



(12) **CERERE DE BREVET DE INVENȚIE**

(21) Nr. cerere: **a 2016 00334**

(22) Data de depozit: **11/05/2016**

(41) Data publicării cererii:
29/11/2016 BOPI nr. **11/2016**

(71) Solicitant:
• **UNIVERSITATEA DE ȘTIINȚE AGRICOLE
ȘI MEDICINĂ VETERINARĂ A BANATULUI
"REGELE MIHAI I AL ROMÂNIEI" DIN
TIMIȘOARA, CALEA ARADULUI NR. 119,
TIMIȘOARA, TM, RO**

(72) Inventatori:
• **VINTILĂ TEODOR VASILE, STR.SIMPLEX
NR.20, DUMBRĂVIȚA, TM, RO**

(74) Mandatar:
**CABINET DE PROPRIETATE
INDUSTRIALĂ TUDOR ICLĂNZAN,
PIAȚA VICTORIEI NR.5, SC.D, AP.2,
TIMIȘOARA**

(54) **PROCEDEU DE BIORAFINARE A PLANTELOR ZAHAROASE
ȘI EXTRAȚIA ZAHARURILOR PENTRU OBTINEREA DE
BIOCOMBUSTIBILI ȘI ALȚI BIOCOMPUȘI**

(57) Rezumat:

Invenția se referă la un procedeu de biorafinare a plantelor zaharoase, pentru obținerea de biocombustibili. Procedul conform invenției constă în etapele de:

- fragmentare a unei biomase de plante zaharoase până la dimensiuni de 0,2...1 cm, și însilozarea acestora în prezența unei soluții apoase de etanol;
- extrația unei prime porții de zaharuri;
- adăugarea unei soluții de etanol și recoltarea unei noi porții de zaharuri;
- repetarea extracției până la o concentrație de minimum 40 mg/ml zaharuri în extract;
- recuperarea etanolului din extract;
- fermentația porțiilor de soluții de zaharuri;

g. separarea produselor de fermentație și valorificarea acestora;

h. hidroliza enzimatică a unei bagase rezultată după extrația zaharurilor și fermentarea hidrolizatului, pentru obținerea de etanol lignocelulozic;

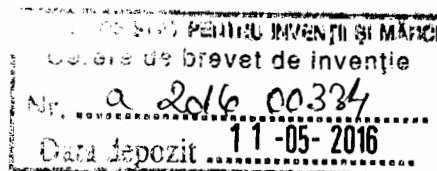
i. separarea etanolului;

j. digestia anaerobă a reziduurilor lichide de la etapele g și i, și a reziduurilor solide de la obținerea etanolului lignocelulozic, din care rezultă biogaz și îngrășământ organic.

Revendicări: 12

Figuri: 1





PROCEDEU DE BIORAFINARE A PLANTELOR ZAHAROASE CU CONSERVAREA ȘI EXTRAȚIA ZAHARURILOR PENTRU OBTINEREA DE BIOCOMBUSTIBILI ȘI ALȚI BIOCOMPUȘI

Invenția descrie un procedeu integrat de biorafinare a plantelor zaharoase pentru obținerea de biocombustibili, alți biocompuși și bioproduse utilizabile în industria energiei regenerabile, industria chimică, industria alimentară, biotehnologia industrială și în agricultură.

Plantele zaharoase stochează zaharurile în diferite părți ale organismului vegetal, iar extracția acestor zaharuri permite folosirea lor în industria alimentară, biotehnologia industrială, sau pot fi convertite în biocombustibili (etanol, butanol) și alți biocompuși (acid lactic, acetonă) utilizabili ca materii prime în industria chimică. Biomasa vegetală rezultată după extracția zaharurilor se poate usca și folosi ca biocombustibil solid, sau se poate supune digestiei anaerobe, obținându-se biocombustibili gazoși (biogaz, prin purificarea căruia se poate obține biometan) și îngrășământ organic (utilizabil în agricultură și horticultură). Dintre plantele zaharoase, sorgul zaharat [*Sorghum bicolor* (L) Moench] este o sursă alternativă de zaharuri, mai puțin utilizată în comparație cu trestia de zahăr și sfecla de zahăr. Principalul motiv pentru care ultimele două plante sunt folosite pe scară largă ca materie primă în industria de profil este compoziția zaharurilor prezente în aceste plante: dacă în trestia și sfecla de zahăr zaharoza se găsește în proporție de circa 90% raportat la zaharuri totale, iar restul este reprezentat de glucoză și fructoză, în sorgul zaharat zaharurile se găsesc în diferite proporții, variind de la rapoarte egale de zaharoză/glucoză/fructoză, la rapoarte asemănătoare cu cele din sfecla și trestia de zahăr. Această compoziție heterogenă a zaharurilor acumulate în tulpinile de sorg zaharat fac ca sucule extras din acestea să nu se preteze la obținerea de zahăr alimentar pentru că procesul de cristalizare nu se poate aplica cu rezultate satisfăcătoare în acest caz. Cu toate acestea, sorgul zaharat se folosește în unele țări ca materie primă pentru obținerea de sirop folosit ca îndulcitor. Totuși, o importanță mult mai mare reprezintă folosirea sorgului zaharat ca sursă importantă de zaharuri fermentescibile pentru biotehnologia industrială. Prin fermentarea zaharurilor extrase din plantele zaharoase se pot obține cu ajutorul microorganismelor o serie de biocompuși și bioproduse de uz industrial, farmaceutic sau agricol (alcooli, acizi organici, aminoacizi, proteine, antibiotice, medicamente etc.). Dintre toate produsele de biosinteză microbiană, etanolul este produs în cea mai mare cantitate pe plan mondial. Această biotehnologie constituie principalul domeniu în care se poate aplica invenția. Sorgul zaharat este o plantă anuală, cu ciclu scurt de producție, putând fi recoltată după circa 140-150 de zile de cultivare. În mod tipic se seamănă la sfârșitul lunii aprilie – începutul lunii mai și se recoltează în septembrie – octombrie. Se poate semăna în cazuri speciale ca și cultură secundară sau premergătoare în combinație cu alte plante cu ciclu scurt de producție. Dezavantajul principal îl constituie imposibilitatea conservării recoltei de sorg cu conținut de zaharuri pe tot timpul anului, pentru a putea fi procesată. Având o umiditate considerabilă (30-35%), biomasa de sorg zaharat este ușor colonizată de microorganisme, care consumă zaharurile și produc degradarea biomasei. Însilozarea clasică (cu bacterii lactice) are același efect de consum al zaharurilor, iar uscarea biomasei și conservarea ei în stare uscată până la procesare este o alternativă care nu se poate aplica la scară industrială. Prin urmare, principala problemă în procesarea sorgului zaharat este faptul că trebuie realizată într-o perioadă scurtă de timp, în sezonul rece, pentru a se putea conserva o parte cât mai mare din zaharurile conținute în biomasa de sorg zaharat. Prin urmare, instalațiile de procesare trebuie să fie de

capacitate mare pentru a putea procesa o cantitate mare în scurt timp și nu pot fi operate decât o perioadă scurtă din an, ceea ce face procesul foarte scump. Un alt dezavantaj al tehnologiilor actuale aplicate în procesarea sorgului zaharat îl constituie extracția zaharurilor prin presarea tulpinilor de sorg (eventual hidratate prin adăugarea de apă) și recoltarea sucului cu conținut de zaharuri. Prin acest procedeu se extrage doar o parte din conținutul de zaharuri înmagazinate în biomasa de sorg, restul zaharurilor rămân în **bagasă**. Termenul de **bagasă** se referă la biomasa de trestie de zahăr, sorg zaharat, sau alte plante care stochează zaharurile în tulpină, rămasă după extracția zaharurilor. Nu se folosește termenul de borhot (ca în cazul biomasei rămase după extracția zaharurilor din sfecla de zahăr) pentru a se face distincția între biomasa lignocelulozică reprezentată de reziduul de la extracția zahărului din trestie sau sorg și biomasa cu o structură mult mai moale reprezentată de reziduul de la extracția zahărului din sfeclă. Glucidele rămase în bagasă după presare se pierd în scurt timp datorită microorganismelor care le consumă. Extracția incompletă a zaharurilor are de asemenea ca efect obținerea de randamente scăzute de obținere a alcoolului etilic din sorgul zaharat în cazul biorafinării glucidelor pentru obținerea de etanol. Valorificarea incompletă a zaharurilor din plantele zaharoase are ca efect un bilanț energetic mult mai scăzut, reflectat într-un grad de sustenabilitate scăzut, eficiență economică scăzută și amprentă de carbon ridicată.

Este cunoscută invenția US2016083320 (A1) - 2016-03-24 – Procedeu și dispozitiv de separare continuă în substrat solid pentru obținerea de etanol combustibil. Invenția se referă la un dispozitiv de distilare continuă cu îmbunătățiri față de dispozitivele continue de distilare anterioare. Procesul de separare continuă aplicat îmbunătățește producția de etanol din mediul de fermentație, dar nu rezolvă conservarea și extracția eficientă a zaharurilor din plante. Reziduurile de fermentare nu se procesează în continuare pentru obținere de biogaz.

Este cunoscută invenția PCT/NL2014/050668 – Extracția zaharurilor din sfecla de zahăr. Invenția se referă la un procedeu de conservare și extracție a zaharurilor din sfecla de zahăr prin utilizarea alcoolului. Se obține un amestec de fragmente de sfeclă de zahăr și lichid cu conținut de zahăr. Nu se face nici o referire la valorificarea glucidelor pentru obținerea de etanol sau biogaz.

Este cunoscută invenția WO 2009124370 A1 – Proces de extracție a zahărului din material vegetal zaharos. Invenția se referă la un procedeu de extracție a zaharurilor din plante zaharoase ca trestia de zahăr prin contactul materialului vegetal cu o soluție extractivă conținând apă și un surfactant (polimeri de oxizi poli-alchileni, ca oxid de polipropilenă, oxid de polietilenă, sau copolimeri din substanțele anterioare). Invenția se referă și la obținerea de etanol din plante zaharoase aplicând extracția cu polimerii amintiți ca un mod de îmbunătățire a eficienței extracției zaharurilor din plante.

Este cunoscută invenția WO 2006056838 A1 – Hidroliza enzimatică a biomaselor cu conținut ridicat de substanță uscată. Invenția se referă la un procedeu de hidroliză enzimatică a suspensiilor cu conținut ridicat de substanță uscată, care să permită obținerea de soluții concentrate de zaharuri care pot fi fermentate la etanol sau alți biocombustibili.

Problema pe care o rezolvă invenția este aceea de a realiza un procedeu integrat de biorafinare care permite procesarea biomasei de plante zaharoase (în special sorg zaharat) pe tot timpul anului (și nu doar în perioada imediat următoare recoltării), conservarea și extracția zaharurile conținute, fermentarea zaharurilor extrase pentru a obține etanol sau alți biocompuși, hidroliza celulozei și fermentarea hidrolizatului fără a se aplica metode fizice sau chimice de pretratare a

biomasei lignocelulozice cu obținere de etanol lignocelulozic, digestia anaerobă a resturilor de la fermentare și hidroliză cu obținere de biogaz și îngrășământ organic.

Procedeul conform invenției constă în conservarea zaharurilor prin însilozarea aditivată a biomasei proaspăt recoltată de sorg zaharat, extracția zaharurilor din biomasa însilozată, urmată de fermentarea zaharurilor cu obținere de etanol și alți biocompuși, hidroliza fără pretratare a lignocelulozei, obținerea de etanol din hidrolizatul celulozic, digestia anaerobă a reziduurilor de la fermentare și hidroliză cu obținere de biogaz și îngrășământ organic.

Procedeul de biorafinare a biomasei conform invenției constă în următoarele etape:

- Fragmentarea biomasei cu conținut de zaharuri;
- Adăugarea unei soluții formate din etanol și apă la biomasa fragmentată și obținerea silozurilor;
- Extracții succesive de soluții cu conținut de zaharuri, apă și etanol;
- Separarea și recuperarea etanolului din soluțiile recoltate din silozuri;
- Fermentarea soluțiilor cu conținut de zaharuri, distilarea și obținerea etanolului din zaharuri;
- Hidroliza enzimatică a bagasei rezultate după extracția ultimei fracții de zaharuri din biomasa de plante zaharoase (de exemplu sorg), fermentarea hidrolizatului obținut, distilarea și obținerea etanolului din celuloză;
- Digestia anaerobă a bagasei hidrolizate și fermentate și a reziduurilor de la distilare pentru obținere de biogaz și îngrășământ organic.

Procedeul de biorafinare a plantelor zaharoase conform invenției asigură următoarele avantaje:

- Folosește ca aditiv de conservare a zaharurilor și ca agent de extracție a acestora din biomasa de plante zaharoase un compus obținut în aceeași întreprindere, fără a fi nevoie achiziția acestui material (etanolul);
- Aditivul de conservare și agentul de extracție (etanolul) se recuperează din materialul însilozat și poate fi refolosit la următoarele extracții;
- În timpul conservării și extracției zaharurilor din biomasa de plante zaharoase, etanolul are și efect de pretratare a biomasei lignocelulozice, astfel încât nu este necesară o altă etapă de pretratare a biomasei lignocelulozice înainte de hidroliza enzimatică a celulozei pentru obținerea de zaharuri fermentescibile.
- Cantitatea de biogaz obținută din reziduurile de la fermentarea alcoolică a sorgului zaharat este mai mare decât cantitatea de biogaz obținută din sorgul zaharat nesupus fermentării alcoolice.
- Prin înlănțuirea celor trei procese principale: (1) fermentarea alcoolică a zaharurilor extrase din plantele zaharate, (2) hidroliza enzimatică și fermentarea bagasei rezultate după extracția zaharurilor și (3) digestia anaerobă a reziduurilor de la hidroliză și fermentare cu producere de biogaz, producția totală de energie este maximizată, iar la finalul procesului se obține îngrășământ organic.

Se da un exemplu de realizare a invenției în legătură cu figura 1 care reprezintă schema biorafinării plantelor zaharoase, având ca studiu de caz sorgul zaharat.

Invenția se referă la un procedeu integrat de biorafinare a plantelor zaharoase abordând ca studiu de caz sorgul zaharat. Procedeul constă în conservarea zaharurilor prin însilozarea aditivată a biomasei proaspăt recoltată de sorg zaharat, extracția zaharurilor din biomasa

însilozată, urmată de fermentarea zaharurilor cu obținere de etanol, hidroliza fără pretratare a lignocelulozei, obținerea de etanol din hidrolizatul celulozic, digestia anaerobă a reziduurilor de la fermentare și hidroliză cu obținere de biogaz și îngrășământ organic.

Procedeul de biorafinare a plantelor zaharoase cu conservarea și extracția zaharurilor pentru obținerea de biocombustibili și alți biocompuși conform invenției este realizat în următoarele etape :

- a) fragmentarea biomasei de plante zaharoase pentru a obține o masă tasabilă (ideal fragmente sub 1 cm) și însilozarea acestor fragmente în prezența unei soluții apoase de etanol;
- b) extracția unei prime porții de zaharuri din biomasa însilozată prin recoltarea lichidului conținând apă, etanol și componentele din planta zaharoasă, în special zaharuri reducătoare;
- c) adăugarea unei noi soluții de etanol peste biomasa însilozată, iar după perioada de extracție recoltarea unei noi porții de zaharuri;
- d) repetarea extracției de zaharuri prin inundări repetate cu soluție apoasă de etanol până la o concentrație minim stabilită de zaharuri în extract;
- e) recuperarea etanolului din extract;
- f) fermentația soluției de zaharuri rezultată după recuperarea etanolului;
- g) separarea produselor principale și secundare din mediul fermentat și valorificarea acestora;
- h) hidroliza enzimatică a bagasei rezultate după extracția zaharurilor și fermentarea hidrolizatului obținut la etanol (obținerea de etanol lignocelulozic);
- i) separarea etanolului din mediul fermentat și valorificarea acestuia;
- j) digestia anaerobă a reziduurilor de la etapele de distilare (vinase) și a reziduurilor solide de la etapa de obținere a etanolului lignocelulozic și obținerea de biogaz și îngrășământ organic.

Una dintre principalele probleme pe care invenția le rezolvă este realizarea un procedeu integrat de biorafinare care permite procesarea biomasei de plante zaharoase (în special sorg zaharat) pe tot timpul anului, și nu doar în perioada imediat următoare recoltării. Această problemă este rezolvată prin însilozarea aditivată a tulpinilor de sorg cu etanol. Aditivul folosit (etanolul) are și rolul de a facilita extracția zaharurilor din tulpini pentru obținerea unui lichid dulce, cu conținut ridicat de zaharuri fermentescibile care pot fi convertite de către microorganisme la etanol sau alți biocompuși în cadrul unei biorafinării. Metoda dezvoltată în cadrul acestei invenții are ca efect atât conservarea zaharurilor cât și extracția zaharurilor din tulpinile de sorg zaharat. Cercetările efectuate indică aplicarea unui amestec de apă și alcool etilic în proporție de 1:1 și în concentrație de 15% alcool etilic și 15% apă raport gravimetric față de biomasa de sorg. La concentrații mai scăzute de etanol se poate obține conservarea zaharurilor, dar extracția lor din biomasă se face cu randament mai scăzut. La concentrații de peste 15 % alcool etilic nu s-au obținut rezultate îmbunătățite nici în ceea ce privește conservarea în timp și nici în ceea ce privește extracția zaharurilor. Perioada de conservare și extracție simultană se poate realiza pe perioade de câteva luni – un an de la recoltare, ceea ce face posibilă prelucrarea biomasei de sorg pe tot timpul anului. Pe parcursul perioadei de conservare în soluția alcoolică, concentrația de zaharuri din masa totală însilozată se menține aproximativ constantă. Zaharurile sunt extrase din biomasa de sorg și trec prin osmoză în faza lichidă constituită de soluția apoasă de alcool etilic. Singura modificare în timpul conservării în ceea ce privește compoziția zaharurilor din lichidul de extracție se referă la concentrația de zaharoză. Mai precis, zaharoza (un diglucid format din glucoză și fructoză) se descompune în

11-05-2016

timpul însilozării aditivate cu etanol și se regăsește în sucii extras sub forma celor două monoglucide constitutive: glucoza și fructoza. Această hidroliză are loc încă din primele patru săptămâni de însilozare, astfel că în studiile de laborator efectuate, după 30 de zile concentrația de zaharoză a ajuns la valoare nulă, iar concentrația de glucoză și fructoză în sucii extras este proporțional mai mare. Concret, în sucii extras din biomasa de sorg imediat după recoltare principalii indici glucidici măsurați în laborator în cadrul cercetărilor sunt: 17 grade Brix extract solubil total; 52 mg/ml zaharoză; 59,4 mg/ml glucide reducătoare totale (în principal glucoză și fructoză), din care 27,4 mg/ml glucoză. După primele 30 de zile de însilozare aditivată cu 15% etanol și 15% apă, indicii glucidici ai sucii extras din biomasa însilozată sunt: 17,8 grade Brix extract solubil total; 0 mg/ml zaharoză; **141,6 mg/ml glucide** reducătoare totale (în principal glucoză și fructoză), din care 68,6 mg/ml glucoză, iar restul de circa 73 mg/ml zaharuri reducătoare reprezintă fructoza. Prin urmare, chiar dacă s-a adăugat alcool și apă peste biomasa de sorg, lichidul extras nu este mai diluat în zaharuri, așa cum ar fi fost de așteptat, ba din contră, după 30 de zile de însilozare, prin presarea biomasei s-a recoltat un volum mult mai mare de lichid și cu concentrație considerabil mai mare de zaharuri în comparație cu biomasa proaspătă, mai precis în cazul de față din biomasa însilozată s-a recoltat suc cu **141,6 mg/ml glucide totale**, față de sucii din biomasa proaspătă cu 52 mg/ml zaharoză și 59,4 mg/ml glucide reducătoare, care însumate înseamnă **111,4 g/ml glucide totale**. În ceea ce privește **volumul** sucii extras din biomasa de sorg zaharat, din biomasa proaspătă se poate extrage în funcție de factorii de mediu și tehnologia de cultivare între 0 și 350 ml suc / kg biomasă proaspătă. În cazul biomasei folosite în acest studiu s-au extras **250 ml** suc dintr-un kilogram biomasă proaspătă, înainte de însilozare. După doar 30 de zile de însilozare aditivată cu 15% etanol și 15% apă, s-au extras **600 ml** suc dintr-un kilogram biomasă însilozată. Acest fenomen se datorează degradării formațiunilor interstițiale și a complexului lignocelulozic din peretele celular al biomasei de sorg, astfel încât lichidul interstițial și celular este eliberat și se poate extrage mult mai ușor prin presarea biomasei.

Calculând randamentul de producție a zaharurilor raportat la cantitatea de biomasă și la unitatea de suprafață de teren cultivat cu sorg zaharat, se obțin datele din tabelul 1.

Tabel 1.

Date comparative privind producția de zaharuri din sorg zaharat

Procedeu de extracție	Volum de suc extras (ml/kg)	Concentrație de zaharuri în suc			Producție zaharuri raportat la biomasă (g/kg)	Producție zaharuri raportat la suprafață (kg/hectar)*	Creșterea productivității ca urmare a tehnologiei dezvoltate conform brevet
		Zaharuri totale (mg/ml)	Glucoză liberă (mg/ml)	Zaharoză (mg/ml)			
Presare (clasic)	250	111	27,4	52	27,75	1387	100%
Cu aditiv, după 30 de zile de extracție (conform brevet)	600	141	68,6	0	84,60	4230	305%

*calculată la o producție de 50 de tone / hectar masă verde

Se menționează că pentru a calcula producția de zaharuri raportată la suprafața de teren cultivată cu sorg, am aplicat o productivitate de 50 de tone tulpini de sorg masă verde / hectar. Acesta este un scenariu pesimist, deoarece cu hibridul de sorg *Sugargraze* (selecționat dintre șapte hibrizi de sorg zaharat luați în testare), în condiții pedoclimatice tehnologice bune se pot obține producții de până la 80 tone / hectar. În condiții excelente au fost raportate chiar producții în jur de 100 tone / hectar.

După 2 luni de stocare a silozului de sorg în condițiile descrise, concentrația de zaharuri a urcat până la 149 mg/kg. Pe parcursul întregii perioade de 12 luni de stocare și extracție a zaharurilor, concentrația de zaharuri în suc s-a menținut la valori aproximativ constante, cu mici variații între 140 și 149 mg/kg biomasă. În ceea ce privește cantitatea de suc recoltată, aceasta poate să varieze în funcție de tipul de presă folosit și de forța de presare a biomasei. Un alt aspect, referitor la extracția sucului, acesta poate fi extras prin levigare, fără presare. La baza recipientului folosit pentru stocare se poate recolta o cantitate considerabilă de suc, care se acumulează în timp sub greutatea proprie a masei de siloz. Pornind de la acest raționament, s-a aplicat extracția în mai multe etape a zaharurilor prin inundări repetate a biomasei de sorg cu soluție de etanol 50%. Mai concret, după prima extracție a soluției zaharoase la 30 de zile de însilozare, s-a adăugat o soluție proaspătă de etanol 50%, după un interval de 30 de zile am recoltat soluția și am adăugat altă soluție proaspătă de etanol 50%. Astfel, de pe același lot de biomasă de sorg zaharat, s-a efectuat în total 4 extracții cu soluție alcoolică la intervale de 30 de zile. Prin aceste extracții repetate, producția de zaharuri raportată la cantitatea de biomasă de sorg supusă extracției este mult sporită față de procedeul cu o singură extracție. Totuși, concentrația de zaharuri în soluțiile recoltate în extracțiile 2, 3 și 4 este progresiv mai mică. În tabelul 2 sunt redate valorile obținute prin extracția repetată de glucidelor din sorgul zaharat.

Tabel 2

Extracția glucidelor din sorgul zaharat prin inundări repetate cu soluție alcoolică

Extracția prin inundarea repetată a biomasei cu soluții de etanol	Volum de suc extras (ml/kg)	Concentrație de zaharuri totale în suc extras la fiecare extracție (mg/ml)	Producția de zaharuri raportat la biomasă la fiecare extracție (g/kg)	Producția cumulată de zaharuri raportat la biomasă (g/kg)	Producția cumulată de zaharuri raportat la suprafață (kg/hectar)*
Prima extracție, la 30 de zile de însilozare	600	141,6	84,60	84,60	4230
A 2-a extracție, la 60 de zile de însilozare	300	88,6	26,58	111,18	5559
A 3-a extracție, la 90 de zile de însilozare	300	51,8	15,54	126,72	6336
A 4-a extracție, la 120 de zile de însilozare	250	42,9	10,72	137,44	6872

*calculată la o producție de 50 de tone / hectar masă verde

Sorgul zaharat este recoltat în momentul optim, adică atunci când concentrația de zaharuri stocate în tulpinile de sorg a atins valorile maxime. Este recomandat ca recoltarea să se facă cu utilaje folosite la recoltarea trestiei de zahăr, pentru a separa paniculii și frunzele de tulpini. În lipsa acestor utilaje se pot folosi utilajele de recoltare a porumbului pentru siloz. În acest caz, biomasa recoltată este mai heterogenă pentru că conține atât tulpinile, cât și frunzele și paniculii cu semințe. Biomasa recoltată și tocată se însilozază în silozuri închise ermetic, rezervoare hidro-izolate, pentru a împiedica scurgerea de lichid din siloz.

Procesarea biomasei de sorg astfel însilozată prin adăugarea de alcool etilic și apă se poate face în cel puțin trei moduri:

1. Biomasa este presată, iar lichidul conținând zaharuri și alcoolul adăugat ca aditiv este trecut printr-o coloană de distilare pentru a recupera alcoolul etilic. Acesta se păstrează pentru a fi refolosit ca aditiv la următoarea recoltă sau se comercializează. Lichidul cu conținut de zaharuri este trimis în fermentatoare pentru fermentație submersă pentru obținerea de alcool etilic, sau alți biocompuși. Bagasa de sorg rezultată după stoarcerea sucului poate fi de asemenea folosită în mai multe scopuri.

O primă opțiune este hidroliza enzimatică a bagasei cu ajutorul enzimelor celulozolitice pentru conversia celulozei la glucoză, obținându-se astfel o a doua recoltă de zaharuri fermentescibile. Borhotul rezultat după hidroliză poate fi transformat prin digestie anaerobă în biogaz și fertilizant.

O altă opțiune este uscarea bagasei și folosirea ei ca biocombustibil solid în centrale termice, inclusiv pentru obținerea aburului tehnologic necesar în etapele de distilare.

2. Amestecul de biomasă și soluția de zaharuri și alcool este trecut cu ajutorul unui conveyer printr-un tunel cald în care se evaporă alcoolul, după care se răcește și alimentează un fermentator orizontal de tip "plug-flow" pentru obținerea de alcool etilic, sau alți biocompuși. Borhotul de fermentație rezultat se poate procesa în mod similar celui rezultat din metoda descrisă anterior (hidroliză enzimatică, digestie anaerobă).

3. Biomasa însilozată este presată, lichidul dulce alcoolic este distilat pentru recuperarea alcoolului, după care este concentrat prin evaporare pentru obținere siropului cu concentrație specifică de zaharuri. Acesta se comercializează ca atare sau se folosește ca adaos în procesele de fermentație continuă. Bagasa rezultată se poate procesa identic ca la punctul 1.

În schema de la figura nr. 1 sunt redate principalele operații și procese din cadrul biorafinării (în chenare), materialele folosite ca materii prime sau ca produse intermediare și produsele principale obținute (scrise cu litere îngroșate).

În tabelul nr. 1 sunt redate producțiile de etanol obținute prin aplicarea următoarelor variante de procesare a biomasei de sorg zaharat: (1) recoltarea sucului dulce prin presare directă din biomasa proaspăt recoltată; (2) fermentarea în substrat solid a sorgului însilozat cu etanol; (3) fermentarea lichidului din prima extracție din sorgul însilozat cu etanol (30 zile de însilozare); (4) fermentarea lichidului extras din bagasa de sorg rezultată după extracția sucului (varianta 1), însilozată cu etanol; (5) fermentarea lichidului recoltat din aceeași probă de siloz prin extracțiile 2, 3 și 4 la 60, 90 și 120 zile de însilozare cu soluție de etanol.

Tabel nr. 1. Variante de procesare a sorgului zaharat pentru obținerea de etanol

Produsul, procesul		Brix	Zaharuri reducătoare, g/l	Concentrație alcool în mediu de fermentație, ml %	Volum lichid litri/ton ă biomasă	Producție ¹ Etanol Litri/tonă biomasă	Producție Etanol Litri/tonă biomasă S.U.	Producție medie etanol litri / ha ²
Etapa a I a de fermentare								
1	Suc extras prin presare, fermentație în sistem submers	16,2	70-84	7,5	250	18,75	26,79	940
2	Siloz cu etanol (cod SG3) fermentat în substrat solid - SSF	6,4	58	2,8	-	50	217,39	2500
3	Extracție suc din siloz cu etanol după 30 zile (cod SG1), fermentație în sistem submers	14	122	10,9	600	65,4	311,43	3270
4	Extracție suc din siloz de bagasă după 150 zile, fermentație în sistem submers (cod BG)	21,6	223	11,1	300	33,3 (+18,75)	133,20 (+26,79)	1665 (+940)
5	Extracție repetată din siloz de sorg (cod SG1), 60-120 zile, fermentație în sistem submers	14	115	6,8	750	51 (+65,4)	242,86 (+311,43)	2550 (+3270)
6	Extracție unică suc din siloz cu etanol după 120 zile (cod SG4), fermentație în sistem submers	22,2	210	10,2	600	61,2	255,00	3060

¹ calculat conform concentrației de etanol rezultată din procesul de fermentație

² la o producție de 50 tone biomasă verde tulpini sorg / hectar

Extracția cu soluție de alcool etilic prin inundări repetate (linia 3 și linia 5 în tabelul 1) permite obținerea de peste 5800 litri etanol / hectar prin cumularea producției de etanol din zaharurile recoltate cu prima extracție (3270 litri/hectar) și a producției de etanol din zaharurile recoltate prin extracțiile 2-4 (2550 litri/hectar). Prin aplicarea extracției prin inundări repetate producțiile de etanol pot fi cu 617% mai mare decât producția de etanol obținută din suc recoltat prin presarea biomasei proaspete (linia 1 în tabelul 1) sau cu 189% mai mare decât producția de etanol obținută din suc recoltat prin extracția unică din biomasa însilozată prin aditivare cu etanol (linia 6 în tabelul 1).

Următoarea etapă a biorafinării constă în hidroliza celulozei din biomasa lignocelulozică rezultată după extracția zaharurilor și fermentarea lor la etanol. În tabelul nr. 2 sunt redată producțiile de etanol celulozic obținut prin hidroliza și fermentarea diferitelor tipuri de bagasă de sorg rezultată din prima etapă de procesare a sorgului.

11-05-2016

Tabelul nr.2. Producții de etanol celulozic obținute prin hidroliza și fermentarea bagasei de sorg

Produsul, procesul		Brix	Zaharuri reducătoare, g/l	Concentrație alcool în mediu de fermentație, ml %		Volum lichid litri/tonă biomasă	Producție ¹ Etanol Litri/tonă biomasă	Producție Etanol Litri/tonă biomasă S.U.	Producție medie etanol litri / ha ²
Etapa a II a de fermentare (cu hidroliza lignocelulozei)									
Produsul, procesul		Brix	Zaharuri reducătoare, g/l	Etan ol ³ , %	Etanol ⁴ , %	Volum lichid litri/tonă biomasă	Producție ¹ Etanol / biomasă Litri/tonă	Producție Etanol / biomasă S.U. Litri/tonă	Producție medie etanol litri / ha ²
A	Fermentarea bagasei SG1 (4 spălări)	5,6	5,49	1,9	0,2	6670	13	61,90	667
B	Hidroliza și fermentarea bagasei SG1 (4 spălări)	5,8	10,1	2,1	0,3	6670	20	95,24	1001
C	Fermentarea bagasei SG4 (stors odată)	6,4	17,8	1,66	0,7	6670	47	195,83	2335
D	Hidroliza și fermentarea bagasei SG4 (stors odată)	6,9	22,6	1,87	0,9	6670	60	250,00	3002
E	Hidroliza și fermentarea borhotului SG3 (fermentat SSF)	4,6	3,2	0,5	0,1	6670	7	30,43	334
F	Pretratarea, hidroliza și fermentarea borhotului SG3 (fermentat SSF)	5,1	8,6	0,5	0,2	6670	13	56,52	667

¹ calculat conform concentrației de etanol rezultată din procesul de fermentație² la o producție de 50 tone biomasă verde tulpini sorg / hectar³ concentrația de etanol din mediul de fermentație inclusiv etanol rezidual din însilozare⁴ etanol rezultat doar din procesul de fermentație (concentrația finală – concentrația înainte de fermentare)

Prin hidroliza și fermentarea bagasei rezultate din extracția prin inundare repetată cu etanol (linia B în tabelul 2) se obține o producție de 1000 litri / hectar. Această producție este mai mare decât producția de etanol obținută prin pretratarea cu hidroxid de sodiu și abur sub presiune urmată de hidroliza enzimatică a bagasei rezultat după fermentarea în substrat solid a sorgului (linia F în tabelul 2). Acest rezultat aduce o noutate extrem de importantă, și anume: tratarea în timp de mai multe luni a biomasei lignocelulozice cu soluție de etanol are efect mai bun în ceea ce privește ameliorarea accesului enzimelor celulozolitice pentru hidroliza celulozei decât metodele clasice de pretratare fizico-chimice (hidroxid de sodiu și abur sub presiune). Acest aspect are un impact major în economia proceselor de biorafinare a biomasei vegetale, pentru că etapele de pretratare fizico-chimice sunt endergonice și poluante. Cu alte cuvinte, tratarea cu etanol a biomasei de plante zaharoase are triplu efect: de conservare a zaharurilor, de extracție a zaharurilor și de eliberare a celulozei din complexul lignocelulozic, facilitând accesul enzimelor celulozolitice pentru hidroliza celulozei la glucoză.

În următoarea etapă a biorafinării s-a trecut la **digestia anaerobă** a diferitelor tipuri de biomasă și reziduuri rezultate după procesele de stoarcere a sucului, hidroliză și fermentare a biomasei de sorg zaharat. Au fost construite loturi experimentale cu digesteroare de 500 ml capacitate și racordate de contoare de gaz (producător: Bioprocess Control, Suedia), toate în triplicate, conform metodei VDI 4630 (VDI, 2006). Raportul de inoculare aplicat în toate cazurile este de 1,2 părți inocul la 1 parte substrat (raportat la conținutul de substanță organică uscată).

Digestoarele au fost imersate în băi de apă, incubate la temperatura de 37,5°C, iar agitarea mediului de digestie s-a făcut în mod discontinuu cu agitatoare mecanice. Producțiile au fost măsurate în normal-litri (207 K și 1013 mbar) per kilogram de substanță uscată organică ($\text{I}_{\text{N}}\text{kg}^{-1}$). Compoziția biogazului (în principal CH_4 , CO_2) a fost analizată cu analizorul portabil de gaz Dräger X-AM 7000. Digestia a fost întreruptă când producția zilnică de biogaz a atins un nivel de 1% din totalul volumului de gaz produs până în momentul respectiv (VDI, 2006). Cantitatea cea mai mare de biogaz este produsă în primele 20 zile de bioproces, iar după 40 zile în majoritatea cazurilor producția de biogaz este foarte scăzută.

În **anexa 1** este redată tabelar producția de energie prin aplicarea diferitelor procese de biorafinare a sorgului zaharat inclusiv digestia anaerobă cu producere de biogaz. Procedul prin care se aplică însilozarea biomasei cu etanol ca aditiv de conservare și extracție, urmată de extracția zaharurilor prin inundări repetate cu soluție apoasă de etanol permite obținerea unor producții mari de etanol, atât prin fermentarea zaharurilor extrase din biomasa însilozată, cât și prin fermentarea hidrolizatului celulozic. De asemenea, producția de biogaz obținută din reziduurile de la fermentare și hidroliză, respectiv energia înmagazinată în acest biogaz, adăugată la energia produsă din etanol indică procedeul prin care biomasa este tratată cu etanol prin extracții repetate ca fiind cel mai productiv din punct de vedere energetic în comparație cu procedeele clasice.

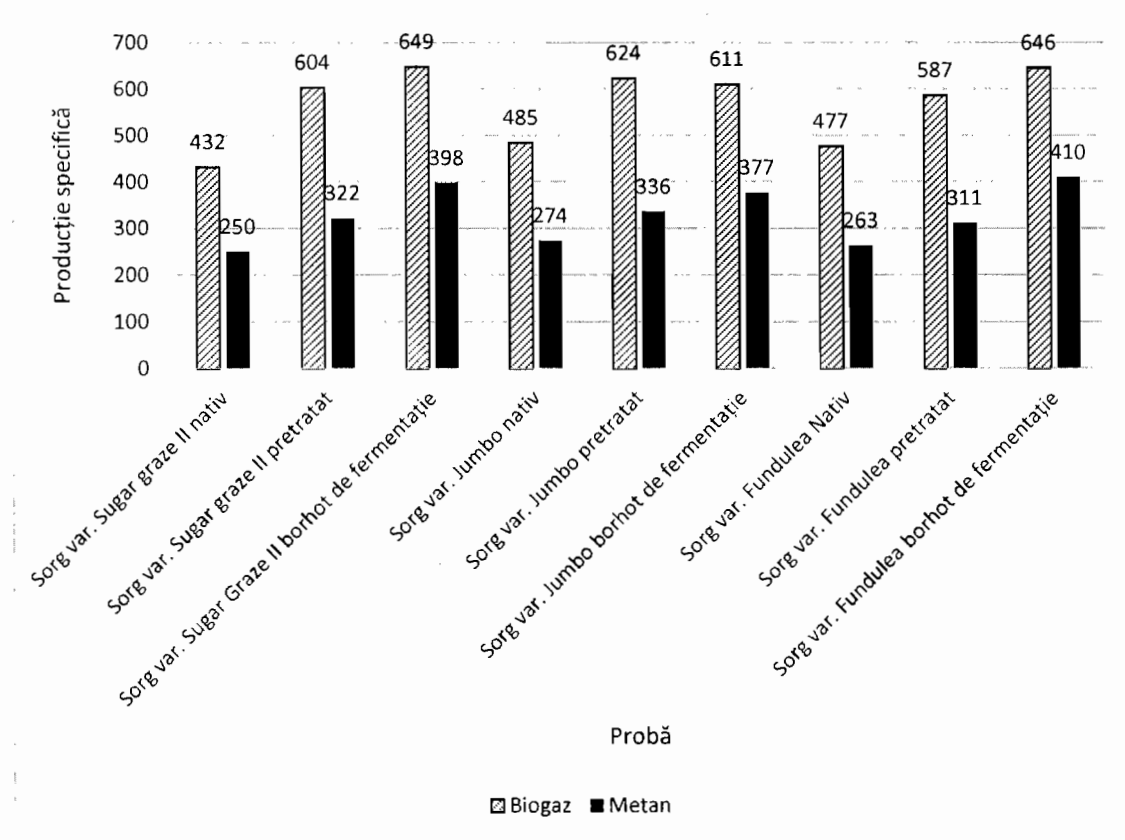
Anexa 1. Producția de energie prin aplicarea diferitelor procedee de biorafinare a sorgului zaharat

Procedeu	Producția de energie										Proces integrat, producția cumulată de energie
	Producția de energie din etanol de primă generație			Producția de energie din etanol de generația a doua			Digestia anaerobă a biomasei reziduale, producția de energie din biogaz				
	Concentrația de etanol în mediul lichid, g/l	Etanol produs, ml/kg biomasă S.U.	Energia produsă, KJ/kg biomasă S.U.	Concentrația de etanol în mediul lichid, g/l	Etanol produs, g/kg biomasă S.U.	Energia produsă, KJ/kg biomasă S.U.	Procent de hidroliză a biomasei în etapele de fermentare	Metan produs, l/kg S.U. biomasă inițială	Energia produsă, KJ/kg biomasă S.U.		
Fermentarea sucului extras prin presare din biomasa proaspăt recoltată	75	26,79	715	0	0	0	0	250	9000	9715	Energia produsă, KJ/kg biomasă S.U.
Fermentarea biomasei însilozate nepresate	28	217,39	5804	0	0	0	0	382	13752	19556	
Fermentarea sucului extras prin presare din biomasa însilozată	109	311,43	8315	0	0	0	0	250	9000	17315	
Fermentarea sucului extras din bagasă însilozată de sorg rezultată după prima presare	111	133,20 +(26,79)	3556 (+715)	0	0	0	0	250	9000	12556 (+715)	
Fermentarea sucului extras prin 4 extracții (semicontinuu) din biomasa însilozată	68	554	14792	0	0	0	0	250	9000	23792	
Fermentarea sucului + Hidroliza și fermentarea bagasei de sorg stoarse 1x	109	311,43	8315	18,7	250	6675	30	267	9626	24617	
Fermentarea sucului + Hidroliza și fermentarea bagasei de sorg stoarse 4x	68	554	14792	21	95,24	2543	0	382	13752	31087	
Fermentarea sucului + Pretratarea, hidroliza și fermentarea bagasei de sorg fermentate	28	217,39	5804	5	56,52	1509	94	23	825	8139	
Fermentarea sucului + Hidroliza fără pretratarea bagasei de sorg fermentate	28	217,39	5804	5	30,43	812	0	382	13752	20369	

11-05-2016

ANEXA 2

Producții de biogaz și metan obținute cu diferite tipuri de biomasă și reziduuri de la hidroliza și fermentarea biomasei de sorg



REVENDICĂRI

1. Procedeu de biorafinare a plantelor zaharoase cu conservarea și extracția zaharurilor pentru obținerea de biocombustibili și alți biocompuși **caracterizat prin aceea că** este realizat în următoarele etape:

- a) fragmentarea unei biomase de plante zaharoase în fragmente cu dimensiuni cuprinse între 0,2 și 1 cm inclusiv pentru a obține o masă tasabilă și însilozarea acestor fragmente în prezența unei soluții apoase de etanol;
- b) extracția unei prime porții de zaharuri din numita biomasă însilozată prin recoltarea unui lichid conținând apă, etanol și componentele din planta zaharoasă, în special zaharuri reducătoare;
- c) adăugarea unei soluții de etanol peste numita biomasă însilozată și recoltarea unei noi porții de zaharuri;
- d) repetarea extracției de zaharuri prin inundări repetate cu o soluție apoasă de etanol până la o concentrație de minim 40 mg/ml zaharuri în extract;
- e) recuperarea etanolului din extract;
- f) fermentația porțiilor de soluții de zaharuri rezultate după recuperarea etanolului;
- g) separarea produselor de fermentație din mediul fermentat și valorificarea acestora;
- h) hidroliza enzimatică a unei bagase rezultate după extracția zaharurilor și fermentarea hidrolizatului obținut pentru obținerea de etanol lignocelulozic;
- i) separarea etanolului din mediul fermentat și valorificarea acestuia;
- j) digestia anaerobă a reziduurilor lichide de la etapele (g) și (i) și a reziduurilor solide de la etapa de obținere a etanolului lignocelulozic și obținerea de biogaz și îngrășământ organic.

2. Procedeu de biorafinare a plantelor zaharoase cu conservarea și extracția zaharurilor pentru obținerea de biocombustibili și alți biocompuși conform revendicării 1 în care concentrația de etanol folosită la conservarea, extracția zaharurilor și pretratarea biomasei lignocelulozice este cuprinsă între 8 și 15% inclusiv raportat la biomasa proaspătă de plante însilozate.

3. Procedeu de biorafinare a plantelor zaharoase cu conservarea și extracția zaharurilor pentru obținerea de biocombustibili și alți biocompuși conform revendicării 1 în care extracția zaharurilor din plantele zaharoase se face prin inundare și recoltare repetată a soluției alcoolice cu periodicitate de cel puțin o săptămână.

4. Procedeu de biorafinare a plantelor zaharoase cu conservarea și extracția zaharurilor pentru obținerea de biocombustibili și alți biocompuși conform revendicării 2 în care recuperarea etanolului din soluțiile de extracție sau din mediile de fermentație se face prin distilare, ultrafiltrare sau adsorbție.

5. Procedeu de biorafinare a plantelor zaharoase cu conservarea și extracția zaharurilor pentru obținerea de biocombustibili și alți biocompuși conform revendicării 1 în care procedeul de biorafinare se poate întrerupe în diferite stadii, în funcție de produsul dorit.

6. Procedeu de biorafinare a plantelor zaharoase cu conservarea și extracția zaharurilor pentru obținerea de biocombustibili și alți biocompuși conform revendicării 5, în care procedeul de biorafinare se întrerupe după etapa (e), iar soluția de zaharuri rezultată se supune concentrării sau altor prelucrări în scopul valorificării comerciale a zaharurilor.

7. Procedeu de biorafinare a plantelor zaharoase cu conservarea și extracția zaharurilor pentru obținerea de biocombustibili și alți biocompuși conform revendicării 5, în care procedeul de biorafinare se întrerupe după etapa (e), iar biomasa solidă rezultată după extracția zaharurilor se supune uscării și se folosește ca biocombustibil solid.
8. Procedeu de biorafinare a plantelor zaharoase cu conservarea și extracția zaharurilor pentru obținerea de biocombustibili și alți biocompuși conform revendicării 5, în care procedeul de biorafinare se întrerupe după etapa (i), iar fracția solidă rezultată după hidroliză și fermentare se supune uscării și se folosește ca biocombustibil solid.
9. Procedeu de biorafinare a plantelor zaharoase cu conservarea și extracția zaharurilor pentru obținerea de biocombustibili și alți biocompuși conform revendicării 1 în care în etapele (f) și (g) se aplică fermentația alcoolică - produsul principal fiind etanolul, fermentația lactică - produsul principal fiind acidul lactic, fermentația acetono-butilică - produsele principale fiind butanolul și acetona.
10. Procedeu de biorafinare a plantelor zaharoase cu conservarea și extracția zaharurilor pentru obținerea de biocombustibili și alți biocompuși conform revendicării 1 în care biogazul rezultat din etapa (j) este folosit in situ pentru obținerea de abur tehnologic, pentru obținerea de energie electrică și termică într-o unitate de cogenerare, este purificat pentru obținerea de biometan.
11. Procedeu de biorafinare a plantelor zaharoase cu conservarea și extracția zaharurilor pentru obținerea de biocombustibili și alți biocompuși conform revendicării 1 în care digestatul rezultat din etapa (j) este îngrășământ organic ce se aplică pe suprafețele agricole din care provin plantele folosite ca materie primă în biorafinărie.
12. Procedeu de biorafinare a plantelor zaharoase cu conservarea și extracția zaharurilor pentru obținerea de biocombustibili și alți biocompuși conform revendicării 1 în care digestatul rezultat din etapa (j) este supus procesului de separare a fazei lichide de cea solidă, în care faza lichidă este folosită pentru fertilizare, iar faza solidă se usucă și se comercializează ca îngrășământ organic.

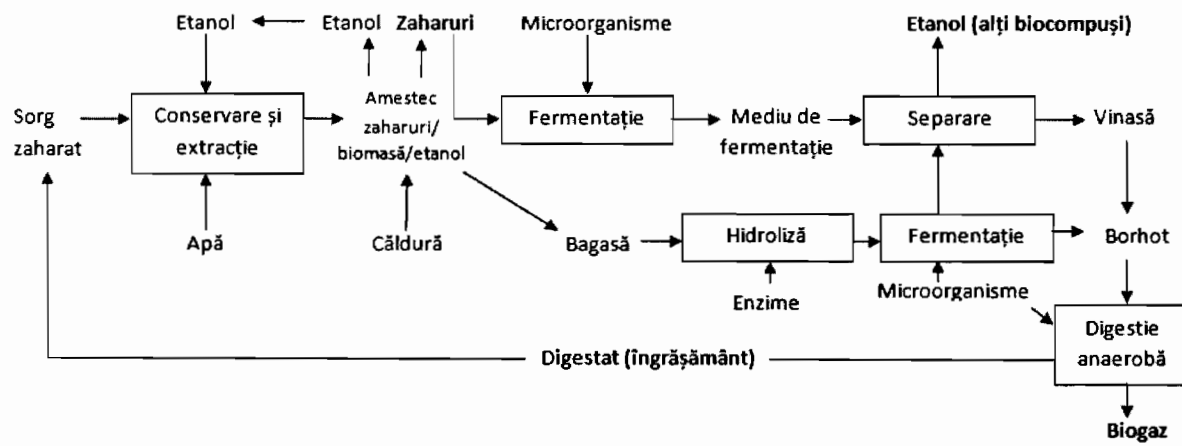


Figura 1. Schema biorafinării plantelor zaharoase, având ca studiu de caz sorgul zaharat