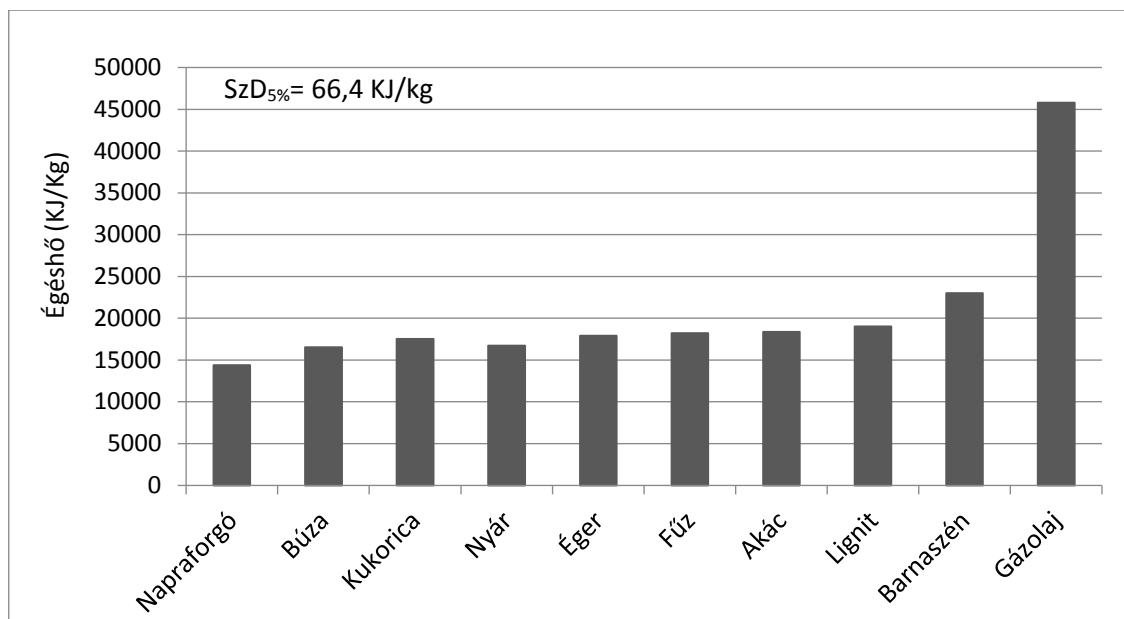
eredmények fele az 5,10% medián és a maximum érték között volt. A silócirok esetében mért égéshő értékek a búza melléktermékek esetében mértekkel közel azonosak voltak.



19. ábra: Az egyes mellékterméktípus égéshői és a hozzájuk rendelhető hamutartalmak összefüggései

A mérési eredmények mind az égéshők, mind a hamumennyiségek tekintetében melléktermék-típusonként jól elkülöníthető csoportokat képeztek.

A növénytermesztési melléktermékek esetében tapasztalt égéshő értékeket egyéb fűtőanyagok égéshőivel összevetve megállapítható, hogy a fosszilis tüzelőanyagok fajlagos energiamennyiségét ugyan nem éri el, de a fás szárú alapanyagok égéshőit megközelítik, sőt egyes esetekben akár meg is haladhatják azokat (20. ábra). A búza betakarítási maradékainak átlagos égéshője megközelítette a nyárfa esetében tapasztalt átlagos értéket, amely fatípus puha lévén lényegesen alacsonyabb égéshő értékkel bírt.



20. ábra: A vizsgált anyagok átlagos égészői

A kukorica betakarítási melléktermékeinek átlagos égészője már meghaladta a nyárfa esetében tapasztalt átlagos értéket, sőt megközelítette az égerfa esetében tapasztalt átlagos értéket (17900 KJ/Kg) is. A varianciaanalízis eredményeként a vizsgált anyagok az 9. táblázat szerinti rangsorolásba csoportosíthatók.

9. táblázat: A vizsgált anyagok sorrendje átlagos égészőik alapján

Csoportok	Vizsgált anyagok	Átlagos égésző értékek (KJ/Kg)
a	Gázolaj	45800
b	Barnaszén	23010
c	Lignit	19010
d	Akác	18370
e	Fűz	18200
f	Éger	17900
g	Kukorica	17510
h	Nyár	16710
i	Búza	16550
j	Napraforgó	14390

Az alkalmazott szignifikancia szinten minden anyag jól elkülöníthető csoportot képez az energiatartalom szempontjából, tehát az anyagokat eltérő energiasűrűség jellemez. A

gázolaj kiemelkedő átlagos égéshő értékkel jellemezhető (45800 KJ/Kg), és bár a bioenergia előállítás alapanyagául szolgáló anyagok égéshő értékei ettől lényegesen elmaradtak mégis jelentős perspektívát képviselnek a kapott eredmények. A vizsgált anyagok a gyakorlati hasznosítás szempontjából ugyan három csoportba rendezhetők (fosszilis tüzelőanyagok, fás szárú növények és növénytermesztési melléktermékek), méréseink alapján azonban olykor jelentős különbség jelentkezik az energiasűrűség tekintetében. A faanyagok csoportján belül ez szoros összefüggést mutat a sűrűséggel, amely alátámasztja azt a tényt is, hogy az átlagosan 770 kg/m³ sűrűséggel jellemezhető akác - mint nehéz fa - magasabb égéshő értékekkel bír, mint a könnyű fának számító nyár (Firbás, 1999). A statisztikailag igazolható különbségek mellett azonban az is megállapítható, hogy a növénytermesztési melléktermékek égéshője nem marad el jelentős mértékben a fás szárú növényekétől.

A biomassza alapú energiaelőállításban jellemzően fás szárú alapanyagokat használnak fel. Mindezek ellenére igen komoly potenciál rejlik a lágyszárú növények melléktermékeiben is, amelyet a mérési eredmények is alátámasztanak. 16550 KJ/Kg, valamint 17510 KJ/Kg átlagos égéshő érték mellett a búza és a kukorica betakarítási melléktermékeiből készült brikett vagy pellet kiváló alapanyaga lehet a biomassza alapú fűtési rendszereknek, sőt – tekintettel arra, hogy ezek a melléktermékek igen jelentős mennyiségben keletkeznek minden évben – akár a lakossági felhasználásra történő értékesítés is ökonómiai megfontolás tárgya lehet.

A FAO (11) adatai 2005-2014 időszakra vonatkozó adatai alapján a kukorica, az őszi búza és a napraforgó összes termés mennyisége jelentős változást nem mutatott (10. táblázat).

10 táblázat: Szántóföldi növények termés mennyiségei és melléktermék-mennyiségei (kt)

	Kukorica	Búza	Napraforgó
Átlagos összes termés mennyiség	7359,5	4568,5	1281,6
Összes termés mennyiség szórása	1785,1	642,8	203,5
Becsült minimális melléktermék mennyisége	7359,5	7778,7	2091,0
Becsült maximális melléktermék mennyisége	17172,2	9708,0	2487,8

Az Asif et al. (2012), Gholinezhad et al. (2009) és Ion et al. (2015) által közölt Harvest Index értékek alapján a növény-specifikus melléktermékek számított mennyiségei 1281,6 kt és 7359,5 kt között alakultak. Ezen adatok alapján a napraforgó termesztéséből adódó

melléktermékek országos energiapotenciálja 18440,2 TJ, a búzáé 75585,8 TJ, míg a kukorica esetében ez 128871,4 TJ. A számított energiapotenciál értékek alapján az Európai Unió által életre hívott direktíva teljesítése érdekében a mezőgazdasági melléktermékek tudatos menedzsmentje komoly potenciált jelenthet.

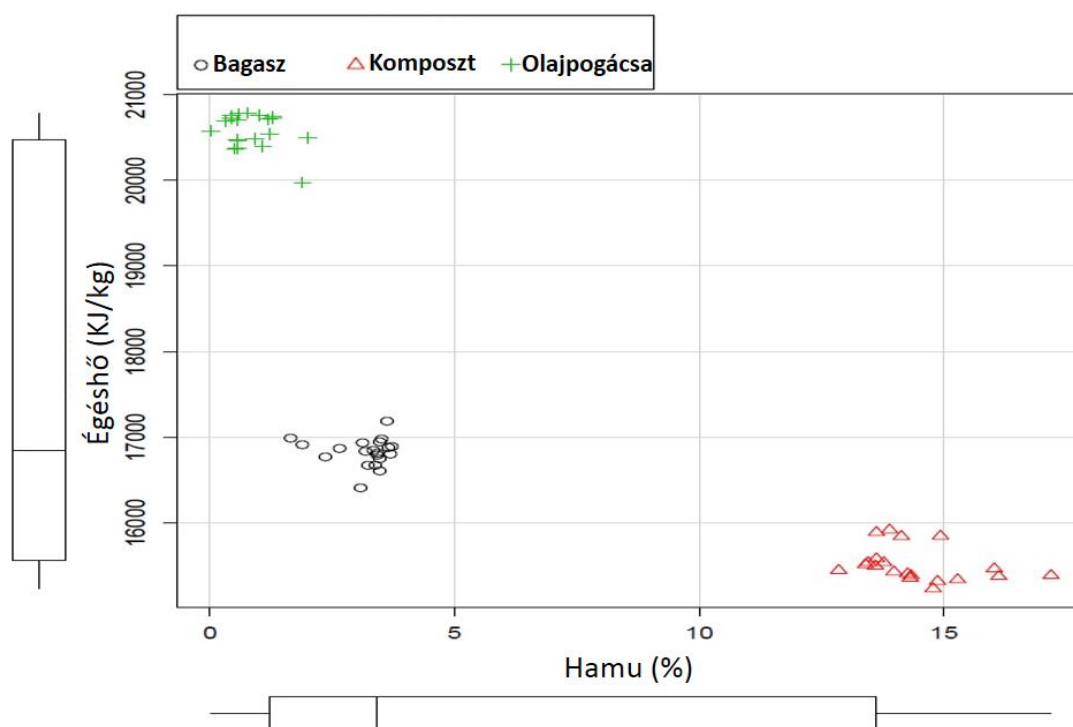
Megállapítható tehát, hogy a másodnyersanyag-gazdálkodáson alapuló energia rendszerek igen komoly jelentőséggel bírhatnak. Ennek tükrében a bioenergetikai melléktermékekben rejlő energiamennyiségek releváns meghatározása és koncepcionális hasznosítása lényeges mértékben javíthatja a biomassa alapú energia-előállítás hatékonyságát. A vizsgált energetikai melléktermékek égéshő eredményei alapján megállapítottam, hogy az olajpogácsa rendelkezik a legmagasabb átlagos égéshő értékkel, amely 20577 KJ/kg volt, míg a 15515 KJ/kg átlagos égéshő érték mellett a komposztra kisebb értékek voltak jellemzőek. Az olajpogácsa maga égéshő értékének alakulásához feltehetően annak olajtartalma is hozzájárult, amelyet alátámaszt *Fassinou et al.* (2010) eredményei is, miszerint a napraforgóolaj kalorimetrikus égéshője 38930 KJ/kg.

A vizsgálati anyagcsoportok eredményei igen jól elkülönültek egymástól, amelyek között a különbség szignifikáns. Az égetés során visszamaradt hamu tömegszázalékos mennyiségének tekintetében szintén elkülönültek a vizsgálati anyagcsoportok. A legtöbb hamu a komposzt esetében keletkezett, amely 14,42%-os átlagos hamumennyiséggel volt jellemezhető, míg az olajpogácsa esetében ez az érték 0,86% volt. A különbség az anyagok között ebben a tekintetben is szignifikáns volt (11. táblázat).

11. táblázat: A vizsgált melléktermékek esetében mért égéshő értékek és visszamaradt hamumennyiségek legfontosabb statisztikai mutatói

		Égéshő (KJ/kg)	Hamu (%)
	Átlag	20576,70	0,86
Olajpogácsa	Szórás	203,47	0,51
	Variancia	813,00	1,98
	Átlag	15514,55	14,42
Komposzt	Szórás	202,78	1,07
	Variancia	686,00	4,34
	Átlag	16830,80	3,16
Bagasz	Szórás	163,28	0,58
	Variancia	776,00	2,07
SzD5%		120,80	2,00

Az égéshő értékeit és a hozzájuk tartozó hamutartalmakat diagramon ábrázolva, az égéshők 15232 J/g és 20787 KJ/kg minimum, illetve maximum értékek között voltak. A vizsgált anyagcsoportok mind az égéshő értékek, mind a keletkezett hamu mennyiségének vonatkozásában is elkülönültek. A hamuképződés során a kiindulási termékek töménysége az elemek tekintetében jelentősen nő, így bizonyos elemek igen nagy mennyiségben lehetnek jelen.

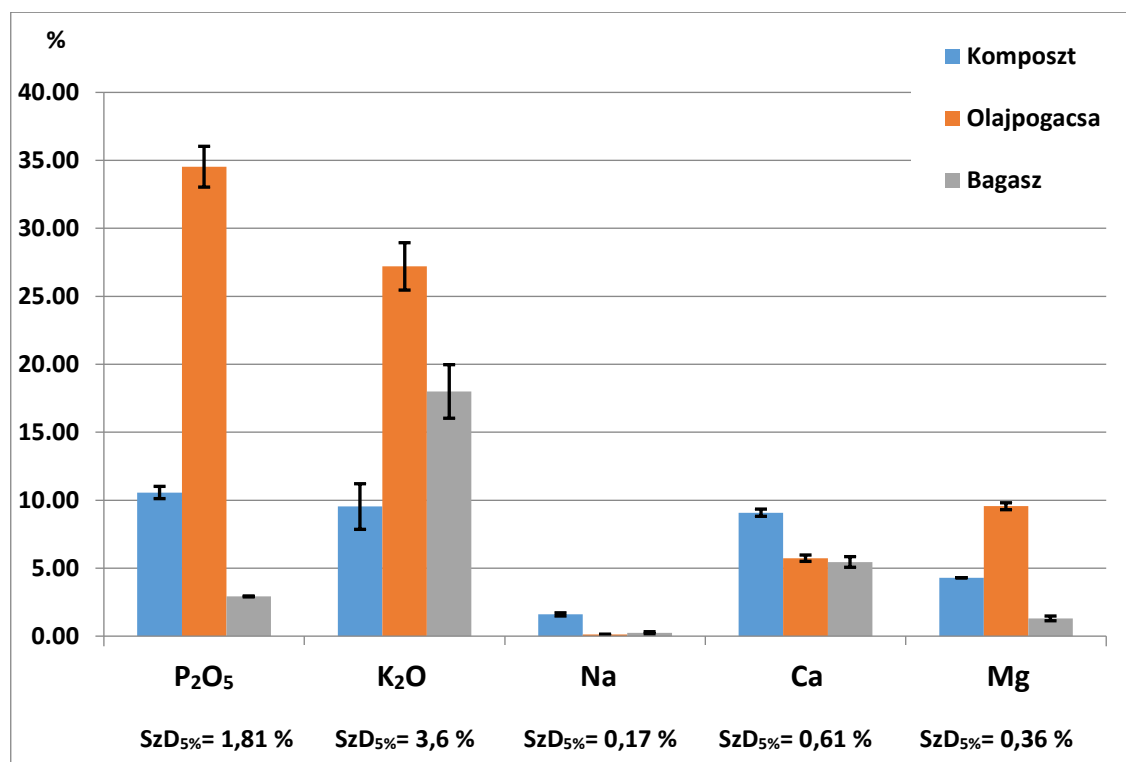


21. ábra: Az egyes mellékterméktípus égéshői és a hozzájuk rendelhető hamutartalmak összefüggései

4.2.3. A biomassza-tüzelés során visszamaradó hamu elemtartalmának értékelése

A hamumaradékok jó foszfor- és káliumforrások, mindamellet kielégítő mennyiségű Ca és Mg tartalmaznak, melyek a tápanyag-gazdálkodásban fontosak lehetnek. A talajba való kijuttatásuknál elsősorban a két legnagyobb arányban előforduló tápelem, a P és K a mérvadó, tekintettel arra, hogy e hamumaradékok P és K tartalma a foszfor- és káliumműtrágyák hatóanyagtartalmával egyenértékű. A foszfortartalom esetében a három bioenergetikai melléktermék igen jelentős eltéréseket mutatott. A komposzt átlagosan 10,57% foszfortartalommal bírt, az olajpogácsa 34,53 % értékkel volt jellemezhető, míg a bagasz esetében csupán 2,93% értéket mértünk (22. ábra). 27,2% átlagos káliumtartalom mellett ebben a tekintetben az olajpogácsa bizonyult a legkiemelkedőbbnek, míg

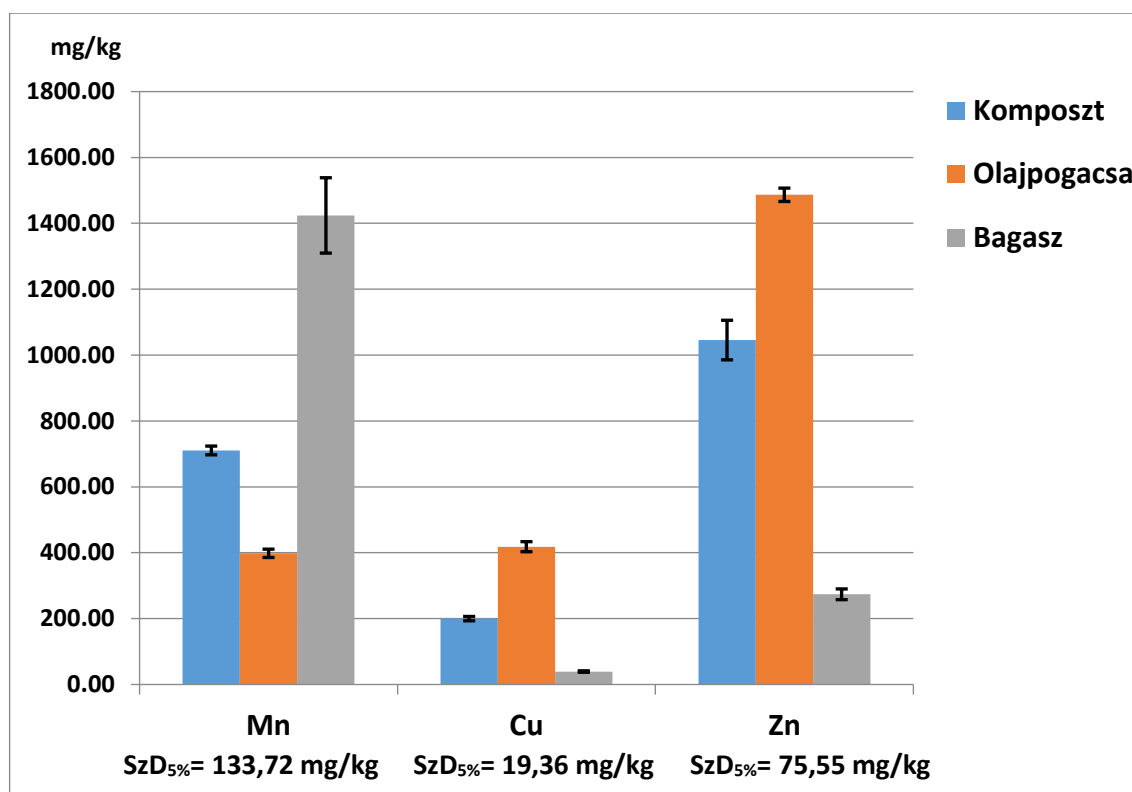
a bagasz esetében ez az érték 18%, a komposzt esetében pedig 9,53% volt. Legnagyobb mértékben ezeket az elemeket az olajpogácsa tartalmazza, amely a napraforgómag beltartalmi értékére vezethető vissza. A K-tartalom tekintetében a bagasz esetében tapasztalt érték kiemelkedő volt.



22. ábra: A főbb elemek százalékos mennyisége az égéstermékekben (%)

A Ca és Mg elemeknek a talaj porozitásának javításában lehet kedvező szerepük, különösen abban az esetben, ha a talaj Na-tartalma magas. Mind a három alapanyagtípus hamuja igen magas arányban tartalmazza ezen elemeket. A Ca-tartalom vonatkozásában a komposzt esetében mért 9,08% érték, míg a Mg esetében az olajpogácsa esetében tapasztalt 9,56%-os érték volt a legmagasabb átlagos előfordulási arány.

A Na-tartalom az olajpogácsa és a bagasz esetében alacsony volt, csupán a komposzt esetében mértünk 1,6%-os nátriumtartalmat, amely vélhetően a komposzt trágyatartalmával lehet összefüggésben tekintettel arra, hogy a komposztot egy mezőgazdasági alapanyagokat feldolgozó biogázüzem szilárd fázisából készült.



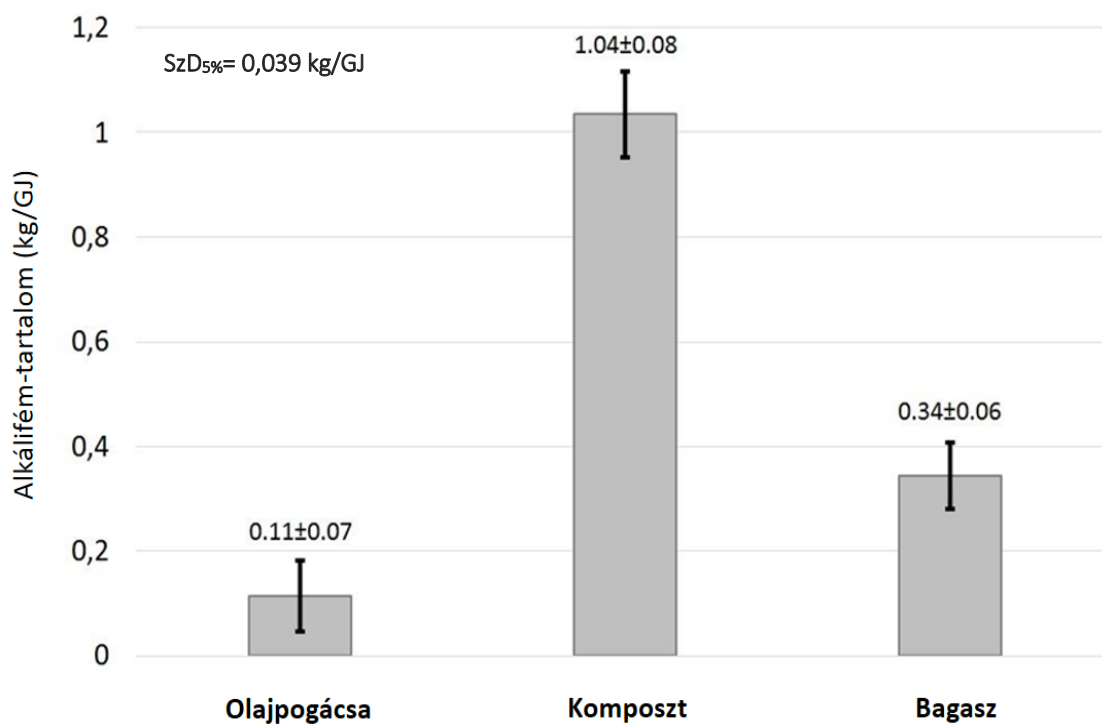
23. ábra: A Mn, a Cu és a Zn százalékos mennyisége az égéstermékekben (mg/kg)

A Mn-tartalom tekintetében igen jelentős eltéréseket tapasztaltunk, amit a magas SzD_{5%} érték is alátámasztott. A legmagasabb Mn-tartalommal a bagasz bírt 1424,06 mg/kg érték mellett, míg a komposzt esetében ez az érték 710,53 mg/kg, az olajpogácsa esetében pedig 398,22 mg/kg volt. (27. ábra) Megállapítható, hogy mind a három vizsgált mellékterméktípus hamuja kevesebb Mn-tartalommal jellemezhető, mint a fahamu, amelynek Mn-tartalma 4370 ± 2621 mg/kg (Someshwar, 1996). Az olajpogácsa réztartalma átlagosan 418,33 mg/kg volt, amely e tekintetben a legmagasabb értéknek bizonyult. A komposzt 199,93 mg/kg, a bagasz pedig 39,33 mg/kg réztartalommal volt jellemezhető a vizsgálati anyagok köréből. Someshwar (1996) munkájában a fahamura vonatkozóan $75,3 \pm 44,5$ mg/kg réztartalmat közölt, így az eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált anyagok közül a komposzt és az olajpogácsa hamui felülmúlják a fahamut, míg e tekintetben a bagasz elmarad a fahamutól. 1486,67 mg/kg átlagos cink-tartalom mellett az olajpogácsa értékei voltak a legkiemelkedőbbek, míg komposzt 1045,67 mg/kg cink-tartalommal bírt, a bagasz esetében pedig csupán 273,83 mg/kg Zn-tartalmat mértünk. A Zn-tartalom a hamuban az égetési hőmérséklet függvényében erősen változó lehet, tekintettel arra, hogy magas hőmérsékleten a Zn illékonyvá válik és ebben az esetben jellemzően inkább a pernyében halmozódik fel (Sano

et al., 2013). Tekintettel arra, hogy ez a jelenség jellemzően magas égetési hőmérsékleten következik be, a vizsgált melléktermékek hamui lényegesen magasabb koncentrációban tartalmaztak cinket, mint a fahamu (Someshwar, 1996).

A vizsgált mikroelemek relatíve kisebb előfordulással jellemezhetők a talajokban, így ha a kihelyezésnél a legnagyobb mennyiségben előforduló elemek tartalmára (P, K) vonatkoztatjuk a kezelési dózis nagyságát, akkor a mikroelemek is optimális mennyiségben jutnak a talajba. A Cu, Zn és Mn elemek a talajban kis mennyiségűek, a kijuttatásnál azonban a talaj pH értéke mellett réz esetében a talaj humusztartalmát is figyelembe kell venni a komplexképződés miatt, míg mangán és cink esetében a talaj agyagásvány összetételének ismerete fontos, ugyanis ezek az elemek beépülhetnek az agyagásvány interlamelláris rétegeibe.

A 4. egyenlet felhasználásával meghatározott energiaegységre vetített alkálifém-tartalmak a hamuféleségek esetében igen jelentős különbségeket mutattak (24. ábra).



24. ábra: A hamuféleségek alkálifém-tartalmának alakulása (átlag±szórás)

A salakosodási kockázatok tekintetében a komposzt 1,04 Kg/GJ alkálifém-tartalommal volt jellemezhető 0,16 Kg/GJ szórás mellett, amely érték a bioenergetikai melléktermékek között a legnagyobb volt. A bagasz esetében ez az érték 0,34±0,06 Kg/GJ volt, míg az olajpogácsa esetében 0,11±0,07 Kg/GJ. Miles és Miles (1995) szerint 0,34

Kg/GJ feletti alkálifém-tartalom már salakosodási problémákhoz vezethet a tartós biomassza tüzelési célú hasznosítás során, amelynek elkerülése érdekében a kockázatokat csökkentő beavatkozásokra van szükség. Ezek alapján a komposzt és bagasz tüzeléses hasznosítása esetén a salakosodási hajlam mindenképp kezelést igényel. A kockázatok mérséklése történhet vizes mosással, alacsony alkálifém-tartalmú tüzelőanyagokkal való keveréssel, vagy a magas alkálifém tartalmú komponens mennyiségének csökkentésével, amennyiben az égetés több alapanyag komponenst tartalmaz (*Miles és Miles 1995, Jenkins et al. 1996, Jenkins et al. 1998, Davidsson et al. 2002, Jenkins et al. 2003, Das et al. 2004, Higgins et al. 2011*).

4.3. A ciroktermesztés klimatikus és talajtani vonatkozásainak értékelése

4.3.1. Az energetikai célú ciroktermesztés klimatikus kockázatainak értékelése

A két évtizedet felölelő meteorológiai adatsor értékelése alapján megállapítható, hogy Karcagon a hőösszeg értékek 2683,9°C és 3304,9°C között alakultak a vizsgálati időszakban, amely intervallum egyezést mutat a *Faragó (1975); Horváth és Mikes (1981)* valamint *Késmárki (2005)* által közölt adatokkal. A feltárt összefüggések alátámasztják, hogy a magyar klimatikus viszonyok lehetővé teszik az egyes cirok hibridek termesztéséhez szükséges hőigények fedezését, de az egyes hibridek hőigényeiből adódó termesztési kockázatok különbözőek lehetnek az adott növény bázishőmérsékletétől függően. Tekintettel arra, hogy egy adott növényfajon belül igen eltérő bázishőmérséklettel jellemezhető egyedek lehetnek, az igények kielégítéséhez rendelkezésre álló effektív hőösszegek alakulásában is jelentős különbségek mutatkozhatnak egy adott éven belül. Mivel a bázishőmérséklet alatti hőmérsékleti tartományban a növény nem mutat fejlődést, megállapítható, hogy minél alacsonyabb a bázishőmérséklet, annál több hőösszeg áll rendelkezésre a termesztés során, sőt az alacsony hőkülönbözet a vegetációs időszak hosszát is növelheti. A vizsgálat tárgyát képező húsz évben május 1. és szeptember 30. között (153 nap) az átlagos effektív hőösszegek 792°C és 1810°C között alakultak a bázishőmérséklet alakulásának függvényében.

Az átlagos értékek megbízhatóságának ellenőrzése érdekében számolt átlagtól való átlagos eltérés értékek a bázishőmérséklet növekedésével párhuzamosan 8-16%-át tették

ki a számított átlagos értéknek, vagyis a bázishőmérséklet növekedésével a referencia időszak alapján számított effektív hőösszeg mennyiségek növekvő bizonytalansággal állnak rendelkezésre az évjáráthatás következtében.

Az effektív hőösszegek alakulásával párhuzamosan a hőközöbértékek változásával az egy éven belül a ciroktermesztésre potenciálisan rendelkezésre álló napok száma is csökkent, ami 133 nap és 153 nap között alakult. Ez azt jelenti, hogy a 8°C, 8,5°C és 9°C hőközöbértékek esetén az adott növény számára a feltételezett tenyészidőszak (május 1.-szeptember 30.) teljes hosszában hőközöbérték feletti átlaghőmérsékletű napokkal jellemezhető, míg bázishőmérséklet csökkenésével az átlaghőmérséklet szempontjából hasznos napok száma csökken. (12. táblázat) A jelenséget a május 1.-szeptember 30. periódusban időszakosan jelentkező enyhe lehűlések okozzák, amelyek a hőközöbérték alá csökkentik a tenyészidőszak egyes napjainak átlagos hőmérsékletét.

12. táblázat: Az effektív hőösszeg és a vegetációs időszak potenciális hosszának alakulása a bázishőmérséklet függvényében (május 1. – szeptember 30.)

Bázishő (°C)	Effektív hőösszeg (°C)				Vegetációs időszak potenciális hossza (nap)			
	Átlag	Szórás	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Minimum	Maximum
8	1810	145,6	1563	2097	153	0,22	152	153
8,5	1735	145,2	1493	2021	153	0,22	152	153
9	1660	144,8	1423	1946	153	0,45	151	153
9,5	1584	144,5	1353	1870	152	0,83	150	153
10	1509	144,0	1284	1795	152	1,06	150	153
10,5	1434	143,5	1215	1719	151	1,50	148	153
11	1359	142,9	1147	1644	151	2,03	146	153
11,5	1285	142,2	1079	1568	150	2,17	146	153
12	1211	141,2	1011	1493	149	2,62	144	153
12,5	1139	140,1	945	1417	147	3,41	140	153
13	1067	138,7	879	1343	145	3,63	138	151
13,5	996	136,9	814	1268	142	4,61	131	151
14	926	134,9	751	1195	139	4,95	129	149
14,5	859	132,8	690	1122	137	5,63	126	148
15	792	130,5	627	1052	133	6,20	123	143

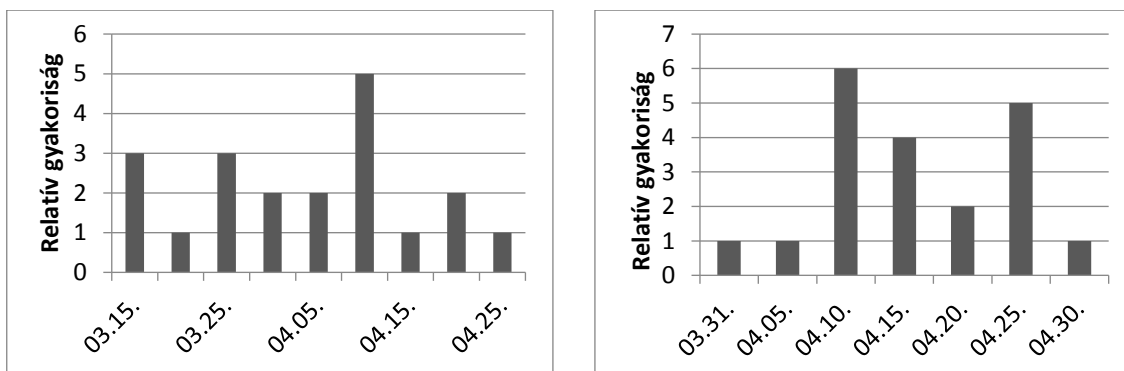
Amennyiben a vegetációs időszakot megnyújtjuk egy korai vetéssel (április 21.), illetve egy október 10-i betakarítási időponttal, úgy mind az effektív hőösszegek tekintetében, mind a vegetációs időszak hőmérsékleti szempontból hasznos napjainak számában kedvezőbb átlagértékekkel számolhatunk. Megjegyzendő azonban, hogy ezeknek a kedvező értékeknek a bizonytalansága is növekedést mutat, tekintettel arra, hogy a

tenyészedőszak koratavaszi, illetve késő őszi irányba való nyújtása növeli a lehűléssel jellemezhető napok kockázatát. ezek a kockázatok jellemzően a kelő növényállomány vitalitását vagy épségét, továbbá a betakarítás előtt álló állomány egyöntetű és gyors érését, vagy súlyos esetben betakaríthatóságát és a betakarított tétel minőségét veszélyeztetik.

13. táblázat: Az effektív hőösszeg és a vegetációs időszak potenciális hosszának alakulása a bázishőmérséklet függvényében (április 20. – október 10.)

Bázishő (°C)	Effektív hőösszeg (°C)				Vegetációs időszak potenciális hossza			
	Átlag	Szórás	Minimum	Maximum	Átlag	Szórás	Minimum	Maximum
8	1925	160,9	1658	2222	171	4,5	153	173
8,5	1841	159,8	1580	2136	171	4,7	153	173
9	1757	158,6	1502	2051	170	4,8	153	173
9,5	1673	157,3	1425	1966	169	5,0	153	173
10	1560	156,2	1348	1882	169	5,0	153	173
10,5	1507	155,0	1272	1798	167	5,5	150	173
11	1425	153,9	1197	1715	166	5,6	150	173
11,5	1343	152,7	1122	1632	165	5,8	150	173
12	1263	151,2	1048	1550	163	6,1	149	173
12,5	1183	149,3	975	1468	160	6,6	146	172
13	1105	147,2	909	1388	157	6,9	145	170
13,5	1028	144,9	832	1308	154	7,4	142	169
14	954	142,2	765	1229	150	7,8	140	167
14,5	881	139,3	700	1152	146	8,6	132	166
15	810	136,1	634	1076	142	8,9	129	160

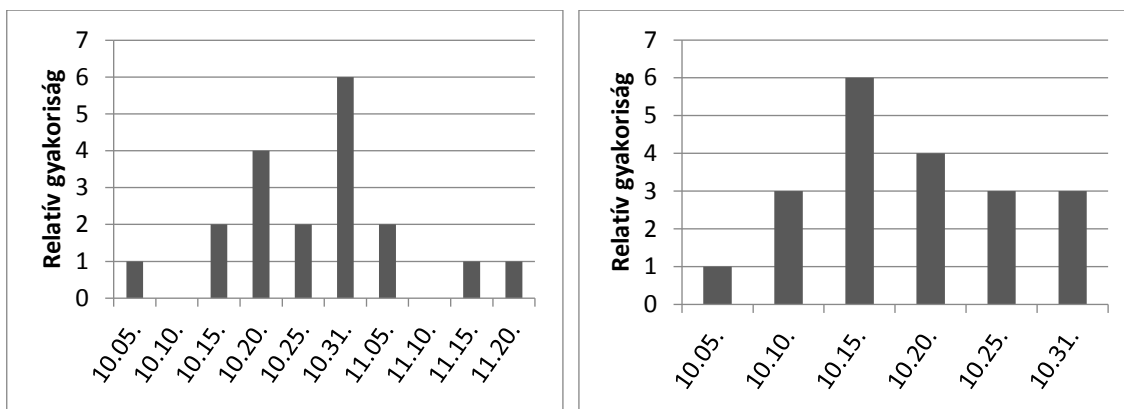
A karcagi térségben a referenciaidőszak alatt az utolsó tavaszi fagyokat március 10-e és április 20-a között regisztráltuk. Az esetek 40%-ában fordultak elő fagyok áprilisban, és egy évben rögzítettünk május 01. után jelentkező talajmenti fagyot. A késő tavaszi fagyok kialakulásának valószínűségét vizsgálva megállapítható, hogy április 05. és április 10. között a legnagyobb a lehetősége annak, hogy a levegő illetve a talajfelszín hőmérséklete térségünkben még utoljára fagypont alá süllyedjen (25. ábra). A vetést követő időszakban jelentkező fagypontot elérő vagy ahhoz közelítő lehűlés, igen komoly kárt tehet csírázó vagy kelő állományban, de vetést megelőzően jelentkező lehűlések is veszélyesek lehetnek különösen akkor, ha talaj lassabban tud felmelegedni.



25. ábra: A késő tavaszi fagy (balra) és késő tavaszi talajmenti fagy (jobbra) valószínűsége

A cirok csírázásához az elfogadható hőmérséklet a 12-14°C intervallum. Április 20-ig minden vizsgált évben elérte a talajhőmérséklet 10 cm mélységben a 12°C-ot, és a vizsgált évek 80%-ban a 14°C-ot is. Ezért a vetésidő megválasztása során olykor még a lassan felmelegedő, kötött talajokon is számításba jöhet az április vége, mint legkorábbi vetési idő, azonban a légkör időszakos lehűlésének kedvezőtlen hatásait ebben az időszakban mindenképp mérlegelni szükséges.

Mivel a különböző hosszúságú tenyészidőszakkal rendelkező hibridek eltérő időpontokban érik el a cukor-felhalmozódás maximumát, indokolt lehet az eltérő hosszúságú tenyészidőszakkal rendelkező hibridek blokkokban történő vetése, amely lehetővé tehetné, az üzemi igényekhez alkalmazkodóan, a maximális cukorhozamot a betakarítási időszak során. A magyarországi klimatikus viszonyok között ebben a hőmérséklet alakulása jelenthet akadályt, ugyanis az ősz gyakran igen jelentős hőmérsékletcsökkenést eredményez már októberben is. Az elmúlt két évtizedre vonatkozó mérések alapján (26. ábra) az esetek 70%-ában jelentkeztek az őszi fagyok már októberi hónap folyamán, míg a talajmenti fagyok tekintetében két alkalommal október 31-én, míg minden más esetben ezt megelőzően jelentkeztek az első talajmenti fagyokat hozó őszi napok.

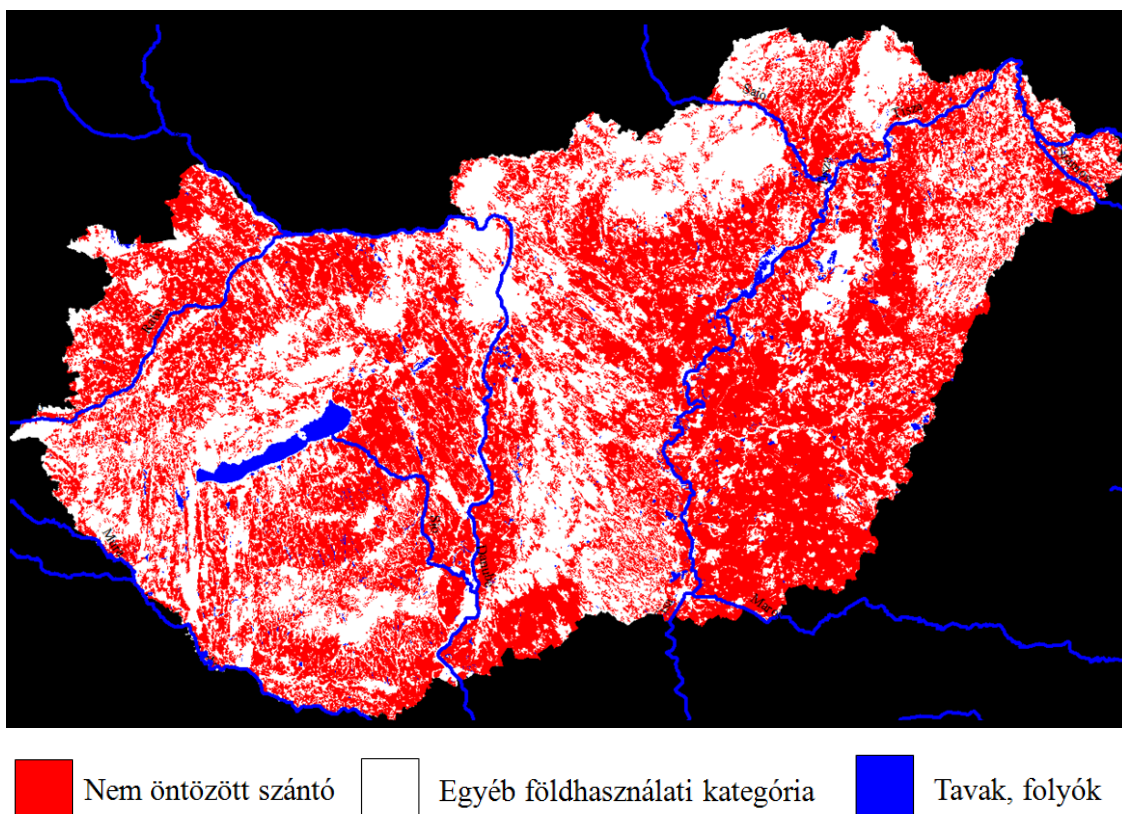


26. ábra: A kora őszi fagy (balra) és kora őszi talajmenti fagy (jobbra) valószínűsége

Ezen eredmények fényében a klimatikus viszonyokból adódó kockázatok miatt Magyarországon a jelen értekezés 4.1.1. fejezetében ismertetett tulajdonságokkal rendelkező Hibrid 1, valamint a tenyészidőszak hosszát illetően ahhoz hasonló, rövidebb tenyészidejű hibridek választása jelenti a legkisebb kockázatot a vizsgálati szempontokból.

4.3.2. A ciroktermesztési szempontú területlehatárolás eredményei

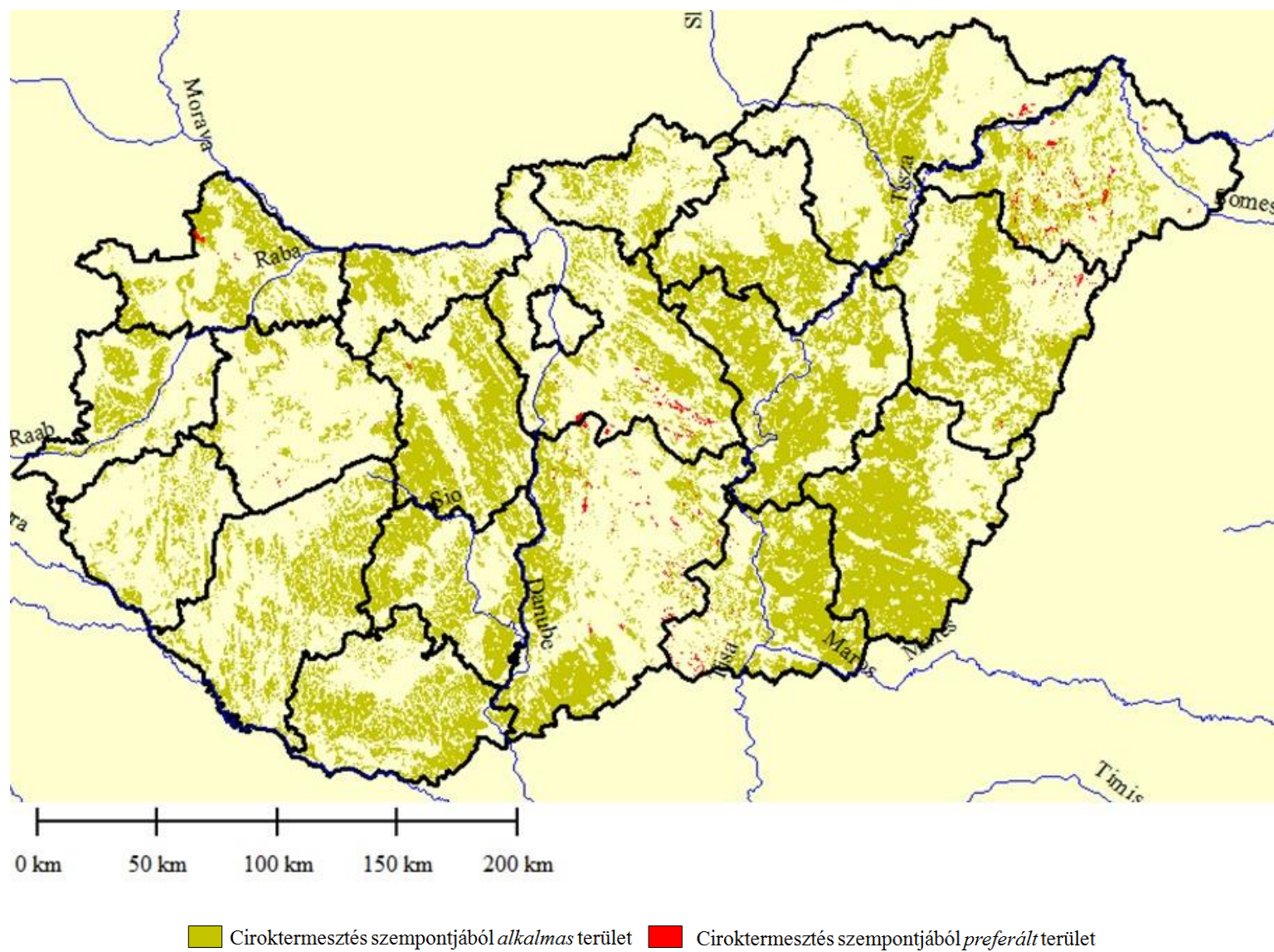
A nem öntözött szántóterületek – mint jelen esetben kiindulási földhasználati kategória – jelentős része az Alföldre, illetve a Kisalföldre tehető, amely jelenleg is alapját képezi a hazai szántóföldi növénytermesztésnek (27. ábra).



27. ábra: Magyarország öntözetlen szántóterületei a Corine Land Cover alapján

Az AGROTOPO adatbázisa alapján a ciroktermesztés szempontjából „alkalmas” talajtani paraméterek „ÉS” logikai művelettel létrehozott összesített fedvényeit szintén „ÉS” művelettel összekötve, a térképi átfedések által földrajzilag is lehatárolhatóvá vált azon területek összessége, ahol szigorúan csak a talajtani paraméterek figyelembevételével a cirokfélék eredményesen beilleszthetők a vetésváltásba (28. ábra). Ez a terület összesen 3,1 millió hektár, ami azt jelenti, hogy a földhasználati és talajtani viszonyok kizárólagos mérlegelése esetén az ország teljes területének 65,23%-a alkalmas a cirok termesztése. Ez nem azt jelenti, hogy a többi – földhasználati szempontból megfelelő – területen a cirokfélék termesztése lehetetlen, hanem azt, hogy azokon a területeken valamely talajtani jelleg (pl: tavasszal hideg, lassan felmelegedő talajok) miatt a konkrét területtől függően kisebb-nagyobb termesztési kockázattal kell számolni, tehát azon területek talajtani jellege az AGROTOPO adatbázisát képező nyolc tulajdonság vonatkozásában legalább egy esetben a cirokfélék igényének optimumán kívül esik. Ugyanezen adatelemzési logika mentén haladva megállapítható, hogy azon öntözetlen szántóterületek összesített mennyisége ahol a cirok termesztése kifejezetten ajánlható 36,5 ezer hektár. Ezeken a területeken a cirokfélék még jellemzően sikerrel

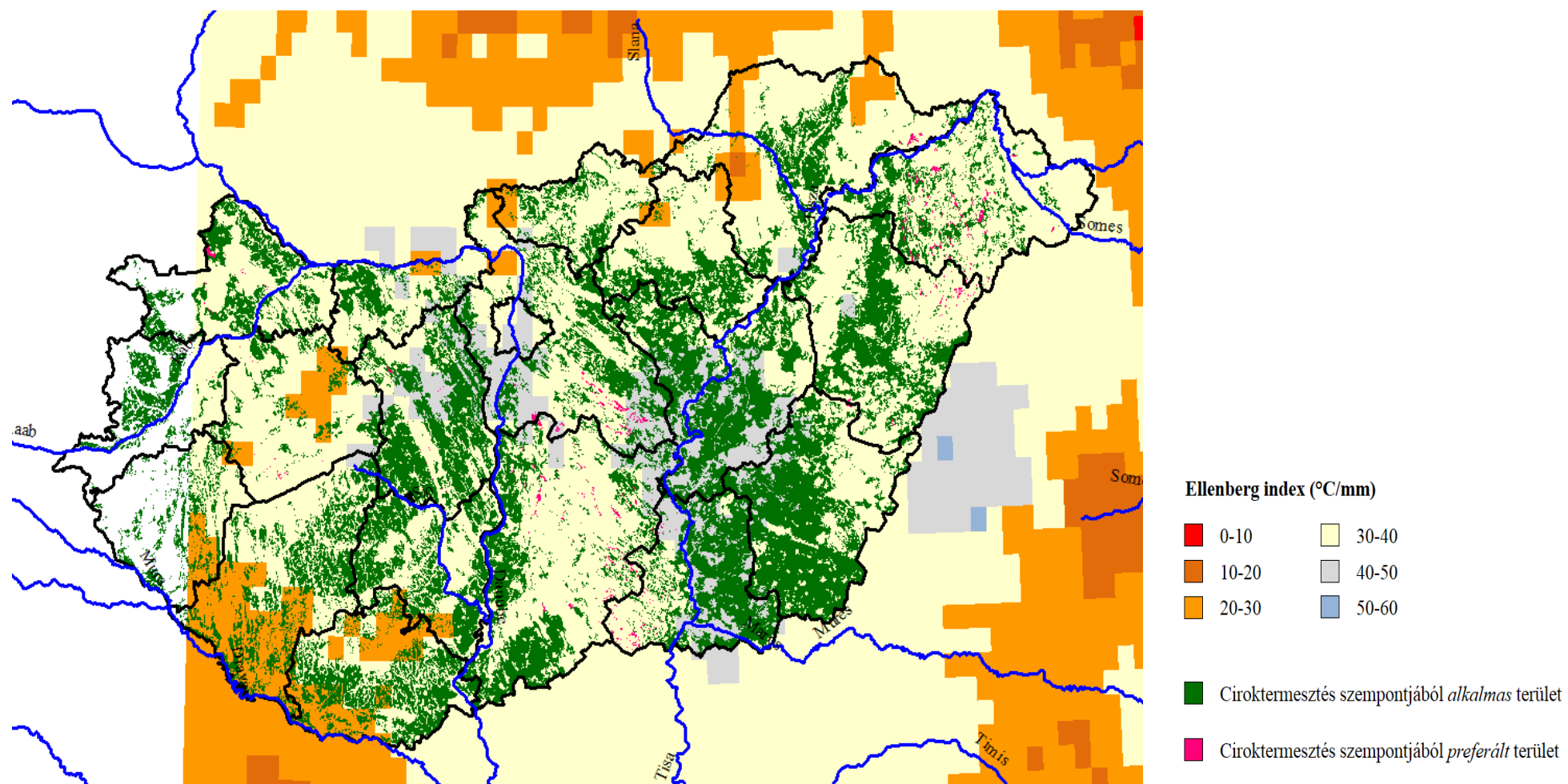
termeszthetők, míg a kukorica termesztése szempontjából mérsékelten kedvezőek, vagy kedvezőtlenek.



28. ábra: Ciroktermesztésre alkalmas, illetve preferált területek Magyarországon az AGROTOPO adatbázisa alapján

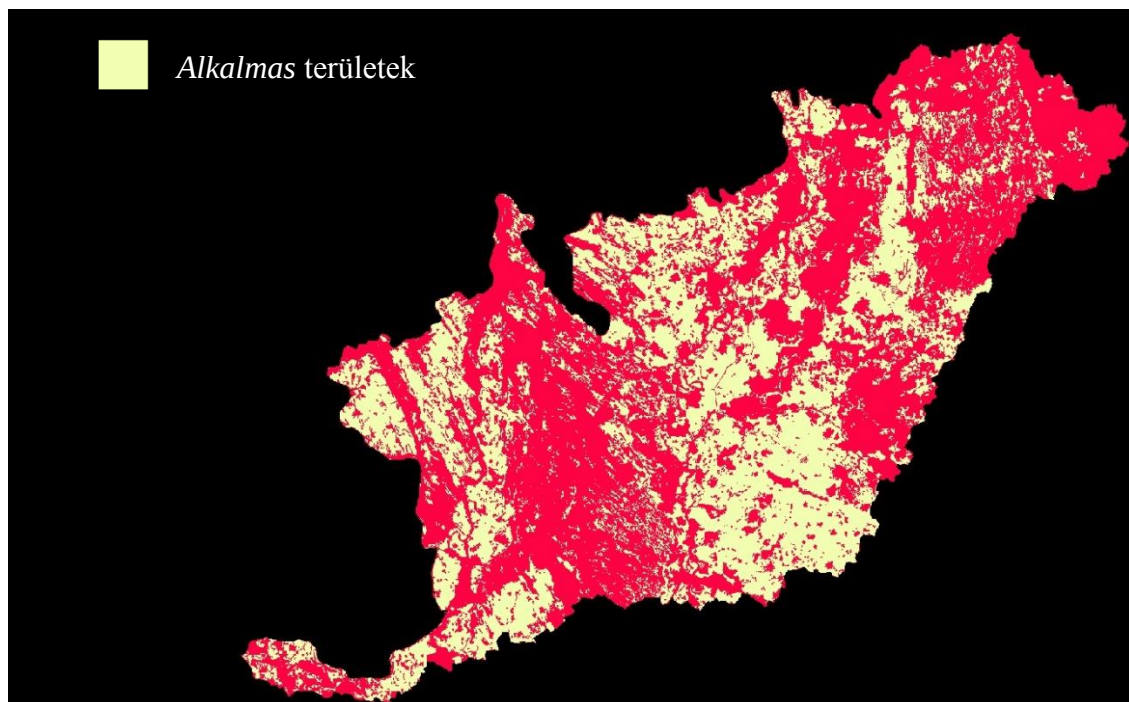
A ciroktermesztés szempontjából preferált területek térképi átfedését értékelve a 2001-2010 időszakra számított Ellenberg index értékeivel megállapítható, hogy az index 20-30 értéktartományában 23 ha, 30-40 értéktartományában 32620 ha, míg 40-50 értéktartományában 3800 ha átfedés volt. Az országra jellemző legmagasabb Ellenberg index értéktartomány a 40-50 indexértékek közé esett, amelyek elszórtan több alföldi terület egységet is érintettek, míg a legnagyobb összefüggő területet Jász-Nagykun-Szolnok megye déli részén, illetve Csongrád megyében tapasztaltuk, amely eredmény szoros összefüggést mutat *Pálfai* (2002) eredményeivel, aki a PAI alkalmazásával szintén ezeket a területeket jelölte meg, mint nagyon erősen aszályos területeket. (29. ábra)

Az Ellenberg index értékeinek növekedése jellemzően az aszály kockázatainak növekedését fejezi ki, így a 3800 ha területű átfedés esetén megállapítható, hogy ezeken a területeken már nem csupán a talajtani szempontok, hanem a klimatikus viszonyok is ciroktermesztés számára adnak szakmai indokot.



29. ábra: Az Ellenberg index alakulása Magyarországon

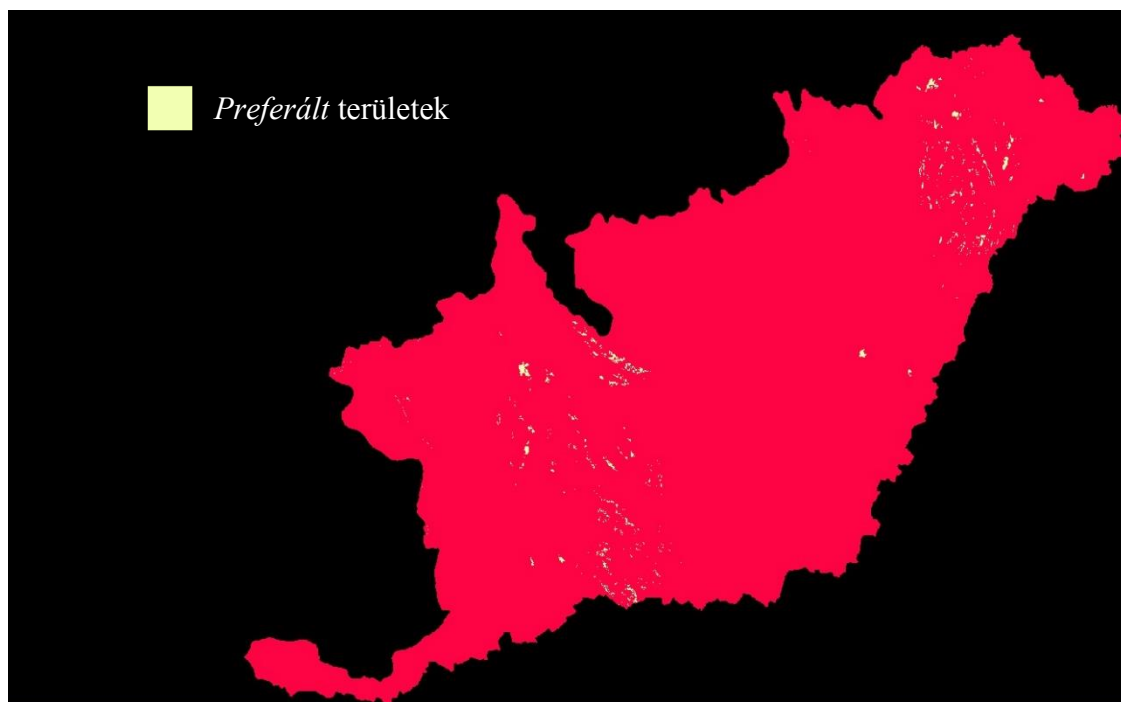
A ciroktermesztésre alkalmas területeken ez az átfedés 28 ha volt az index 10-20 °C/mm értéktartományban, míg 151 172 ha, illetve 2 221 606 ha volt az index 20-30 °C/mm és 30-40 °C/mm kategóriája esetén. Az Ellenberg index 40-50 °C/mm intervallumára eső területi átfedés pedig 606 075 ha volt. Az index értéktartományinak igen jelentős területegységekkel való átfedése bizonyítja azt, hogy a cirokfélék termesztésére talajtani szempontok alapján alkalmas területek igen jelentős részén klimatikus szempontok figyelembe vétele további szakmai indokot jelent a szóban forgó növényfaj hazai szántóföldi vetésváltási rendszerbe történő integrálására. Megjegyzendő, hogy a CarpatClim térképi fedvényei a 17°-27° hosszúsági körök közötti területre tartalmaz információt, így Magyarország nyugati részére vonatkozóan (17° hosszúsági körtől nyugatra) a létrehozott modell klimatikus vonatkozásokban nem ad releváns támpontokat. Amennyiben a területi lehatárolást az Alföldre szűkítjük, úgy megállapíthatjuk, hogy az 5 086 668 ha kiterjedésű földrajzi táj 40,46 %-a (2 057 981 ha) földhasználati és talajtani szempontból alkalmas a cirok termesztésére (30. ábra)



30. ábra: A cirok termesztése szempontjából alkalmas szántó területek elhelyezkedése az Alföldön az AGROTOPO adatbázisa alapján

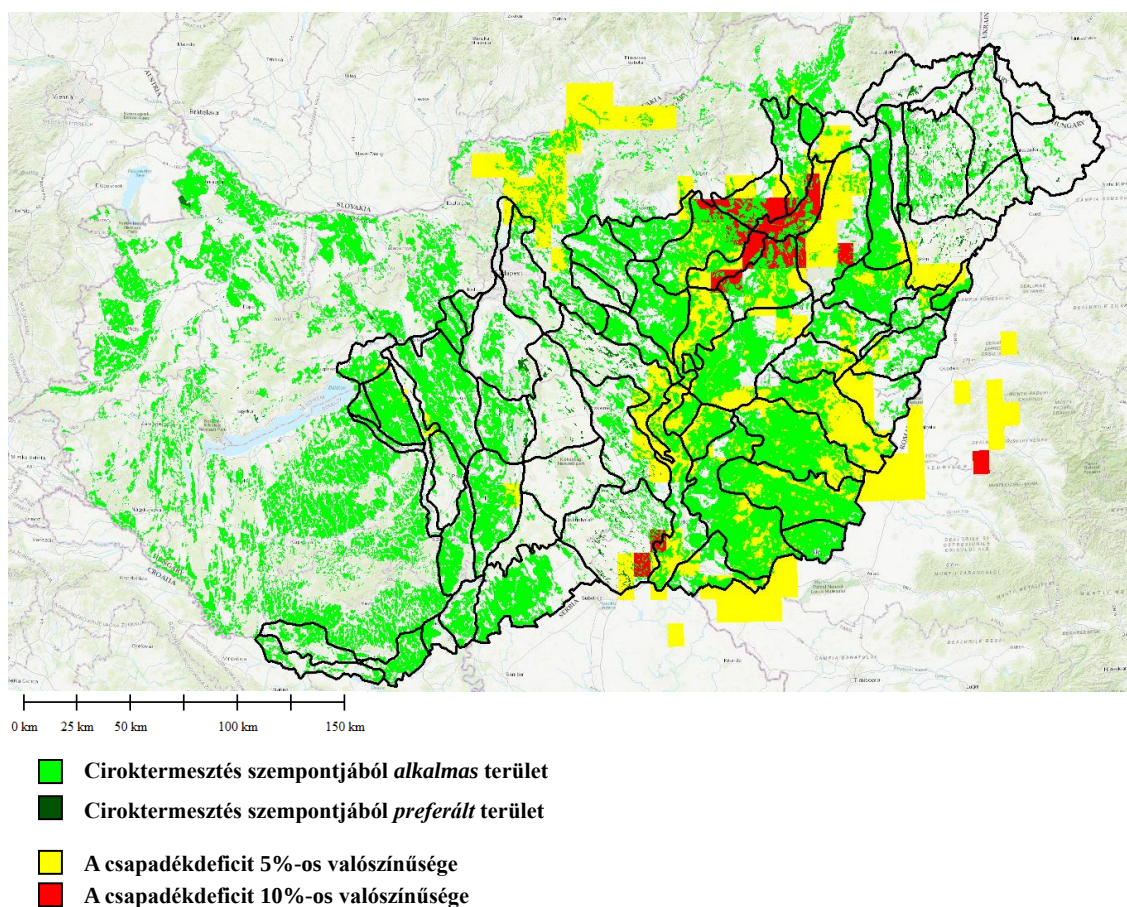
Ezen a nagy kiterjedésű területen a cirokfélék egy potenciális alternatívát jelentenek a termeszthető szántóföldi növények szortimentjében, míg az Alföld 0,65%-át jelentő összterület (33 086 ha) esetében a ciroktermesztés preferálható, vagyis a földrajzi

nagytájon több 33 ezer ha kiterjedésű szántóterület található, ahol a cirokfélék számára a talajtani optimum még biztosítható, viszont más növények (pl.: kukorica) termesztése kizárólag a talajtani jellegek figyelembevétele mellett is csak kompromisszumok árán lehetséges. (31. ábra)



31. ábra: A ciroktermesztés szempontjából preferálható szántó területek elhelyezkedése az Alföldön az AGROTOPO adatbázisa alapján

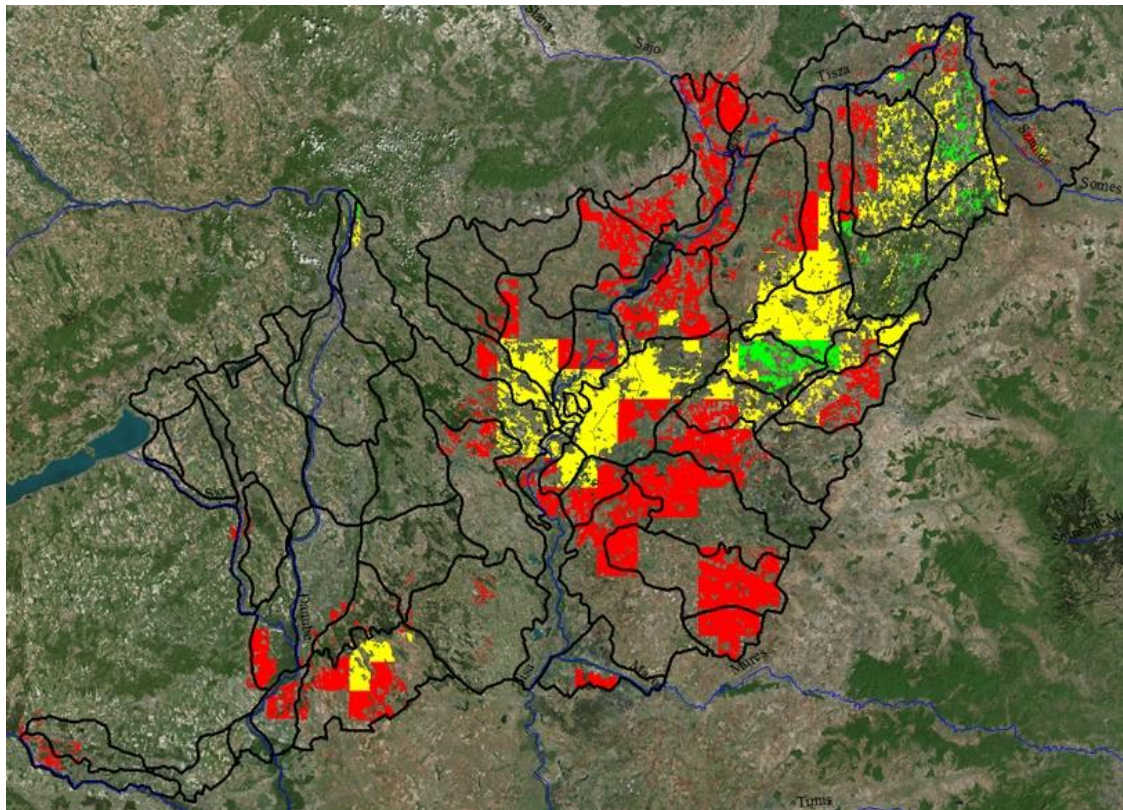
Mivel a cirokfélék hőköszöb értéke jellemzően nagyobb, mint a kukoricáé, így hazai körülmények között vetésük is jellemzően később – általában május elején – történik. Ebben az időszakban viszont csapadékhiányos állapotban, a csírázó, gyökérváltás állapota előtt lévő cirok állományt károsodás érheti. Az 1991-2010 időszakban a cirokfélék termesztésére talajtani szempontból alkalmas területek közül 698 968 ha területen egyszer, míg 71 160 ha területen kétszer fordult elő, hogy 10 mm-nél kevesebb csapadék hullott május első felében. Ez azt jelenti, hogy az 1991-2010 időszakot, mint referencia időszakot alapul véve a ciroktermesztésre talajtani szempontból alkalmas alföldi területek 33,96%-án 5%-os valószínűséggel számíthatunk csapadék deficitből adódó kockázatok megjelenésére, míg a vizsgált területek 3,46%-án ez a valószínűség 10%. A ciroktermesztés szempontjából preferált alföldi területek vonatkozásában 2322 ha területen 5%-os, míg 407 ha területen 10%-os valószínűséget állapítottam meg (32. ábra).



32. ábra: A csapadék deficit valószínűsége a cirokfélék korai fejlődési szakaszában a vizsgált időszak alapján

A cirokfélék számos tekintetben (habitus, életforma) a kukoricára hasonlítanak. Termesztési szempontból azonban a cirokfélék nagy előnye a kukoricával szemben, hogy eredményesebben tudnak alkalmazkodni a talajtani, valamint a klimatikus viszonyok kedvezőtlenebb voltához. Klimatikus szempontból a hazai kukoricatermesztés sikerének egyik kulcskérdése a kukorica generatív szakaszában való megfelelő vízellátás. Az Alföld egyes területein a júliusi, illetve augusztusi csapadékeloszlás kedvezőtlenégei miatt öntözés híján, a termőhelyi, illetve fajtapotenciál nem aknázható ki teljesen a kukoricatermesztés során. Ezeken a helyeken eredményes lehet a cirokfélék termesztése, amelyek lényegesen jobban viselik a július-augusztus idején jelentkező aszály jelenségeket. Az 1991-2010 időszakban az Alföldön a ciroktermesztésre alkalmas területek közül 630 987 ha-on volt egy olyan év amikor a júliusi hónapban 20 mm-nél kevesebb csapadék hullott, míg 798 ha esetében ez négyszer is előfordult, vagyis ezeken

a területeken már 20% a valószínűsége a júliusban jelentkező extrém csapadékhiánynak.
(33. ábra)



- 5%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 10%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 15%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 20%-os valószínűségű a kritikus vízhiány

33. ábra: A 0 és 20 mm közé eső július havi összes csapadékmennyiségek valószínűsége a vizsgálati időszak alapján

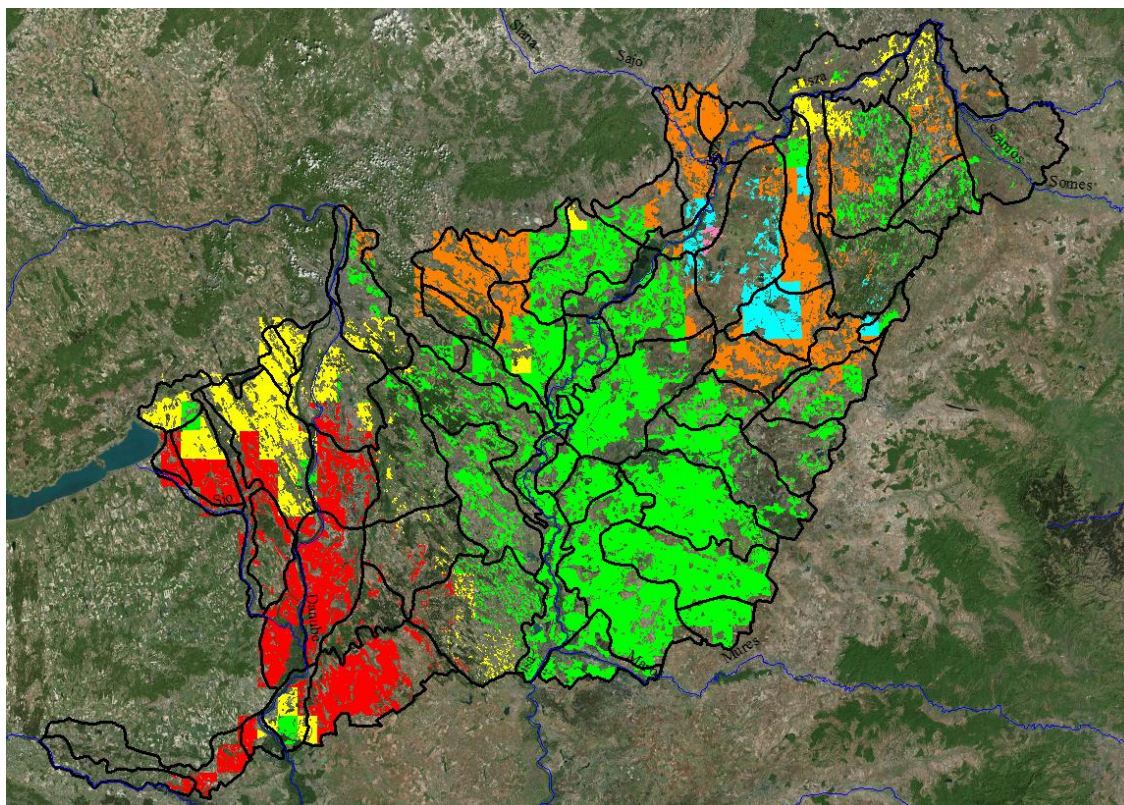
A július havi összes csapadékmennyiségeket 20 mm-es osztályközökbe rendezve megállapítható, hogy a 0-20 mm extrém csapadékhiányt jelentő összes havi csapadékmennyiségeken túlmenően, igen jelentős azon területek összesített mennyisége is, ahol enyhébb csapadékhiánnyal kell szembenézni a kukoricatermesztés során. (14. táblázat) Ezek a területek azok, ahol az összesített júliusi csapadékmennyiségek alakulása 20 mm és 40 mm között alakult. Annak függvényében, hogy milyen gyakorisággal fordult elő a jelenség a vizsgálati időszakban, megállapítható, hogy az elmúlt húsz év adatai

alapján az Alföld számos területén számíthatunk bizonyos szintű csapadékhiányra júliusban, sőt 13 389 ha területen a júliusi enyhe csapadékhiány valószínűsége 45%.

14. táblázat: A ciroktermesztésre talajtani szempontból alkalmas területek és a különböző csapadékmennyiségek területi átfedése azok relatív gyakoriságának tükrében a vizsgálati időszak júliusaiban (ha)

Relatív gyakoriság	0-20 mm közötti összes csapadék- mennyiség	20-40 mm közötti összes csapadék- mennyiség	40-60 mm közötti összes csapadék- mennyiség
1	630 987	12 986	89 734
2	352 623	142 741	233 048
3	46 187	396 960	385 889
4	798	544 139	387 404
5	-	389 268	403 532
6	-	308 162	299 270
7	-	122 205	202 140
8	-	94 061	20 209
9	-	13 389	-

Tekintettel arra, hogy az augusztusi csapadékmennyiség szintén meghatározó a kukoricatermesztés során, a valószínűsíthetően csapadékhiányos területek lehatárolása fontos támpont lehet. A két évtizedet felölelő vizsgálati periódus adatai alapján megállapítható, hogy az augusztusi időszakban az Alföldi területeken jelentősebb mértékben jelentkezhet a kukorica növények számára csapadékhiányos állapot, sőt 3 268 ha területen 30%-os valószínűséggel lehet számítani extrém csapadékhiányos állapotra. Az extrém csapadékhiányos állapot kialakulására jellemzőn az Észak-Alföldi régióban számíthatunk a legnagyobb valószínűséggel, míg az Alföld nyugati részén e kockázat mérsékeltebb (34. ábra).



- 5%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 10%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 15%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 20%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 25%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 30%-os valószínűségű a kritikus vízhiány

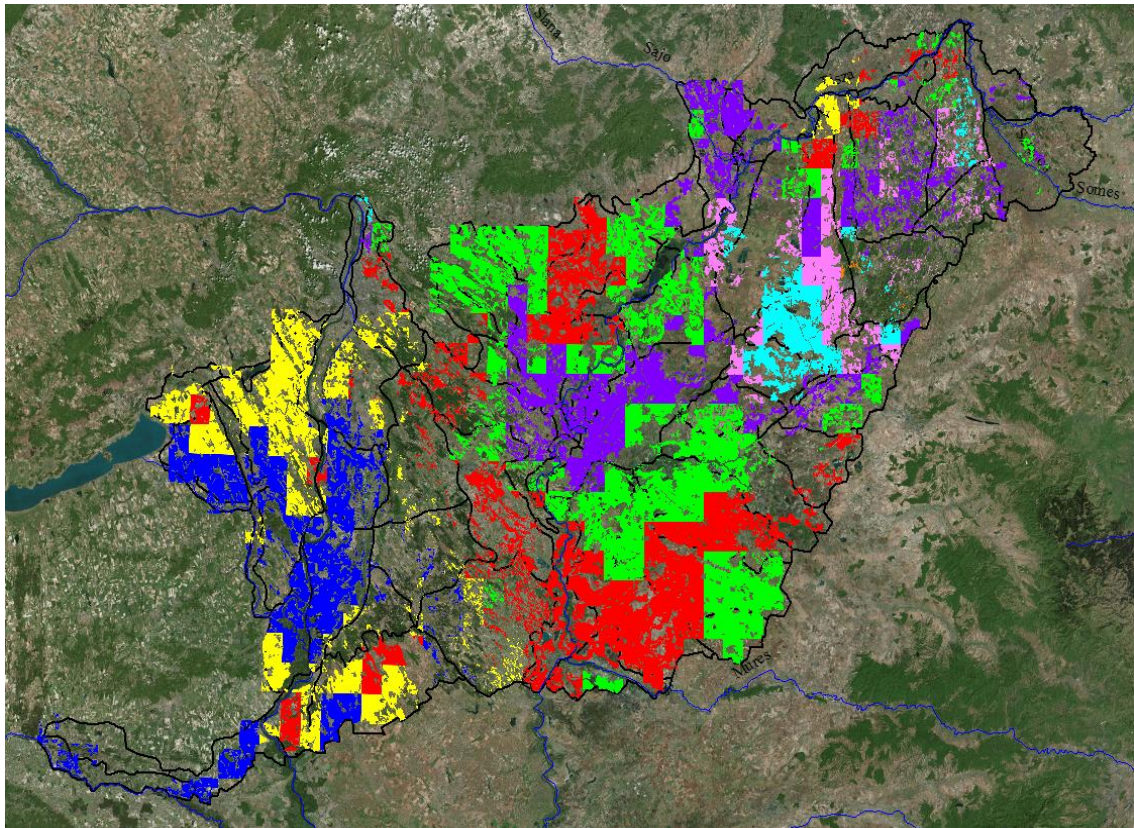
34. ábra: A 0 és 20 mm közé eső augusztus havi összes csapadékmennyiségek valószínűsége a vizsgálati időszak alapján

Az augusztusi csapadékeloszlás meglehetősen eltérően alakult a vizsgált két évtized alatt, azonban mindenképp megállapítható, hogy az Alföld igen jelentős területén számíthatunk a kukorica termesztés szempontjából kedvezőtlen augusztusi csapadékhiányra, amely a cirokfélék termesztésének létjogosultságára hívja fel a figyelmet.

15. táblázat: A ciroktermesztésre alkalmas területek és a különböző csapadékmennyiségek területi átfedése azok relatív gyakoriságának tükrében a vizsgálati időszak augusztusaiban (ha)

Relatív gyakoriság	0-20 mm közötti összes csapadék- mennyiség	20-40 mm közötti összes csapadék- mennyiség	40-60 mm közötti összes csapadék- mennyiség
1	320 081	4 810	26 950
2	216 579	55 122	189 422
3	1 049 735	320 522	382 046
4	327 759	611 903	485 622
5	74 679	589 608	397 533
6	3 268	383 567	274 865
7	-	50 896	146 739
8	-	5 421	85 319
9	-	2 107	33 255
10	-	-	2 060

A kukorica generatív fejlődési szakaszát jellemző júliusi és augusztusi időszakban jelentkező csapadékhiányok összevetése által megállapítást nyert, hogy a ciroktermesztésre alkalmas területek 97%-án jelentkezett legalább egy alkalommal extrém csapadékhiány a kukorica generatív fejlődési fázisában az elmúlt két évtizedes időszakban. 1082 ha kiterjedésű területen 40%-os valószínűséggel lehet számítani ilyen mértékű csapadékhiányra, amely egyértelműen az öntözéses gazdálkodás, valamint szárazságtűrő növényfajok irányába tereli a tudatos gazdálkodás képviselőinek gondolatait.



- 5%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 10%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 15%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 20%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 25%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 30%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 35%-os valószínűségű a kritikus vízhiány
- 40%-os valószínűségű a kritikus vízhiány

35. ábra: A júliusi és augusztusi összesített extrém csapadékhiányok területi kockázata

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a kukoricatermesztés során a generatív fázis ideje alatt az Alföldön legnagyobb valószínűséggel a Nyírség, a Hajdúság, a Közép-Tisza-vidék és az Észak-alföldi hordalékkúp-síkság tájain jelentkezhets kritikus mértékű vízhiány.

Tekintettel arra, hogy a cirokfélék lényegesen jobban viselik a nyári aszály jelenségeket, ezeken a tájakon a talajtani aspektusokon túlmenően a csapadékhiány értékelése is a cirokfélék termesztését indokolja. Ezek alapján megállapítható, hogy az fentiekben felsorolt tájak a cukorcirok alapú energiaelőállítás legideálisabb potenciális területeinek tekinthetőek. Amennyiben ezeken a területeken a cirokfélék integrálásra kerülnek a

vetésváltásba, úgy 2009/28/EK *Irányelv* által megfogalmazott célkitűzések elérése érdekében is komoly lépéseket tehetünk, amely egy igen fontos lépés lenne a magyarországi megújuló energia szektorban.

A térinformatikai eszközökkel végzett elemző munkálatok eredményeképpen megállapítható, hogy egyes talajtani adatok figyelembevételével 2 057 981 ha területen eredményesen termeszthető szántóföldi kultúra a cirok, míg további 33 086 ha területen a cirokfélék termesztése kifejezetten preferált tevékenység lehet. A 2 057 981 ha területen, ahol napjaink növénytermesztési gyakorlatában inkább a kukorica termesztése dominál, klimatikus tényezők terelik a figyelmet a ciroktermesztés lehetőségére. A cirokfélék hazai vetésterületére a vonatkozóan több szakirodalmi adat is napvilágot látott az elmúlt években, amelyek a hazai vetésterületet 3000 ha és 4500 ha közé becsülik (Kovács, 2014), míg más források szerint ez az érték 20 000 ha körüli (I2). Mindezek ellenére kijelenthető, hogy a cirokfélék termesztésében még igen jelentős a hazai potenciál, amelynek kiaknázásában döntően fontos lehet a termőhelyi viszonyokhoz való alkalmazkodás.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A vizsgált hat silócirok hibrid vizsgálatának eredményei alapján megállapítottam, hogy szárból kiperéselhető mono-, illetve diszacharidban gazdag nedv a hibrid jellegétől függően eltérő időpontban érheti el koncentrációjának maximumát. Ez a maximális cukorkoncentráció szoros összefüggést mutat a tenyészidőszak hosszával, így ezek alapján megállapítottam, hogy az okszerű hibrid-megválasztással a maximális cukortartalom időpontja megfelelő biztonsággal időzíthető. Amennyiben a célok és a körülmények azt lehető teszik – vagyis a cél a maximális cukormennyiség előállítása egy adott területen – úgy különböző tenyészidejű hibridek blokkokban történő termesztése javasolható, amely által lehetővé válik a betakarítási időszak elnyújtása, magas cukorhozamok biztosítása mellett.

A kísérletek fontos tanulsága, hogy a maximális cukortartalom értéke is jelentős különbségeket mutathat, így a bioetanol célú ciroktermesztés során a hibridmegválasztás során az érésidő mellett a maximális cukortartalom is igen fontos szempont. A kísérletes munka alapján azonban megállapítottam, hogy a területegységre vetített bioetanol potenciál ugyan kapcsolatban van a maximális cukortartalommal, de erősebb függést mutat a betakarított biomassa mennyiségével. A cukortartalmak esetében meghatározott legkisebb szignifikáns differencia érték az adatsorra jellemző középértékekhez képest kisebb arányt képviselt, mint a hozamok esetében. Ez a jelenség azt támasztja alá, hogy a vizsgálati paraméterek közül a zöldhozam jellemezhető nagyobb változékonysággal, így annak változása hangsúlyozottabban jelenik meg a bioetanol potenciálok alakulásában.

A kutatómunka során a vizsgálat tárgyát képező hibridek bioetanol potenciálját az adott hibridre jellemző cukorfelhalmozódási dinamika maximumának időpontjára vonatkozóan számított értékekkel végeztem. Ennek ellenére a számított értékek között igen jelentős különbségek jelentkeztek, amit alátámaszt a 745 l/ha legkisebb szignifikáns differencia érték is. Az eredmények alapján levonható a következtetés, miszerint a bioetanol célú ciroktermesztés sikeressége érdekében kiemelten fontos tényező a biológiai alapok adta lehetőségek okszerű hasznosítása, amely által jelentős növekedés érhető el a hatékonyságban. Továbbá megállapítható az is, hogy az ágazat fejlesztése érdekében végzett ciroknemesítési munkálatok fontos célkitűzés a cukortartalom és a koraiság kérdése, azonban a hozamokra való törekvéseket nem szabad alárendelni ezen

célkitűzéseknek, tekintettel arra, hogy e paraméter igen jelentős mértékben határozza meg az adott hibrid biohajtóanyag célú alkalmazhatóságát.

A másodikgenerációs biohajtóanyagok vonatkozásában megállapítottam, hogy a bioetanol potenciális alapanyagául szolgáló bagasz hemicellulóz-tartalmát tekintve nem különböznek szignifikánsan a hibridek, ahogy a lignintartalom vonatkozásában sem. Mindezek mellett fontos azonban megjegyezni, hogy a cellulóztartalom tekintetében már szignifikáns ($p \leq 0,05$) különbséget állapítottam meg a hibridek bagaszai között. A bagaszból előállítható bioetanol mennyiségeket értékelve megállapítottam, hogy a hibridek között ebben a kontextusban is szignifikáns a különbség, azonban ennek oka ebben az esetben is döntően a hozamok alakulásában keresendő. A jelenség abból adódik, hogy a másodikgenerációs bioalkohol alapanyagául szolgáló hemicellulóz mennyiségében nem volt szignifikáns a megállapított különbség, míg a cellulóztartalom esetében jelentkező különbségek sem jelöltek nagyságrendi eltéréseket. Ezen összefüggés alátámasztja a korábbiakban megfogalmazott javaslatot, miszerint a bioenergetikai célú növénynevelésben a hozamok növelésére irányuló nevelés kiemelten fontos lehet. Fontos azonban megjegyezni, hogy a hatékonyságot egyéb tényezők is meghatározzák (pl.: alkalmazott agrotechnika), amelyeknek részletes értékelése nem szerepelt jelen munka célkitűzései között. Az ilyen irányú vizsgálatok végzése azonban mindenképp indokolt a jövőben, hiszen csak ezen ismeretek tükrében nyílik lehetőség a cirokfélék bioetanol potenciáljának releváns értékelésére.

A mérések során a lignocellulózok mennyiségét a *Van Soest* (1991) által kidolgozott metodika szerint határoztam meg. A mérések alapján megállapítható, hogy a lignocellulózok analitikai meghatározása hosszás, időigényes tevékenység, amelynek rövidítése hasznos lehet a bioenergetikai kutatásokban. Az eredmények alapján a non-invazív spektrális eljárások alkalmasak lehetnek a lignocellulóz-tartalom meghatározásának módszertani fejlesztésére. A munka során a távérzékelésben alkalmazott CAI (*Cellulose Absorption Index*) laboratóriumi léptékben történő alkalmazásának tesztelését végeztem el. Az eredmények szoros összefüggést tártak fel a cellulóztartalom és a CAI értékének alakulása között. Fontos azonban megjegyezni, hogy az alkalmazott mintaszám, a minták nedvességtartalma, valamint a cellulóztartalom alakulásának szűk tartománya nem tette lehetővé az összefüggés pontos számszerűsítését, azonban az elért eredmények egyértelműen alátámasztják a módszer fejlesztésére vonatkozó létjogosultságot. Megállapítottam, hogy a módszer, bizonyos fejlesztések mellett ígéretes eljárás lehet a cellulóztartalom mennyiségi meghatározásában. Az

eredmények a bagasz biohajtóanyag célú jellemzésének vonatkozásában részeredményeknek tekinthetők, hiszen a hemicellulóz-tartalomra vonatkozó spektrális mérések nem képezték jelen értekezés témakörét. Az ezirányú vizsgálatok a kutatási tevékenység folytatásának szerves részét kell képezniük, hiszen csak ezáltal nyílik mód a másodigenerációs bioetanol potenciál releváns módon történő kvantitatív becslésére. A spektrális mérések tekintetében szintén a további vizsgálatok célkitűzései között kell szerepelnie az elért eredmények validálásának is, amely szakmai megbízhatóságot adhat az értekezésben megfogalmazott eredményeknek.

A kalorimetrikus égéshő értékek tekintetében megállapítottam, hogy a silócirok hibridek között szignifikáns különbség van ($SzD_{5\%}=173$ KJ/kg). Ez azt jelenti, hogy állományban kémiaiilag kötött energia mennyisége függ a hibrid megválasztásától, vagyis a tudatos hibridhasználattal, a területegységre vonatkoztatott energiapotenciál növelhető. A cirok egyes föld feletti részeit vizsgálva, megállapítottam, hogy a buga és a bagasz adott szignifikancia szinten ($p \leq 0,05$) azonos égéshő értékekkel jellemezhető, míg levelek és szár égéshő értékei szignifikánsan különböztek. A bagasz magas égéshő értékei kifejezetten perspektivikussá teszik ezen anyagot a biomassza-tüzelés irányában. Megjegyzendő, hogy a cirok bugákat is magas égéshő érték jellemezte, de ezen anyag biomassza-tüzelési célú hasznosítása csak bizonyos esetekben lehet gazdaságossági szempontból is releváns megoldás. A cirok égéshőit összevetve a búza, kukorica és napraforgó melléktermékeinek égéshőivel azt a megállapítást tettem, hogy a vizsgált anyagok között szignifikáns a különbség van, a silócirok átlagos égéshőit csak a kukorica betakarítási melléktermékeinek égéshő értékei múlták felül. Ezen melléktermékek energetikai szempontból versenyképesek a bizonyos fafélékkel is, sőt egyes puhafák átlagos égéshőit meg is haladták a kukorica melléktermékek égéshőei. Alapul véve a hazai vetésterületek arányainak alakulását és a szakirodalomban közölt Harvest Index értékeket, meghatároztam ezen három szántóföldi növény melléktermékeinek hazai viszonylatokban jellemző energetikai potenciálját. Ezek alapján megállapítást nyert, hogy ezen anyagokban igen jelentős potenciál rejlik az energetikai lehetőségek vonatkozásában, azonban ennek okszerű kihasználása csakis egy hatékony erőforrás menedzsment rendszer kidolgozásával lehetséges.

A bagasz, illetve két más bioenergetikai melléktermék égéshőjének összehasonlítása által megállapítást nyert, hogy a bagasz, a biogázüzemi fermentléből készített komposzt és a napraforgó olajpogácsa égéshő értékei szignifikánsan ($p \leq 0,05$) különböznek egymástól. Az égéshő értékek alapján az olajpogácsa szolgáltatta a legkedvezőbb adatokat, míg a

komposzt lényegesen alacsonyabb égéshő értékeket ért el, mint a bagasz. A bioenergetikai melléktermékek hamui igen jó K, P, Mg és Ca-forrásnak tekinthetők, sőt a Mn, Zn és Cu-tartalmuk is jelentős így eredményesen alkalmazhatók a talaj tápanyagtartalmának növelésére. Ez fontos kérdés a bioenergia-előállítás kérdéskörében, tekintettel arra, hogy a hamu szántóföldi hasznosításával az energetikai célokra termelt növények tápanyagigényének jelentős része fedezhető. Tekintettel a hamu magas alkálifém-tartalmára a komposzt és bagasz esetében szükséges lehet az égetésre szánt anyagok, vagy a hamumennyiségek kezelése annak érdekében, hogy a salakosodásból adódó kockázatokat mérsékeljük. Eerre vonatkozóan többféle megoldás is elérhető, amelyek alkalmazásával a tüzelőberendezések károsodása elkerülhetővé válik.

Annak érdekében, hogy a silócirokban, illetve a bagaszban rejlő energetikai potenciált megfelelő módon kihasználjuk, mindenképp indokolt a termőhelyi körülményekhez való alkalmazkodás. Ez az alkalmazkodás jellemzően a biológiai alapok okszerű használatával valósítható meg. Ennek eredményeképpen nyílik mód arra, hogy az adott termőhely kedvezőtlen hatásai ellen védekezzünk. A cirokfélék esetében a kérdéskör a tenyésztési időszak hosszának alakulásában, különösen hangsúlyos, ugyanis ezen jelleg alakulásának függvényében igen jelentős változás mutatkozhat meg a tavaszi és őszi lehűlésekből adódó kedvezőtlen hatások valószínűségében. Ebből adódóan levonható az a következtetés, hogy az energetikai célú ciroktermesztés egy kiemelkedően fontos aspektusa az adott hibrid koraisága, hiszen amennyiben az alkalmazott hibrid tenésztideje túlságosan hosszú, az egyéb tekintetben hordozott kedvező jellegek (hozam, cukortartalom stb.) csak egy mérsékelt valószínűség mellett használhatók ki. A tenésztési időszak hosszának alakulása alapvetően az adott hibridre jellemző hőköszöbérték determináns tényező, hiszen a hőköszöbérték változásával a rendelkezésre álló hasznos hőösszeg is változik, így a növény számára lényegesen több idő áll rendelkezésre, hogy kielégítse hőösszeg igényét. Ezek alapján levonható a következtetés, miszerint a termőhelyi alkalmazkodás egy igen hatékony eszköze lehet az alacsony hőköszöbértékű hibridek termesztése, illetve az ezirányú növénynevelési tevékenységek folytatása, hiszen a biológiai alapokban rejlő lehetőségek ezirányú alkalmazásával a klimatikus tényezők korlátozó hatása enyhíthető.

A cirokfélék termesztését tekintve a legmeghatározóbb konkurens növény a kukorica. A cirok és a kukorica termőhely-igényei eltérőek, így ezek alapján megállapítható, hogy földrajzi értelemben jól meghatározott vetésváltási ajánlás készíthető. Tekintettel arra, hogy a cirokfélék a talajjal szemben mérsékelt igényeket támasztanak, vagyis a

talajtanai igény tekintetében az optimum intervalluma szélesebb határok között alakul, jól meghatározható azon területek mennyisége és elhelyezkedése, ahol a cirokfélék preferálható opciót jelentenek a kukoricával szemben, s mindezek mellett lehatárolhatók azok a területek ahol mind a két növény termesztése releváns megoldás lehet. A megfelelő adatállományok felhasználásával lehetőség nyílik regionális döntéstámogatási rendszerek kidolgozására, amelyek alapot jelenthetnek a helyspecifikus gazdálkodásban. Az értekezésben megfogalmazott eredmények alapján 2 058 000 ha terület alkalmas talajtani szempontból a cirokfélék termesztésére, míg 33 000 ha területen a cirok termesztése preferálható a kukoricával szemben. A cirokfélékre jellemző átlagos égéshő értékekkel számolva és 15 t/ha szárazanyag-hozamot feltételezve 8342,73 TJ energiapotenciált képviselhet a cirokfélék számára preferált 33 000 ha terület. Természetesen ennek csak töredéke ellátható elő évről-évre, hiszen az okszerű vetésváltás szabályainak betartása mellett csak a szóban forgó terület bizonyos részarányát javasolt ciroktermesztésre fordítani. Az értekezésben felállított döntéstámogatási modell az AGROTOPO és a CarpatClim adatállományán alapul, így a leggyengébb felbontású állomány jelen esetben $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$ így a modell megbízhatóságának is ez a lépték a legalsó határa. Ebből adódóan a modell regionális vagy afölötti döntések támogatására szolgálhat. Módszertani szempontból tehát az eljárás alkalmas lehet a kívánt célok elérésére, de fontos megjegyezni, hogy további szempontok (pl: hőösszeg) integrálása által tovább növelhető a modell megbízhatósága. Szintén meg kell említeni, hogy a modell validálása jelen dolgozat keretein belül nem történt meg, annak elvégzése a további célkitűzések között szerepel.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A kísérletes eredmények alapján megállapítottam, hogy a silócirok hibridek szárában felhalmozódó cukortartalom maximális értékének alakulása (14,5-19,1 Brix%) hibridenként szignifikánsan különböző ($SzD_{5\%}=2,5$ Brix%) lehet, amely egy igen fontos értékmérő tulajdonság az energetikai célú ciroktermesztésben. Megállapítást nyert, hogy a hibridekre jellemző bioetanol potenciál szorosabb összefüggést ($R=0,73$) mutat a betakarításkori hozamok alakulásával, így a bioenergetikai célú ciroktermesztés egyik sarkalatos pontja a betakarításkori zöldhozam.

2. A cukortartalom maximális értékének alakulása mellett a cukorfelhalmozódási dinamika is hibridjelleg, amely szoros összefüggést mutat az adott hibridre jellemző tenyészidőszak-hosszúsággal. Ezek alapján megállapítható, hogy a tudatos hibridválasztás által mérsékelhetők az energetikai célú ciroktermesztés bizonyos kockázatai.

3. A bagasz magas összetett szénhidráttartalommal bír (32% hemicellulóz, 36% cellulóz, 4% lignin), amely felveti a másodikgenerációs bioetanol előállításának lehetőségét. E lehetőség kiaknázásával a területegységre vetített potenciális bioetanol hozamok jelentősen megnövelhetők (825-1126 l/ha). A bagasz cellulóztartalma szoros összefüggést mutatott egyes közeli IR tartományba eső sugarak reflektancia jellegeivel. A Cellulóz Abszorpció Index és a cellulóztartalom között megállapított korreláció által ($R^2=0,71$) noninvazív módon is becsülhető, az adott potenciális alapanyag cellulóztartalma.

4. A cirok alapú első generációs biohajtóanyag előállítása során keletkező bagasz, tekintélyes kalorimetrikus égéshő értékekkel jellemezhető (16570-16876 KJ/kg), amelynek jelentős szerepe lehet a helyi energiaigények fedezésében. A bagasz biomassa-tüzelési célú hasznosítása esetén jelentős tápanyagokban gazdag hamu keletkezésére számíthatunk, amely kedvező lehet a ciroktermő területek tápanyagutánpótlásában. A hamu keletkezése mellett kiemelt figyelmet kell fordítani a bagaszban jelenlevő magas alkálifém-tartalomra ($0,34\pm0,06$ kg/GJ), amely a tüzelőberendezésekben hosszútávon károsodást okozhat.

5. A karcagi meteorológiai állomás húsz éves adatai alapján megállapítottam, hogy a hosszabb tenyészidejű hibridek termesztésének előnyei a hozamok és a cukortartalom vonatkozásában, klimatikus kockázatokkal jár együtt. Korai vetés esetén jelentős mértékben megnövekedhet a későtavaszi lehűlésből adódó állománykárosodások valószínűsége, míg a hozamkiesés valamint a cukortartalom jelentős csökkenésének kockázata is megnövekedhet a kései betakarításból adódóan.

6. Az MTA és OMSZ által kiadott adatbázisok felhasználásával egy potenciális térbeli döntéstámogatási rendszer alapmechanizmusait dolgoztam ki, amely által két növénytermesztési szempontból fontos kritérium alapján lehatárolhatók a cirokfélék termesztésére alkalmas, illetve ajánlható területek. A talajtani szempontok alapján alkalmas és preferált ciroktermesztési területekre vonatkozóan meghatároztam bizonyos klimatikus kockázatok mértékét. A döntéstámogatási rendszer, valamint az értekezés többi eredményeinek felhasználásával, mind az Alföld, mind Magyarország vonatkozásában számszerűen kifejezhetővé vált cirok alapú bioenergia potenciál a biohajtóanyag célú hasznosítás vonatkozásában, figyelembe véve a bagaszban rejlő energetikai lehetőségeket is.

7. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

1. A cirok hibridekre jellemző maximális cukortartalomban jelentős különbségeket mutattam ki, amely alapvetően meghatározza egy adott silócirok hibrid bioenergetikai célú alkalmazhatóságát. Annak érdekében, hogy az adott hibridben rejlő potenciált messzemenőig kihasználjuk célszerű a betakarítás idejét célszerű a cukorfelhalmozódási görbe maximumának idején elvégezni. Megállapítottam, hogy az energetikai célú ciroknemesítés során a hozamok maximalizálására irányuló törekvések nem alárendelhetők cukortartalomra vonatkozó célkitűzéseknek.

2. A cukorfelhalmozódási dinamika görbéje - mint hibridjelleg - igen diverzifikált, amely tulajdonság mérlegelése a hibridmegválasztás során kiemelkedően fontos lehet. Tekintettel arra, hogy a különböző hibridek a tenyészidőszak hosszúságának változásával eltérő időpontban érhetik el maximális cukortartalmukat, a jelenség felveti különböző cukorakkumulációs görbével rendelkező hibridek blokkokban történő vetésének lehetőségét. A módszer által lehetőség nyílik a betakarítási időszak elnyújtására és a cukorhozamok maximalizálására a betakarítási időszak során.

3. A bagasz szénhidrátpolimer-tartalmának kvantitatív értékelése által megállapítottam, hogy a préselési maradék jelentős bioetanol potenciált képvisel. Az összetett szénhidráttartalom alakulásában a vizsgált anyagok közül csak a cellulóz esetében találtunk szignifikáns különbséget. A mérési eredmények alapján számított legkisebb szignifikáns differencia értéke azonban azt támasztotta alá, hogy a második-generációs bioetanol potenciál alakulását tekintve a hibridek közötti különbségek alakulásában, ez esetben is a hozamok az irányadóak. Megállapítottam továbbá, hogy a hibridek cellulóz alapú második generációs bioalkohol potenciáljának részleges becslésére a CAI, mint távérzékelési index alkalmas lehet.

4. A cirokban felhalmozódó cukros lé kipréselése során keletkező bagasz hasznosítása a másodnyersanyag-gazdálkodás egy igen fontos lépcsőjét jelentheti a cirok alapú bioetanol előállításban. Magas égéshő értékei felvetik a biomassa-tüzelési célú hasznosítás lehetőségét, azonban a gyakorlati megvalósítás során a préselés során visszamaradó anyag nedvességtartalma vizsgálatra szorulhat, amely eredmények további szakmai mérlegelés tárgyát képezhetik. A bagasz biomassa-tüzelési célú üzemi szintű

hasznosításában figyelmet kell fordítani az alkálifém-tartalomra, amely az égetés során hajlamosító tényező a tüzelőberendezés salakosodására és az ebből adódó lerakódások, dugulások kialakulására.

5. A Karcag térségében működő meteorológiai állomás adatai alapján megállapítottam, hogy a bázishőmérséklet alakulása alapvetően meghatározza ciroktermesztés számára rendelkezésre álló potenciális tenyészidőszak hosszúságát. Az energetikai célú silócirok nemesítésben így mindenképp fontos szempont az alacsony hőküszöbértékű hibridek előállítása, amely által lehetségessé válik azon hibridek hőösszeg-igényének kielégítésére, amelyek a cukorfelhalmozódás maximumát később érik el. Megállapítottam azonban, hogy a tenyészidőszak nyújtásával, tavasszal és ősszel is megnövekszik a klimatikus eredetű kockázatok valószínűsége, amely veszélyeztetheti a növényállományt.

6. Az AGROTPO és Carpatclim adatbázisa alapján térben lehatároltam azon területeket, amelyek bizonyos talajtani és csapadékeloszlási viszonyok figyelembevétele mellett alkalmasak lehetnek a cirok termesztésére. A modell további aspektusokkal való kiegészítése által lehetőség nyílik a cirok termesztésén alapuló, termőhelyspecifikus bioetanol előállítás módszertani alapjainak kidolgozására.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A hazai és nemzetközi megújuló energia szektor innovatív megoldások integrálását igénylik, a hatékonyság növelése érdekében. A kérdéskör különösen hangsúlyos a lakossági közlekedésben, amely a felhasznált energiamennyiségek jelentős arányát képviseli. A probléma súlyosságát fokozza, hogy a közlekedésben felhasznált energia túlnyomó része kőolaj eredetű, amelynek készletei végesek, eloszlásuk egyenlőtlen. Ebből adódóan a kőolaj alapú közlekedési rendszerek, a kereslet-kínálat törvényszerűségein alapulva igen jelentős gazdasági és energia-függőségi viszonyok kialakulását eredményezik. A kialakult helyzet olyan energiagazdálkodási innováció alkalmazását igényli, amely által elkerülhető a jelenlegi közlekedési infrastruktúra alapjaiban történő átszervezése. A kívánt cél elérésében jelentős szerepet tölthetnek be a biohajtóanyagok, amelyeknek széleskörű alkalmazásával enyhíthetők a kőolajkészletek mennyiségi és eloszlási viszonyaiból adódó kedvezőtlen hatások. A közösségi közlekedés energetikai innovációjának támogatására az Európai Unió életre hívta a *2009/28/EK Irányelvet*, amely a biológiai eredetű üzemanyagok – mint a bioetanol és a biodízel – felhasználására vonatkozó általános célokat tartalmazza.

Dolgozatomban a cukorcirok alapú bioetanol-előállítás egyes nyílt kérdéseinek megválaszolását tűztem ki célul, a biológiai alapokon nyugvó faj- és fajtaszintű (hibridszintű) tulajdonságok értékelésére.

A kísérletekben hat a köztermesztésben is jelenlevő silócirok hibrid összehasonlító vizsgálatát végeztem el, amelynek során a vizsgálatok tárgyát a cirok hibridekre jellemző cukorfelhalmozódási viszonyok és az ebből adódó potenciálisan előállítható bioetanol mennyiségek értékelése jelentette. A mérések eredményei alapján megállapítottam, hogy a silócirok hibridek szárában felhalmozódó cukortartalom maximális értékének alakulása hibridenként eltérő lehet, amely tulajdonság alapvetően fontos egy hibrid bioenergetikai szempontú értékelése esetén. A maximális cukortartalom értéke mellett igen fontos értékmérő tulajdonság az adott hibridre jellemző cukorfelhalmozódási görbe, amelynek időbeni alakulása meghatározó az optimális betakarítási idő megválasztása során. A vizsgált hibridek átlagos cukortartalmai a cukorfelhalmozódási görbe csúcspontjain átlagosan 14,5 Brix% és 19,1 Brix% között változtak ($SzD_{5\%}=2,5$ Brix%). A vizsgált hibridek között szignifikáns különbség mutatkozott a betakarításkori zöldhozamok alakulásában is ($SzD_{5\%}=1,4$ kg/m²), amely tulajdonság szorosabb összefüggést mutat a betakarításkori bioetanol potenciállal ($R=0,73$) így a bioenergetikai célú ciroktermesztés

egyik sarkalatos pontja a betakarításkori zöldhozam. Mind ezek figyelembevételével mellett megállapítást nyert, hogy a vizsgált hibridekre jellemző bioetanol potenciál tekintetében szignifikáns különbség van ($SzD_{5\%}=745$ l/ha).

Munkámban vizsgáltam a cirokfélék, valamint a bioetanol során keletkező bagasz biomassa-tüzelési célú hasznosításának lehetőségeit, amelynek során értékeltem az egyes anyagcsoportok kalorimetrikus égéshőit. A hibridek égéshő értékeinek eredményei alapján megállapítottam, hogy a hibridek között a paraméter alakulásában szignifikáns különbség van ($SzD_{5\%}=173$ KJ/kg). A szignifikáns különbség a növényi részek és a bagasz együttes értékelése során is megállapítást nyert, hogy 110 KJ/kg legkisebb szignifikáns differencia érték mellett. A cirok, valamint a bagasz égéshő értékei kedvezően alakultak más potenciális energiahordozók égéshő értékeivel szemben, míg a salakosodási potenciálban a bagasz kiegészítő eljárásokat igényelhet. A bagasz égetése során visszamaradó hamu jelentős P és K forrás, ami felveti a hamu talajerőgazdálkodásban betölthető potenciális szerepét.

A bagasz szénhidrátpolimer-tartalmának kvantitatív értékelése által megállapítottam, hogy a préselési maradék jelentős bioetanol potenciált képvisel, ugyanis a cellulóz, hemicellulóz és lignin alkotta NDF frakciók átlagosan 72 %-ban voltak jelen a mintákban. Tekintettel arra, hogy az NDF tartalom átlagosan 50%-ban cellulózból és 45%-ban hemicellulózból állt, megállapítottam, hogy a cirokfélék préselési maradéka kifejezetten jó alapanyag lehet a második generációs bioalkoholok számára. A vizsgált polimerek közül csak a cellulóz esetében találtunk szignifikáns különbséget ($SzD_{5\%}=4,9\%$). A mérési eredmények alapján számított legkisebb szignifikáns differencia értéke azonban azt támasztotta alá, hogy a második-generációs bioetanol potenciál alakulását tekintve a hibridek közötti különbségek alakulásában, ez esetben is a hozamok az irányadók. Ezt alapvetően az a tény is magyarázta, hogy a cellulóztartalom csökkenése jellemzően a hemicellulóztartalom növekedésével járt együtt, ami szintén potenciális alapanyag a bioetanol előállításához. Megállapítottam továbbá, hogy a hibridek cellulóz alapú második generációs bioalkohol potenciáljának részleges becslésére a CAI, mint távérzékelési index alkalmas lehet, amelyet alátámasztott az eredmény, miszerint a tényleges cellulóztartalom és a Cellulóz Abszorpciós Index értékei között szoros korreláció van ($R^2=0,71$). A második-generációs bioetanol potenciál alakulásában szignifikáns különbségeket nem találtunk a hibridek között, amely azt támasztotta alá, hogy a cirokfélék második-generációs bioetanol potenciáljának alakulásában a hozamok mennyisége az irányadó. Az összesített bioetanol potenciálban jelentős különbségeket

határoztunk meg a vizsgált hibridek között, amely alapján a Hibrid 1 és Hibrid 5 bizonyultak a legmegfelelőbb hibrideknek a bioetanol-előállítás céljára.

A klimatikus viszonyok értékelésekor azt állapítottam meg, hogy a bázishőmérséklet alakulása alapvetően meghatározza a tenyészidőszak alatt rendelkezésre álló hőösszeg mennyiségét, a ciroktermesztés tekintetében a sikeres termesztés kulcskérdése lehet. Amennyiben a cirok vetését 10 nappal korábban végezzük el a gyakorlatban megszokott időponthoz képest, illetve 10 nappal később takarítjuk be, úgy a rendelkezésre álló hőösszegek még nagyobbak, amely további lehetőségeket vet fel a termesztés hatékonyságát illetően. Meghatároztam továbbá azt is, hogy 20 éves távlatban, igen jelentős a kockázata a lehülésből adódó állománykárosodásnak, amely komoly kockázatokat hordoz a betakarítható cukor mennyiségét és így az előállítható bioetanol mennyiségét illetően is.

Az Corine Land Cover és az AGROTOPO adatbázisa alapján lehatároltam a cirokfélék termesztésére talajtani szempontból alkalmas területeket, valamint azon területeket, amelyekre talajtani sajátosságaik alapján a cirok, mint szántóföldi kultúra kifejezetten ajánlatos. Ezek alapján hazai léptékben 3,1 millió ha alkalmas a cirok termesztésére, míg 36,5 ezer ha területen a cirok termesztése javasolt, míg ugyan ezen területek összesített mennyisége az Alföldön 2 058 ezer ha és 33,1 ezer ha. Az Ellenberg index értékei és térképi fedvényének területi átfedése alapján, megállapítottam, hogy országosan 606,1 ezer ha ciroktermesztésre alkalmas területen klimatikus érvek indokolják a cirok vetésváltásba történő integrálását. Megállapítottam, hogy az Alföld ciroktermesztés szempontjából preferált területein 2322 ha-on 5%-os, míg 407 ha-on 10%-os valószínűséggel várható csapadékhiány a cirok kelésének és kezdeti fejlődésének időszakában, ami termesztési kockázatokat hordoz. Ezzel szemben az Alföld vonatkozásában meghatároztam a cirok termesztésére alkalmas területeken a júliusi és augusztusi csapadékhiány valószínűségeit, amelyek a kukorica termesztésének generatív szakaszában kritikusak lehetnek. Az eredmények alapján megállapítottam, hogy e területek vonatkozásában a nyári aszály jelenségek aktualitást adnak a cirokfélék termesztésének, sőt 1082 ha területen 40%-os valószínűségi értéket határoztam meg a kukorica generatív fejlődési szakaszában jelentkező kritikus csapadékhiány kialakulására, ami igen jelentős érv a cirokfélék termesztésére ezeken a területeken.

9. SUMMARY

The Hungarian and international renewable energy sector both requires the integration of innovative solutions to increase efficiency. The issue is particularly pronounced in public transport, which represents a significant proportion of the energy consumed. The severity of the problem is heightened by the fact that energy used in transport is predominantly petroleum-based, whose stocks are finite and their spatial distribution of them is uneven. Consequently, based on the principal nexus of supply and demand, petroleum-based transport systems result notable economic and energy dependency relationships. The emerging situation requires the application of innovations to avoid the reorganization of the current transport infrastructure. Biofuels can play a significant role in achieving the desired goal, which can be used to mitigate negative effects of the quantity and distribution conditions of petroleum resources. To support the energy innovation of public transport, the European Union has introduced Directive 2009/28/EC, which contains general objectives for the utilization of biofuels such as bioethanol and biodiesel.

In this dissertation, the aim was to answer some open questions of sweet sorghum based bioethanol production, to evaluate the biological-based properties of sweet sorghum on species and variety scale.

During the experiments, the comparison of six sweet sorghum hybrids from the public cultivation were done, with the aim of evaluating the sugar accumulation conditions and the potential bioethanol yields of the sorghum hybrids. Based on the results of the measurements, I found that the maximum value of the sugar content in the stems of the sweet sorghum hybrids can be diverse, which is essential while characterising a hybrid from bioenergetics aspects. The average sugar content in the peak point of the sugar accumulation curve in the case of the examined hybrids varied from 14.5 Brix% to 19.1 Brix% ($LSD_{5\%} = 2.5 \text{ Brix\%}$). Beyond the value of the maximum sugar content, a very important feature is the sugar accumulation curve of the hybrid, the time trend of which is important from the viewpoint of the optimal harvesting time. There was also a significant difference among the examined hybrids of the harvested green yields ($LSD_{5\%} = 1.4 \text{ kg/m}^2$), which is more closely related to the bioethanol potential ($R^2=0.58$). Thus, the amount of green yields is one of the important aspects of sweet sorghum production for bioenergy purposes.

Taking these into account, it has been found that there is a significant difference in the bioethanol potential characteristic for the investigated hybrids ($LSD_{5\%} = 745 \text{ l/ha}$).

In this research work I studied the utilization possibilities of the bagasse by evaluating the calorimetric heat of this material. Based on the results of the combustion heat values of the hybrid's bagasses, I found that there is a significant difference among the hybrids regarding this parameter ($LSD_{5\%} = 173 \text{ KJ/kg}$). The significant difference among plant parts and bagasse was also found to be 110 KJ/kg . The higher heating values of sorghum as well as the bagasse was favorable compared by other energy stocks, while the bagasse may require additional processes in the decrease its slagging potential. The ash remaining by the combustion of the bagasse is a significant source of P and K, which raises the potential role of these ashes in soil nutrition.

By quantitative estimation of the carbohydrate polymer content of the bagasse, I found that the compression residue represented a significant bioethanol potential since the NDF fractions which contain cellulose, hemicellulose and lignin were present on average 72% of the samples. Given that NDF content consisted of 50% cellulose and 45% hemicellulose, I found that the compression residue of sorghum can be a very good source for second-generation bio-alcohols. Among the polymers tested, only the cellulose was found as viewpoint from what the bagasse samples was significantly different ($LSD_{5\%}=4.9\%$). However, the value of the least significant difference reflected differences in the second-generation bioethanol potential can be derived mostly from the variation of the green yield. This was basically explained by the fact that the decline in cellulose content was typically associated with an increase in hemicellulose content, which is also a potential source of bioethanol production. I also found that CAI as a remote sensing index could be partially used to estimate the potential amount of cellulose based second-generation bio-alcohol, because a strong correlation was determined between the actual cellulose content and the Cellulose Absorption Index ($R^2=0.71$). Regarding the second-generation bioethanol potential, no significant differences were found among the hybrids, which suggested that the amount of yields are determinative in the variation of the second-generation bioethanol potential. Considering the bioethanol potential of the evaluated hybrids, significant differences were found between among them, so that Hybrid 1 and Hybrid 5 proved to be the most suitable hybrids for bioethanol production.

While assessing the climatic conditions, it could be concluded that the base temperature determines basically the amount of the effective heat unit available during the growing season, so that the base temperature can be a key issue to cultivate successfully sweet sorghum. If sorghum is sown 10 days before the usual time and harvested 10 days later, the available heat sums are even higher, which gives additional possibilities for enhance cultivation efficiency. I also determined that at 20 years, there is a significant risk of damage due to cooling, which poses serious risks on the amount of the harvested sugar amount, and on the amount of bioethanol produced as well.

Based on the Corine Land Cover and the AGROTOPO database, suitable areas for cultivation of sorghum considering soil characteristics were defined, just as those areas where sorghum production is recommended by soil characteristics. According to this, 3 100 thousand ha are suitable for sorghum production on Hungarian scale, while the cultivation of sorghum is 36.5 thousand ha, while the total amount of these areas in the Great Plain is 2 058 thousand ha and 33.1 thousand ha. Based on the Ellenberg index, I found that in the area of 606.1 thousand ha areas sorghum cultivation is adequate, climatic reasons justify the integration of the sorghum into crop rotation. I have found that on 2322 thousand ha of the Great Hungarian Plain there is a 5% probability of precipitation absence, while on 407 ha of the Great Hungarian Plain there is a 10% probability of precipitation shortage in the stage of germination and initial development of sorghum, which poses a risk of cultivation. In contrast, in the case of the Great Hungarian Plain, I determined the probabilities of the precipitation gap in July and August in areas suitable for the cultivation of sorghum, which may be critical in the generative phase of maize growing. Based on the results, I have found that the summer drought phenomenon give actuality to sorghum production, and even on 1082 ha, a probability of 40% for critical absence of precipitation was determined in the generative development stage of maize, which is a very important argument for the production of sorghum in these areas.

10. IRODALOMJEGYZÉK

1. 2009/28/EK Irányelv: Az Európai Parlament és a Tanács 2009/28/EK irányelve (2009. április 23.) a megújuló energiaforrásból előállított energia támogatásáról, valamint a 2001/77/EK és a 2003/30/EK irányelv módosításáról és azt követő hatályon kívül helyezéséről
2. 2233/2004. (IX. 22.) Korm. határozat a bioüzemanyagok és egyéb megújuló üzemanyagok közlekedési célú felhasználására vonatkozó nemzeti célkitűzésekről
3. Adamčík J., Tomášek J., Pulkrábek J., Pazderů K., Dvořák P.: 2016. Stimulation sorghum seed leading to enlargement of optimum conditions during germination and emergence . Plant Soil and Environment, 62. 547-551.
4. Alagarswamy G., Ritchie J. T.: 1991. Phasic development in CERES-sorghum model. In: Hodges T (szerk.) Predicting crop phenology. CRC Press, Boca Raton, Fla., 143-152.
5. Ambrózy P., Konkolyiné B. Z.: 2010. Éghajlat. In: Dövényi Z. (szerk.) Magyarország kistájainak katasztere, MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest. 171-176.
6. Anderson I. C.: 2005. Ethanol from sweet sorghum. Iowa Energy Centre, Iowa State University. <http://www.energy.iastate.edu/renewable/biomass/cs-anaerobic2.html>.
7. Angus J. F., Cunningham R. B., Moncur M. W., MacKenzie D. H.: 1981. Phasic development in field crops. I. Thermal response in the seedling phase. Field Crops Research. 3. 365-378.
8. Antal J., Egerszegi S., Penyigey D.: 1966. Növénytermesztés homokon. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
9. Antal J.: 1987. Növénytermesztők zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 117-121.
10. Argikar G. P., Chavan V. M.: 1957. A study of heterosis in sorghum. Indian Journal of Genetics. 17. 63-72.
11. Asif A., Maqsood M., Ali A., Hassan S. W., Hussain A., Ahmad S., Javed M. A.: 2012. Growth, yield components and harvest index of wheat (*Triticum aestivum*)

- L.) affected by different irrigation regimes and nitrogen management strategy. Science International. 24. 215-218.
12. Bai A., Lakner Z., Marosvölgyi B., Nábrádi A.: 2002. A biomassa felhasználása. Szaktudás Kiadó Ház Rt. Budapest. 79-173.
 13. Bai A.: 2004. A bioetanol-előállítás gazdasági kérdései. Agrártudományi Közlemények. 14. 30-38.
 14. Bajai J.: 1957. A takarmánycirok termesztésének fejlesztése 1975-ig, különös tekintettel az ország száraz jellegű területeinek takarmány ellátására, valamint a szesz- és cellulózipari felhasználásra. Martonvásár.
 15. Balat M., Balat H., Öz C.: 2008. Progress in bioethanol processing. Progress in Energy and Combustion Science. 34. 551-573.
 16. Balat M., Balat H.: 2009. Recent trend sin global production and utilization of bioethanol fuel. Applied Energy. 86. 2273-2282.
 17. Bálint A.: 1966. Mezőgazdasági növények nemesítése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 9-275.
 18. Bányai L.: 1980. Jelentés a Hybar Takarmánycirok Termesztési és Hasznosítási Gazdasági Társaságnak végzett kutató munkáról. NÖMI Agrobotanikai Állomás. Tápiószele. 10.
 19. Barabás Z., Bányai L.: 1985. A cirok és a szudánifű. Magyarország Kultúrflórája IX. kötet. Budapest.12-130.
 20. Barabás Z., Faragó L.: 1980. A hibrid szemescirok. Mezőgazdasági kiadó. Budapest.
 21. Barabás, Z.: 1961. A magyarországi hímsteril-hibrid takarmányciroknemesítés jelenlegi állása. MTA Kutató Intézet. Tudományos Konferencia Martonvásár. MTA Budapest. 333-334.
 22. Baranyi B.: 2010. Bioenergetika – társadalom – harmonikus vidékfejlődés. Center Print Nyomdaipari Szolgáltató Kft., Debrecen.
 23. Barbanti L., Grandi S., Vecchi A., Venturi G.: 2006. Sweet and fibre sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) energy crops in the frameof environmental protection from excessive nitrogen loads. European Journal of Agronomy 25. 30-39.

24. Bárdossy A.: 1964. Adatok a szemescirok műtrágyázásához. Mosonmagyaróvári Agrártudományi Főiskola Közleményei. 7. 87-90.
25. Barótfi I.: 2000. Környezettechnika. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 86.
26. Billa E., Koullas D. P., Monties B.: 1997. Structure and composition of sweet sorghum stalk components Ind Crops Production. 6. 297-302
27. Birkás M.: 2011. Talajművelők zsebkönyve. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
28. Blaskó L., Balogh I., Ábrahám É. B.: 2008. Possibilities of Sweet Sorghum production for ethanol on the Hungarian Plain. Cereal Research Communications. 36. 1. 1251-1254.
29. Bryan W. L.: 1990. Solid state fermentation of sugars in sweet sorghum. Enzyme Microbiology Technology. 12. 437-442.
30. Carillo M. A., Staggenborg S. A., Pineda J. A.: 2014. Washing sorghum biomass with water to improve its quality for combustion. Fuel. 116. 427-431.
31. Channiwala S. A., Parikh P. P.: 2002. A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels. Fuel. 81. 1051-1063.
32. Chrappán Gy., Bene S.: 2006. A cirokfélék védelme. Növényvédelem. 42. 141-151.
33. Chrappán Gy., Fazekas M., Lazányi J., Siklósiné Rajki E.: 1997. Amit a cirok- és madáreleségfélékről tudni kell. Agroinform Kiadó. Budapest. 9-41.
34. Claassen P. A. M., de Vrije T., Budde M. A. W., Koukios E. G., Glynos A., Réczey, K.: 2004. Biological hydrogen production from sweet sorghum by thermophilic bacteria. 2nd World conference on biomass for energy, industry and climate protection, 10-14 May 2004. Rome. Italy. 1522 – 1525.
35. Corn R.: 2008. Sweet sorghum heterosis. Joint Annual Meeting, 5-9 October 2008, Houston, Texas, George R. Brown Convention Centre. <http://a-cs.confex.com/crops/2008am/webprogram/Paper42644.html> Accessed 11 March 2009.
36. Conner A. B., Karper R.E.: 1927. Hybrid vigour in sorghum. Texas Agricultural Experimental Station. Bulletin. 359.
37. Craufurd P. G., Mahalakshmi V., Bidinger F. R., Mukuru S. Z., Chanterreau J., Omanga P. A., Roberts E. H., Ellis R. H., Summerfield R. J., Hammer G. L.: 1999. Adaptation of sorghum: characterisation of genotypic flowering responses to temperature and photoperiod. Theoretical and Applied Genetics. 99. 900-911.

38. Czúcz B., Gálhidy L., Mátyás Cs.: 2013. A bükk és a kocsánytalan tölgy elterjedésének szárazsági határa. Erdészettudományi Közlemények. 3. 39-53.
39. Daliva-Gomez F.J., Chuck-Hernandez C., Perez-Carillo E., Rooney W.L., Serna-Saldivar S.O.: 2011. Evaluation of bioethanol production from five different varieties of sweet and forage sorghums (*Sorghum bicolor (L) Moench*). Industrial Crops and Products. 33. 611-616.
40. Das P., Anuradda G., Wangikar P.: 2004. Influence of pretreatment for deashing of sugarcane bagasse on pyrolysis products. Biomass Bioenergy. 27. 445-457.
41. Daughtry C. S. T.: 2001. Discriminating Crop Residues from Soil by Short-Wave Infrared Reflectance. Agronomy Journal. 93. 125-131.
42. Daughtry C. S. T., McMurtrey III JE, Nagler P. L., Kim M. S., Chappelle E.W.: 1996. Spectral reflectance of soils and crop residues. In: A.M.C. Davies & P. Williams (Eds.): Near Infrared Spectroscopy: The future waves, pp 505-511. Chichester, UK: NIR Publications
43. Daughtry C. S. T., Hunt Jr. E. R., J. McMurtrey III. J. E.: 2004. Assessing Crop Residue Cover Using Shortwave Infrared Reflectance. Remote Sensing of Environment. 90. 126-134.
44. Davidsson K. O., Korsgren J. G., Perrersson J. B. B., Jaglid U.: 2002. The effects of fuel washing techniques on alkali release from biomass. Fuel. 81. 137-142.
45. Demeyer A., Voundinkana J. C., Verloo M. G.: 2001. Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: an overview. Bioresource Technology. 77. 287-295.
46. Demirbas A.: 1996. Calculation of higher heating values of biomass fuels. Fuel. 76. 431-434.
47. Doggett H.: 1988. Sorghum. 2nd Edition, Longmans Scientific and Technical, UK. 5-174.
48. Dolciotti I., Mambelli S., Grandi S., Venturi G.: 1998. Comparison of two sorghum genotypes for sugar and fibre production. Indian Crops Production. 7. 265-272.
49. Dorka D.: 2005. Különböző hőösszegszámítási módszerek vizsgálata a kukoricatermesztésben. Doktori értekezés. Debrecen.

50. Drapcho C. M., Nhuan, N. P., Walker T. H.: 2008. Biofuels Engineering Process Technology. McGraw-Hill Companies. 69-262.
51. Eder B., Schulz H.: 2006. Biogas Prexis. Ökobuch Verlag, Staufen. 4-43.
52. Eijk R. J., Obernberger K., Supancic K.: 2012. Options for increased utilization of ash from biomass combustion and co-firing. IEA Bioenergy Task 32. Report. Arnhem.
53. Ellenberg, H. 1988: Vegetation ecology of Central Europe, 4th ed. Cambridge University Press.
54. Emőd I., Tölgyesi Z., Zöldy M.: 2006. Alternatív járműhajtások. Maróti Könyvkereskedés és könyvkiadó Kft. Budapest. 19-45.
55. Erdei É.: 2013. Mutációs- és heterózis nemesítés alkalmazásával előállított silókukorica és cukorcirok genotípusok értékmérő jellegeinek vizsgálata a szilázs- és a bioetanol-előállítás szempontjából. Doktori értekezés. Debrecen.
56. Erdey-Grúz T., Proszt J.: 1962. Fizikai-kémiai praktikum. Tankönyvkiadó. Budapest. 131-236.
57. Etigéni, L., Campbell, A. G., Mahler R. L.: 1991. Evaluation of wood ash disposal on agricultural land. I. Potential as a soil additive and liming agent. Communications in Soil Science and Plant Analysis 22. 243-256.
58. Euroobserver: 2016. Solid biomass barometer.
59. Euroobserver: 2017. Biofuels barometer.
60. FAO: 2000. The Ecocrop Database. Rome, Italy
61. FAO: 2002. Sweet sorghum in China. Agriculture 21 Magazine <http://www.fao.org/ag/magazine/0202sp2.htm>
62. Faragó L.: 1975. A szemescirok, mint takarmány. Magyar Mezőgazdaság 30. 14.
63. Fassinou W. F., Sako A., Fofana A., Koua K. B., Toure S.: 2010. Fatty acids composition as a means to estimate the high heating value (HHV) of vegetable oils and biodiesel fuels. Energy. 35. 4949-4954.
64. Fernandes E. M., Pires R. A., Mano J. F., Reis R. L.: 2013. Bionanocomposites from lignocellulosic resources: Properties, applications and future trends for their use in the biomedical field. Progress In Polymer Science. 38. 1415-1441.
65. Firtás O.: 1999. Erdőhasználat I. Agrárszakoktatási Intézet. Budapest. 5-75.

66. Fogarassy Cs.: 2001. Energianövények a szántóföldön. SZIE GTK Európai Tanulmányok Központja. Gödöllő.
67. Gaur S., Reed T.: 1998. Thermal data for natural and synthetic fuels. Biomass energy foundation. Woodgas: proximate and ultimate analysis
68. Geleta, N., Labuschagne, M. T.: 2005. Qualitative traits variation in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) germplasm from, eastern highlands of Ethiopia. *Biodiversity and Conservation* 14. 3055–3064.
69. Georging H. K., Van Soest P.J.: 1975. *Agricultural Hand Book*. U.S.D.A.
70. Gerik T., Bean B., Vanderlip R.: 2003. Sorghum growth and development. Texas. Cooperative Extension. **B-6137**. <http://publications.tamu.edu/>.
71. Gholinezhad E., Aynaband A., Hassanzadeh Ghorthapeh A., Noormahamadi G., Bernousi I.: 2009. Study of the effect of drought stress on yield, yield components and harvest index of sunflower hybrid iroflor at different levels of nitrogen and plant population. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 37. 85-97.
72. Giber J.: 2005. Megújuló energiák szerepe az energiaellátásban. B+V Lap- és Könyvkiadó Kft. Budapest. 50-74.
73. Goshadrou A., Karimi K., Taherzadeh M. J.: 2011. Bioethanol production from sweet sorghum bagasse by *Mucor hiemalis*. *Indian Crops Production* 34. 1219-1225.
74. Grábner E.: 1942. Szántóföldi növénytermesztés (Cukor és fenyércirok). Pátria Irodalmi Vállalat és Nyomdai részvénytársaság.
75. Granström M.: 2009. Cellulose derivatives: Synthesis, Properties and applications. Academic Dissertation. University of Helsinki.
76. Grover P. D., Iyer P. V. R., Rao T. R.: 2002. Biomass-thermochemical characterization. 3rd ed. IIT-Delhi and MNS.
77. Gyökér A.: 1977. A takarmánycirok honosítása. *Magyar Mezőgazdaság*. 41. 7-8.
78. Gyökér A.: 1978. Országos tanácskozás a ciroktermesztésről. *Magyar Mezőgazdaság*. 44:8-9.
79. Gyuricza Cs.: 2008. Cukorcirok termesztése energetikai hasznosításra. *Agronapló*. 12.4: 75-76.

80. Hammer G. L., Carberry P. S., Muchow R. C.: 1993. Modelling genotypic and environmental control of leaf area dynamics in grain sorghum. I. Whole plant level. *Field Crops Research*. 33. 293-310.
81. Hammer G. L., Vanderlip R. L. , Gibson G., Wade L. J., Henzell R. G., Younger D. R., Warren J., Dale A.B.: 1989. Genotype-by-environment interaction in grain sorghum. II. Effects of temperature and photoperiod on ontogeny. *Crop Science*. 29. 376-384.
82. Han K. J., Pitman W. D., Kim M., Day D. F., Alison M. W., McCormick M. E., Aita G.: 2013. Ethanol production potential of sweet sorghum assessed using forage fiber analysis procedures. *GCB Bioenergy*. 5. 358-366.
83. Hannaway D. B., Myers, D.: 2004. Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Oregon State University 1, 1.
84. Harangozó K.: 1988. Egynyári szálas- és tömegtakarmányok termesztése és hasznosítása. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
85. Hepworth D. G., Bruce D. M., Vincent J. F. V., Jeronimidis G.: 2000. The manufacture and mechanical testing of thermosetting natural fibre composites. *Journal of Materials Science*. 35. 293-298.
86. Higgins N., Srinivasan N., Shah J., Dorner R., Pozzobon E.: 2011. Fuel effects and mitigation strategies when cofiring pulverized biomass. *Power-Gen Europe*. Milan. Nalco Mobotec. 24.
87. Horváth A., Mikes Gy.: 1981. Cirok. In: Szabó J.: A szántóföldi növények vetőmagtermesztése és fajtahasználata. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 259-263.
88. Huang H., Campbell A. G., Folk R., Mahler R. L.: 1992. Wood ash as a soil additive and liming agent for wheat. Field studies. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 23. 25-33.
89. Idziak R., Skrzypczak W., Waligora H., Woznica Z.: 2013. The effect of mesitrione applied with adjuvants on weed control efficacy and forage sorghum tolerance. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 37. 265-270.

90. IEEP: 2014. EU Climate and Energypolicies: opportunities and challenges in Central and Eastern European Member States. Europe's Climate and Energy Crossroads – First Seminar 5 November 2014., Brussels
91. Institution of Japan Energy: 2006. Biomass Handbook. Chemistry Industry Press. Beijing. 166-167.
92. International Energy Agency: 2008. Key world energy statics. Paris. OECD/IEA
93. International Energy Agency: 2011. World energy outlook 2011. OECD. Paris.
94. Ion V., Dicu G., Dumbrava M., Temocico G., Alecu I. N., Basa A. G., State D.: 2015. Harvest index at maize in different groving conditions. Romanian Biotechnological Letters. 20. 10951-10960.
95. Izsáki Z.: 2004. Szántóföldi növények vetőmagtermesztése és kereskedelme. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 245-264.
96. Jenkins B. M., Ebeling J. M.: 1985. Correlation of physical and chemical properties of terrestrial biomass with conversion: Symposium energy from biomass and waste. IX IGT. 371.
97. Jenkins B. M., Bakker R. R., Wei J. B.: 1996. On the properties of washed straw. Biomass Bioenergy. 10. 177-200.
98. Jenkins B. M., Baxter L. L., Miles T. R.: 1998. Combustion properties of biomass. Fuel Process Technology. 54. 17-46.
99. Jenkins B. M., Mannapperuma J. D., Bakker R. R.: 2003. Biomass leachate treatment by reverse osmosis. Fuel Process Technology. 81. 223-246.
100. Jóvér J., Czimbalmos Á., Győri Z., Puskás Á.: 2014. Silócirok (*Sorghum bicolor* L. Moench) hibridkombinációk néhány értékmérő tulajdonságának vizsgálata. Növénytermelés. 63. 71-86.
101. Jóvér J., Radócz L.: 2015. A posztemergens gyomszabályozás vizsgálata takarmánycirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) esetében. Magyar Gyomkutatás és Technológia. 16. 41-53.
102. Józsa L.: 1964. A takarmánycirok termesztése. Hajdú-Bihar megye Tanács és TIT kiadványa. Debrecen.
103. Józsa L.: 1976. Takarmánycirokok termesztése és felhasználása. Mezőgazda Kiadó. Budapest.

104. Juhász Cs., Rátonyi T., Harsányi E., Nagy J., Széles A.: 2013. Situation and development possibilities of irrigation in Hungary. *Infrastruktura I Ekologia Terenów Wiejskich / Infrastructure And Ecology Of Rural Areas* 3. 45-54.
105. Jurasek L., Colvin J. R., Whitaker D. R.: 1967. Microbiological aspects of the formation and degradation of cellulosic fibres. *Advances in Applied Microbiology*. 9. 131-170.
106. Kádár A.: 2013. Vegyszeres gyomirtás és termésszabályozás. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 169.
107. Kállay M.: 2010. Borászati kémia. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
108. Kalmár I., Nagy V.: 2007. Experiments on the maximum biogas production. 7th International Multidisciplinary Conference, Baia Mare (Romania); May 17-18. *Scientific Bulletin* 309-315.
109. Kapocsi I., Lazányi J., Kovács B.: 1983. A cukorcirok törzsek és hibridkombinációk termőképességének vizsgálata hígtrágyával öntözött területen alkohol előállítás céljából. *Növénytermelés*. 33. 529-534.
110. Kawahigashi H., Kasuga S., Okuizumi H., Hiradate S., Yonemaru J.: 2013. Evaluation of Brix and sugar content in stem juice from sorghum varieties. *Japanese Society of Grassland Science. Grassland Science*. 59:11–19.
111. Késmárki I.: 2005. Takarmánynövények. In: ANTAL J. (szerk): *Növénytermesztés 2*. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 552-555.
112. Khalil S. R. A., Abdelhafez A. A., Amer, E. A. M.: 2015. Evaluation of bioethanol production from juice and bagasse of some sweet sorghum varieties. *Annals of Agricultural Science*. 60. 317-324.
113. Kim S., Dale B. E.: 2005. Environmental Aspects of ethanol derived from no-tilled corn grain: nonrenewable energy consumption and greenhouse gas emissions. *Biomass Bioenergy*. 28. 475-489.
114. Kiss I., Mlinarics E.: 2008. A bioetanol előállítása és felhasználása. In: Chlepkó T. (szerk.): *Megújuló mezőgazdaság*. Magyar Katolikus Rádió Zrt., Budapest. 82-104.
115. Klinke, H. B., Lilholt H., Toftegaard H., Andersen T. L., Schmidt A. S., Thomsen A. B.: 2001. Wood and plant fibre reinforced polypropylene composites. In: 1st

- world conference on biomass for energy and industry. James & James (Science Publishers). 1082 –1085.
116. Kobayashi Y., Kato H., Kanai G.: 2008. Oilcake as a fuel alternative to wood pellets. 17th International Sunflower Conference. Proceeding. Spain. Cordoba. 803-806.
 117. Kovács G. P., Mikó P., Nagy L., Gyuricza Cs.: 2011. Talajművelési eljárások hatása a cukorcirok (*Sorghum bicolor* L. Moench) beltartalmi paramétereire. Növénytermelés. 60. 61-81.
 118. Kovács G. P.: 2014. Cukorcirok termesztéstechnológia kidolgozása alternatív energetikai célokra. Doktori értekezés. Gödöllő.
 119. Kucukbayrak S., Durus B., Mericboyu A. E., Kadioglu E.: 1991. Estimation of calorific values of Turkish lignites. Fuel 70. 979-981.
 120. Laddha K. C., Totawat K. I.: 1997. Effect of deep tillage under rainfed agriculture on production of (*Sorghum bicolor* L. Moench) intercropped with green gram (*Vigna radiata*) in western India. Soil & Tillage Research. 43. 241-250.
 121. Láng F.: 1998. Növényélettan. A növényi anyagcsere. ELTE Eötvös Kiadó. Budapest. 63-290.
 122. Lavanya D., Kulkarni P. K., Dixit M., Raavi P. R., Krishna L. N. V.: 2011. Sources of cellulose and their applications- A review. International journal of drug formulation and research. 2. 19-38.
 123. Linné, C. V.: 1753. Species Plantarum. Stockholm. Holmiae. 2. 1047-1048.
 124. Liu R., Li J., Shen F.: 2008. Refining bioethanol from stalk juice of sweet sorghum by immobilized yeast fermentation. Renewable Energy 33. 1130–1135.
 125. Lux A., Luxová M., Hattori T., Inanaga S.: 2002. Silicification in Sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars with different drought tolerance. 115. 87-92.
 126. Madsen B., Lilholt H.: 2003. Physical and mechanical properties of unidirectional plant fibre composites – an evaluation of the influence of porosity. Composite Science Technology. 63. 1265-1272.
 127. Makanda I.: 2009. Combining Ability and Heterosis for Stem Sugar Traits and Grain Yield Components in Dual-Purpose Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) Germplasm. Republic of South Africa. University of KwaZulu-Natal. Doctoral thesis.

128. Mátyás Cs., Berki I., Czúcz B., Gálos B., Móricz N., Rasztovics E.: 2010. Future of Beech in Southeast Europe from the Perspective of Evolution Ecology. *Acta Silvatica et Lignaria Hungarica*. 6. 91-110.
129. Mendas A., Delali A.: 2012. Integration of multicriteria decision analysis on GIS to develop land suitability for agriculture: Application to durum wheat cultivation in the region of Mleta in Algeria. *Computers and Electronics in Agriculture*. 83. 117-126.
130. Meyer B. G., Grabaum R.: 2008. MULBO: Model framework for multicriteria landscape assessment and optimisation. A support system for spatial land use decisions. *Landscape Research*. 33. 155-179.
131. Mijavec A.: 1972. Rokovi setve sirak metlase u ekoloskin uslovim Vojvodine. *Biltemza Hmelj i Sirak*. Novi Sad. IV/16.
132. Miles T. R., Miles T. R. Jr.: 1995. Alkali deposits found in biomass powerplants — a preliminary investigation of their extent and nature. Golden CO: National Renewable Energy Laboratory (NREL) report. Sub-contract TZ 2–11226-1.
133. Mojovic L., Pejin D., Grujic O., Markov S., Pejin J., Rankin M.: 2009. Progress in the production of bioethanol on starch based feedstocks. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly* 15. 221-226.
134. Mojovic L., Pejin D., Rakin M., Pejin J., Nikolic S., Djukic-Vukovic A.: 2012. How to improve the economy of bioethanol production in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16. 6040-6047.
135. Moldenhauer W. C., Keating F. E.: 1958. Relationship between climatic factors and yields of cotton, milo and cafir on sandy soils in the southern high plains. *Production Research Report US Department of Agriculture*. Texas.13.
136. Monk R. L.: 1977. Characterisation of grain sorghum emergence. M.Sc. Thesis, Texas A and M University, College Station, Texas.
137. Munor J. M., Rachie K. O.: 1956. The influence of elevation and climate on maturity and yield of some grain sorghum varieties. *Agronomical Abstracts*. 49.
138. Muse J., Mitchell C.: 1995. Paper mill boiler ash and lime by-products as soil liming materials. *Agronomy Journal* 87. 432-438.
139. Nagler P. L., Draughtry C. S. T., Goward S. N.: 2000. Plant litter and soil reflectance. *Remote Sensing of Environment*. 71. 207-215.

140. Nagler P. L., Inoue Y., Glenn E. P., Russ A. L., Daughtry C. S. T: 2003. Cellulose absorption index (CAI) to quantify mixed soil-plant litter scenes. Remote sensing of environment. 87. 310-325.
141. Nagy A., Riczu P., Gálya B., Tamás J.: 2014. Spectral estimation of soil water content in visible and near infra-red range. Eurasian Journal of Soil Science. 3. 163-171.
142. NÉBIH: 2017. Nemzeti Fajtajegyzék – Szántóföldi növények. Nemzeti Élelmiszerlánc-biztonsági Hivatal.
143. Németh T.: 2009. A tápanyag hatása a silócirok (*Sorghum bicolor* L. Moench) tápelem-felvételére, szárazanyag-felhalmozására és termés hozamára. Doktori értekezés. Debrecen.
144. Nguyen M. H., Li R. G. H.: 1991. Review of the present feasibility of crop based fuel alcohol production in Australia. Proceedings of the IX international symposium on alcohol fuels. 3. 1040-1045.
145. Norkrans B.: 1967. Cellulose and cellulolysis. Avances in Applied Microbiology. 9. 91-130.
146. Ohno T., Erich M. S.: 1993. Incubation-derived calcium carbonate equivalence of papermill boiler-ashes derived from sludge and wood sources. Environmental pollution 79. 175-180.
147. Ostovareh S., Karimi K., Zamani A.: 2015. Efficient conversation of sweet sorghum stalks to biogas and ethanol using organosolv pretreatment. Industrial Crops and products. 66. 170-177.
148. Pálfai I.: 2002. Magyarország aszályossági zónái. Vízügyi Közlemények. 84. 3.
149. Panesar P. S., Marwaha S. S., Kennedy J. F.: 2006. Zymomonas mobilis: An alternative ethanol producer. Journal of Chemical Technology Biotechnology. 81. 623-635.
150. Parikh J., Channiwala S. A., Ghosal G. K.: 2005. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. Fuel. 84. 487-494.
151. Parthasaranthi T., Velu G., Jeyakumar P.: 2013. Impact of Crop Heat Units on Growth and developmental Physiology of Future Crop Production: A Review. Research & Reviews: A Journal of Crop Science and Technology. 2. 1-11.

152. Pazderů K., Hodoval J., Urba J., Pulkrábek J., Pačuta V., Adamčík J.: 2014. The influence of sweet sorghum crop stand arrangement on biomass and biogas production. *Plant, Soil and Environment*, 60. 433-438.
153. Pels J. R., de Nie D. S., Kiel J. H. A.: 2005. Utilization of ashes from biomass combustion and gasification. *Proceeding of the 14th European Biomass Conference & Exhibition*. 17-21 October 2005. 17pp. Paris. France
154. Pepó P., Erdei É., Kovácsné O. H., Tóth Sz., Szabó E.: 2011. A beltenyésztett cirok vonalak és kétvonalas hibridjeik egyes beltartalmi tulajdonságainak vizsgálata. *Növénytermelés*. 60. 83-95.
155. Pfeiffer T. W., Bitzer M. J., Toy J. J., Pedersen J. F.: 2010. Heterosis in sweet sorghum and selection of a new sweet sorghum hybrid for use in syrup production in Appalachia. *Crop Science*. 50. 1788-1794.
156. Popp J.: 2007. A bioüzemanyag-gyártás nemzetközi összefüggései. *Agrárgazdasági Tanulmányok*. Agrárgazdasági Kutató Intézet. Budapest. 132.
157. R Core Team: 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
158. Ratnavathi C. V., Suresh K., Vijay Kumar B. S., Pallavi M., Komala V. V., Seetharama N.: 2010. Study on genotypic variation for ethanol production from sweet sorghum juice. *Biomass and Bioenergy*. 34. 947-952.
159. Réczey I-né: 2000. Bioetanol – mint alternatív üzemanyag. Megújuló energiaforrások racionális alkalmazása a mezőgazdaságban. Nemzetközi konferencia. Budapest
160. Reddy B.V.S., Ramesh S., Reddy P. S., Ramaiah B., Salimath P. M., Kachapur Rajashekar: 2005. Sorghum: a potential alternate raw material for bio-ethanol and bioenergy. *J. SAT Agricultural Research*. 1 1-8. retrieved from: http://oar.icrisat.org/1234/1/ISMN-46_79-86_2005.pdf.
161. REN21: Renewables 2013: Global status report. Paris
162. Rennie T. J., Tubeileh A.: 2011. The potential of forage sorghum as a Direct Combustion Biofuel. CSBE/SCGAB 2011 Annual Conference, Inn at the Forks, Winnipeg, Mb. 10-13. July 2011.

163. Riczu P., Biró Gy., Sulyok E., Nagy A., Tamás J., Szabó Z.: 2012. Determination of chlorophyll content in case of peach leaf curl disease (*Taphrina deformans*) with spectral analysis. *International Journal of Horticultural Science*. 18. 49-52.
164. Roberts D. A., Smith M. O., Adams J. B., Sabol D. E., Gillespie A. R., Willis S. C.: 1990. Isolating woody plant material and senescent vegetation from green vegetation in AVIRIS data. *Proceeding of the second airborne visible/infrared imaging spectrometer (AVIRIS) workshop*. JPL Publication. 90. 42-57.
165. Roberts D. A., Smith M. O., Adams J. B.: 1993. Green vegetation, non-photosynthetic vegetation, and soils in AVIRIS data. *Remote Sensing of Environment*. 44. 255-269.
166. Roman Gh. V., Hall D. O., Gosse Gh., Roman A. N., Ion V., Alexe G. H.: 1998. Research on sweet-sorghum productivity in the South Romanian plain. *Agricultural Information Technology in Asia and Oceania* 183-188.
167. Rosa D. D., Mayol F., Diaz-Pereira E., Fernandez M., Rosa D. D., JR.: 2003. A land evaluation decision support system (MicroLEIS DDS) for agricultural soil protection: Eith special reference to the Mediterranean region. *Environmental Modelling & Software*. 19. 929-942.
168. Sano T., Miura S., Furusawa H., Kaneko S., Yoshida T., Nomura T., Ohara S.: 2013. Composition of inorganic elements and the leaching behavior of biomass combustion ashes discharged from wood pellet boilers in Japan. *Journal of Wood Science* 59 (4): 307-320.
169. Sembery P., Tóth L.: 2004. Hagymányos és megújuló energiák. Szaktudás Kiadó Ház Rt., Budapest. 235-279.
170. Serrano L., Penuelas J., Ustin S.: 2002. Remote Sensing of Nitrogen and Lignin in Mediterranean Vegetation from AVIRIS Data: Decomposing Biochemical from Structural Signals. *Remote Sensing of Environment*. 81. 355-364.
171. Shen F, Liu R.: 2009. Research on solid-state ethanol fermentation using dry sweet sorghum stalk particles with active dry yeast. *Energy Fuels*. 23. 519-525.
172. Siklósiné Rajki E., Harmati I.: 2001. Takarmánycirok. In: Radics L.: *Alternatív növények termesztése I. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó*. Budapest. 266-282.
173. Sipos B., Réczey J., Somorai Z., Kádár Z., Dienes D., Réczey K.: 2009. Sweet sorghum as feedstock for ethanol production: enzymatic hydrolysis of steam-pretreated bagasse. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 153. 151-162.

174. Smith G. A., Buxton D. R.: 1993. Temperate zone sweet sorghum ethanol production potential. *Bioresource Technology*. 43. 71–75.
175. Someshwar, A. V.: 1996. Wood and combination wood-fired boiler ash characterization. *Journal Of Environmental Quality* 25. 962-972.
176. Surányi J.: 1946. Tájékoztató az édescirok (vagy barna cukorcirok, amerikai néven „Sumac” cukorcirok) termesztéséről és felhasználásáról 10 pontban. Magyar Földművelésügyi Minisztérium. Athenaeum. Budapest.
177. Surányi J.: 1954. A takarmánycirokról. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
178. Szabó A.: 2008. Bevezetés a mezőgazdasági mikrobiológiába. Debreceni Egyetem. Debrecen. 252-276.
179. Szabó I. M.: 1996. A bioszféra mikrobiológiája II. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1271-1295.
180. Szabó L.: 1983. Melegövi növénytermesztéstani ismeretek 2. Egyetemi Jegyzet. Gödöllő. 59-67.
181. Szász G.: 1988. Agrometeorológia: általános és speciális. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
182. Thokoza, L.: 2005. Evaluation of the heterotic potential of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] adapted to the Southern Africa region. *Plant Breeding* 1-6.
183. Tortosa-Masiá A. A., Buhre B. J. P., Gupta R. P., Wall T. F.: 2007. Characterising ash of biomass and waste. *Fuel Process Technology*. 88. 1071–1081.
184. Tóth Gy.: 2001. Szerves és biokémia. II. kötet. Debreceni Agrártudományi Egyetem. Debrecen.
185. Tóth J.: 1969. Takarmánycirok öntözéses termesztésével végzett kísérletek. Doktori értekezés. Gödöllő.
186. Tóth J.: 1962. Mikor és hogyan vessünk takarmánycirkot? Magyar Mezőgazdaság 7. 7.
187. Toyama N., Ogawa K.: 1975. Sugar production from agricultural woody wastes by saccharification with *Trichoderma viridae* cellulase. *Biotechnology and Bioengineering Symp.* 5. 225-244.
188. Tsuchihashi N., Goto Y.: 2004. Cultivation of Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) and determination of its harvest time to make use as raw material for

- fermentation, practiced during rainy season in dry land of Indonesia. *Plant production Science*. 7. 442-448.
189. Tuinstra M. R., Grote E. M., Goldsbrough P. B., Ejeta G.: 1997. Genetic analysis of pst-flowering drought tolerance and components of grain development in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Molecular Breeding*. 3. 439-448.
 190. Türe S., Uzun D., Türe I. E.: 1997. The potential use of sweet sorghum as a non-polluting source of energy. *Energy* 22. 17-19.
 191. Umakanth A. V., Patil J.V., Rani C., Gadakh S. R., Siva Kumar S., Rao S. S., Kotasthane T. V.: 2012. Combining Ability and Heterosis over Environments for Stalk and Sugar Related Traits in Sweet Sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.). *Sugar Tech*. 14. 237-246.
 192. Uriarte F. A.: 2010. Biofuels from plant oils. Jakarta Indonesia. 10-28.
 193. Vajda Gy. 2001: Energetika és fenntartható fejlődés. *Természet Világa*. 132. 8. 340-345.
 194. Van Soest P. J., Robertson J. B., Lewis B. A.: 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74. 3583–3597.
 195. Vasilakoglou I., Dhima K., Karagiannidis N., Gatsis T.: 2011. Sweet sorghum productivity for biofuels under increased soil salinity and reduced irrigation, *Field Crops Research* 120. 38-46.
 196. Vavilov N. I.: 1949. The Origin, Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants. *Chronica Botanica*. 14. 364.
 197. Vinall H. N., Stephens J. C., Martin J. H.: 1936. Identification, history, and distribution of common sorghum varieties. *Technical Bulletin* 506.
 198. Wagner H., Kaltschmitt M.: 2013. Biochemical and thermochemical conversion of wood to ethanol – simulation and analysis of difference processes. *Biomass Convers Biorefinery*. 3. 87–102.
 199. Watanabe T. E.: 2013. Introduction: potential of cellulosic ethanol In: Faraco V, editor. *Lignocellulose conversion: enzymatic and microbial tools for bioethanol production*, Springer, Berlin

200. Woods J.: 2001. The potential for energy production using sweet sorghum in southern Africa. *Energy for Sustainable Development* V: 31-38.
201. Yin C. Y.: 2011. Prediction of higher heating values of biomass from proximate and ultimate analyses. *Fuel* 90:1128–1132.
202. Yu J., Zhong J., Zhang X., Tan T.: 2010. Ethanol production from H₂SO₃-steam-pretreated fresh sweet sorghum stem by simultaneous saccharification and fermentation. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 160. 401-409.
203. Yunyun P., Shubin W.: 2010. The structural and thermal characteristics of wheat straw hemicellulose. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 88. 134-139.
204. Zhang C., Wei J., Jing X.: 2003. Life cycle economic analysis of fuel ethanol derived from cassava in southwest China. *Renewable Sustainable Energy*. 7. 353-366.
205. Zhao Y., Dolat A., Steinbergerc Y., Wanga X., Osmana A., Xie G. H.: 2009. Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. *Field Crops Research*. 11. 55-64.
206. Zhikai Z., Guangyi Z., Wangliang L., Chunxing L., Guangwen X.: 2016. Enhanced biogas production from sorghum stem by co-digestion with cow manure. *International Journal of Hydrogen Energy*. vol. 41. 9153-9158.

Internetes források:

I1: FAOSTAT <http://www.fao.org/faostat/en>

I2: MAGRO Agrárhírportál <https://www.magro.hu/agrarhirek/belfold/eros-hatszellel-letaszithatja-tronrol-cirok-kukoricat>

11. KÖZLEMÉNYEK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/36/2018.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Jóvér János
Neptun kód: GNZOPI
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10032322

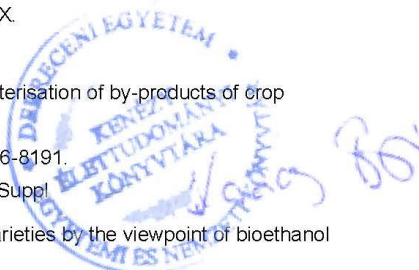
A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (5)

1. **Jóvér, J.**, Radócz, L.: A posztemergens gyomszabályozás vizsgálata takarmánycirok (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) esetében.
Magy. Gyomkut. Technol. 16 (2), 41-53, 2015. ISSN: 1586-894X.
2. **Jóvér, J.**, Antal, K., Éri, L.: Növénytermesztési melléktermékek kalorimetrikus jellemzése.
Agrártud. Közl. 55, 55-58, 2014. ISSN: 1587-1282.
3. **Jóvér, J.**, Czibalmos, Á., Györi, Z., Puskás, Á.: Silócirok (*Sorghum bicolor* L. Moench) hibridkombinációk néhány értékmérő tulajdonságának vizsgálata.
Növénytermelés. 63 (4), 71-86, 2014. ISSN: 0546-8191.
4. **Jóvér, J.**, Antal, K., Blaskó, L., Éri, L.: Cirok (*Sorghum bicolor*) és szudánifű (*Sorghum sudanense*) fajták kalorimetrikus vizsgálata.
Növénytermelés. 62 (4), 21-35, 2013. ISSN: 0546-8191.
5. **Jóvér, J.**, Ábrahám, É. B., Blaskó, L.: Különböző silócirok hibridek energetikai szempontú értékelése.
Agrártud. Közl. 51, 107-111, 2013. ISSN: 1587-1282.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

6. **Jóvér, J.**, Nagy, A., Tamás, J.: Evaluation of cellulose content by infrared spectroscopy.
J. Agric. Inform. 8 (1), 56-62, 2017. EISSN: 2061-862X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17700/jai.2017.8.1.365>
7. **Jóvér, J.**, Antal, K., Czibalmos, Á., Zsembeli, J.: Characterisation of by-products of crop growing from the point of view of energy production.
Növénytermelés. 65 (Suppl.), 55-58, 2016. ISSN: 0546-8191.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12666/Novenyterm.65.2016.Suppl>
8. **Jóvér, J.**: Evaluation of sweet sorghum and sudangrass varieties by the viewpoint of bioethanol production.
Agrártud. Közl. 59, 57-61, 2014. ISSN: 1587-1282.





Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

9. **Jóvér, J.**, Antal, K., Zsembeli, J., Blaskó, L., Tamás, J.: Assessment of gross calorific value of crop and bio-energy residues.
Res. Agric. Eng. [Epub], [1-16], 2018. EISSN: 1212-9151.
10. **Jóvér, J.**, Ezenyi, L., Antal, K., Zsembeli, J., Tamás, J.: Assesment of grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) hybrid combinations.
Annals of Academy of Romanian Scientists Series on Agriculture, Silviculture and Veterinary Medicine Sciences. 6 (1), 166-173, 2017. ISSN: 2069-1149.

Egyéb folyóiratközlemények (3)

11. **Jóvér, J.**: A cirokfélék termesztése.
Magy. Mezőgazd. 72 (1), 16-17, 2017. ISSN: 0025-018X.
12. **Jóvér, J.**, Czimbalmos, Á.: A silócirok termesztése.
Agrofórum. 26 (4), 10-12, 2015. ISSN: 1788-5884.
13. **Jóvér, J.**, Czirák, L., Bosnyák, I.: Karcagi fajták a köztermesztésben: Cirokfélék.
Agroforum. 24 (6), 18-19, 2013. ISSN: 1788-5884.

Magyar nyelvű konferencia közlemények (1)

14. **Jóvér, J.**, Czimbalmos, Á., Puskás, Á., Györi, Z.: Cirok vonalak értékelése.
In: XX. Növénytermesztési Tudományos Nap : Növénytermesztés a megújuló mezőgazdaságban. Szerk.: Veisz Ottó, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 205-209, 2014. ISBN: 9789638351425

Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

15. **Jóvér, J.**, Antal, K., Zsembeli, J., Blaskó, L., Tamás, J.: Evaluation of burning and reutilization parameters of different crop production by-products.
In: Proceedings of the International Conference on Environmental Science and Technology.
Ed.: D. F. Lekkas, Global Network of Environmental Science and Technology, Rhodes, 1-5, 2017.

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

16. **Jóvér, J.**, Antal, K., Czimbalmos, Á., Györi, Z., Puskás, Á., Ábrahám, É. B., Blaskó, L.:
Különböző silócirok hibridek cukortartalmának értékelése.
In: XIX. Növénytermesztési Tudományos Nap : Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 2013. március 07. : összefoglalók. Szerk.: Hoffmann Borbála, Kollárisné Horváth Margit, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 102, 2013. ISBN: 9789639639508



További közlemények

Magyar nyelvű könyvrészletek (6)

17. Gálya, B., Riczu, P., **Jóvér, J.**, Nagy, A., Tamás, J., Blaskó, L.: Aszálykockázat becslése alföldi referencia területen.
In: A talajok gyógyítója: Blaskó Lajos 70 éves. Szerk.: Tamás János, Zsembeli József, Debreceni Egyetem Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Debrecen, 113-128, 2017. ISBN: 9789634739661
18. Murányi, E., **Jóvér, J.**, Czibalmos, Á., Csízi, I., Monori, I.: A karcagi nemesítésű fűfajok értékmérő tulajdonságainak értékelése.
In: Öshonos- és tájfajták - Ökotermékek - Egészséges Táplálkozás - Vidékfejlesztés: A XXI. század mezőgazdasági stratégiái konferencia. Szerk.: Irinyiné Oláh Katalin, Kosztyuné Krajnyák Edit, Tóth Csilla, Lajtos István, Nyíregyházi Egyetem, Nyíregyháza, 167-172, 2016. ISBN: 9786155545696
19. Czibalmos, Á., **Jóvér, J.**, Murányi, E.: A tájnemesítés létjogosultsága a búzatermesztésben.
In: Öshonos- és tájfajták - Ökotermékek - Egészséges Táplálkozás - Vidékfejlesztés: A XXI. század mezőgazdasági stratégiái Konferencia. Szerk.: Irinyiné Oláh Katalin, Kosztyuné Krajnyák Edit, Tóth Csilla, Lajtos István, Nyíregyházi Egyetem, Nyíregyháza, 103-109, 2016. ISBN: 9786155545696
20. **Jóvér, J.**, Kovács, G., Czibalmos, Á., Fitosné Hornok, M.: A kölestermesztés és néhány klimatikus tényező összefüggéseinek vizsgálata a Nagykunságban.
In: Helyi termék-hagyomány, hálózat avagy fiatal kutatók vidéken. Szerk.: Kozma Gábor János, Seregi János, Dávidházy Gábor, Paszternák Ferenc, Barancsi Ágnes, Gazsó Tibor, Gál Ferenc Főiskola, Mezőtúr, 35-40, 2015. ISBN: 9786155256172
21. Kovács, Á., Fitosné Hornok, M., **Jóvér, J.**, Czibalmos, Á.: Az évjárat és a tözszámsűrítés hatása a pannon bükköny termésmennyiségére Karcag térségében.
In: Helyi termék-hagyomány, hálózat avagy fiatal kutatók vidéken. Szerk.: Kozma Gábor János, Seregi János, Dávidházy Gábor, Paszternák Ferenc, Barancsi Ágnes, Gazsó Tibor, Gál Ferenc Főiskola, Mezőtúr, 41-45, 2015. ISBN: 9786155256172
22. **Jóvér, J.**, Seres, E., Budai, J., Czibalmos, Á.: Különböző kölesfajták keményítőtartalmának értékelése.
In: Helyi termék-hagyomány, hálózat avagy fiatal kutatók vidéken. Szerk.: Kozma Gábor, Seregi János, Dávidházy Gábor, Paszternák Ferenc, Barancsi Ágnes, Gazsó Tibor, Gál Ferenc Főiskola, Mezőtúr, 30-34, 2015. ISBN: 9786155256172

Idegen nyelvű közlemények hazai folyóiratban (1)

23. Czibalmos, Á., **Jóvér, J.**, Zsembeli, J.: Effects of fertilization on some quantitative and qualitative characteristics of winter wheat in Great Cumania.
Columella. 1 (1), 17-21, 2014. ISSN: 2064-7816.



Idegen nyelvű közlemények külföldi folyóiratban (2)

24. Jevcsák, S., Murányi, E., Stündl, L., **Jóvér, J.**, Sipos, P.: Effect of different levels of nitrogen on the total polyphenol and total flavonoid content of sorghum and millet flours.
Acta Univ. Sapientiae. Alimentaria. 10, 107-115, 2017. EISSN: 2066-7744.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1515/ausal-2017-0007>
25. Porvaz, P., Gaduš, J., Tóth, Š., **Jóvér, J.**: Biogas production based on *Miscanthus x giganteus* (*Miscanthus Minensis* Anderss.) within dry fermentation process.
Acta Regionalia et Environmentalica. 12 (2), 46-49, 2015. ISSN: 1336-5452.

Egyéb folyóiratközlemények (9)

26. Murányi, E., **Jóvér, J.**, Czibalmos, Á., Csízi, I., Monori, I.: A karcagi nemesítésű fűfajok értékmérő tulajdonságainak értékelése.
Magy. Mezőgye. 4 (8), 28-30, 2017. ISSN: 2064-6879.
27. **Jóvér, J.**, Czibalmos, Á., Fitosné Hornok, M.: A fénymag termesztése.
Agrofórum. 27 (4), 22-23, 2016. ISSN: 1788-5884.
28. **Jóvér, J.**, Czibalmos, Á., Fitosné Hornok, M.: A mohar termesztése.
Agrofórum. 27 (4), 24-26, 2016. ISSN: 1788-5884.
29. Kovács, Á., **Jóvér, J.**, Fitosné Hornok, M., Czibalmos, Á.: A pannon bükköny termesztésének aktuális kérdései.
Agrofórum. 26 (4), 90-92, 2015. ISSN: 1788-5884.
30. **Jóvér, J.**, Czibalmos, Á., Czibalmos, R.: Alternatív takarmánynövényünk, a silócirok.
MezőHír. 19 (9), 70-72, 2015. ISSN: 1587-060x.
31. **Jóvér, J.**, Czibalmos, Á.: Gondolatok a szemescirok termesztéséről.
Agrofórum. 26 (4), 14-15, 2015. ISSN: 1788-5884.
32. Fitosné Hornok, M., **Jóvér, J.**, Kovács, Á., Czibalmos, Á.: Pillangós alternatív növényünk: a szegletes lednek.
Agrofórum. 26 (5), 86-88, 2015. ISSN: 1788-5884.
33. Fitosné Hornok, M., **Jóvér, J.**, Czibalmos, Á.: Értékes fehérjenövényünk: az őszi takarmányborsó.
Agrofórum. 26 (9), 48-50, 2015. ISSN: 1788-5884.
34. Czibalmos, Á., **Jóvér, J.**, Fitosné Hornok, M.: Őszi vetésű növények (különös tekintettel az őszi búzára) terméshozzáértékének megalapozása.
Értékálló Aranykorona. 15 (8), 17-19, 2015. ISSN: 1586-9652.





Magyar nyelvű konferencia közlemények (2)

35. Kun, Á., Bozán, C., Zsembeli, J., **Jóvér, J.**, Bíróné Oncsik, M.: Karcagi cirokfajták reakciója különböző összetételű öntözővíz hatására.
In: Kihívások a mai modern mezőgazdaságban : Tudományos konferencia előadásai. Szerk.: Futó Zoltán, Szent István Egyetemi Kiadó, [Gödöllő], 191-196, 2016. ISBN: 9789632695945
36. Puskás, Á., Czibalmos, Á., Győri, Z., **Jóvér, J.**: Őszi árpafajták összehasonlítása különböző vetésidőkben.
In: XX. Növénytermesztési Tudományos Nap : Növénytermesztés a megújuló mezőgazdaságban. Szerk.: Veisz Ottó, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 364-368, 2014. ISBN: 9789638351425

Idegen nyelvű konferencia közlemények (2)

37. Czibalmos, Á., **Jóvér, J.**, Zsembeli, J.: Effects of fertilization on some quantitative and qualitative characteristics of winter wheat in Great Cumania.
Növénytermelés 63 (Suppl.), 95-98, 2014. ISSN: 0546-8191.
38. Kovács, E., **Jóvér, J.**, Tamás, J.: Feasibility study for biogas production from energy crop, wastes of an integrated agricultural enterprise and sewage treatment plant.
In: LI. Georgikon Napok [elektronikus dokumentum] : Nemzetközi tudományos konferencia : Keszthely, 2009. október 1-2.. Szerk.: Tóth Gergely, Pannon Egyetem, Keszthely, 540-545, 2009. ISBN: 9789639639355

Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (3)

39. Murányi, E., Czibalmos, Á., Varga, K., **Jóvér, J.**: Háromvonalas silócirok hibridek (*Sorghum bicolor* L. Moench) refrakciós szárazanyagtartalmának vizsgálata.
In: XXIII. Növénytermesztési Tudományos Nap : Összefoglalók. Szerk.: Veisz Ottó, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 130, 2017.
40. Czibalmos, Á., Győri, Z., **Jóvér, J.**: Búzafajták termésátlagának alakulása, különös tekintettel a genetikai haladásra.
In: XIX. Növénytermesztési Tudományos Nap : Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 2013. március 07. : összefoglalók. Szerk.: Hoffmann Borbála, Kollaricsné Horváth Margit, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 82, 2013. ISBN: 9789639639508
41. Puskás, Á., **Jóvér, J.**, Győri, Z., Blaskó, L.: Szegletes lednek (*Lathyrus sativus* L.) termőtalaj nitrogén (NO₂, NO₃) tartalmára gyakorolt hatása különböző hasznosítások esetén.
In: XIX. Növénytermesztési Tudományos Nap : Összefoglalók. Szerk.: Hoffmann Borbála, Kollaricsné Horváth Margit, Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 132, 2013. ISBN: 9789639639508



Ismeretterjesztő, népszerűsítő cikkek (2)

42. **Jóvér, J.**, Czirák, L., Bosnyák, I.: Alternatív növények a funkcionális élelmiszer-előállítás szolgálatában.
Agronapló 17 (6), 83-84, 2013.
43. **Jóvér, J.**: A biogáz-előállítás kistérségi szintű perspektívái.
Hulladéksors. 11 (1), 34-35, 2010. ISSN: 1586-0280.

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2018.02.07.



12. NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2018.

.....

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy **Jóvér János** doktorjelölt 2012-2017 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2018.

.....

a témavezető aláírása

13. MELLÉKLETEK

I. melléklet

A szántóföldi kísérletek területeinek főbb talajtani paraméterei

A 2010-es év kísérleti helyszínének talajtani jellemzői

pH (KCl)	K _A	Só-tartalom (m/m) %	CaCO ₃ (m/m)%	Humusz (%)	NO ₂ +NO ₃ -N (mg/kg)	AL-P ₂ O ₅ (mg/kg)	AL-K ₂ O (mg/kg)
5.2	49	0.02	< 0,05	3.5	6.8	173	500

A 2011-es év kísérleti helyszínének talajtani jellemzői

pH (KCl)	K _A	Só-tartalom (m/m) %	CaCO ₃ (m/m)%	Humusz (%)	NO ₂ +NO ₃ -N (mg/kg)	AL-P ₂ O ₅ (mg/kg)	AL-K ₂ O (mg/kg)
5.4	47	0.06	< 0,05	3.5	20.5	139	379

A 2012-es év kísérleti helyszínének talajtani jellemzői

pH (KCl)	K _A	Só-tartalom (m/m) %	CaCO ₃ (m/m)%	Humusz (%)	NO ₂ +NO ₃ -N (mg/kg)	AL-P ₂ O ₅ (mg/kg)	AL-K ₂ O (mg/kg)
6.8	49	0.05	< 0,05	3.6	16.5	111	389

A 2013-as év kísérleti helyszínének talajtani jellemzői

pH (KCl)	K _A	Só-tartalom (m/m) %	CaCO ₃ (m/m)%	Humusz (%)	NO ₂ +NO ₃ -N (mg/kg)	AL-P ₂ O ₅ (mg/kg)	AL-K ₂ O (mg/kg)
5.4	50	0.03	< 0,05	3.40	11.1	161	419

A 2014-es év kísérleti helyszínének talajtani jellemzői

pH (KCl)	K _A	Só-tartalom (m/m) %	CaCO ₃ (m/m)%	Humusz (%)	NO ₂ +NO ₃ -N (mg/kg)	AL-P ₂ O ₅ (mg/kg)	AL-K ₂ O (mg/kg)
5.2	44	0.03	< 0,05	3.0	19.0	115	315

A 2015-ös év kísérleti helyszínének talajtani jellemzői

pH (KCl)	K _A	Só-tartalom (m/m) %	CaCO ₃ (m/m)%	Humusz (%)	NO ₂ +NO ₃ -N (mg/kg)	AL-P ₂ O ₅ (mg/kg)	AL-K ₂ O (mg/kg)
5.4	50	<0,02	< 0,05	3.40	11.2	181	411

II. melléklet
A kísérleti időszak főbb meteorológiai paraméterei

A 2010-es év főbb meteorológiai adatai

	Középhőmérséklet (°C)	Maximum hőmérséklet (°C)	Minimum hőmérséklet (°C)	Csapadék (mm)
január	-2.0	11.6	-14.9	51.4
február	0.5	12.8	-17.9	62.3
március	6.0	21.7	-6.1	12.1
április	11.4	24.6	-0.1	63.3
május	16.1	27.0	6.1	124.8
június	19.7	34.0	9.4	105.2
július	22.5	34.2	11.9	118.1
augusztus	20.9	34.8	8.0	101.6
szeptember	14.8	24.3	6.1	77.9
október	7.9	18.0	-2.4	23.1
november	8.0	20.1	-3.9	56.2
december	-1.1	12.8	-15.8	93.1
Éves	10.4	34.8	-17.9	889.1

Forrás: DE AKIT Karcagi Kutatóintézet

A 2011-es év főbb meteorológiai adatai

	Középhőmérséklet (°C)	Maximum hőmérséklet (°C)	Minimum hőmérséklet (°C)	Csapadék (mm)
január	-0.6	10.2	-13.9	12.7
február	-1.1	11.8	-9.2	15.0
március	6.0	19.0	-6.3	22.0
április	13.1	24.7	0.4	18.9
május	16.9	30.1	1.9	46.9
június	20.9	32.7	9.3	49.3
július	21.3	37.6	9.8	84.4
augusztus	22.6	36.4	9.5	28.4
szeptember	19.6	33.3	6.9	31.7
október	10.4	27.4	-4.5	18.6
november	2.0	18.2	-9.0	0.0
december	2.4	11.3	-4.9	57.8
Éves	11.1	37.6	-13.9	385.7

Forrás: DE AKIT Karcagi Kutatóintézet

A 2012-es év főbb meteorológiai adatai

	Középhőmérséklet (°C)	Maximum hőmérséklet (°C)	Minimum hőmérséklet (°C)	Csapadék (mm)
január	0.4	9.0	-11.2	16.8
február	-5.1	11.9	-21.2	18.0
március	7.0	22.8	-9.6	2.5
április	12.3	30.8	-4.7	13.1
május	17.1	32.0	5.5	61.9
június	21.4	35.5	8.6	57.6
július	24.3	38.2	10.2	38.1
augusztus	23.6	38.8	8.8	4.1
szeptember	19.4	33.7	5.1	31.5
október	11.8	26.3	-0.8	40.6
november	6.9	19.2	-2.4	18.7
december	-0.7	8.5	-12.9	41.6
Éves	11.5	38.8	-21.2	344.5

Forrás: DE AKIT Karcagi Kutatóintézet

A 2013-as év főbb meteorológiai adatai

	Középhőmérséklet (°C)	Maximum hőmérséklet (°C)	Minimum hőmérséklet (°C)	Csapadék (mm)
január	-0.3	9.7	-10.1	42.5
február	2.6	13.9	-7.0	51.0
március	3.8	16.9	-13.5	110.2
április	12.8	32.0	-1.0	47.3
május	17.3	30.2	6.4	81.9
június	20.4	35.3	9.2	62.9
július	22.8	37.7	11.4	8.8
augusztus	23.1	37.6	11.2	57.0
szeptember	15.0	27.2	4.3	21.7
október	12.6	26.1	-3.0	42.1
november	7.8	19.2	-5.7	48.5
december	1.2	13.4	-7.5	0.2
Éves	11.6	37.7	-13.5	574.1

Forrás: DE AKIT Karcagi Kutatóintézet

A 2014-es év főbb meteorológiai adatai

	Középhőmérséklet (°C)	Maximum hőmérséklet (°C)	Minimum hőmérséklet (°C)	Csapadék (mm)
január	2.5	11.8	-11.9	30.0
február	4.1	13.7	-9.8	23.5
március	9.3	22.3	-0.8	20.0
április	12.6	23.9	0.9	46.5
május	16.1	29.6	2.7	49.3
június	20.2	35.4	8.2	37.8
július	22.0	34.3	9.7	128.4
augusztus	20.7	33.6	7.8	28.7
szeptember	17.5	29.3	5.6	113.1
október	12.1	26.2	-1.6	78.9
november	7.0	20.4	-2.3	20.1
december	2.8	10.8	-11.3	53.3
Éves	12.2	35.4	-11.9	629.6

Forrás: DE AKIT Karcagi Kutatóintézet

A 2015-ös év főbb meteorológiai adatai

	Középhőmérséklet (°C)	Maximum hőmérséklet (°C)	Minimum hőmérséklet (°C)	Csapadék (mm)
január	1.6	8.8	-11.0	46.6
február	2.0	15.2	-8.1	14.2
március	6.9	20.7	-4.3	13.3
április	11.0	27.2	-3.0	11.0
május	16.5	27.2	5.3	45.6
június	20.5	33.0	8.2	38.5
július	24.1	38.2	9.9	26.6
augusztus	24.4	37.7	12.8	66.1
szeptember	18.5	35.7	5.7	39.7
október	10.7	25.2	-0.6	76.6
november	6.0	19.6	-3.6	28.9
december	2.4	12.4	-8.3	6.9
Éves	12.0	38.2	-11.0	414.0

Forrás: DE AKIT Karcagi Kutatóintézet

III. melléklet

A detergens rostfrakciók meghatározása során alkalmazott oldatok összetétele

NDF oldat (1 liter)

Összetevők:

30 g	nátrium laurin szulfát
18,6 g	N ₂ EDTA
4,56 g	Na ₂ PO ₄
6,81 g	Na-tetraborát
10 ml	triethylén-glikol
650 ml	víz (30 °C)

A fentikben kimért vízmennyiséghez egymás után hozzáadjuk a felsorolt komponenseket ügyelve arra, hogy az adott anyag a bekeverést követően, a következő komponens hozzáadása előtt feloldódjon.

ADF oldat (1 liter)

Összetevők:

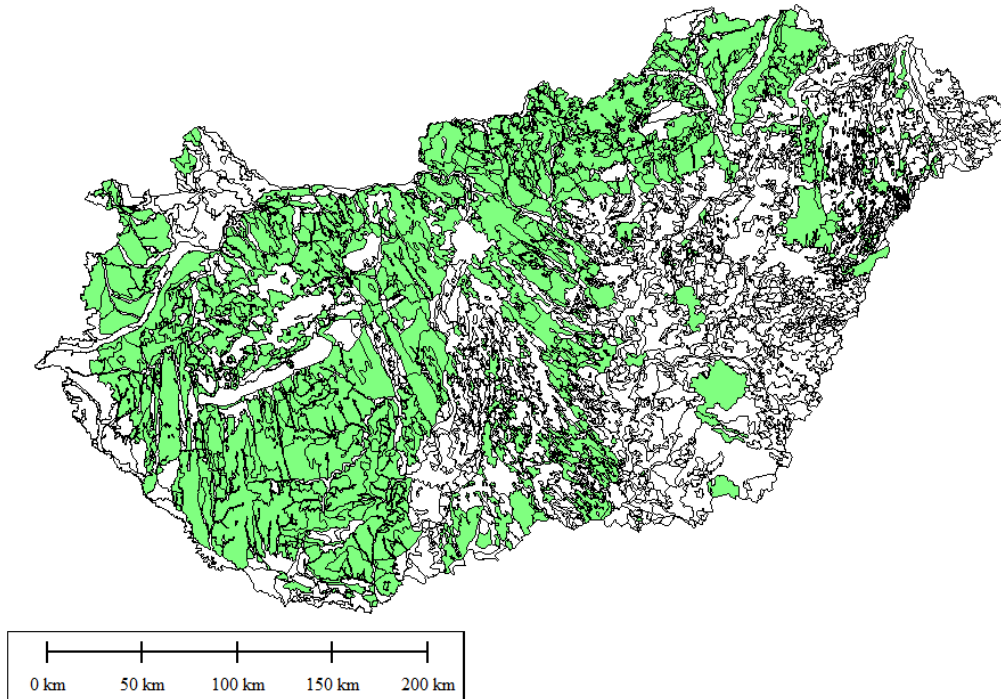
800 ml	víz
100 g	H ₂ SO ₄
20 g	cetrimónium-bromid

A fentikben kimért vízmennyiséghez folyamatos keverés mellett hozzáadjuk a kénsavat, majd a keverés folytatása mellett hozzáadjuk a cetrimónium-bromid komponenst is.

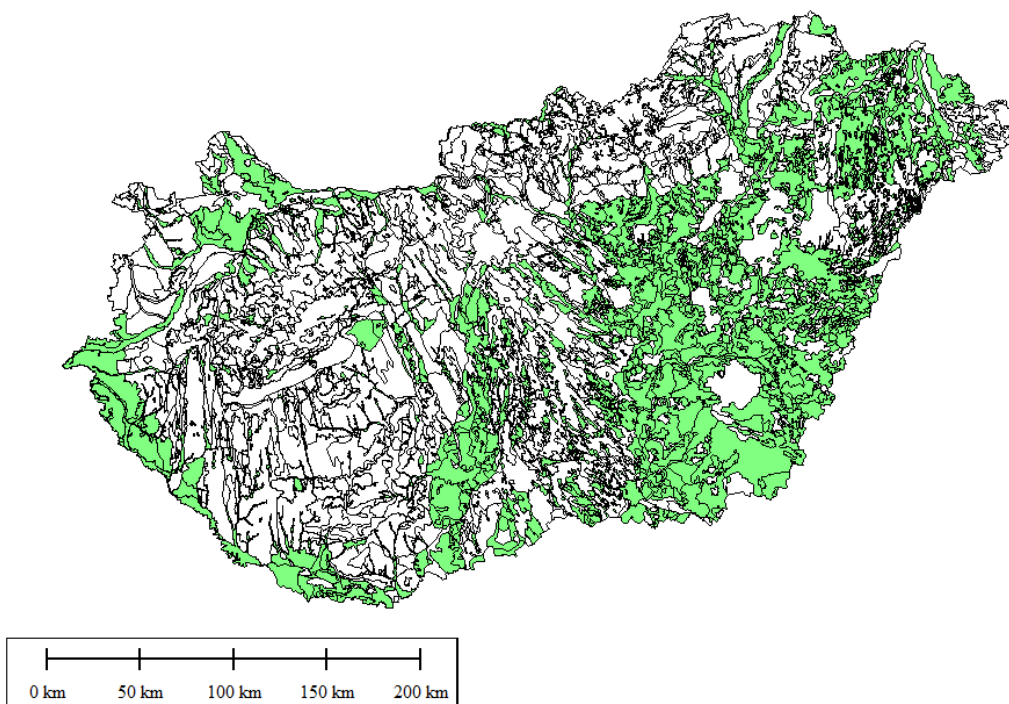
IV. melléklet

Az „alkalmas” és „preferált” területek lehatárolása során előállított talajtani fedvények az AGROTOPO adatbázisa alapján

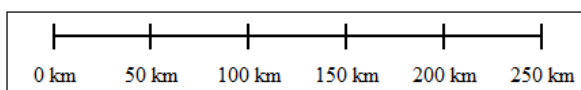
A talajtípus alapján ciroktermesztésre alkalmas területek Magyarországon



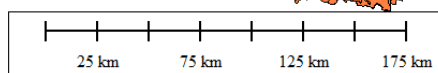
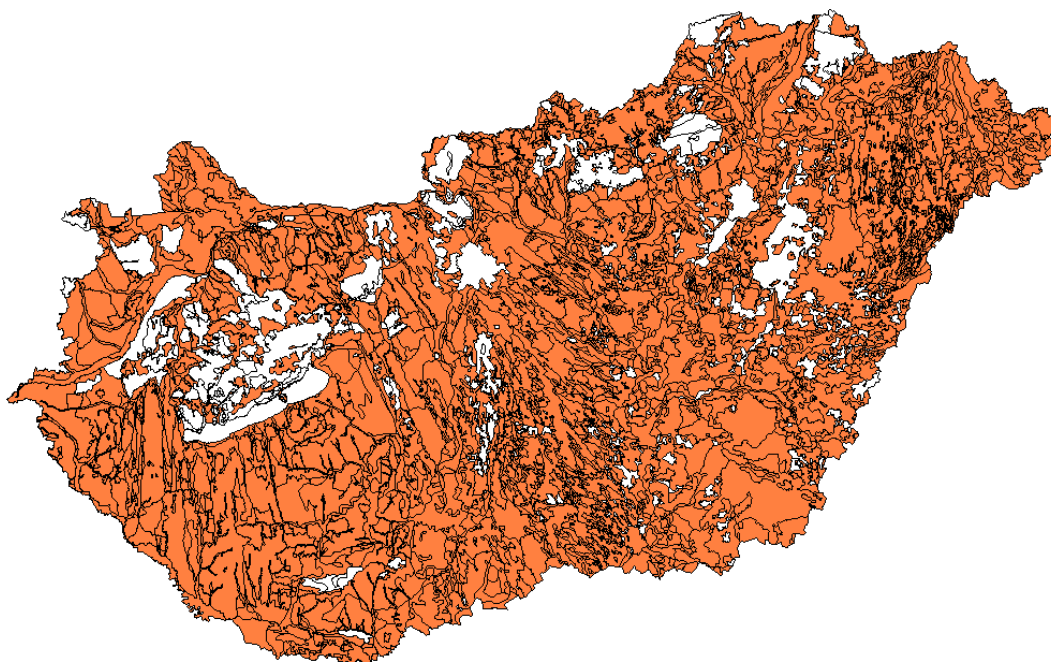
A talajtípus alapján ciroktermesztésre preferált területek Magyarországon



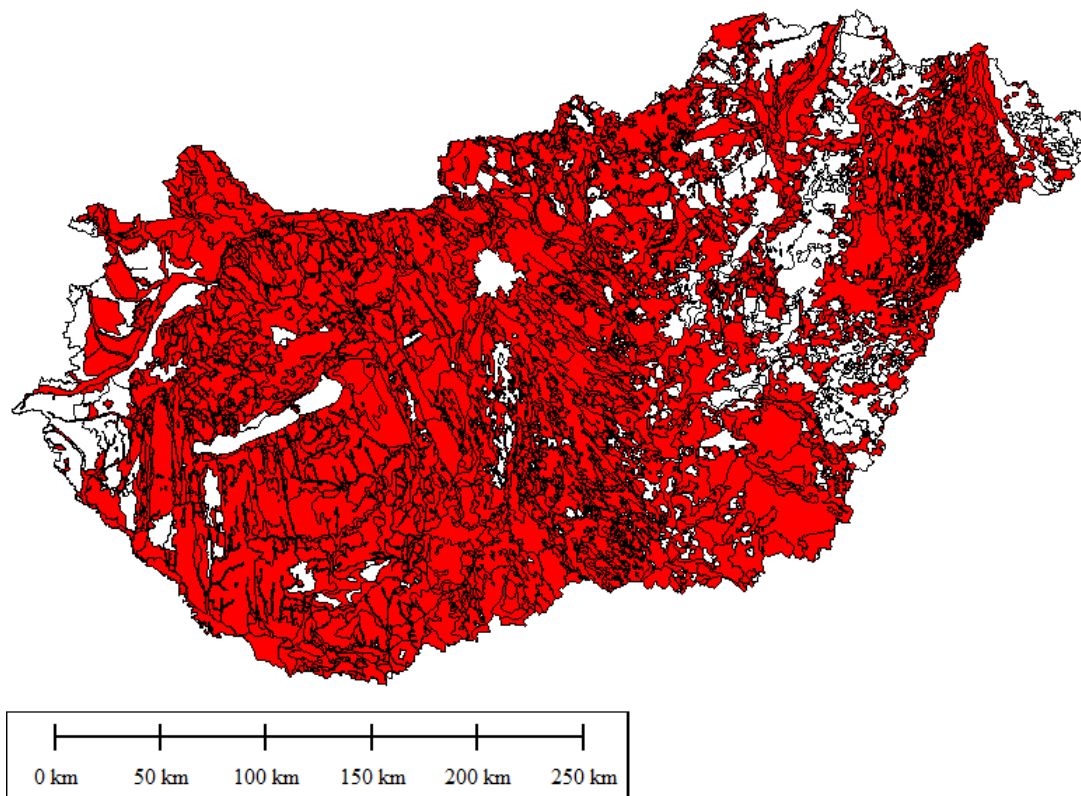
Talajfizikai tulajdonságok alapján végzett lehatárolás alapját képező területek a ciroktermesztésre „alkalmas” és „preferált” területek esetében



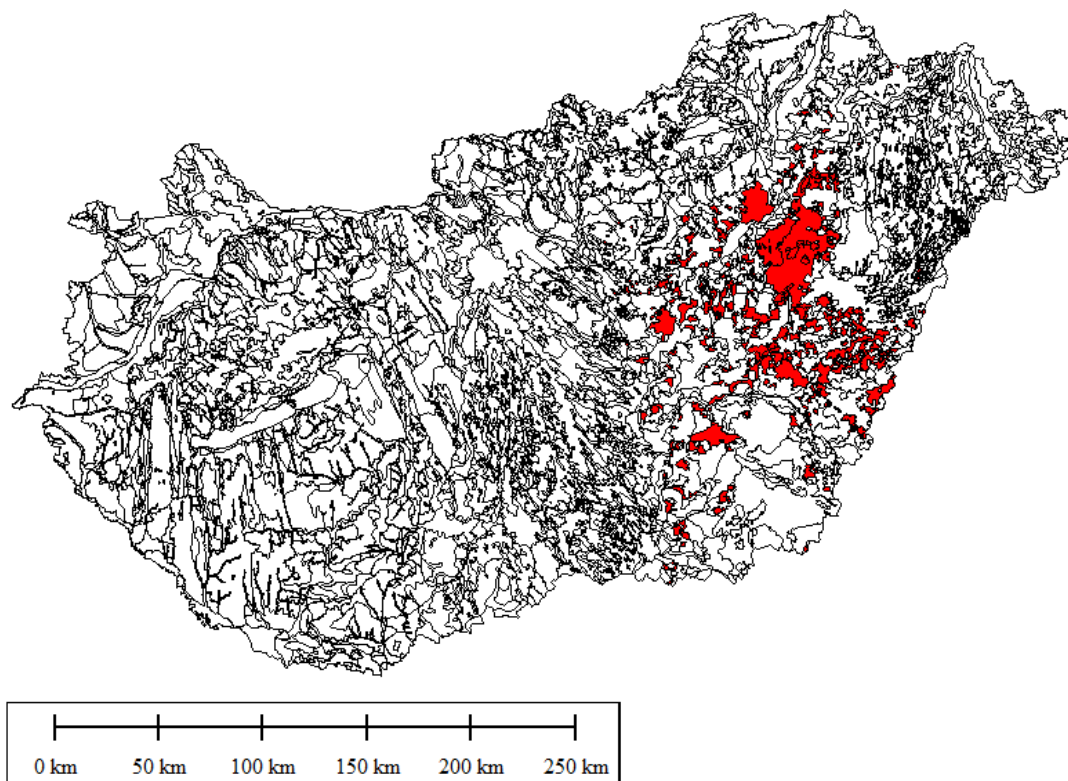
A talaj vízgazdálkodási tulajdonságai alapján végzett lehatárolás alapját képező területek a ciroktermesztésre „alkalmas” és „preferált” területek esetében



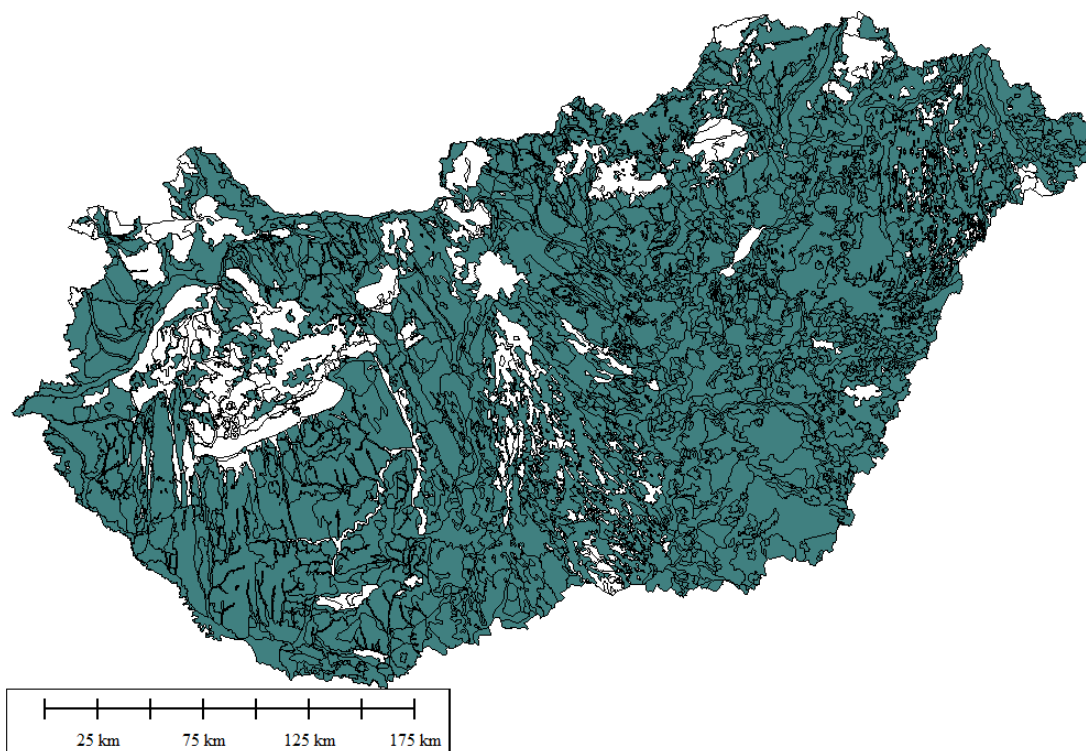
A kémhatás szempontjából ciroktermesztésre alkalmas talajok



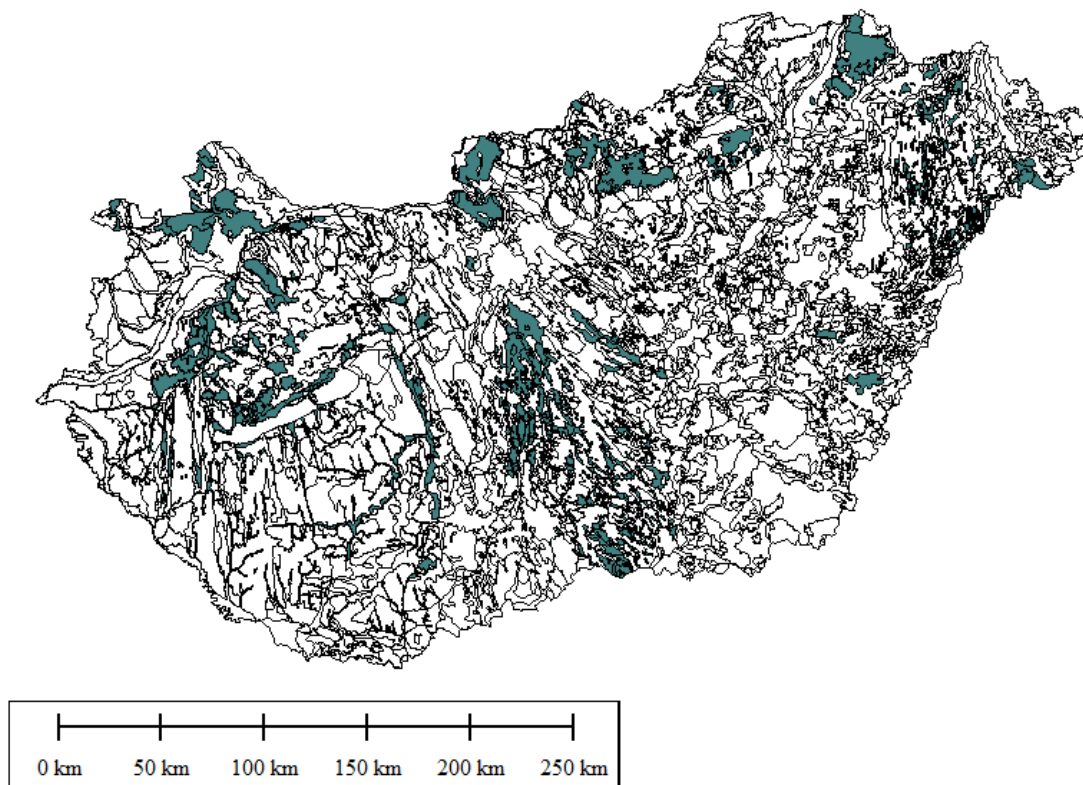
A kémhatás szempontjából ciroktermesztésre preferált talajok



A termőréteg vastagsága szempontjából ciroktermesztésre alkalmas talajok



A termőréteg vastagsága szempontjából ciroktermesztésre preferált talajok



KÖSZÖNETNYILÁNÍTÁS

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőm, Prof. Dr. Blaskó Lajos egyetemi tanár segítő munkáját, aki szakmai javaslataival támogatta jelen értekezés elkészülését.

Köszönet illeti Dr. Juhász Csaba egyetemi docens és Dr. Tóth Szilárd egyetemi docens urakat, akik lelkiismeretes bírálatuk által segítették elő az értekezés megfelelő minőségben való elkészülését.

Köszönöm Prof. Dr. Tamás János egyetemi tanár segítő javaslatait, amelyek által javíthattam a disszertáció szakmai minőségét, továbbá köszönöm, hogy kutatási tevékenységem során a Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet infrastrukturális háttere is rendelkezésemre állhatott.

Köszönöm Dr. Zsembeli József tudományos tanácsadó és Dr. Czimbalmos Ágnes tudományos munkatárs támogatását, akik biztosították a kísérletes munkák feltételeit a Debreceni Egyetem AKIT Karcagi Kutatóintézetben, továbbá köszönöm a Debreceni Egyetem AKIT Karcagi Kutatóintézet és a Debreceni Egyetem Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet valamennyi munkatársának segítségét, akik munkájukkal, illetve javaslataikkal támogatták a doktori dolgozat elkészítését.

Köszönöm Dr. Antal Károly tudományos munkatárs, Dr. Kovács Györgyi tudományos munkatárs, Dr. Nagy Attila egyetemi adjunktus, illetve Dr. Riczu Péter tudományos segédmunkatárs segítő javaslatait, amelyek fontos támpontokat jelentettek a kutatómunka kivitelezése és az értekezés készítése során.

Végül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni feleségem és családom támogatását, akik mindig mellettem álltak és támogattak doktori tanulmányaim alatt.