

Pannon Egyetem
Mérnöki Kar

Klimatikus változásokhoz alkalmazkodó kukorica hibridek bioetanol hozamának vizsgálata

Készítette: Németh Gabriella
Biomérnök BSc
4. évfolyam

Témavezetők: dr. Dallos András egyetemi docens,
Tollár Ágnes Nikolett PhD hallgató

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	1
2. Irodalmi áttekintés.....	2
2.1. Biomassza, biogáz, folyékony bioüzemanyagok.....	2
2.2. A bioetanol előnyei és felhasználása.....	2
2.3. Bioetanol alapanyagok	4
2.4. Bioetanol előállítása kukoricából	5
3. Kísérleti rész.....	10
3.1. Felhasznált anyagok és eszközök	10
3.2. Alkalmazott analitikai módszerek	14
3.3. Alapanyag előkészítése	17
3.4. A kukoricakeményítő hidrolízise és fermentációja	17
3.5. Kukorica szeszcefrék gőz-folyadék egyensúlyi mérése	21
4. Eredmények és diszkusszió.....	23
4.1. A kukorica hibridek keményítőtartalma.....	23
4.2. A kukorica hibridek szárazanyag-tartalma és szerves szárazanyag-tartalma	23
4.3. A kukorica hibrid lisztek szemcseméret eloszlása	24
4.4. A hidrolízis és a fermentáció eredményei	27
4.5. Gőz-folyadék egyensúlyi mérések eredményei.....	31
Összefoglalás.....	34
Irodalomjegyzék.....	35
Köszönetnyilvánítás	38

1. Bevezetés

Napjainkban egyre nagyobb problémát jelent a Föld lakosságának növekvő energiaigénye. A fosszilis energiahordozók, melyek az energiafelhasználás jelentős részét biztosítják, csak korlátozottan állnak rendelkezésre. Ennek következtében számos kutatást folytatnak új, megújítható és megújuló energiaforrások után [1].

A megújuló energiaforrások szerepének fontossága miatt lehetőség nyílt a mezőgazdasági művelés alól kivont termőterületek energetikai célú hasznosítására. A kőolaj árának emelkedése és bizonytalan hozzáférhetősége fokozta az érdeklődést a bioüzemanyagok iránt. A bioetanol, mely nagyrészt etil-alkoholból álló üzemanyag, nagy cukor- és keményítőtartalmú növényekből állítható elő [2].

A bioetanol nem a XXI. század találmánya, eredetileg Henry Ford (1. kép) autója, a T-modell (2. kép) is alkohollal működött. A T-modell fogyasztása 11-18 L/100 km volt [3].



1. kép: Henry Ford



2. kép: T-modell

Kísérleti munkám célja az volt, hogy öt új martonvásári kukorica hibrid bioetanol potenciálját meghatározzam laboratóriumi körülmények között. A kísérlet során vizsgáltam a kukoricakeményítő enzimes hidrolízisét és alkoholos fermentációját.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. Biomassza, biogáz, folyékony bioüzemanyagok

A biomassza definícióját nehéz megfogalmazni, hiszen másként határozza meg egy természettudós, egy környezetvédő és egy energetikai szakember is. A biomassza jelentése tehát: élő és elhalt szervezetek; növényi és állati hulladékok; valamint fotoszintézis által termelt szerves anyagok, melléktermékek. A biomassza nagyon fontos az élelmiszeripar, takarmányozás, agráripar és az energetikai hasznosítás területén [4].

A biomassza energetikai célú átalakításának eredménye a biogáz, a biodízel és a bioalkohol. A biogáz olyan gázelegy, mely szerves anyagok anaerob lebomlása során keletkezik. A biogáz tartalmaz: 50-70% metánt, 30-40% szén-dioxidot, vízgőzt és kén-hidrogént. A biodízel növényi olajokból állítható elő metil-alkohollal. A bioalkohol pedig keményítő-, cellulóz- és cukortartalmú agrártermékekből történő szénhidrát-feltárással és az azt követő erjesztéssel nyerhető [4,5].

Az elmúlt években a bioetanol az egyik legígéretesebb bioüzemanyaggá vált, főként eleget téve a fosszilis eredetű üzemanyag ellátás és a szén-dioxid kibocsátás csökkentésére irányuló erőfeszítéseknek. A jelenlegi EU irányelv célul tűzte ki, hogy a közlekedésben használt bioüzemanyagok tegyék ki az összes közlekedési célú üzemanyagok 5,75%-át 2010-re, azonban az Európai Bizottság növelte ezt 10%-ra 2020-ra [6].

2.2. A bioetanol előnyei és felhasználása

A bioetanol számos előnnyel rendelkezik a hagyományos üzemanyagokkal szemben. Biológiai módon lebontható, ennek köszönhetően nem okoz környezeti károkat véletlen kiömlés esetén. Továbbá, a bioetanolt elégetve, kevesebb kén és nehézfém tartalmú égéstermék keletkezik, mint fosszilis eredetű üzemanyagok esetén, ami szerepet játszik a savas eső csökkentésében. Ezen kívül a bioetanol

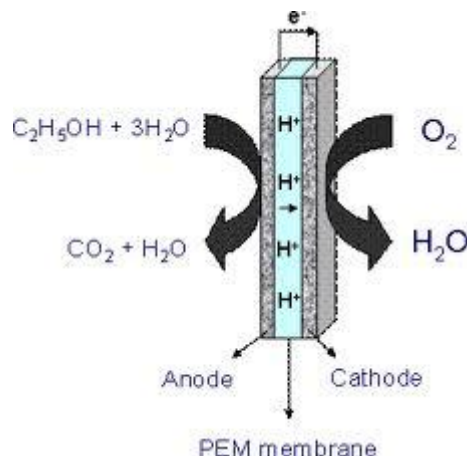
2. Irodalmi áttekintés

megoldást jelent az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésében, valamint a környezeti helyzet javításában.

A bioetanol motorhajtóanyagként kétféle módon alkalmazható. A bioetanol felhasználható tiszta állapotában vagy fosszilis eredetű üzemanyaggal különböző arányban keverve. Ebben a formában a bioetanolt buszokban és ipari járművekben hasznosítják néhány országban. Ezen kívül a bioetanolból etil-tercier-butil-éter is előállítható.

A bioetanolnak különböző keverékei állnak rendelkezésre. Az e5 bioetanol 5% bioetanol és 95% hagyományos benzin keveréke. Felhasználható minden típusú benzin meghajtású járműben, anélkül, hogy bármi változtatást igényelne a motor. Egy másik keverékfajta az e10 bioetanol, mely 10% bioetanolt tartalmaz. Beszélhetünk még e85 bioetanolról is, mely 85% bioetanolt és 15% 95-ös oktánszámú benzint tartalmaz [7].

Napjainkban a biomassza alapú etanol korszerű felhasználásának számít a tüzelőanyag cellákban történő alkalmazása is. A tüzelőanyag cellákban elektrokémiai folyamat játszódik le, melynek eredményeképpen elektromos energiát nyerünk, hőtermelés közben. A tüzelőanyag cella két elektródát tartalmaz, a köztük lévő elektrolittal. A leggyakrabban használt hidrogénes cella működésének lényege, hogy katalizátor segítségével a hidrogénmolekulák bomlásnak indulnak. Először hidrogénatomok, majd protonok és elektronok keletkeznek. A protonok az elektroliton keresztül áramlanak. Az elektronok pedig egy külső áramkörön, majd a katódra érkezve egyesülnek a protonokkal és az oxigénnel, melynek során víz keletkezik. Többféle üzemanyag cellát különböztethetünk meg, aszerint, hogy milyen hőmérsékleten működnek vagy, hogy milyen elektrolitot használnak. Az etanollal táplált üzemanyagcella (1. ábra) számos előnnyel rendelkezik, összehasonlítva a hidrogénes üzemanyagcellával. A hidrogén előállítási költsége magas, drága és kockázatos árusítani és tárolni. Ezzel szemben az etanol könnyen, biológiai úton előállítható, egyszerűen tárolható és árusítható. Továbbá egy hatékony katalizátor kifejlesztése lehetővé tette az etanol szén-szén kötéseinek gyors szétszakítását, így gyorsan és hatékonyan megy végbe az etanol oxidációja szén-dioxiddá és vízzé [8,9].



1. ábra: Etanollal táplált üzemanyagcella

2.3. Bioetanol alapanyagok

Biológiai úton az etanol poliszacharidok hidrolízise során keletkezett cukortartalmú oldatok élesztőkkel történő erjesztésével állítható elő. Az etanol előállításának általános reakcióegyenlete (1. egyenlet):



A bioetanol előállítható cukortartalmú növényekből (pl. cukorrépa, cukornád, cukorcirok), valamint poliszacharidot tartalmazó növényekből. A poliszacharid-tartalmú növényekhez sorolhatók a keményítőtartalmú (pl. burgonya, kukorica, búza, szemescirok), a cellulóztartalmú (pl. fűfélék, szalma) és az inulintartalmú növények (pl. csicsóka). Magyarországon főként kukoricából, cukorcirokból, szemescirokból és csicsókából állítanak elő bioetanolt [7].

A cirokfélék talaj szempontjából nem válogatósak, kiváló szárazságtűrő-képességű növények. Azonban hazánkban a cirokfélék növényvédelmének legkritikusabb pontja a gyomok elleni védekezés. Ennek egyik oka a cirokfélék kezdeti fejlődési stádiumában való rossz gyomelnyomó képessége, másrészt pedig a magok kelése – a tavasz végi, nyár eleji alacsony talajhőmérséklet miatt – lassú folyamat. Így a különböző gyomfajok előnybe kerülhetnek a kultúrnövényvel

szemben. Gyakran jelentős termés kiesés és minőségromlás is bekövetkezhet a különböző kórokozók és kártevők tevékenysége következtében [10].

A csicsóka, mely Amerikából származik, ott is megél, ahol szinte semmilyen más gazdasági növény nem. Azonban nagy hozamot csak homokos vályogtalajon hoz. Gumóról szaporítják. A gyökérgumóiban a fruktozánokhoz tartozó inulin található, mely kivonható meleg vízzel, majd hidegen, vagy alkohol hatására kicsapódik. Azonban a gumók tárolása nehéz, mivel azok nagyon könnyen megsérülnek. Gyorsan kiszáradnak, ezért csak 2-4 hétig lehet a gumókat normál körülmények között tárolni. Ha hosszabb ideig akarjuk tárolni, akkor a hőmérsékletnek 2 °C körül kell lennie, és csaknem 100%-os páratartalomnak, hogy a gumók ne hajtsanak ki [11].

A hagyományos kukorica bioetanol előállításra történő felhasználása során pedig az élelmezési probléma merülhet fel ellenérvként, azonban az egyszerű tárolhatóság, a nagy hektáronkénti hozam, illetve a magas keményítőtartalom miatt hazánkban a kukorica a bioetanol gyártására legkedvezőbb alapanyag.

2.4. Bioetanol előállítása kukoricából

Hagyományosan a *Saccharomyces cerevisiae* törzshöz tartozó élesztő gombákat használják ipari méretű etanol fermentációra. Azonban a *S. cerevisiae* gombák nem képesek közvetlenül átalakítani a keményítőtartalmú anyagokat elfolyósítási és elcukrosítási eljárások nélkül. Ezért fontos a keményítő hidrolízise, melyet hagyományosan savakkal végeztek. A savakkal végzett hidrolízisnél azonban hatékonyabb megoldást kínálnak az enzimek. Az enzimek több nagyságrenddel növelik a reakciósebességet, mint a szervesetlen katalizátorok (pl. a savak), ezért már kis koncentrációban és alacsonyabb hőmérsékleten is alkalmazhatók. Az α -amilázt, mely kinyerhető hőálló baktériumokból (pl. *Bacillus licheniformis*), az *Escherichia coli* vagy a *Bacillus subtilis* mesterséges törzseiből, használják a keményítő hidrolízisének első lépésében. Ahhoz, hogy az amilázok meg tudják 'támadni' a keményítőt, a keményítő-víz szuszpenziókat magas hőmérsékletre (90-110 °C) kell melegíteni a keményítőszemcsék hatékony hidrolízise érdekében. Az első lépés - melyet elfolyósításnak hívnak – terméke egy szénhidrát oldat,

2. Irodalmi áttekintés

mely dextrineket és kisebb mennyiségű glükózt tartalmaz. Az elfolyósított keményítőt elcukrosításnak vetik alá alacsony hőmérsékleten (60-70 °C) glükó-amiláz segítségével, mely általában *Aspergillus niger* vagy *Rhizopus* fajokból nyerhető ki. Ezt követően kerül sor a fermentációra élesztőgombák segítségével, mely során a fermentálható cukrokból etanol és szén-dioxid keletkezik. A fermentáció lejátszódhat szakaszos, rátáplálásos szakaszos, félfolyamatos vagy folyamatos műveleti egységekben is [12,13].

Számos kutatást végeztek a bioetanol fermentációval kapcsolatban. Apar és Özбек [14] hasznos információkat közöltek a kukoricakeményítő enzimatis hidrolízisének optimális paramétereiről, α -amiláz alkalmazása mellett. Az elmúlt években a kutatók a kis hőmérsékletű keményítő-hidrolízis, valamint a hidrolízis és a fermentáció párhuzamos megvalósításának lehetőségével kísérleteztek energia megtakarítás céljából. Az együttes elcukrosítás és fermentáció (simultaneous saccharification and fermentation, SSF) egy speciális fermentációs technológia, mely a biomassza enzimkatalizált hidrolízisének és fermentációjának kombinált megvalósítását jelenti. Devantier és munkatársai etanolt állítottak elő nagy tömegű száraz őrölt kukoricából együttes elcukrosítás és fermentáció segítségével [15]. A kísérlet során a kutatók megvizsgálták a glükó-amiláz adagolás, az elő-elcukrosítás és a *Saccharomyces cerevisiae* törzs hatásait az etanol kihozatalra. Kimutatták, hogy a nagyobb glükó-amiláz dózisok és/vagy az elő-elcukrosítás felgyorsította az együttes elcukrosítási és fermentációs eljárást és megnövelte a végső etanol koncentrációt, habár a maximális fajlagos növekedési sebességet csökkentette.

Szymanowska és munkatársai vizsgálatainak [16] célja az volt, hogy felmérjék az etanol fermentáció hatékonyságát új típusú amilolitikus enzimek használata esetén, melyek képesek hidrolizálni a kukoricakeményítőt SSF eljárás során. A kukoricaliszt együttes elcukrosítását és fermentációját rátáplálásos szakaszos eljárásokban végezték el *Saccharomyces cerevisiae* törzs Red Star Ethanol Red és Stargen 001 enzim preparáció alkalmazásával. A következő kísérleti változókat vizsgálták: fermentáció hőmérséklete (35-37-40 °C), keverés sebessége (100 és 200 rpm), fermentáció időtartama (0-92 óra) és a kukoricaliszt adagolása (különböző adag és különböző idő). Végül arra a következtetésre jutottak, hogy az

2. Irodalmi áttekintés

optimális hőmérséklet a kezdeti 5-ös pH-n 37 °C, bár az élesztő intenzíven működött 40 °C-on is. Kimutatták, hogy a keverési sebességnek jelentős hatása volt a keményítő hidrolízisére és a fermentáció hatékonyságára. A fermentációs idő 72 órán túli meghosszabbítása során nem volt igazolható nagyobb etanol kihozatal. Minden kísérlet esetén azt tapasztalták, hogy a keletkezett szerves savak szintje olyan alacsony volt, amely nem fejtett ki toxikus hatást az élesztősejtekre. Megállapították, hogy az általuk alkalmazott módszer segítségével hatékony fermentációs kísérletek végezhetőek, valamint a keményítő elfolyósításához szükséges energia is csökkenthető.

Nowak és munkatársai [17] azzal kísérleteztek, hogy hogyan tudnák megőrizni a kukoricaszemek frissességét kémiai konzerválással. Készítettek kontroll (adalék nélküli), illetve különböző koncentrációban hangyasavval és propionsavval kezelt kukorica-mintákat. A mintákat két hónapon keresztül tárolták. Az atmoszférikus nyomáson (100 °C, 1 óra) és nyomás alatt főzött (121 °C, 1 óra) kukoricakeményítő etanolos fermentációit kereskedelmi élesztők segítségével végezték el. Az élesztő törzs, a keményítő hidrolízis után, 86-93%-os etanol kihozatal elérésére volt képes az alacsony hőmérsékleten főzött kukoricából. Hasonló eredményt értek el (87-94%) a nyomás alatt főzött kukoricakeményítő esetén is. A párlatok minőségét szintén vizsgálták. A leggyakoribb melléktermékek a következők voltak: acetaldehid, etil-acetát, propanol, izobutanol és 3-metil-1-butanol.

Singh és munkatársai [18] megvizsgálták, hogy a kukorica minősége milyen hatással van száraz őrlés esetén az etanol potenciálra. Az átlagos veszteség az etanol kihozatal szempontjából 3%-tól 23%-ig terjedt a kukorica változó minősége miatt. A kukorica minőségét meghatározó tényezőket (kukoricaszem összetétele, kukoricaszem tömege, endospermium keménysége, termőhely, évjárat, mikotoxinok) a genetika, a környezet és a betakarítási gyakorlatok határozzák meg. Ezek közül a genetikának van a legnagyobb hatása az etanol kihozatalra. Az etanol potenciál változása egy nagyobb hozamú és egy kisebb hozamú kukorica minta között 15% volt. 23%-os különbséget figyeltek meg 91 sárga lófogú kukorica minta között, melyek különböző termőhelyekről származó kukorica hibridekből álltak. A termőhely befolyásolta a kukorica

2. Irodalmi áttekintés

nedvességtartalmát, a gombafertőzést, a mikotoxinokat, az endospermium keménységét és a kukorica tömegét. Singh és Graeber [19] a végső etanol koncentrációk 2,55%-os változásáról számolt be különböző termőhelyekről származó kukorica hibridek esetében. Megállapították, hogy az 1,15-1,25 kg/m³ tartományba eső sűrűség értékek magasabb etanol kihozatalt eredményeztek. Az időjárás (különösen a nedvesség és a hőmérséklet), a madarak okozta károk a gomba megjelenését eredményezhetik a kukoricaszemeken. Kimutatták, hogy az etanol kihozatal a kukorica betakarítási gyakorlata is befolyásolja. Tipikusan az etanol kihozatal alacsony a betakarítást követő első hónapban. Az etanol kihozatal a következő hat és hét hónapban magas, de az év vége felé kezd visszaesni. A kukorica nedvességtartalmának és a szárítási hőmérsékletnek is jelentős hatása van az etanol kihozatalára. A 90 °C-nál magasabb szárítási hőmérséklet károsan befolyásolja az etanol előállíthatóságát. Tehát, ha figyelmesen választjuk a megfelelő hibridet, a termőhelyet és a szárítási hőmérsékletet, magasabb etanol kihozatalra tehetünk szert.

Bármilyen alapanyagból vagy módszer segítségével is állítjuk elő a bioetanol, nagy figyelmet kell fordítani az energiafogyasztásra. Rakin és munkatársai kutatásának [20] célja az volt, hogy megvizsgálják a *Saccharomyces cerevisiae* var. *ellipsoideus* élesztősejtek immobilizálását kukoricaliszt hidrolizátumból történő bioetanol előállítás során. Erre a célra biokompatibilis polimereket: polivinil alkoholt és Ca-alginátot használtak. Tanulmányozták az etanolos fermentáció paramétereit, az inokulum koncentrációt különböző hordozókban és a megfelelő hordozó kiválasztását a hatékony etanol előállítás céljából. 10,05% etanol koncentrációt értek el Ca-alginátban immobilizált élesztő (5% inokulum koncentráció) segítségével a fermentáció során. A Ca-alginátban immobilizált élesztő segítségével történő ismételt szakaszos fermentáció azt mutatta, hogy az alginát gél degradálódott a második fermentációs ciklus után. A polivinil alkohol jobb mechanikai tulajdonságokat és stabilitást mutatott, azonban alacsonyabb etanol koncentrációt eredményezett a fermentáció során.

A fermentáció során az etanol eltávolítása a fermentorból növelheti a produktivitást és csökkentheti a termék víztelenítési költségeit. Az egyik lehetőség a fermentor tartalmának újra feldolgozása sztrippelő oszlopon keresztül, ahol nem

2. Irodalmi áttekintés

kondenzálódó gáz ragadja magával az etanolt a kondenzátorba. Taylor és munkatársai [21] bebizonyították ennek a technológiának a megvalósíthatóságát folytonos kukorica elfolyósítási rendszerben. Egy kísérleti üzemben, mely több mint 25 kg kukoricalisztet dolgozott fel naponta, és 60 egymást követő napon át működött, folyamatosan 95%-os keményítő konverzióval 88%-os etanol kihozatalt értek el. Számítógépes szimulációt használtak az eredmények nyomon követésére. A fermentációs és a sztrippelő rendszereket nem befolyásolta jelentősen, mikor a sztrippelő gázként alkalmazott CO₂-t részben nitrogénnel vagy levegővel helyettesítették.

3. Kísérleti rész

3.1. Felhasznált anyagok és eszközök

Munkám során öt új, magyar nemesítésű (MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete, Martonvásár) kukorica hibridet (Mv 500, Mv Amanita, Mv Koppány, Mv Miranda, Mv Tarján) használtam fel bioetanol előállítására céljából. Az Mv 500 a legnagyobb termőképességű martonvásári nemesítésű kukorica hibrid, mely átlagosan 10,9 t/ha termést produkál, rekordtermése 15,1 t/ha volt a 2006-os évben. Az Mv Amanitát a korai éréscsoport közepének megfelelő, kiemelkedő termésszint jellemzi. Az Mv Koppány a „legkorábbi” középérésű kukorica, április második felétől vetve szintén nagy termőképességű. Az Mv Mirandára szintén magas hozam (13,26 t/ha termés) jellemző, mely főként április közepén-végén vetve érhető el. Az Mv Tarján nagyon jól alkalmazkodik a gyengébb adottságú termőterületekhez. Az említett kukorica hibridek a 3., 4., 5., 6. és a 7. képen láthatók [22].



3. kép: Mv 500



4. kép: Mv Amanita



5. kép: Mv Koppány



6. kép: Mv Miranda



7. kép: Mv Tarján

A martonvásári kukorica hibridek kiválóan alkalmasak a korai vetésre, a hideg időjárást is tolerálják, gyors kezdeti növekedést produkálnak. További nagy

3. Kísérleti rész

előnyük a kitűnő szárazságtűrő képességük. Ennek jelentősége jól érzékelhető hazánkban a 2012-es évben, amikor is a nagy szárazság jelentős károkat okozott a kukoricatáblákban (8. kép). A kukorica 70%-a tönkrement a Vajdaságban (9. kép). A martonvásári kukorica hibridek az abiotikus és biotikus faktorokkal szemben tartós rezisztenciával rendelkeznek, és magas keményítő tartalmuk miatt potenciális bioetanol alapanyagok. A kukorica hibridek kémiai összetételét és minőségi paramétereit az 1. táblázat tartalmazza [23].



8. kép: Kiszáradt kukoricatábla



9. kép: Tönkrement kukorica

a Vajdaságban

1. táblázat: A kukorica hibridek kémiai összetétele és minőségi paramétere

Kukorica hibridek	Keményítő (m/m%)	Fehérje (m/m%)	Olaj (m/m%)	Hamu (m/m%)	Nedvesség (m/m%)
Mv 500	72,84	8,50	3,45	1,25	5,05
Mv Amanita	72,86	8,59	3,48	1,36	4,94
Mv Koppány	72,74	8,62	3,49	1,37	5,08
Mv Miranda	72,59	8,48	3,69	1,45	4,91
Mv Tarján	72,79	8,36	3,45	1,38	5,02

Alfa-amiláz

A Liquozyme SC DS nevű alfa-amiláz (Novozymes A/S, Dánia) diasztáz, extracelluláris endoenzim. A poliszacharidok α -1,4-glikozidos kötéseit bontja az amilózlánc belsejében az elfolyósítás során.

Glüko-amiláz

A Spirizyme Fuel nevű glüko-amiláz (Novozymes A/S, Dánia) exoenzim, mely α -1,4-glikozidos kötést hidrolizál a keményítő- és a dextrinmolekulák nem redukáló láncvégén az elcukrosítás lépésében.

Kénsav

96% tisztaságú kénsavból (Spektrum-3D, Debrecen) 20 m/m%-os kénsav-oldatot készítettem, melyet az elfolyósítás és az elcukrosítás során a pH beállítására használtam.

NaOH

98% tisztaságú NaOH-ból (Spektrum-3D, Debrecen) 10 m/m%-os NaOH oldatot készítettem, melyet az elfolyósítás, az elcukrosítás és az alkoholos erjesztés során alkalmaztam a pH szabályozására.

Karbamid

A karbamidot (99% tisztaságú, Spektrum-3D, Debrecen) az alkoholos erjesztés során adagoltam a rendszerhez, mely N-forrást szolgáltat az erjesztőgombák számára.

TraceMix

Az alkohol fermentáció során használt TraceMix (O&T Ltd, Pápa) számos nélkülözhetetlen nyomelemből áll.

VitaMix

Az alkoholos erjesztés során alkalmaztam a VitaMix-et (O&T Ltd, Pápa), mely vitaminként szolgál az erjesztőgombák számára.

MgSO₄·7 H₂O

A MgSO₄-ot (analitikai tisztaságú, Reanal Kft., Budapest) tápoldat-komponensként használtam az erjesztőgombák számára.

Saccharomyces cerevisiae

Az alkoholos erjesztés során adtam a rendszerhez. A *Saccharomyces cerevisiae* (Harmath Ker. Bt., Pomáz) a leggyakoribb szesz-élesztőgomba, amely által termelt zimáz enzim a glükózt etil-alkohollá és szén-dioxiddá alakítja.

Retsch GM200 típusú késes daráló

A kukoricaszemeket Retsch GM200 típusú késes darálóban 8000 min⁻¹ fordulaton két percig aprítottam az optimális szemcseméret elérése érdekében.

Sartorius B Plus típusú automata fermentor

A kísérletek során alkalmazott fermentor a hőmérséklet, a kétoldali pH, a keverési fordulatszám és az oldott oxigén mennyiségének szabályozására alkalmas. A berendezés számítógéppel vezérelhető, mely lehetőséget biztosít a mérési paraméterek rögzítésére is.

Herolab UniCen MR típusú centrifuga

A kísérlet során a hidrolizátumból és a fermentléből vett mintákat -5 °C-on 14000 min⁻¹ fordulaton 5 percig centrifugáltam, majd ezt követően a felülúszót szűrtem (0,45 µm-es fecskendőszűrővel). A mintákat Eppendorf csövekben az analízisig mélyhűtőben tároltam.

YL9100 HPLC rendszer

A kísérletek során a hidrolizátumból és a fermentléből vett minták elemzése YL9100 HPLC rendszerrel történt Aminex HPX-87C oszlop, illetve YL9170 RI detektor felhasználásával.

3.2. Alkalmazott analitikai módszerek

Keményítőtartalom meghatározása polarimetriás módszerrel

A módszer két meghatározást tartalmaz. Első meghatározás: a forró mintát híg sósavval kezeltem, majd tisztítás és szűrés után mértem az oldat optikai forgatóképességét polarimetriával.

Második meghatározás: a mintát 40%-os etanollal extraháltam, majd a szűrletet sósavval savanyítottam, tisztítottam és szűrtem. Végül pedig megmértem az optikai forgatóképességet.

A keményítőtartalmat a 2. *egyenlet* alapján számoltam ki.

$$\text{Keményítőtartalom (\%)} = \frac{2000(P - P')}{[\alpha]_D^{20^\circ}} \quad (2)$$

P: összes optikai forgatóképesség szögfokban

P': a 40%-os alkoholban oldódó anyagok optikai forgatóképessége szögfokban

$[\alpha]_D^{20^\circ}$: +184,6° a kukoricakeményítő specifikus optikai forgatóképessége

Szárazanyag-tartalom meghatározása

A szárazanyag-tartalom meghatározásához használt óraüvegek tömegét először üresen, majd a darált kukorica mintával együtt is megmértem analitikai mérlegen. Ezután szárítószekrénybe helyeztem az ismert tömegű mintákat 105 °C-ra, melyeket a tömegállandóságig történő szárítás után exikátorba helyeztem. 1 óra elteltével a kihűlt minták tömegét analitikai mérlegen mértem, és a 3. *egyenlet* alapján kiszámítottam a minták szárazanyag-tartalmát.

$$\text{Száranyag - tartalom (\%)} = \frac{\text{bemért anyag (szárítás után)}}{\text{bemért anyag (szárítás előtt)}} \times 100 \quad (3)$$

Hamutartalom meghatározása

Először lemértem az izzításhoz használt porcelán tégelyek tömegét üresen, majd a darált kukorica mintával együtt analitikai mérlegen. Ezután behelyeztem a

3. Kísérleti rész

tégelyeket az izzító kemencébe, beállítottam a hőmérsékletet 650 °C-ra, majd 4 órán keresztül izzítottam a mintákat. Végül a tégelyeket exikátorba helyeztem, és a kihűlt tégelyek tömegét ismét lemértem. A hamutartalom kiszámítása a 4. egyenlet alapján történt.

$$\text{Hamutartalom (\%)} = \frac{\text{izzítási maradék}}{\text{minta tömege}} \times 100 \quad (4)$$

A hamutartalom alapján meghatároztam a minták szerves-szárazanyag tartalmát.

Szemcseméret analízis

A kukorica minták szemcseméret eloszlását a Pannon Egyetem Szilikát és Anyagmérnöki Intézeti Tanszék munkatársai határozták meg Analysette 22 típusú lézeres szemcseanalizátor segítségével. A készülék négy fő egysége: a diszpergáló egység, a mérőcella hélium-neon lézerrel, a detektor és a számítógép. A műszer mérési tartománya: 0,10 µm - 610,48 µm. A mintát először folyadékban szuszpendálták, majd a mérés megkezdése előtt az ultrahangos kád tiszta folyadékkal való feltöltése után a készülékkel nullpróbát végeztek. Ezt követően adagolták a minta kis mennyiségét az ultrahangos keverővel és szivattyúval ellátott kádba. A berendezés a Fraunhofer-féle elhajláselv alapján működik, melynek lényege, hogy a kis részecskék kevés fényt nagy szögtartományban, míg a nagy részecskék sok fényt kis szögtartományban szórnak. A kukorica minták átlagos szemcseméretének kiszámolása a mért geometriai részecskeméreteket (x) négyzetes kvadratikus középértékeként (QMD) (5. egyenlet) történt.

$$QMD = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2}{n}} \quad (5)$$

Nagy teljesítményű folyadékkromatográfiás (HPLC) vizsgálatok

A kísérlet során vett minták cukor, illetve etanol tartalmának meghatározása YL9100 típusú HPLC-vel történt. Eluensként 0,01 M-os kalcium-nitrátot alkalmaztam, a méréseket pedig 85 °C-on végeztem 0,5 ml/perces eluens áramlási

3. Kísérleti rész

sebesség mellett. A detektálás időtartama 25 perc volt. A kromatogramok kiértékelésére a külső standard módszert alkalmaztam. A kalibrációs egyenes felvételéhez a vizsgálandó komponenseket azonos arányban tartalmazó oldatsorozatot készítettem, majd a kapott csúcsterületeket a koncentráció függvényében ábrázoltam.

A minták elemzése során a kapott kromatogramokon a melléktermékként keletkező glicerint az etanollal átlapoló csúcsot adott. Az átlapoló csúcsok kiértékelését a PeakFit nevű program segítségével végeztem el. A PeakFit nevű program három lehetőséget kínál a csúcsok azonosítására. Az általam használt módszer a lokális maximum alapján azonosítja a csúcsokat.

A kiértékelés során a PeakFit EMG (Exponentially Modified Gaussian) függvényét (6. egyenlet) használtam. Az EMG modell jelenleg a legszélesebb körben alkalmazott kromatográfiás modell. A modell egy Gauss függvényből és egy exponenciális válaszfüggvényből tevődik össze.

$$y = \frac{a_0}{2a_3} \exp\left(\frac{a_2^2}{2a_3^2} + \frac{a_1 - x}{a_3}\right) \left[\operatorname{erf}\left(\frac{x - a_1}{\sqrt{2}a_2} - \frac{a_2}{\sqrt{2}a_3}\right) + \frac{a_3}{|a_3|} \right] \quad (6)$$

a_0 = terület

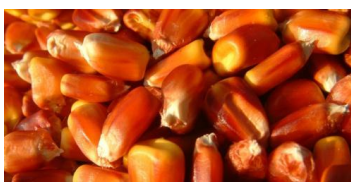
a_1 = centrum

a_2 = szélesség

a_3 = torzítás

3.3. Alapanyag előkészítése

A mérés során felhasznált kukoricából (10. kép) bemértem kb. 430 g-ot táramérlegen egy főzőpohárba, majd ezt a Retsch GM200 típusú késes darálóval (11. kép) 4 részletben 8000 min^{-1} fordulaton két percig aprítottam, melynek eredményeként finom kukoricalisztet (12. kép) kaptam.



10. kép: Darálatlan kukorica



11. kép: Retsch GM200 típusú késes daráló



12. kép: Kukoricaliszt

3.4. A kukoricakeményítő hidrolízise és fermentációja

A kukoricakeményítő hidrolízisét és fermentációját mechanikai keverővel, lúgadagolóval, visszafolyós hűtővel, hőmérséklet- és kétoldali pH szabályzással ellátott Sartorius B Plus típusú automata fermentorban (13. kép) végeztem el. A hűtést Huber MiniChiller típusú hűtőberendezéssel biztosítottam, hogy elkerüljem az etanol párolgásából adódó veszteséget. Táramérleg segítségével bemértem a megfelelő tömegű kukorica őrleményt az automata fermentor tartályába. Ezt követően táramérleggel hozzámértem a megfelelő mennyiségű ioncserélt vizet, a vizes zagy kb. 25 m/m% kukorica őrleményt tartalmazott.

3. Kísérleti rész

A folyamat első lépésében az elegyet több lépcsőben 85 °C-ra melegítettem fel 300 min⁻¹ fordulatszámú kevertetés mellett, majd 2 órán keresztül ezen a hőmérsékleten tartottam. A felmelegítési folyamat közben, 50 °C elérésekor a Liquozyme SC DS enzimet a kukoricaelegyhez adagoltam pipetta segítségével, hogy elkerüljem az 50-85 °C-on beinduló gélesedés következtében fellépő jelentős viszkozitás növekedést. Gélesedés során a keményítő-szemcsék amilóztartalma kioldódik, az amilopektin kettős-spirálok kristályos rendezettsége megszűnik. A keményítő-szemcsék a vízzel viszkózus szuszpenziót, hidrogélt alkotnak. A pH-t 5,8-ra állítottam, mivel ezen az értéken maximális az elfolyósításhoz alkalmazott α -amiláz aktivitása. A pH-t 20 m/m%-os kénsavval és 10 m/m%-os NaOH-dal szabályoztam. 70 °C-nál a keverőmotor fordulatszámát 400 min⁻¹-re növeltem a viszkozitás növekedés során bekövetkező esetleges lerakódások elkerülésének érdekében, majd 80 °C elérése után a fordulatszámot ismét 300 min⁻¹-re állítottam. A két órán keresztül tartó elfolyósítás a keményítő vízzeloldható dextrin molekulákká történő bomlását eredményezte.

Az elfolyósítás után az elcukrosításra került sor Spirizyme Fuel glükó-amiláz segítségével. A hidrolizátum hőmérsékletét 67 °C-ra csökkentettem, a pH-t pedig 4-es értékre szabályoztam 20%-os kénsav és 10%-os NaOH segítségével, mivel az alkalmazott glükó-amiláz aktivitása 4-es pH-n és 67 °C-on maximális. 67 °C-on az enzimet az elfolyósított oligomereket tartalmazó elegyhez adagoltam pipetta segítségével. Az elcukrosítást 43 órán keresztül végeztem, melynek végén az oligomerek fermentálható monomerekké alakultak át.



13. kép: A fermentációknál használt Sartorius B Plus típusú batch üzemű fermentor

Az elfolyósítás végén, valamint az elcukrosítás kezdetétől a végéig meghatározott időközönként mintát vettem. A centrifugacsövekbe töltött mintákat Herolab UniCen MR típusú centrifuga (14. kép) segítségével $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on 14000 min^{-1} fordulaton centrifugáltam 5 percig, majd a felülúszó aliquot részletét $0,45\text{ }\mu\text{m}$ -es fecskendőszűrővel szűrtem $1,5\text{ cm}^3$ -es Eppendorf csövekbe. Az Eppendorf csöveket megfelelő azonosítóval láttam el, majd az analízisig mélyhűtőben tároltam őket. A minták analíziséhez YL9100 HPLC berendezést (15. kép) használtam, melynek segítségével vizsgáltam a cukrok koncentrációjának változását a reakcióidő függvényében.

3. Kísérleti rész



14. kép: Herolab UniCen MR típusú centrifuga



15. kép: Az analízis során alkalmazott YL9100 HPLC berendezés

Az alkoholos erjesztés kivitelezéséhez 34 °C-ra hűtöttem le az elcukrosított elegyet, a pH-t pedig 4,3-as értékre állítottam, mivel ezek a gyártó által megadott optimális paraméterek az élesztőgombák számára. A pH szabályozása 10 m/m%-os NaOH-dal, a kevertetés pedig továbbra is 300 min⁻¹-cel történt. 34 °C-on elvégeztem az élesztőgombával történő beoltást, miután karbamidot, TraceMixet, VitaMixet és MgSO₄-ot adtam a rendszerhez. A fermentlébe juttatott

segédanyagok mennyiségét az élesztő 1 grammjára vonatkoztatva az 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: A bemért tápanyagok mennyisége az élesztő 1 grammjára vonatkoztatva

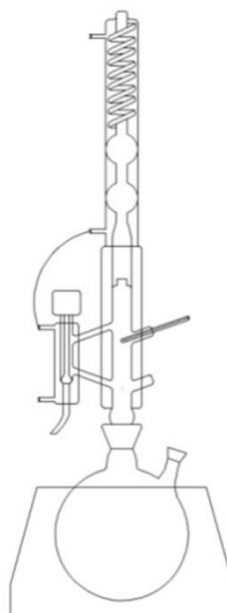
Tápanyag	Bemért mennyiség (g)
Karbamid	0,208
TraceMix	0,000083
VitaMix	0,000083
MgSO ₄	0,00047

A fermentáció során vett minták összetételét centrifugálás után HPLC segítségével vizsgáltam, mellyel egyszerre detektálhatóak a folyamat során fogyó cukrok, valamint a keletkező etanol és glicerín.

3.5. Kukorica szeszcefrék gőz-folyadék egyensúlyi mérése

A fermentáció során keletkezett kukorica szeszcefrék gőz-folyadék egyensúlyának meghatározása a 16. képen látható berendezés segítségével történt. Az elegyet fűtőegységgel ellátott gömblobikba helyeztem. A fázisegyensúlyi mérést kvázivégtelen refluxot alkalmazó frakcionált desztillációval végeztem el a képen látható desztillációs fej segítségével. A visszacsepegőt Huber MiniChiller típusú hűtőberendezéssel hűtöttem -2 °C-ra. Miután az egyensúly beállt, mintát vettem az elegyből és a gőztérből egy mágnes szelep segítségével. Az elegyből vett mintát 14000 min⁻¹ fordulaton 5 percig centrifugáltam 0 °C-on, majd 0,45 µm-es fecskendőszűrővel szűrtem. A mintákat ezt követően a mélyhűtőbe helyeztem. A minták analízisét HPLC segítségével végeztem.

3. Kísérleti rész



16. kép: A gőz-folyadék egyensúlyi mérésekhez használt berendezés

4. Eredmények és diszkusszió

4.1. A kukorica hibridek keményítőtartalma

Az egyes kukoricák keményítőtartalmát polarimetriás módszerrel határoztam meg. A kukoricák keményítőtartalmát nedves kukoricára vonatkoztatva a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: Kukorica minták keményítőtartalma nedves kukoricára vonatkoztatva

Minta megnevezése	Keményítőtartalom (%)
Mv 500	74,75
Mv Amanita	72,59
Mv Koppány	71,50
Mv Miranda	67,17
Mv Tarján	69,34

Megállapítottam, hogy mind az öt kukorica hibrid magas keményítőtartalommal rendelkezik, ezért megfelelő alapanyagul szolgálhat a bioetanol előállításához.

4.2. A kukorica hibridek szárazanyag-tartalma és szerves szárazanyag-tartalma

A kukorica hibridek szárazanyag-tartalmára és szerves szárazanyag-tartalmára kapott mérési eredményeimet a 4. táblázat tartalmazza.

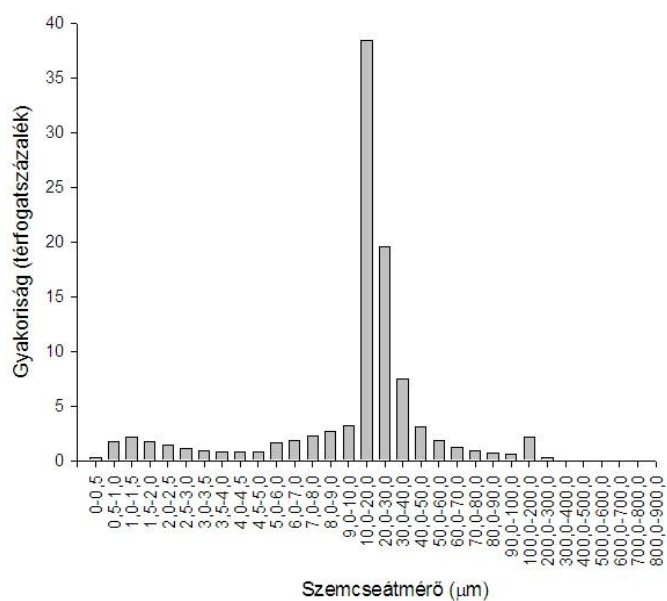
4. Eredmények és diszkusszió

4. táblázat: A kukorica hibridek szárazanyag-tartalma és szerves szárazanyag-tartalma

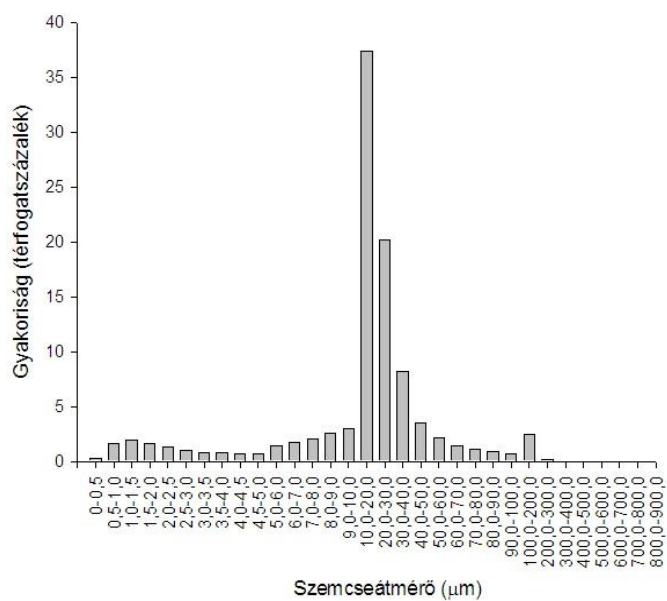
Minta megnevezése	Szárazanyag-tartalom (%)	Szerves szárazanyag-tartalom (%)
Mv 500	94,95	98,75
Mv Amanita	95,06	98,64
Mv Koppány	94,92	98,63
Mv Miranda	95,09	98,55
Mv Tarján	94,98	98,62

4.3. A kukorica hibrid lisztek szemcseméret eloszlása

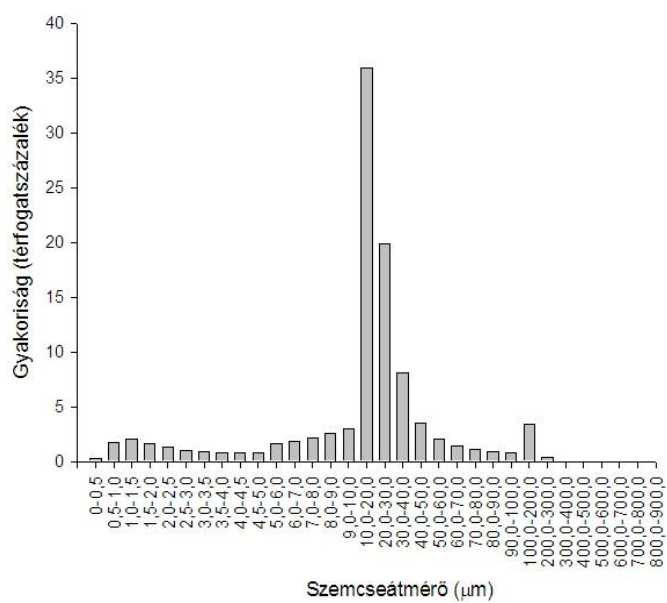
A kukorica hibridek őrlésével kapott liszt szemcseméret eloszlására kapott eredmények a 2., 3., 4., 5. és a 6. ábrán láthatók.



4. Eredmények és diszkusszió

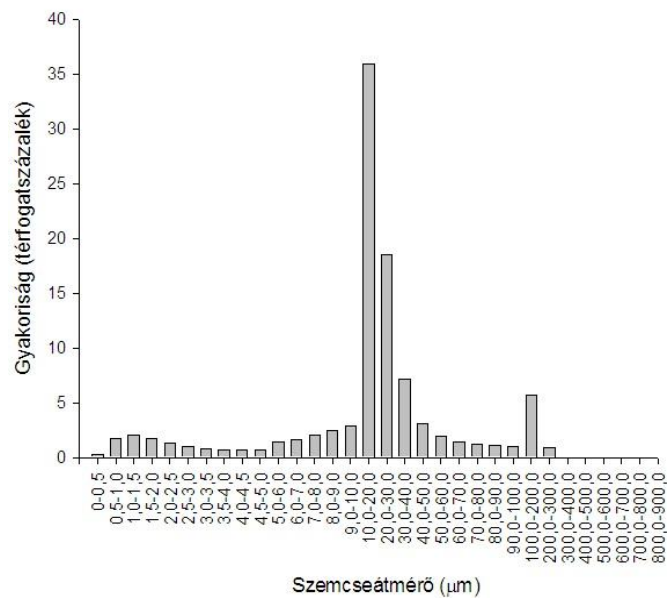


3. ábra: Az Mv Amanita kukorica hibrid liszt szemcseméret eloszlása

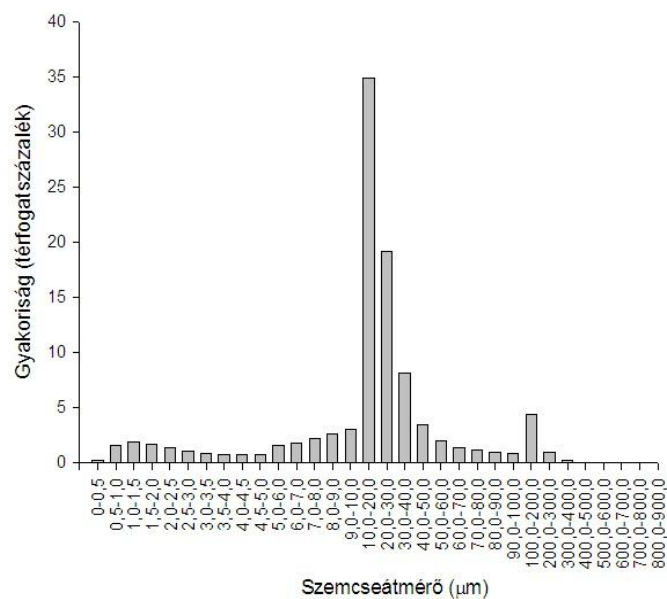


4. ábra: Az Mv Koppány kukorica hibrid liszt szemcseméret eloszlása

4. Eredmények és diszkusszió



5. ábra: Az Mv Miranda kukorica hibrid liszt szemcseméret eloszlása



6. ábra: Az Mv Tarján kukorica hibrid liszt szemcseméret eloszlása

Az egyes kukorica hibridek lisztjének átlagos szemcseátmérőit az 5. táblázat foglalja magában.

5. táblázat: A kukorica hibridek lisztjének átlagos szemcseátmérője

Minta megnevezése	QMD (μm)
Mv 500	34,166
Mv Amanita	34,688
Mv Koppány	39,194
Mv Miranda	48,817
Mv Tarján	50,199

A kapott szemcseméret eloszlások és szemcseátmérő értékek alapján megállapítható, hogy 8000 min^{-1} fordulatszámon és 2 percen keresztül történő darálás hatására, rendkívül finom kukoricalisztet kaptam, amely megfelelő reakciófelületet biztosít a gyors hidrolízis számára.

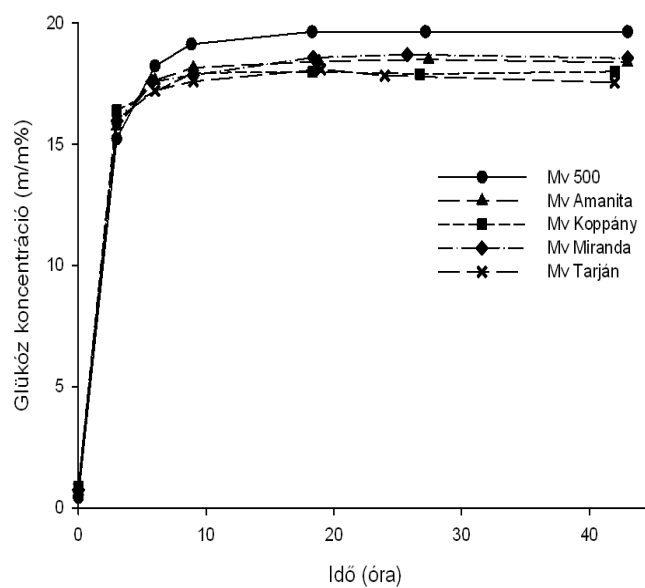
4.4. A hidrolízis és a fermentáció eredményei

Az enzimatisz hidrolízis időbeli lefolyását a 7. és a 8. ábra szemlélteti. A glükóz kihozatal eredményekből megállapítható, hogy a hidrolízis gyors és hatékony volt. Az α -amiláz és a glükó-amiláz segítségével végzett keményítő lebontás cukor monomerekké 24 óra után befejeződött. A kihozatali értékek az öt kukorica hibrid esetében 91,2% és 99,8% között változtak. Taylor és munkatársai hasonló eredményre jutottak, 95%-os konverziós értékről számoltak be a kukorica folyamatos elfolyósítása során [21].

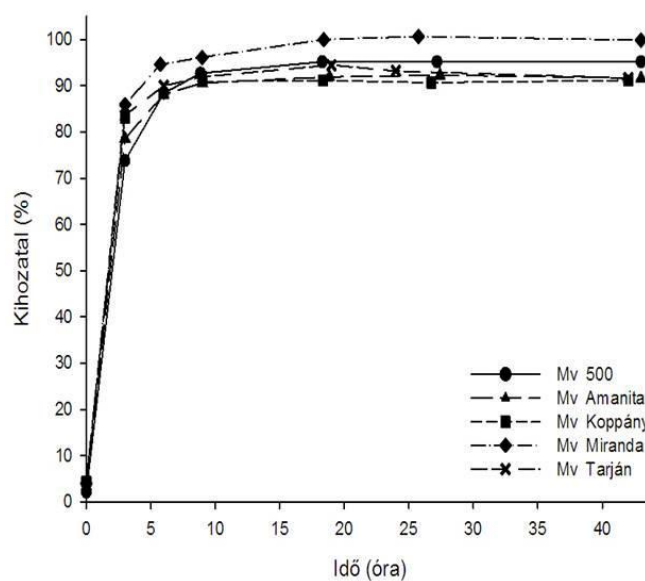
A kukorica-hidrolizátum *Saccharomyces cerevisiae* élesztőgomba segítségével történő alkoholos erjesztése 30 óra alatt lezajszódott. A fermentáció időbeli lefolyása a 9. és a 10. ábrán látható. A fermentáció gyors volt, 30 óra után már nem tudtam glükózt kimutatni a fermentlében. A végső etanol koncentrációkra 8,7 m/m% és 9,4 m/m% közötti értékeket kaptam, miközben a kihozatali értékek 88,6% és 97,9% között változtak. Az glükóz-etanol kihozatali értékek szintén hasonlóak Taylor és munkatársai glükóz-etanol konverziós értékéhez, amely 88% volt [21].

A konverziós értékek közötti különbségek az öt kukorica hibrid esetében valószínűleg a kiindulási szubsztátok eltérő összetételeiből adódtak.

4. Eredmények és diszkusszió

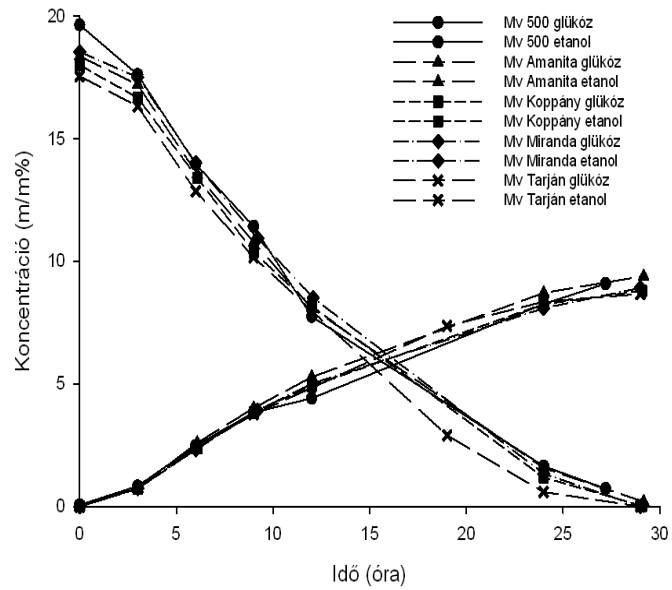


7. ábra: A glükóz koncentráció növekedése a hidrolízis során

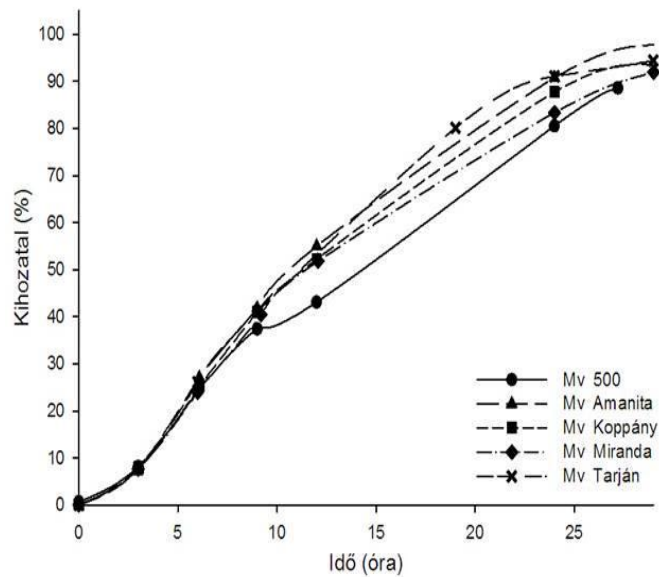


8. ábra: A glükóz kihozatal növekedése a hidrolízis-idő függvényében

4. Eredmények és diszkusszió



9. ábra: Az etanol- és glükóz-koncentráció változása a fermentáció során



10. ábra: Az etanol kihozatal növekedése a fermentációs idő függvényében

A mérések során kapott konverziós értékeket a 6. táblázat foglalja össze. A 7. táblázat az egyes kukorica hibridek bioetanol potenciál értékeit tartalmazza, összehasonlítva a cukorcirok és a csicsóka bioetanol potenciál értékeivel.

6. táblázat: A mérések során kapott konverziós értékek

Kukorica hibridek	Keményítő konverziója (%) glükózzá	Glükóz konverziója (%) etanollá	Keményítő konverziója (%) etanollá	kg EtOH/100 kg keményítő
Mv 500	95,2	88,6	84,3	48,2
Mv Amanita	91,6	97,9	89,7	50,9
Mv Koppány	91,2	93,5	85,3	48,4
Mv Miranda	99,8	91,9	91,7	52,1
Mv Tarján	91,7	94,4	86,6	49,1

7. táblázat: Bioetanol potenciál értékek

Alapanyag megnevezése	Liter EtOH/ha
Mv 500	4210
Mv Amanita	4484
Mv Koppány	3860
Mv Miranda	4309
Mv Tarján	3615
Cukorcirok	3169
Csicsóka	3422

A kísérleti eredmények igazolták az új martonvásári kukorica hibridek nagy bioetanol potenciálját és pillanatnyi előnyét a „trónkövetelő” alternatív bioetanol-alapanyagokkal szemben.

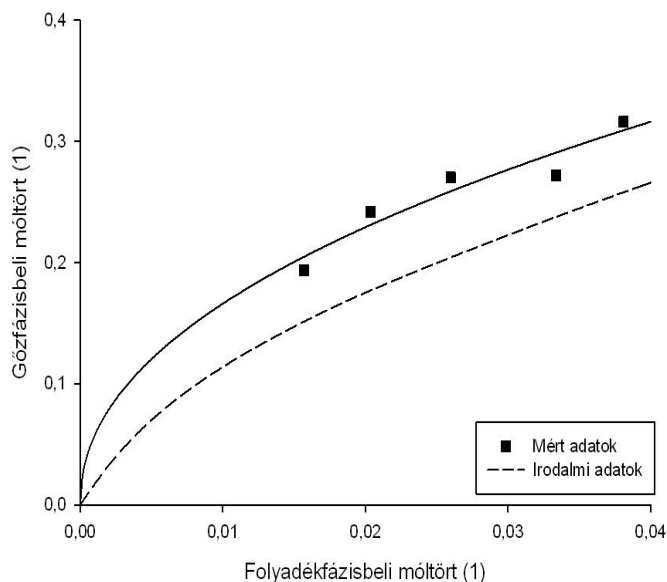
Hangsúlyozni kell, hogy az energia célú kukorica-termesztés nem az élelmiszer és/vagy takarmány célú kukorica-termesztés elől veszi el a termőterületet, mert Magyarországon az utóbbi években jelentősen csökkent a kukorica-alapú takarmányt hasznosítani képes állatállomány, és 1,5 millió hektár mezőgazdasági művelésre alkalmas terület van parlagon.

Az Európai Bizottság 2012 őszén javaslatot tett közzé, melynek célja globális szinten korlátozni a bioüzemanyag-termelésre átállított földterületek arányát, és jobban kihasználni a bioüzemanyagok felhasználásából adódó éghajlati előnyöket az EU-ban. Az élelmiszernövény-alapú bioüzemanyagoknak a megújuló energiaforrások 10%-os részarányára vonatkozó – a megújuló energiaforrásokról szóló irányelvben meghatározott – cél megvalósítása érdekében történő felhasználását 5%-ra fogják korlátozni azért, hogy ezzel is serkentsék az alternatív, ún. második generációs, nem élelmiszernövényből, hanem pl.

hulladékból vagy szalmából előállított bioüzemanyagok kifejlesztését, amelyek lényegesen kevesebb üvegházhatású-gáz kibocsátással járnak, mint a fosszilis tüzelőanyagok, és világszinten nincs közvetlen hatásuk az élelmiszer-termelésre. Ezek a technológiák azonban még nem versenyképesek az első generációs bioetanol-alapanyagokra épülő eljárásokkal.

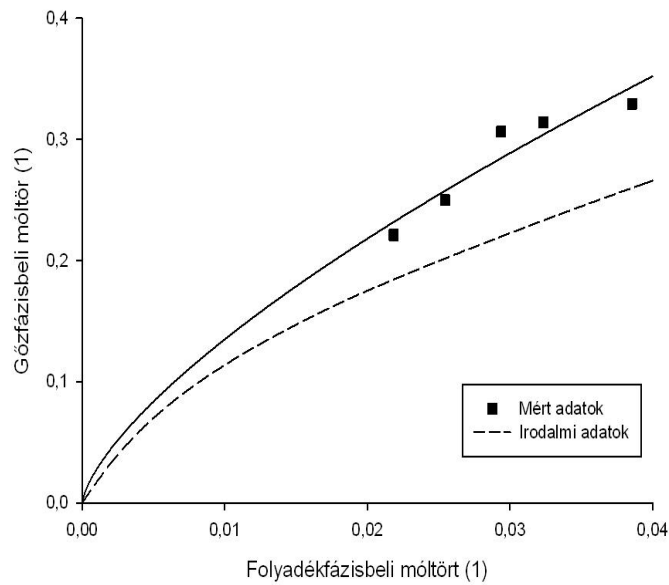
4.5. Gőz-folyadék egyensúlyi mérések eredményei

A fermentáció során keletkezett szeszcefrék gőz-folyadék egyensúlyi méréseiből megállapítható, hogy a minták gőzfázisbeli móltörtje pozitív irányban tér el az irodalmi víz-etanol elegynél mért móltörttől, tehát a fermentációs elegyekben nagyobb az etanol aktivitása, mint a biner víz-etanol elegyben. A szeszcefrék gőz-folyadék egyensúlyi mérése, és az abból megállapított viselkedése kiemelkedően fontos a desztillációs oszlopok tervezésénél. A gőz-folyadék egyensúlyi mérések eredményei a 11., 12., 13., 14. és a 15. ábrán láthatók.

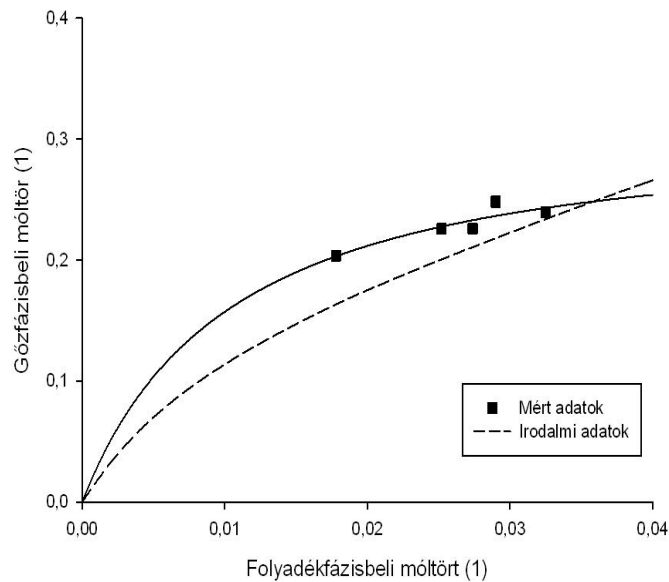


11. ábra: Az etanol gőzfázisbeli móltörtje a folyadékfázisbeli móltört függvényében Mv 500 kukorica szeszcefréjében az irodalmi víz-etanol biner elegy gőz-folyadék egyensúlyi adataihoz (-----) viszonyítva

4. Eredmények és diszkusszió

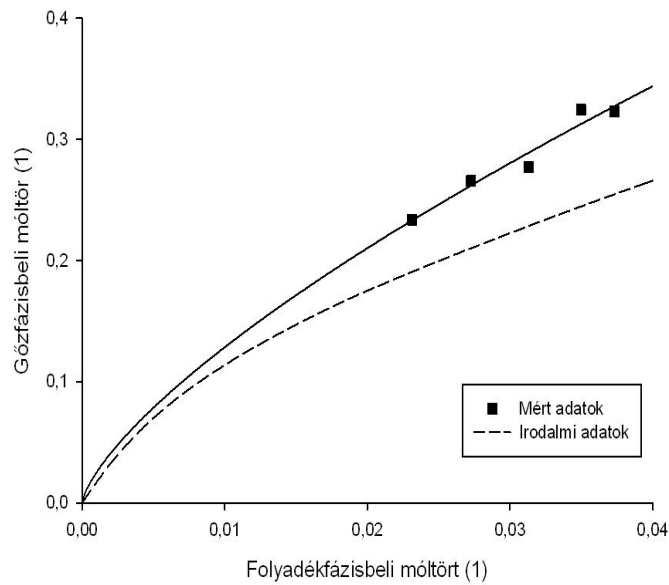


12. ábra: Az etanol gőzfázisbeli móltörtje a folyadékfázisbeli móltört függvényében Mv Amanita kukorica szeszcefréjében az irodalmi víz-etanol biner elegy gőz-folyadék egyensúlyi adataihoz (-----) viszonyítva

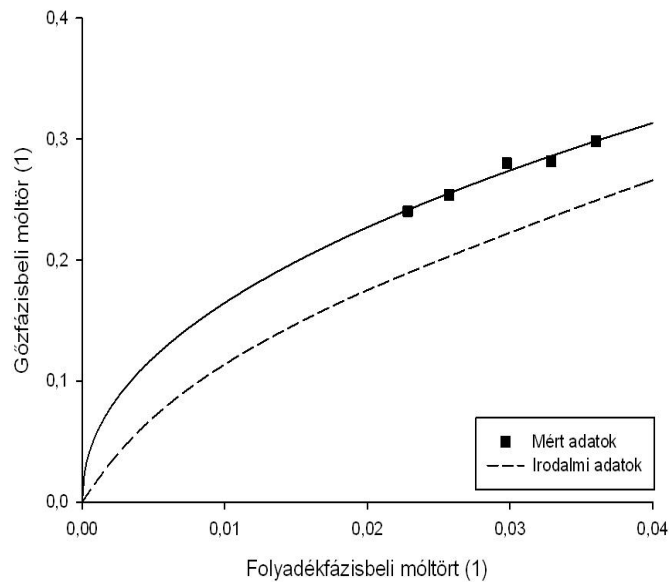


13. ábra: Az etanol gőzfázisbeli móltörtje a folyadékfázisbeli móltört függvényében Mv Koppány kukorica szeszcefréjében az irodalmi víz-etanol biner elegy gőz-folyadék egyensúlyi adataihoz (-----) viszonyítva

4. Eredmények és diszkusszió



14. ábra: Az etanol gőzfázisbeli móltörtje a folyadékfázisbeli móltört függvényében Mv Miranda kukorica szeszcefréjében az irodalmi víz-etanol biner elegy gőz-folyadék egyensúlyi adataihoz (-----) viszonyítva



15. ábra: Az etanol gőzfázisbeli móltörtje a folyadékfázisbeli móltört függvényében Mv Tarján kukorica szeszcefréjében az irodalmi víz-etanol biner elegy gőz-folyadék egyensúlyi adataihoz (-----) viszonyítva

Összefoglalás

Kísérleti munkám során öt új szárazságtűrő kukorica hibrid keményítő tartalmának enzimes elcukrosítását és elfolyósítását, majd az elfolyósított kukoricakeményítő alkoholos fermentációját vizsgáltam. A kukoricakeményítő hidrolíziséhez α -amilázt és glükó-amilázt használtam. Az alkoholos fermentáció kivitelezése *Saccharomyces cerevisiae* felhasználásával történt.

A glükóz, illetve az etanol koncentráció-változását nagyhatékonyságú folyadékkromatográfiás analízissel határoztam meg.

Az öt kukorica esetén a keményítő-glükóz konverziós értékek 91,2% és 99,8% közé estek. Fermentáció során a glükóz-etanol konverziós értékekre 88,6% és 97,9% közötti értékeket kaptam. A végső etanol koncentrációk 8,7 m/m% és 9,4 m/m% között változtak.

Kimértem az etanol gőz-folyadék egyensúlyi jellemzőit a szeszcefre és gőzfázisa között. Kimutattam, hogy az etanol gőzfázisbeli móltörtje pozitív irányban tér el a víz-etanol elegynél mért móltörttől, tehát a fermentációs elegyekben nagyobb az etanol aktivitása, mint a biner víz-etanol elegyben. Mérési adataim segíthetik a bioetanol technológiák és az etanol-desztilláció optimalizálását.

Az eredményeket összehasonlítva az irodalmi értékekkel megállapítottam, hogy a vizsgált kukorica hibridek kiváló bioetanol alapanyagul szolgálhatnak.

Irodalomjegyzék

- [1] MacLean, H. L., Lave, L. B., *Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies*, Progress in Energy and Combustion Science 29 (2003) 1–69
- [2] Demirbas, A., *Biodiesel fuels from vegetable oils via catalytic and non-catalytic supercritical alcohol transesterifications and other methods: a survey*, Energy Conversion and Management 2003, 44:2093–109.
- [3] Wyman, C. E., *Handbook on Bioethanol: Production and Utilization*, CRC Press, Taylor and Francis Group , Boca Raton – New York – London, 1996.
- [4] Kiss, G., *A biomassza energetikai hasznosítása Magyarországon*, Debrecen, 2007.
- [5] Oslaj, M., Mursec, B., Vindis, P., *Biogas production from maize hybrids*, Biomass and Bioenergy 34 (2010) 1538-1545
- [6] *Bioethanol Production and Use, “Creating Markets for Renewable Energy Technologies - EU RES Technology Marketing Campaign“*, European Biomass Industry Association
- [7] Balat, M., Balat, H., Öz, C., *Progress in bioethanol processing*, Progress in Energy and Combustion Science 34 (2008) 551–573
- [8] Larminie, J., Dicks, A., *Fuel Cell Systems Explained*, John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, 2003.
- [9] Lamy, C., Rousseau, S., Belgsir, E. M., Coutanceau, C., Léger, J.-M., *Recent progress in the direct ethanol fuel cell: development of new platinum–tin electrocatalysts*, Electrochimica Acta 49 (2004) 3901–3908

- [10]http://www.agrarkutatas.net/files/aktualis/pdf_agroinform_20060713131219_naXW6.pdf
- [11] Saengthongpinit, W., Sajjaanantakul, T., *Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) tubers*, Postharvest Biology and Technology 37 (2005) 93–100
- [12] Yamakawa, S., Yamada, R., Tanaka, T., Ogino, C., Kondo, A., *Repeated fermentation from raw starch using Saccharomyces cerevisiae displaying both glucoamylase and α -amylase*, Enzyme and Microbial Technology 50 (2012) 343–347
- [13] Sánchez, Ó. J., Cardona, C. A., *Trends in biotechnological production of fuel ethanol from different feedstocks*, Bioresource Technology 99 (2008) 5270–5295
- [14] Apar, D. K., Özbek, B., *Corn, Rice and Wheat Starch Hydrolysis by Using Various Alpha-Amylase Enzymes at Temperature 40 °C*, SIGMA-Journal of Engineering and Natural Sciences-Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Vol. 2, pp. 55-67, (2004)
- [15] Devantier, R., Pedersen, S., Olsson, L., *Characterization of very high gravity ethanol fermentation of corn mash. Effect of glucoamylase dosage, pre-saccharification and yeast strain.*, Appl Microbiol Biotechnol. 2005 Sep;68(5):622-9. Epub 2005 Oct 26.
- [16] Szymanowska, D., Grajek, W., *Fed-batch simultaneous saccharification and ethanol fermentation of native corn starch*, Acta Sci. Pol., Technol. Aliment. 8(4) 2009, 5-16

- [17] Nowak, J., Szambelan, K., Miettinen, H., Nowak, W., Czarnecki, Z., *Effect of the corn grain storage method on saccharification and ethanol fermentation yield*, Acta Sci. Pol., Technol. Aliment. 7(1) 2008, 19-27
- [18] Singh, V., *Effect of corn quality on bioethanol production*, Biocatalysis and Agricultural Biotechnology, Volume 1, Issue 4, October 2012, Pages 353–355
- [19] Singh, V., Graeber, J. V., *Effect of corn hybrid variability and planting location on dry grind ethanol production*, Transactions of the ASAE 2005 Vol. 48 No. 2 pp. 709-714
- [20] Rakin, M., Mojovic, L., Nikolic, S., Vukasinovic, M., Nedovic, V., *Bioethanol production by immobilized Saccharomyces cerevisiae var. ellipsoideus cells*, African Journal of Biotechnology Vol. 8 (3), pp. 464-471, 4 February, 2009
- [21] Taylor, F., Marquez, M. A., Johnston, D. B., Goldberg, N. M., Hicks, K. B., *Continuous high-solids corn liquefaction and fermentation with stripping of ethanol*, Bioresource Technology 2010 Vol. 101 No. 12 pp. 4403-4408
- [22] <http://www.agro-store.hu/vetomagvak/kukorica/marton-genetics>
- [23] *Az MTA mezőgazdasági kutatóintézetének közleményei*, Martonvásár, 2008/1, XX. évfolyam, 1. szám

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, dr. Dallos Andrásnak, aki minden lehetséges támogatást biztosított ahhoz, hogy kísérleti munkámat eredményesen elvégezhessem.

Továbbá szeretném kifejezni köszönetemet Tollár Ágnes Nikolettnek és Szigeti Márton Gézának a kísérleti munkám elvégzésében nyújtott sok segítségért.

Végül szeretném megköszönni családtagjaimnak, hogy a tanulmányaim során mindvégig támogattak.

A dolgozat a Magyar Állam és az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0025 projekt keretében.

Veszprém, 2012. november 30.