



PROMOVAREA PĂTRUNDERII PE PIAȚĂ A AGROBIOMASEI
ÎN ZONELE RURALE EUROPENE

REZIDUURI DE PORUMB PENTRU PRODUCEREA ENERGIEI

UABIO



CERTH
CENTRE FOR
RESEARCH & TECHNOLOGY
HELLAS



Proiectul a primit finanțare din programul de cercetare
și inovare Orizont 2020 al Uniunii Europene
în baza Acordului de Grant nr. 818369





UABIO



CERTH
CENTRE FOR
RESEARCH & TECHNOLOGY
HELLAS



Proiectul a primit finanțare din programul
de cercetare și inovare Orizont 2020
al Uniunii Europene
în baza Acordului de Grant nr. 818369

DESPRE ACEASTĂ PUBLICAȚIE

Publicația „Reziduuri de porumb pentru energie”, realizată de Asociația Bioenergiei din Ucraina, face parte dintr-o serie de ghiduri autorizate, pregătite în cadrul proiectului AgroBioHeat care urmăresc să ofere cunoștințe sistematice despre utilizarea diferitelor tipuri de resurse de agrobiomasă. În special, se concentrează asupra reziduurilor provenite din cultivarea porumbului (cunoscute și sub numele de cocenași) și asupra modului în care această resursă de biomasă – produsă anual în cantități mari și în prezent subutilizată – poate fi recoltată și utilizată în mod eficient pentru producerea bioenergiei.

Proiectul AgroBioHeat își propune să producă o implementare în masă a soluțiilor de încălzire cu agrobiomasă îmbunătățite și pregătite pentru piață în Europa. Agrobiomasa este o resursă mare, subexploată și indigenă, care poate sprijini atingerea obiectivelor europene privind energia și clima, promovând în același timp dezvoltarea rurală și economia circulară. Proiectul a primit finanțare din programul de cercetare și inovare Orizont 2020 al Uniunii Europene în baza Acordului de Grant nr. 818369.

Pentru mai multe informații despre proiect, vă rugăm să vizitați www.agrobioheat.eu

Acest document reflectă doar opiniile autorilor. Agenția Executivă Europeană pentru Climă, Infrastructură și Mediu (CINEA) nu poate fi responsabilă pentru cum sunt folosite informațiile cuprinse.

AUTORI

Georgii Geletukha, Semen Drahniev, Tetiana Zheliezna/
Bioenergy Association of Ukraine (UABIO)
Manolis Karampinis/
Centre for Research & Technology Hellas (CERTH)

În colaborare și traducere realizată în limba română de Asociația Green Energy

ABREVIERI

Abreviere	Explicație
CB	Știuleți
CCM	Știuleți de porumb-amestec
CHP	Producție combinată de energie termică și electrică
d.b.	Bază uscată
DM	Substanță uscată
E	Urechi
ESP	Electrofiltru
EW	Înveliș pentru urechi
GHG	Gaz cu efect de seră
GR	Cereale
LV	Frunze
Mgy	Milioane de galoane pe an
MY	Anul de comercializare
OGC	Compuși Organici Gazoși
PTO	Priză de putere
ST	Tulpini
TSP	Particulele în total
VS	Solide volatile
W	Conținut de apă
w.b.	Bază umedă

CONȚINUT

Introducere	7
Reziduurile de porumb ca sursă de energie	8
Porumb în producția de culturi agricole	8
Reziduuri de porumb	9
Proprietățile combustibililor obținuți din reziduurile de porumb	15
Recoltarea reziduurilor de porumb	17
Tehnologii de recoltare a boabelor de porumb	17
Opțiuni de recoltare pentru reziduurile de porumb	19
Lanțul de aprovizionare a preseii de balotat pentru coceni de porumb DuPont	22
Transportarea baloturilor de porumb	23
Recoltarea cu prese de balotat pentru coceni de porumb în baloturi rotunde	24
Recoltarea cu mărunțitor pentru coceni de porumb	24
Sisteme de recoltare a știuleților de porumb	25
Depozitarea preselor de balotat pentru coceni de porumb	25
Densificarea reziduurilor de porumb	27
Producție de energie termică din reziduuri de porumb	28
Producție de energie termică din paie de porumb	28
Producție de energie termică din știuleți de porumb	29
Reziduuri de porumb pentru generarea energiei	31
Reziduuri de porumb pentru bioetanol	33
Reziduuri de porumb pentru biogaz	35
Aspecte de durabilitate ale utilizării reziduurilor de porumb	37
Îndepărtarea sustenabilă a reziduurilor de porumb	37
Emisii de Gaze de Seră din logistica reziduurilor de porumb	38

Anexa I: Principalele tipuri de utilaje pentru recoltarea, logistica reziduurilor de porumb și prelucrarea lor în pelețe/brichete 40

Anexa II: Sisteme energetice pentru producerea de energie termică din reziduurile de porumb 44

LISTĂ DE TABELE

Tabelul 1: Principalii producători de porumb din lume în ultimii 5 ani (după MY) 8

Tabelul 2: Comparția proprietăților indicative ale combustibilului fracțiilor de reziduuri de porumb cu diferite sortimente de biomasă 15

Tabelul 3: Metanul produs din reziduuri de porumb și silozul de porumb 35

LISTA FIGURILOR

Figura 1: Randamentul porumbului în SUA din 1866 până în 2019 10

Figura 2: Producția și randamentul boabelor de porumb și a amestecului obținut din știuleții de porumb în anumite țări UE din 2015 până în 2019 10

Figura 3: Diferite părți supraterane ale plantei de porumb și raportul lor de masă uscată 11

Figura 4: Model empiric calculat pentru estimarea randamentului de reziduuri de porumb în funcție de randamentul economic al cerealelor 11

Figura 5: Coceni de porumb rămași pe câmp după recoltarea cu combina agricolă 12

Figura 6: Potențialul energetic al reziduurilor de porumb în Europa (2019) 13

Figura 7: Diferite utilizări finale pentru părțile culturii de porumb 14

Figura 8: Puterea calorifică netă în funcție de conținutul de umiditate (w.b.) al mașinii de balotat pentru coceni de porumb 16

Figura 9: Tehnologii de recoltare a boabelor de porumb cu fluxuri de reziduuri de porumb 17

Figura 10: Recoltarea porumbului cu combina agricolă echipată cu un culegător de porumb 18

Figura 11: Formarea reziduurilor de porumb în spatele combinei agricole 19

Figura 12: Scheme tehnologice de recoltare cu mașini de balotat pentru coceni de porumb	20	Figura 20: Centrală de biomasă Miajadas de 15 MW	32
Figura 13: Modele de mașini agricole pentru recoltarea subproduselor de porumb	21	Figura 21: Baloți de reziduuri de porumb în depozitul de biomasă a centralei electrice Miajadas	32
Figura 14: Modelul de fabrică de etanol celulozic de la DuPont pentru lanțul de aprovizionare de mașini de balotat pentru coceni de porumb	22	Figura 22: Procesul de producere a bioetanolului din biomasă lignocelulozică	33
Figura 15: Programul de operare al fabricii de bioetanol celulozic DuPont	23	Figura 23: Diagrama schematică a pretratării materialului lignocelulozic pentru producerea de biogaz	36
Figura 16: Lanțuri de aprovizionare pentru mărunțitori de coceni de porumb	24	Figura 24: Dependența ratei de îndepărtare a reziduurilor de porumb de economia, factorii limitatori și strategiile agronomice	38
Figura 17: Mașini de recoltat Cob	25	Figura 25: Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră din utilizarea alternativă a preselor de balotat pentru coceni de porumb în comparație cu media rețelei din SUA	39
Figura 18: Depozitarea în aer liber a baloturilor de coceni de porumb în Spania	26		
Figura 19: Baloți pătrați de mașini de balotat pentru coceni de porumb în satul Krynichnoe	28		

INTRODUCERE

Porumbul (numit și cucuruz în Statele Unite) este una dintre cele mai importante culturi din lume. Este o plantă foarte productivă de origine tropicală și fixează carbonul C4. Originea sa este din Regiunea Andină din America Centrală, ceea ce explică nevoia de căldură pentru creșterea și dezvoltarea sa. În scurt timp, porumbul produce mai multă materie organică decât alte culturi. Această cultură este cultivată pentru cereale și nutrețuri (porumb siloz sau consumat direct de animalele fără siloz). Porumbul este adesea folosit cu semnificația de boabe de porumb¹, a cărei producție mondială a fost de la 972 la 1123 Mt pe an în perioada 2015-2019.

În anul de comercializare 2019/2020 (AM), UE a produs 65 Mt de porumb sau aproape 6% din producția mondială². În Ucraina, producția de porumb a depășit producția de grâu, iar porumbul a devenit o cultură principală în țară prin recolta brută. Proprietățile valoroase ale porumbului provoacă cererea constantă a acestuia în lume și pe piața europeană. Randamentul mediu de porumb a fost mai mare de 7 t/ha în UE și Ucraina în ultimii ani.

Pe lângă cereale, se formează o cantitate considerabilă de reziduuri de porumb³ (tulpini, frunze, știuleți, coji etc.). Ele pot fi recoltate și utilizate în diferite scopuri ca agrobiomasă, inclusiv bioenergie. Colectate și prelevate de pe câmp, reziduurile de porumb sunt considerate subproduse ale porumbului. De exemplu, pot fi utilizați ca materie primă pentru producerea de biocombustibili solizi, biogaz și biocombustibili lichizi de a doua generație. Dar acum reziduurile de porumb sunt o resursă regenerabilă locală mare, subutilizată, care ar putea sprijini atingerea obiectivelor europene privind energia și clima, promovând în același timp dezvoltarea rurală și economia circulară.



Reziduurile de porumb au proprietăți combustibile specifice, ceea ce necesită utilizarea cazanelor special concepute pentru arderea acestui tip de agrobiomasă. Utilizarea fezabilă din punct de vedere economic a acestei biomase depinde și de lanțul valoric adecvat „recoltare – logistică – depozitare”.

Aceste probleme și potențialul de biomasă al reziduurilor de porumb pentru producerea energiei în UE și Ucraina, posibilitatea de a transforma această agrobiomasă în pelete/brichete, biogaz și biocombustibil lichid de a doua generație, aspectele de durabilitate sunt descrise în acest ghid.

¹ În acest document, porumbul și boabele de porumb sunt folosite ca sinonime.

² World Agricultural Production, rapoartele USDA [https:// aplicații.fas.usda.gov/psdonline/circulare/producție.pdf](https://aplicații.fas.usda.gov/psdonline/circulare/producție.pdf)

³ Partea supratrană a porumbului cultivată pentru cereale și lăsată pe câmp după recoltare (în principal tulpini, frunze, coji și știuleți) este adesea denumită „coceni de porumb” sau „paie de porumb”.

REZIDUURILE DE PORUMB CA SURSĂ DE ENERGIE

PORUMB ÎN PRODUCȚIA DE CULTURI AGRICOLE

Porumbul domină în producția de culturi agricole la nivel global datorită posibilității de a crește în diverse locuri cu randamente ridicate și a cererii tot mai mari de porumb care este utilizat pentru producerea unei game largi de produse, inclusiv biocombustibili. În lume, aproximativ 60% din bioetanol este produs din porumb⁴. În 2019, aproape 30% din porumb (105,6 Mt) a fost folosit pentru producerea primei generații de bioetanol în SUA⁵.

SUA este liderul mondial în producția și randamentele de porumb (Tabelul 1). UE este al 4-lea producător de porumb din lume, iar Ucraina ocupă locul 6. Conform datelor preliminare, producția de porumb în SUA

în anul 2020/2021 a fost de 358,5 Mt (32% din producția globală), randamentul mediu a fost de 10,8 t/ha. În alte țări, producția de porumb în anul 2020/2021 a fost următoarea: China – aproximativ 260,7 Mt, Brazilia – 87 Mt, UE – 67,1 Mt, Argentina – 50,5 Mt, India – 31,5 Mt și Ucraina – 30,3 Mt. Previziunile USDA pentru anul 2021/2022 sunt de 70,4 Mt pentru UE și 40,0 pentru Ucraina, ceea ce este mai mult decât anul precedent. De remarcat că în UE, porumbul verde, cultivat în principal pentru însilozare, ocupă și el o suprafață mare. Astfel, în anul 2019, suprafața de porumb verde recoltat era de 6,4 milioane de hectare, în timp ce suprafața de porumb boabe și amestec știuleți de porumb era de 8,9 milioane de hectare⁷. Suprafața totală cu porumb era de aproape 14,5 % din terenurile arabile din UE28 și peste 18,5 % în Ucraina.

TABELUL 1:

Principalii producători de porumb din lume în ultimii 5 ani (după MY)⁶

No.	Țara / regiune	Zona, Mha					Randament, t/ha					Producție, Mt				
		2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	2021/2022	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	2021/2022	2017/2018	2018/2019	2019/2020	2020/2021	2021/2022
1	Statele Unite ale Americii	33.5	32.9	32.9	33.3	34.4	11.1	11.1	10.5	10.8	11.1	371.1	364.3	346.0	358.5	382.6
2	China	42.4	42.1	41.3	41.3	43.3	6.1	6.1	6.3	6.3	6.5	259.1	257.2	260.8	260.7	272.6
3	Brazilia	16.6	17.5	18.5	19.9	20.8	4.9	5.8	5.5	4.4	5.7	82.0	101.0	102.0	87.0	118.0
4	UE	8.3	8.3	8.9	9.3	9.4	7.5	7.8	7.5	7.2	7.5	62.0	64.4	66.7	67.1	70.4
5	Argentina	5.2	6.1	6.3	6.4	6.8	6.2	8.4	8.1	7.9	8.0	32.0	51.0	51.0	50.5	54.5
6	Ucraina	4.4	4.6	5.0	5.4	5.4	5.4	7.8	7.2	5.6	7.4	24.1	35.8	35.9	30.3	40.0
7	India	9.4	9.0	9.6	9.9	9.7	3.1	3.1	3.0	3.2	3.1	28.8	27.7	28.8	31.5	30.0
8	Mexic	7.3	7.2	6.6	7.1	7.3	3.8	3.8	4.0	3.8	3.8	27.6	27.6	26.7	27.4	28.0
	Lume	192.2	192.1	193.6	198.8	203.0	5.6	5.9	5.8	5.7	6.0	1080	1123	1120	1123	1209

NOTE: MY 2020/2021 – date preliminare, 2020/2021 MY – proiecție (decembrie 2021).

⁴ OECD FAO Agricultural Outlook 2019 2028. <http://www.fao.org/3/ca4076en/ca4076en.pdf>

⁵ World of corn 2020. <http://www.worldofcorn.com/pdf/WOC-2020.pdf>

⁶ World Agricultural Production, USDA Reports <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>

⁷ Eurostat <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home>

Creșterea producției de porumb în ultimele decenii (Fig. 1) este asociată cu dezvoltarea științei agricole și utilizarea biotehnologiei pentru formarea hibrizilor. În teste comparative, fermierii americani au reușit să obțină randamente de porumb la nivelul de peste 25,0 t/ha. În 2019, Asociația Națională a Cultivatorilor de Porumb din SUA a anunțat recordul mondial în Virginia, aproape de 38,7 t/ha (616,2 bushels/acru) de porumb cereale⁸. Creșterea randamentului mediu global de porumb (2016-2018) cu 14% este așteptată până în 2028⁴.

Distribuția randamentului efectiv și a producției recoltate de boabe de porumb și amestec știuleți de porumb în țările UE28 este prezentată în Fig. 2. Printre acestea predomină porumbul boabe. Principalii producători de porumb au fost România (17,3 Mt în 2019), Franța (13,0 Mt în 2019) și Ungaria (8,3 Mt în 2019). Din 2015 până în 2019, cel mai mare randament mediu de porumb boabe și amestec știuleți de porumb a fost atins în Spania (11,6 t/ha), Grecia (10,3 t/ha), Austria și Italia (10,1 t/ha).

REZIDUURI DE PORUMB

Recolta principală al cultivării porumbului sunt boabele, care este drept motivul economic al activității fermierilor. În plus, planta de porumb este formată din diferite părți subterane și supraterane (Fig. 3), care formează reziduuri de porumb. Este important de menționat că pentru porumb, raportul reziduu/cereale este semnificativ mai mare decât pentru alte cereale. Conform da-

telor experimentale, formarea de biomasă în frunzele și tulpinile de porumb poate fi ridicată chiar și în condiții de stres hidric moderat, ceea ce face din această cultură o sursă importantă de biomasă reziduală agricolă¹⁰. Raportul dintre randamentul reziduurilor de porumb (R) și randamentul cerealelor (Y) (R/Y) depinde de mulți factori, în primul rând de varietatea plantelor, practicile agricole, climă și condițiile câmpului¹¹. În general, acest raport (R/Y) este redus odată cu creșterea randamentului de porumb (Fig. 4), dar relația dintre randamentul de reziduuri și randamentul de porumb este slabă. Este convenabil să utilizați raportul standard R/Y. De exemplu, în Ucraina, R/Y tipic = 1,3. În timpul recoltării, conținutul de umiditate al boabelor de porumb și al reziduurilor de porumb poate fi diferit, iar abordarea descrisă nu ține cont de acest lucru. Adesea, un indice de recoltă (HI) este utilizat pentru evaluarea randamentului de reziduuri: raportul dintre cereale și biomasa totală se referă întotdeauna la greutatea materiei uscate. În SUA, HI fluctuează în general în jurul valorii de 0,50¹², ceea ce se potrivește cu R/Y = 1.

În literatura științifică sunt propuse diferite corelații pentru estimarea raportului R/Y pe baza randamentului de cereale. În acest ghid, ecuația dată de Bentsen et al.¹³ este utilizat pentru evaluarea potențialului de biomasă a reziduurilor de porumb, deoarece se consideră că oferă o potrivire bună cu observațiile experimentale:

$$R/Y = 2.656 \cdot \exp(-0.103 \cdot Y),$$

unde atât R/Y cât și Y sunt t/ha substanță uscată.

⁸ <https://www.ocj.com/2019/12/2019-national-corn-yield-contest-hits-new-yield-record/>

⁹ https://www.nass.usda.gov/Publications/Todays_Reports/reports/croptr18.pdf

¹⁰ Camia A., Robert N., Jonsson R., Pilli R., García-Condado S., López-Lozano R., van der Velde M., Ronzon T., Gurria P., M'Barek R., Tamosiunas S., Fiore G., Araujo R., Hoepffner N., Marelli L., Giuntoli J., Biomass production, supply, uses and flows in the European Union. First results from an integrated assessment, EUR 28993 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN978-92-79-77237-5, doi:10.2760/539520, JRC109869

¹¹ Maximising the yield of biomass from residues of agricultural crops and biomass from forestry. Final report of Ecofys project. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/Ecofys%20-%20Final_%20report_%20EC_max%20yield%20biomass%20residues%2020151214.pdf

¹² https://www.canr.msu.edu/news/harvest_index_a_predictor_of_corn_stover_yield

¹³ Bentsen NS, Felby C, Thorsen BJ. Agricultural residue production and potentials for energy and materials services. *Progr Energy Combustion Sci* 2014;40:59–73. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2013.09.003>

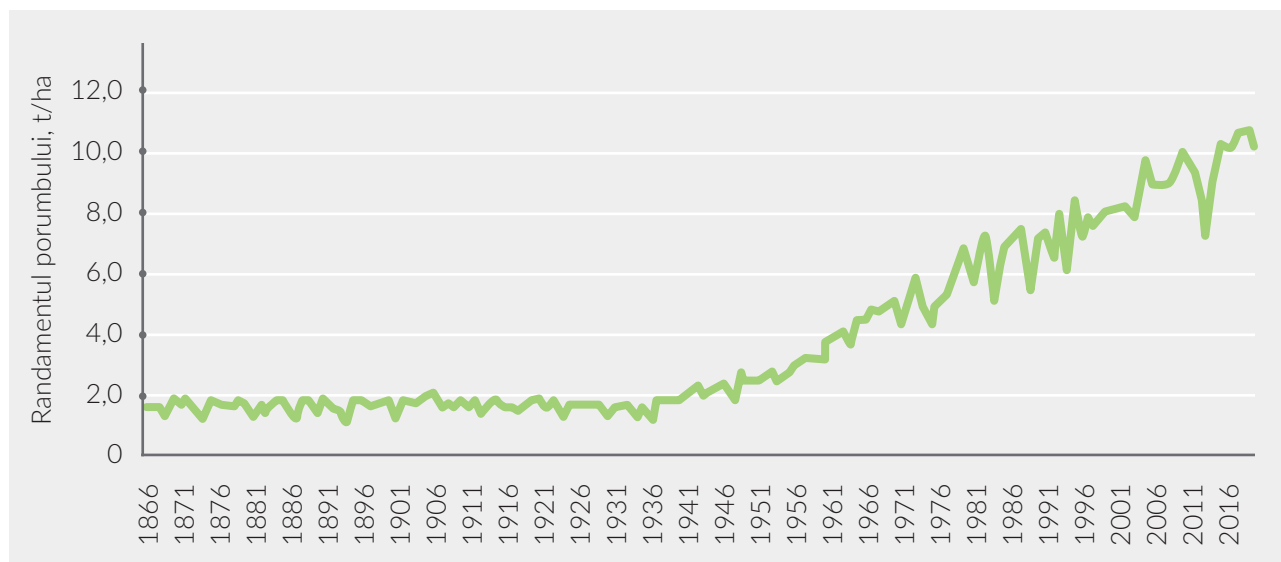


FIGURA 1:
Randamentul porumbului în SUA din 1866 până în 2019⁹

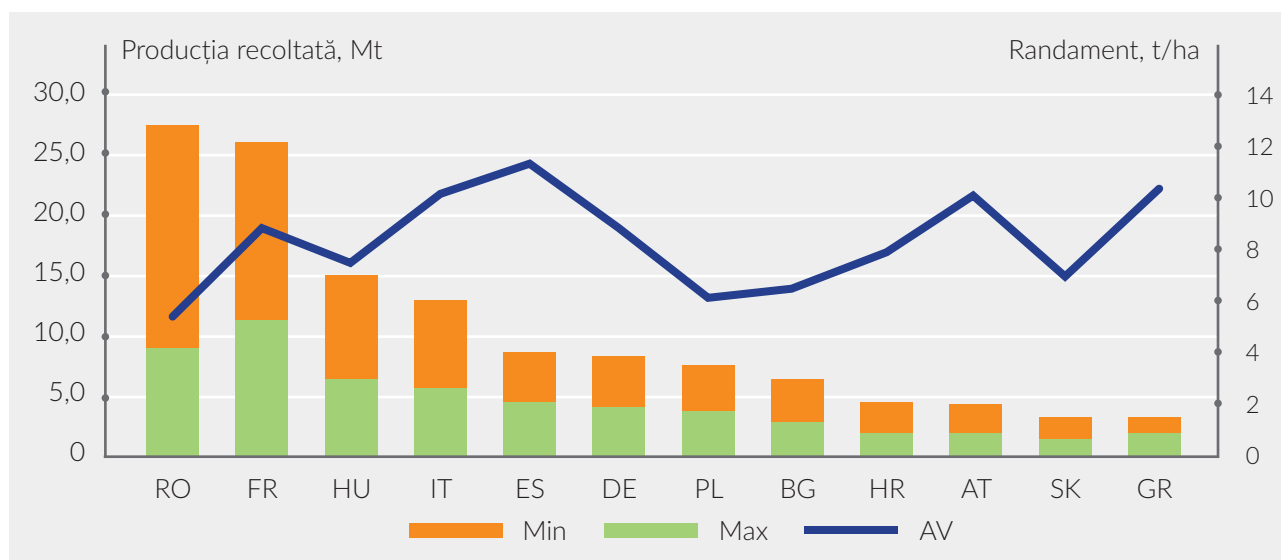


FIGURA 2:
Producția și randamentul boabelor de porumb și a amestecului obținut din știuleții de porumb în anumite țări UE din 2015 până în 2019.

(Sursa: cod de date online Eurostat: TAG00093, elaborarea UABIO)

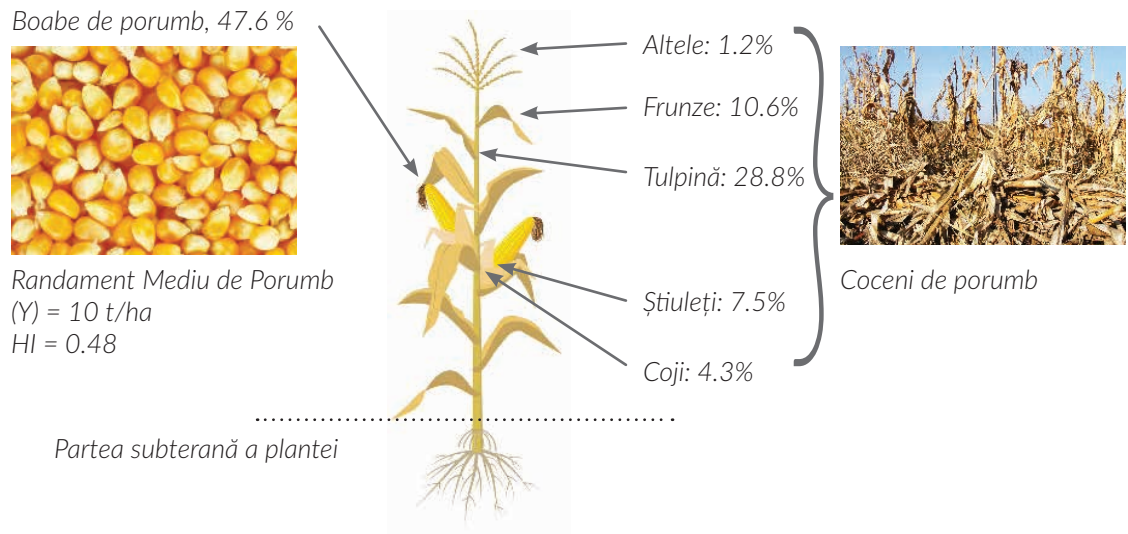


FIGURA 3:
Diferite părți supratereane ale plantei de porumb și raportul lor de masă uscată¹⁴

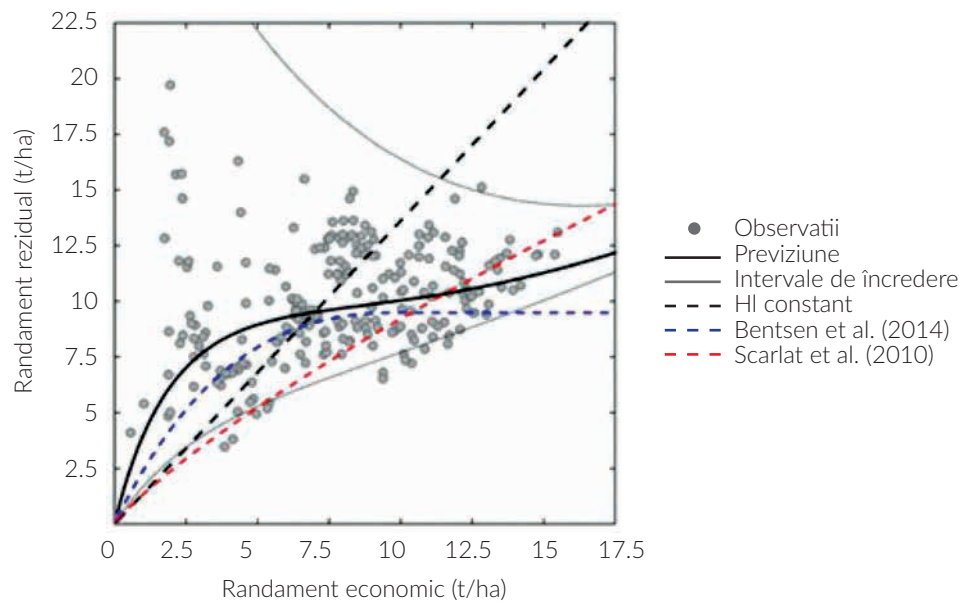


FIGURA 4:
Model empiric calculat pentru estimarea randamentului de reziduuri de porumb în funcție de randamentul economic al cerealelor¹⁵

¹⁴ David Ertl Sustainable corn stover harvest / Iowa Corn Promotion Board, 2013. – 18 p.
https://www.researchgate.net/publication/319493290_Sustainable_Corn_Stover_Harvest_A_publication_of_the_Iowa_Corn_Promotion_Board

¹⁵ García-Condado S, López-Lozano R, Panarello L, et al. Assessing lignocellulosic biomass production from crop residues in the European Union: modelling, analysis of the current scenario and drivers of interannual variability. GCB Bioenergy. 2019;00:1–23. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12604>



FIGURA 5:

Coceni de porumb rămași pe câmp după recoltarea cu combina agricolă

Reziduurile supratere (coceni de porumb) pot fi parțial colectate ca subproduse de porumb care au valoare comercială (Fig. 5). Restul părților supratere și părțile subterane ale porumbului sunt lăsate în câmp ca reziduuri agricole, care joacă rolul de îngrășămintă organice.

Practicile adecvate de gestionare a reziduurilor sunt esențiale pentru calitatea solului. Ratele adecvate de eliminare a reziduurilor de culturi agricole ar trebui să se bazeze pe nivelul minim de reziduuri agricole care trebuie păstrate pe teren pentru a menține calitatea solului, materia organică a solului și pentru a reduce riscul de eroziune¹⁶.

Aspectele de durabilitate pentru recoltarea subproduselor de porumb sunt descrise în capitolul „Aspecte de durabilitate ale utilizării reziduurilor de porumb” din acest ghid. Datele raportate în literatura de specialitate cu privire la ratele de îndepărtare durabilă a reziduurilor de porumb sunt cuprinse între 25% la 70%. În

această evaluare a potențialului de biomasă energetică, este luată în considerare rata de eliminare de 40% pentru reziduurile de porumb.

Producția de reziduuri agricole, inclusiv reziduuri de porumb, este sezonieră și depinde de perioadele de recoltare. Porumbul boabe este recoltat în diferite intervale de timp, în funcție de soi, de locul de cultivare și de timpul de semănat. De obicei, intervalul de timp pentru recoltarea porumbului este determinat de nivelul de umiditate a boabelor, astfel încât înainte de recoltare, fermierii determină conținutul de umiditate al boabelor și maturitatea acestuia, ținând cont de termenii de semănat și de grupa de coacere hibridă. Conținutul de umiditate al diferitelor părți de porumb nu este omogen și scade rapid după 120 de zile de la data semănării¹⁷. În Europa, perioada tipică de recoltare a boabelor de porumb este septembrie-noiembrie. Trebuie remarcat faptul că unii fermieri recoltează porumb în decembrie, ianuarie și chiar mai târziu.

¹⁶ Nicolae Scarlat, Milan Martinov, Jean-François Dallemand Assessment of the availability of agricultural crop residues in the European Union: Potential and limitations for bioenergy use / Waste Management, Volume 30, Issue 10, October 2010, Pages 1889-1897. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.016>

¹⁷ C. Igathinathane, Alvin R.Womac, Shahab Sokhansanj, Lester O.Pordesimo. Vertical Mass and Moisture Distribution in in Standing Corn Stalks // 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting (Ottawa, Ontario, Canada, 1-4 August, 2004). – 20 p.

Cu toate acestea, nu se datorează cerințelor agrotehnice, ci din cauza unor nevoi de producție și fezabilitate economică. În timpul recoltării, cocii de porumb sunt adesea mai umede ($W > 30\%$) decât cerealele (umiditatea standard UE este $W14\%$), dar după recoltarea cerealelor, umiditatea reziduurilor se evaporă intens, de exemplu, în condiții de vânt. De asemenea, conținutul de umiditate al reziduurilor de porumb este foarte dependent de condițiile meteorologice din timpul recoltării, iar precipitațiile intense pot duce la condiții foarte nefavorabile pentru recoltarea biomasei pentru a fi utilizată în aplicații energetice.

Pentru calcularea potențialului energetic al reziduurilor de porumb a fost utilizată puterea calorică netă (bază uscată) de $17,5 \text{ MJ/kg}^{18}$ (Fig. 6). Distribuția potențialului energetic al reziduurilor de porumb în Europa nu este egală. În 2019, cea mai mare concentrație de reziduuri de porumb cu echivalentul energetic de 302,5 PJ a fost în Ucraina. În UE, liderii au fost România (155,2 PJ), Franța (97,5 PJ) și Ungaria (64,8 PJ). Potențialul energetic total al reziduurilor de porumb în UE28 a fost de 557,9 PJ în 2019. Există, de asemenea, un potențial semnificativ în țări precum Spania, Grecia, Belgia, Austria și Turcia.

Potențialul energetic realizabil al reziduurilor de porumb este de fapt determinat de fermieri. Ei vor oferi o recoltare durabilă a porumbului dacă au un interes economic. Costul subproduselor de porumb de pe piață depinde de caracteristicile agrobiomasei, care sunt importante pentru utilizatorii finali. Părțile subproduselor de porumb au caracteristici fizico-chimice diferite, dar, în general, este vorba de biomasă lignocelulozică. Principalele moduri de utilizare a boabelor de porumb și a reziduurilor sunt afișate în Fig. 7. Cocii de porumb au valoare nutritivă relativ scăzută, în special tulpinile de porumb, care sunt considerate ca furaje de calitate scăzută¹⁹. Valoarea nutritivă a frunzelor și a coji de porumb este mai mare în comparație cu tulpinile și știuleții de porumb, dar încă nu sunt utilizate în volume mari. În prezent, cocii de porumb sunt lăsați în principal pe câmp, arat și încorporat în sol. Trebuie remarcat faptul că în unele teritorii, reziduurile agricole, inclusiv reziduurile de porumb, sunt arse pe câmp, ceea ce provoacă numeroase consecințe negative asupra mediului²⁰. Astfel, resursele existente de subproduse de porumb ar putea fi utilizate ca materie primă pentru agrobiomasă pentru biocombustibili solizi, bioetanol de a doua generație și biogaz.

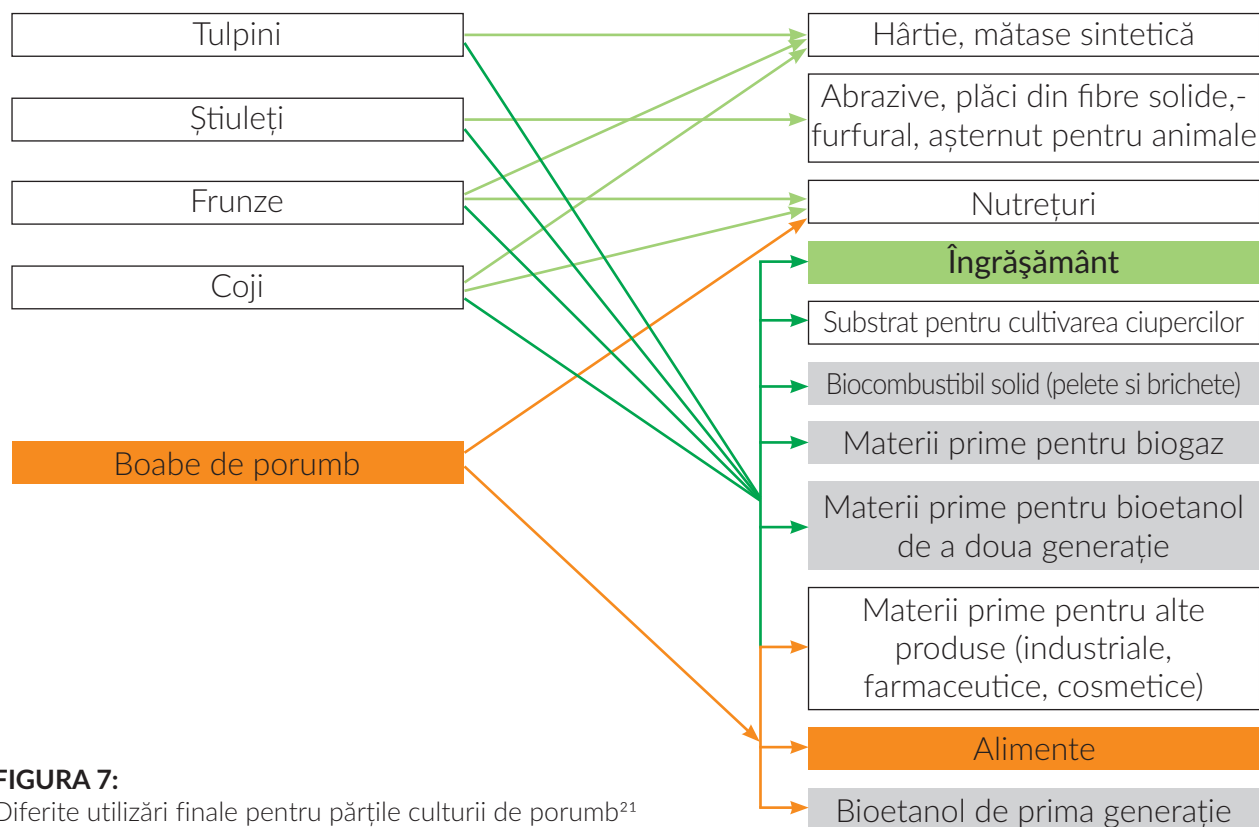


FIGURA 6:
Potențialul energetic al reziduurilor de porumb în Europa (2019)

¹⁸ Caroline Schneider, Hanz Hartmann Maize as energy crop for combustion. Agricultural optimization of fuel supply. TFZ, 2006. http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/festbrennstoffe/dateien/09_bericht.pdf

¹⁹ Characterisation of Agricultural Waste Co- and By-Products. Report of the AgroCycle project. 2016. http://www.agrocycle.eu/files/2017/10/D1.2_AgroCycle.pdf

²⁰ Vladislav Zekić, Vesna Rodić, Milenko Jovanović Potentials and economic viability of small grain residue use as a source of energy in Serbia. Biomass and Bioenergy, 2010. DOI: 10.1016/j.biombioe.2010.07.012



²¹ Position paper UABIO N 23 (2020) "Analysis of pellets and briquettes production from corn residues"
<https://uabio.org/wp-content/uploads/2018/05/position-paper-uabio-20-en.pdf>

PROPRIETĂȚILE COMBUSTIBILILOR OBȚINUȚI DIN REZIDUURILE DE PORUMB

În general, reziduurile de porumb au proprietăți dificile de ardere, care, totuși, sunt mai bune decât cele ale paielor de cereale. În orice caz, atunci când alegeți un cazan pentru reziduurile de porumb, trebuie luate în considerare caracteristicile reale ale combustibilului cocenilor de porumb furnizat și cerințele producătorilor de cazane. O comparație a proprietăților de combustibil ale reziduurilor de porumb cu cele ale altor reziduuri agricole și chipsuri de lemn este prezentată în Tabelul 2.

TABELUL 2:

Comparația proprietăților indicative ale combustibilului fracțiilor de reziduuri de porumb cu diferite sortimente de biomasă

Parametrii	Unități	Pai galben ¹	Pai gri ¹	Stiuleți de porumb ²	Tulpini de porumb ³	Chipsuri de lemn ¹
Conținutul de umiditate	%	10-20	10-20	12.5	10-18	40-50
Puterea calorică netă	MJ/kg	14.4	15	15.2	15-17	10.4
Conținut de cenușă	%wt	4	3	2.2	5-6.5	1
Carbon	%wt	42	43	41.3	41	50
Hidrogen	%wt	5	5	5.2	5.1	6
Oxygen	%wt	37	38	38.8	38	38
Clor	%wt	0.75	0.2	0.14	0.13	0.02
Azot	%wt	0.35	0.41	0.5	0.84	0.3
Sulf	%wt	0.16	0.13	0.08	0.09	0.05
Potasiu (metal alcalin)	%wt uscată	1.03*	0.61**	0.48-1.02	0.61	0.14***
Temperatura de deformare a cenușii	°C	930*	905**	790-1200 (1033 valoare medie)	820-1160 (1070 valoare medie)	1270***

¹ Energie din Paie. Tehnologii, politică și inovație în Danemarca. Ediția a doua"

(http://agrobioheat.eu/wp-content/uploads/2020/11/AgroBioHeat_D7.6_Straw_to_energy_EN.pdf).

² Date agregate de la baza de date Phyllis (<https://phyllis.nl/>); Brunner și colab., 2011; Brunner și colab., 2021; Antonenko și colab., 2018; AgroCycle. Caracterizarea coproduselor și subproduselor deșeurilor agricole http://www.agrocycle.eu/files/2017/10/D1.2_AgroCycle.pdf.

³ Date agregate din baza de date Phyllis (<https://phyllis.nl/>); Antonenko și colab., 2018 24; AgroCycle. Caracterizarea coproduselor și subproduselor deșeurilor agricole http://www.agrocycle.eu/files/2017/10/D1.2_AgroCycle.pdf.

* Valoarea medie pentru paiele de grâu (daneză) din baza de date Phyllis (<https://phyllis.nl/>).

** Valoarea medie pentru paiele de grâu (daneză, intemperii) din baza de date Phyllis (<https://phyllis.nl/>).

*** Valoarea medie a lemnului netratat din baza de date Phyllis (<https://phyllis.nl/>).

²² Brunner, T., Kanzian, W., Obernberger, I., & Theissl, A. (2011). Combustion properties of maize cobs – results from lab and pilot-scale tests. In *Proceedings of the 19th European Biomass Conference & Exhibition* (pp. 944-951).

²³ Brunner, T., Nowak, P., Mandl, C., Obernberger, I. (2021). Assessment of agrobiomass performance in state-of-the-art residential boilers. In *Proceedings of the 29th European Biomass Conference & Exhibition* (pp. 379-388).

²⁴ V.O. Antonenko, V.I. Zubenko, O.V. Epik Fuel properties of Ukrainian corn stover. DOI <https://doi.org/10.31472/ihe.3.2018.11>

Compoziția elementară a reziduurilor de porumb este aproape aceeași cu cea a paielor culturilor de cereale păioase, deci au o putere calorică comparabilă. Proprietățile paielor depind puternic de locul de cultivare, timpul de recoltare și vreme, sol și îngrășămintă²⁵.

Conținutul de cenușă a reziduurilor de porumb este un factor de calitate semnificativ pentru producția ulterioară de biocombustibili. Conținutul de cenușă depinde de tipul de tehnologie de recoltare, deoarece cantitatea de cenușă crește atunci când biomasa are contact cu solul. Din acest motiv, există două tipuri de cenușă: structurală și nestructurală²⁶. Cenușa structurală constă din substanțe anorganice conținute în biomasa vegetală. Conținutul obișnuit de cenușă structurală a cociilor de porumb este de 3,5%. Cenușa nestructurală este o substanță anorganică (în cea mai mare parte sol) care intră în paie în timpul recoltării, în special la formarea benzilor și la balotare. Conținutul total de cenușă tipic pentru treceri multiple ale mașinilor agricole la recoltare este de 8-10%.

Comportamentul la topirea cenușii, unele mostre de reziduuri de porumb sunt mai apropiate de biomasa

lemnoasă, ceea ce oferă condiții mai bune de ardere în comparație cu paiele culturilor de cereale păioase. Pentru comparație: temperatura de deformare a cenușii pentru lemn este de aproximativ 1270 °C, adică 790-1200 °C pentru știuleții de porumb și 820-1160 °C pentru tulpinile de porumb (vezi Tabelul 2). În plus, tulpinile de porumb conțin mai puțin clor (0,13%) în comparație cu paiele proaspete („galbene”) ale culturilor de cereale păioase (0,75%). Este un factor pozitiv pentru reziduurile de porumb ca și combustibil, deoarece compușii de clor provoacă coroziunea elementelor din oțel ale echipamentelor energetice.

Conținutul de umiditate are o influență crucială asupra puterii calorice a reziduurilor de porumb. Diagrama dependenței puterii calorice nete a conținutului de umiditate a cociilor de porumb, care este construită pe ecuație (2.2) din manual²⁷, este prezentată în Fig. 8.

Pentru a obține un conținut de umiditate relativ scăzut al subproduselor de porumb, este esențial să alegeți o strategie adecvată de recoltare și logistică.

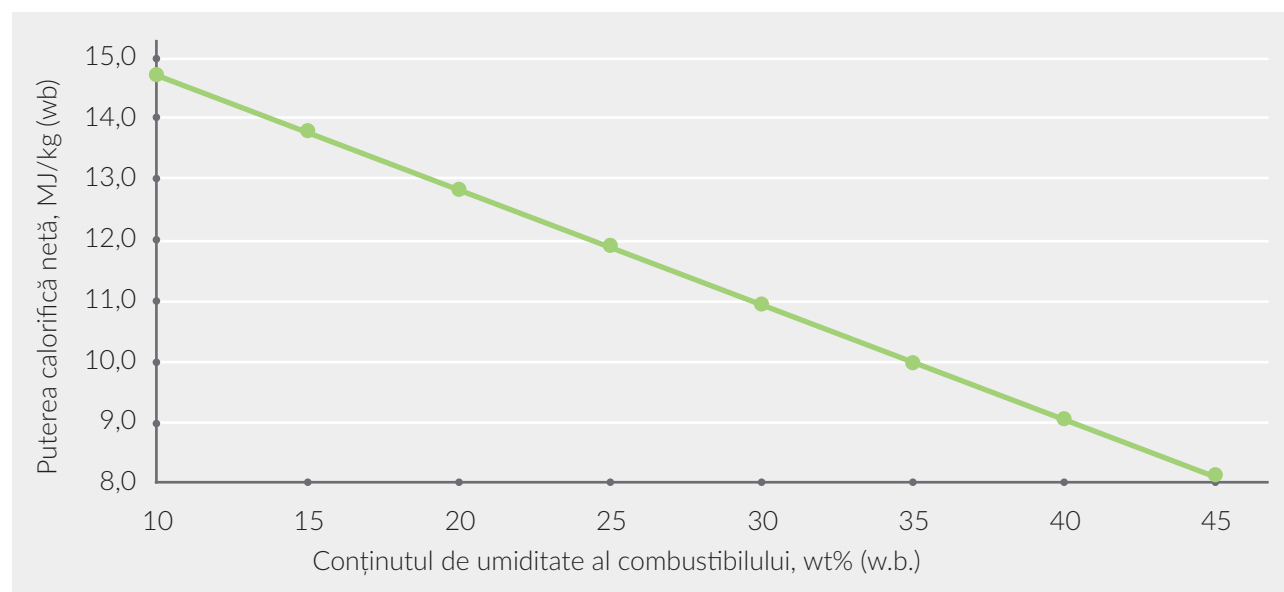


FIGURA 8:

Puterea calorică netă în funcție de conținutul de umiditate (w.b.) al mașinii de balotat pentru coceni de porumb.

²⁵ Vyll Varesa. *Handbook for biofuel consumer* // Tallinn: Tallinn Technology University, 2005 – 183 p.

²⁶ Brittany Schon, Matt Darr. *Corn Stover Ash*. <https://store.extension.iastate.edu/Product/Corn-Stover-Ash>

²⁷ Van Loo, S.; Koppejan, J. *The Handbook of Biomass Combustion and Co-firing*; Earthscan: London, UK, 2008. – 465 p.

RECOLTAREA REZIDUURILOR DE PORUMB

TEHNOLOGII DE RECOLTARE A BOABELOR DE PORUMB

Tehnologia de recoltare a boabelor de porumb are un impact direct asupra tipurilor de reziduuri de porumb care pot fi obținute și asupra modului în care acestea pot fi colectate. Există trei scheme tehnologice principale pentru recoltarea boabelor de porumb (Fig.9):

1. Recoltarea boabelor de porumb cu combină agricolă cu tratamentul staționar suplimentar a urechilor:

1.1. cu decojirea simultană a urechilor (separarea învelișului).

1.2. fără decojirea urechilor (separarea învelișului).

2. Recoltarea boabelor de porumb cu combine de recoltat echipate cu culegătoare de porumb;

3. Colectarea amestecului de boabe și știuleți cu combine.

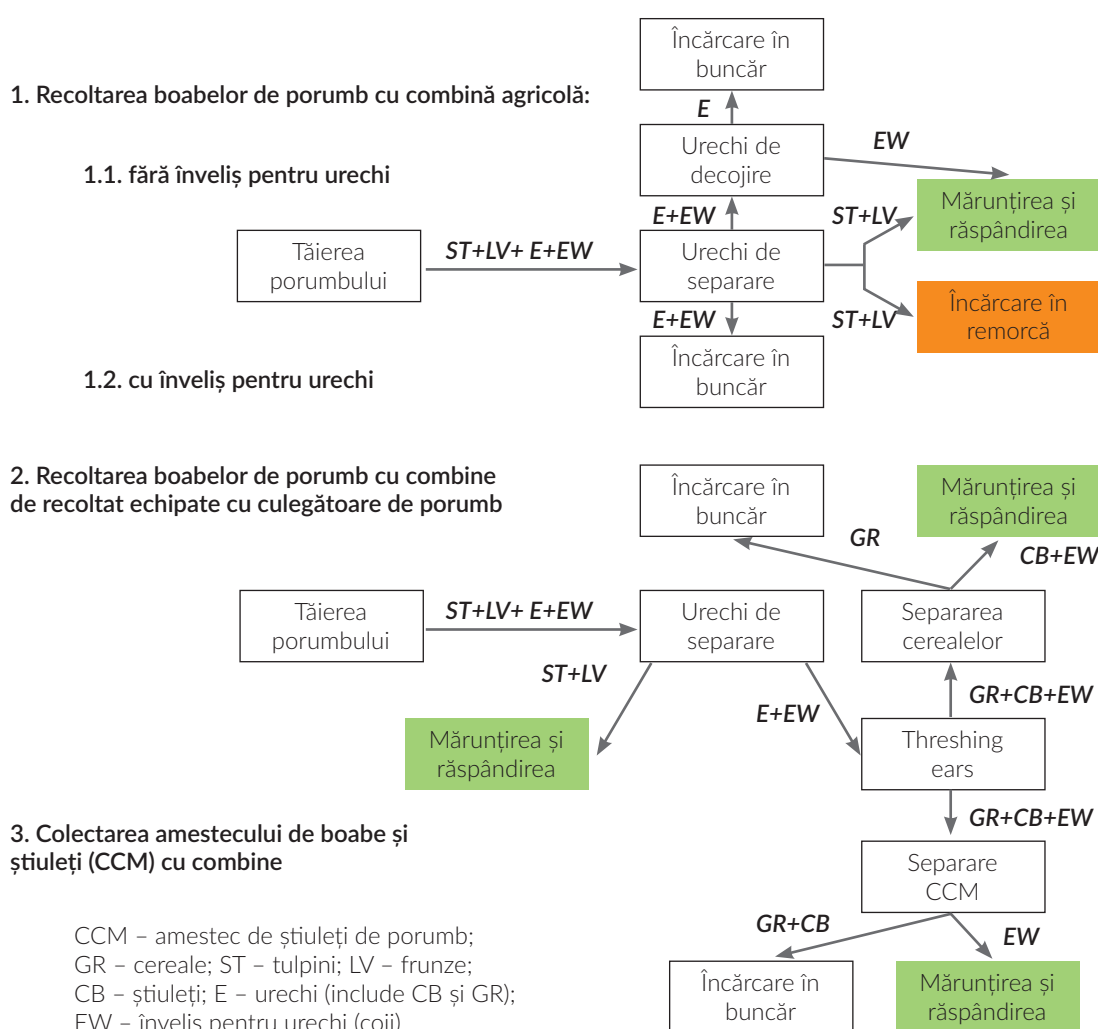


FIGURA 9:

Tehnologii de recoltare a boabelor de porumb cu fluxuri de reziduuri de porumb²⁸

²⁸ UABio's Position Paper N 16 (2016) "Opportunities for harvesting by-products of grain corn for energy production in Ukraine" <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-16-en.pdf>



FIGURA 10:

Recoltarea porumbului cu combina agricolă echipată cu un culegător de porumb.

Boabele de porumb ar trebui să fie recoltate cu un conținut de umiditate a boabelor de 20 până la 35-40%, în timp ce amestecul de știuleți de porumb ar trebui să fie recoltat când conținutul de umiditate a boabelor este de 40-50%. Recoltarea porumbului fără treierarea știuleților începe atunci când umiditatea boabelor este mai mică de 40%, cu treierarea știuleților – cu mai puțin de 30%. Odată cu un conținut mai mare de umiditate, treieratul se înrăutățește, porumbul rănește, productivitatea secerătorilor se reduce. Treierarea de cea mai bună calitate are loc atunci când umiditatea cerealelor este de 20-22%²⁹.

În Ucraina, în anii 1980-1990, tehnologia de recoltare a boabelor de porumb era populară, care includea colectarea întregului randament biologic al culturii prin utilizarea combinelor de recoltat SK-5M, Enisei-1200, Don-1500 și KZS-9-1 cu colectoare speciale PPK-4, KMD-6, PZKS-6 produse de fabrica "Khersonmash". Aceste culegătoare au transmis cocii de porumb mărunțit către remorcă.

În prezent, principala metodă de recoltare a boabelor de porumb comerciale este combina de treierat în șiruri pe câmp, mărunțirea și împrăștierea biomasei tăiate cu utilizarea combinelor de recoltat echipate cu culegătoare de porumb (Fig. 10). Această metodă de recoltare a boabelor de porumb este cea mai fezabilă din punct de vedere economic. Recoltarea cu culegător în șiruri, metoda oferă o scădere de 1,8-2 ori a costurilor cu forța de muncă și o reducere de 20-25% a consumului de combustibil³⁰.

Doar unii fermieri (în principal fabrici de semințe) colectează porumbul netreierat în șiruri cu următoarea treierare staționară, ceea ce face posibilă colectarea știuleților. Fabricile de semințe cultivă porumb pentru a obține semințe de porumb (hibride) ca material săditor. În comparație cu UE, colecția amestecului de știuleți de porumb cu combine nu este încă larg răspândită în Ucraina.

²⁹ V.D. Hrechkosii, M.D. Dmytryshak, R.V. Shatrov and other. *Complex mechanization of grain production: Textbook* // K: Ltd. "Nilan-Ltd", 2012 – 288 p.

³⁰ Cherenkov A.V., Tsykov V.S., Dziubetskyi B.V., Shevchenko M.S. et al. *Intensification of corn technologies – a guarantee for yield stabilization at 90-100 m.c./ha level (practical recommendations)* // Dnepropetrovsk: NU Institute of Steppe zone agriculture NAASU, 2012 – 31 p.

OPȚIUNI DE RECOLTARE PENTRU REZIDUURILE DE PORUMB

La recoltarea cerealelor cu o combină agricolă echipată cu culegător de porumb, resturile vegetale sunt redistribuite astfel (Fig. 11): resturi de miriște (10% din greutatea boabelor), rămân în spatele culegătorului de porumb

(96% din greutatea boabelor), și rămâne în spatele combinei de recoltat (24% din greutatea cerealelor). Trebuie remarcat faptul ca culegătoarele de porumb necesită mult mai multă putere decât cele de cereale. De obicei, este de 7,5 kW (10 CP) pe rând și o putere suplimentară de 2,3 kW (3 CP) pe rând este necesar la culegător dacă sunt instalate accesorii de mărunțire a tulpinilor.³¹

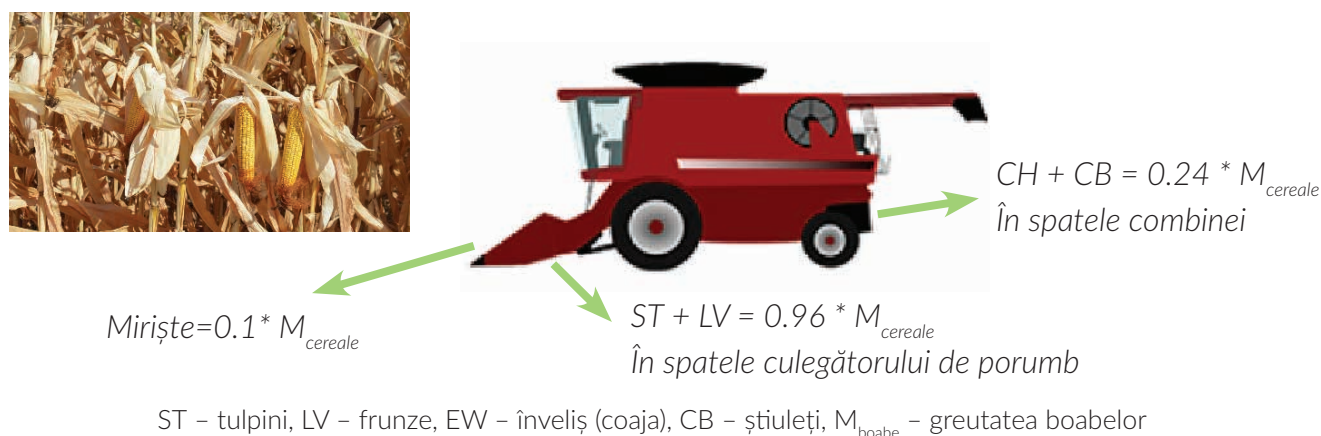


FIGURA 11:

Formarea reziduurilor de porumb în spatele combinei agricole.

Presarea biomasei în baloți datorită compactării materiilor prime de peste 4 ori (de la 40 kg/m³ până la peste 160 kg/m³) contribuie la creșterea eficienței logistice și reduce suprafața necesară de depozitare. Schemele tehnologice de recoltare a reziduurilor de porumb pot fi împărțite în 4 tipuri principale pentru baloturi:

1. Sistem de recoltare cu o singură trecere: o presă de balotat este atașată la o combină de recoltat care permite formarea de baloturi de subproduse de porumb în același timp cu treieratul cerealelor (Fig. 12a).
2. Sistem cu două treceri: o combină agricolă cu un colector de porumb care formează un rând de coceni, care este apoi balotat cu o presă de balotat atașată la un tractor (Fig. 12b).
3. Sistem cu trei treceri: combină agricolă + tractor cu tocător de tulpini în șiruri + tractor cu presă de balotat în baloți pătrați mari (baloți rotunzi) (Fig. 12c).
4. Sistem cu treceri multiple: combină de recoltat +

tractor cu mulcer + tractor cu greblă + tractor cu presă de balotat (Fig. 12d).

Cocenii de porumb recoltați printr-o metodă cu mai multe treceri va duce la niveluri de conținut de cenușă între 8 și 12%, în funcție de an și de condițiile culturii și constă în principal din contaminarea solului colectată în timpul procesului de balotare. Recoltarea într-o singură trecere produce materie primă pentru coceni de porumb cu un conținut de cenușă mai mic de 4% și nu permite niciodată materiei prime să ajungă la sol până când se formează un balot (Fig. 12a). Combinele cu o singură trecere au pierderi de productivitate la recoltare din cauza fluxului suplimentar de biomasă prin ele. Combinele concepute pentru a gestiona rate mai mari de biomasă au o reducere de 30% a productivității la rate de colectare a biomasei de 3,4 Mg/ha³². Corporația AGCO produce sistemul de recoltare cu o singură trecere Challenger, care este disponibil pe piața unor țări, inclusiv SUA.

³¹ Corn: Chemistry and Technology, Third Edition. Edited by Sergio O. Serna-Saldivar Woodhead Publishing and AACC International Press, 2018. – 690 p.

³² J. Darr, K. Webster, A. Shah Machinery Innovations to Meet Industrial Biomass Harvesting Demands in Expanding United States Markets / Land.Technik AgEng 2013. Conference Proceedings, 2013. – 399-406 p.



a) Sistem de recoltare cu o singură trecere: combină cu presă de balotat



b) Combină cu culegător în șiruri + tractor cu presă de balotat



c) Combină + tractor cu mașină de tocat tulpini în șiruri + tractor cu presă de balotat



d) Combină + tractor cu tocător de tulpini + tractor cu greblă + tractor cu presă de balotat

FIGURA 12:

Scheme tehnologice de recoltare cu mașini de balotat pentru coceni de porumb³³.

Pentru colectarea și balotarea eficientă a subproduselor de porumb, este important să se facă șiruri din reziduurile de porumb. În sistemul cu două treceri, se folosește o combină de recoltat cu un colector special de porumb care formează un șir de reziduuri de porumb (Fig. 12b). Colectorul de porumb Geringhoff Mais Star Collect poate sfărâma și răspândi frunze și tulpini de porumb pe un câmp sau le poate pune în rând. În partea de sus a șirului se mai pot adăuga și știuleți mărunțiți și cojile care se formează după tocător combinat. Compania New Holland produce

dispozitive – Cornrower™ pentru formarea șirurilor, care pot fi atașate pentru a combina. Testele comparative pe teren ale recoltării cu o singură trecere și două treceri³⁴ au arătat că productivitatea recoltării cerealelor a sistemelor cu două treceri a fost cu 9% mai mică decât cea a configurației convenționale a combinelor. De asemenea, pentru aceste două tehnologii de recoltare, fermierii trebuie să investească în echipamente speciale (sistem de recoltare cu o singură trecere sau colectoare de porumb), care vor reduce productivitatea recoltării boabelor de porumb.

³³ Report on "Analysis of utilisation of corn straw as an energy source" (2018). Prepared by SEC Biomass for EBRD under the Contract C38842/1018/5362.

³⁴ K. J. Shinnars, R. G. Bennett, D. S. Hoffman Single- and two-pass corn grain and stover harvesting Transactions of the ASABE. 55(2): 341-350. (doi: 10.13031/2013.41372) @2012 <https://elibrary.asabe.org/login.asp?search=0&JID=3&AID=41372&CID=t2012&v=55&i=2&T=2>

De regulă, fermierii nu dispun de resursele necesare pentru a asigura recoltarea biomasei, deoarece au ca scop producerea de boabe de porumb. Fermierii tind să recolteze boabele de porumb cu combine standard și colectoare de porumb fără a mări termenii campaniei de recoltare. Pentru o recoltare eficientă a reziduurilor de porumb, este mai bine să angajați o anumită companie, care are mașini speciale eficiente și colectează agrobiomasă de bună calitate. Poate fi realizat în sisteme cu trei treceri și mai multe treceri.

În sistemul cu trei treceri, toculator special, mașina de mărunțire a tulpinilor (Fig. 12c), este utilizată pentru mărunțirea și mărunțirea reziduurilor de porumb. În acest caz, combina de recoltat își poate crește performanța în timpul recoltării boabelor de porumb. Compania din SUA, Hiniker, produce mașini din seria 5600 cu o lățime de 15, 20 și 30 de picioare pentru mărunțirea reziduurilor de cultură și derulare. Pentru a asigura greutatea liniară ridicată a mașinii de înfășurat și pentru a reduce numărul de treceri ale mașinii, Hiniker 5610 și 5620 sunt conectate cu două treceri într-o singură mașină de înfășurat. Tocatorul cu o lățime de 30 de picioare trebuie atașat la un tractor cu puterea motorului de 200 CP.

Într-un sistem cu mai multe treceri, se folosește un tocător atașat la un tractor pentru mărunțirea reziduurilor de porumb, care sunt greblate cu grebla atașată la tractor în șiruri la etapa următoare (Fig. 9d). Pentru a funcționa cu tulpini de porumb, grebla trebuie să fie echipată cu degete mai puternice în comparație cu o greblă de fân. La fel ca greblele, randamentul recoltei

de la tocatorele de tulpini poate fi ajustat prin schimbarea distanței dintre cutitele de tocat și sol. Deoarece tocatorele de tulpini au mai puține oportunități de a aranja solul, contaminarea solului sau nivelul de cenușă al cocii de porumb produs cu un mărunțitor de tulpini este, în general, mai mică decât în cazul unui mașini de greblat³⁵.

Pentru a preveni pierderile de substanță uscată și deteriorarea calității biomasei, baloții trebuie scoși rapid de pe câmp și așezați în grămezi pentru depozitare. De exemplu, o remorcă autoîncărcată 16K Plus Bale Runner colectează 12 baloți mari cu 1,2 m lățime și 0,9 m înălțime într-o singură trecere și este montată pe un tractor cu o putere de 180 CP. În SUA se folosesc și stivuitoare speciale autopropulsate. Mașina Stinger Stacker 6500 are o capacitate a motorului de 305 CP, transmisie automată cu 6 trepte și în decurs de 1 oră poate ridica, scoate și pune într-o grămadă 80-120 de baloturi dreptunghiulare mari.

Dintre aceste tehnologii, sistemul cu trei treceri (Fig. 12c) este mai aplicabil în condițiile europene datorită posibilității de utilizare a utilajelor standard disponibile pentru producătorii agricoli și a contactului mai mic al biomasei cu solul. În diferite etape ale procesului de recoltare, pot fi utilizate diferite modele de echipamente. Câteva exemple de astfel de utilaje sunt prezentate în Fig. 13. Mai multe informații despre mașinile pentru recoltare, logistica reziduurilor de porumb și prelucrarea lor în pelete/brichete sunt incluse în Anexa I.



Folosit în SUA	Analogii din UE
1. Derulare	
Hiniker 5600 series	Biochipper 300, 400, 500, 600
2. Balotare	
Massey Ferguson 2270XD	Krone Big Pack 1290 HDP
3. Colectare de baloți pe câmp	
ProAg 16 K Plus Bale Runner	Arcusin Autostack XP 54T



FIGURA 13: Modele de mașini agricole pentru recoltarea subproduselor de porumb.

³⁵ Matt Darr Industrial harvesting of corn stover as a biomass (2012). Proceedings of the Integrated Crop Management Conference. 9. <https://lib.dr.iastate.edu/icm/2012/proceedings/9>

LANȚUL DE APROVIZIONARE A PRESEI DE BALOTAT PENTRU COCENI DE PORUMB DUPONT

Un exemplu al întregului lanț de aprovizionare cu reziduuri de porumb (biomasă balotată) este prezentat în Fig. 14. Acesta a fost lanțul de aprovizionare implementat și utilizat de compania DuPont (SUA) pentru a furniza fabricii de etanol celulozic cu materie primă. La 30 octombrie 2015, marea biorafinărie avansată a Dupont a fost deschisă în orașul Nevada, statul Iowa. Capacitatea uzinei a fost de peste 110 mln litri de etanol celulozic pe an. Porumbul a fost recoltat de fermierii locali, în timp ce alte operațiuni au fost efectuate de personalul fabricii. În 2018, Verbio North America Corp. a achiziționat DuPont Cellulosic Ethanol LLC din Nevada. Noul proprietar intenționează să producă gaze naturale regenerabile (RNG) la amplasament, dar mai întâi va trebui să facă unele modificări la instalație³⁶.

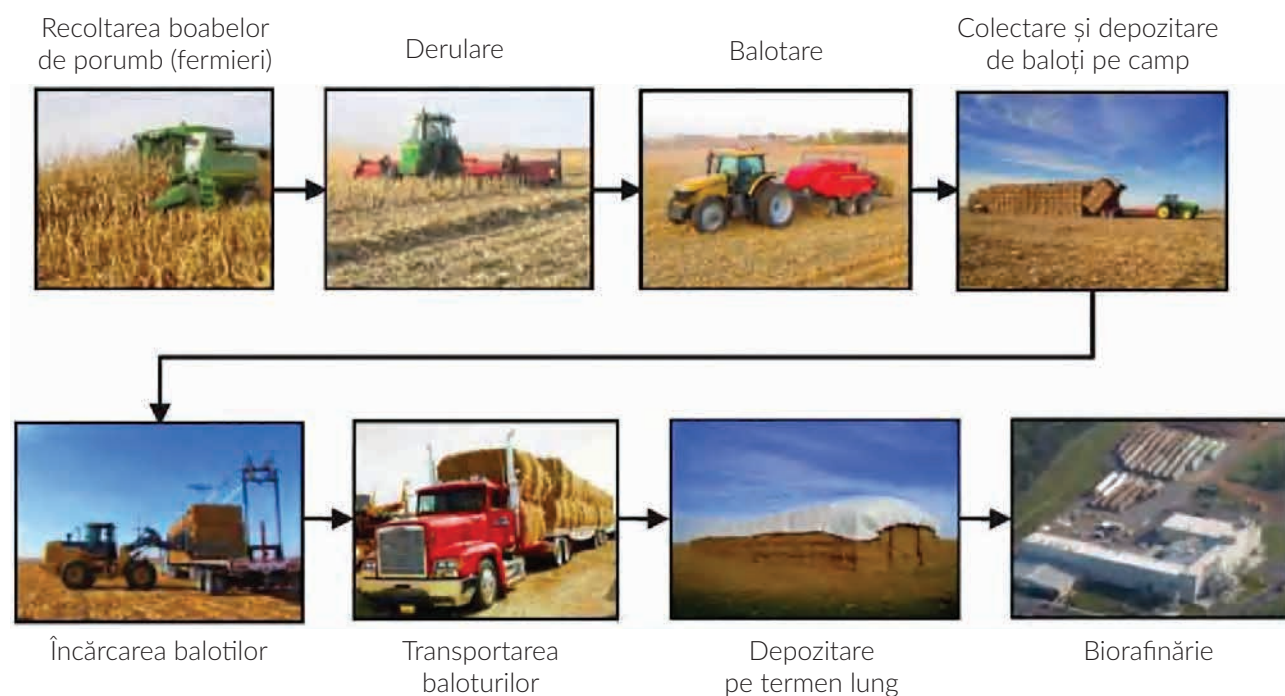


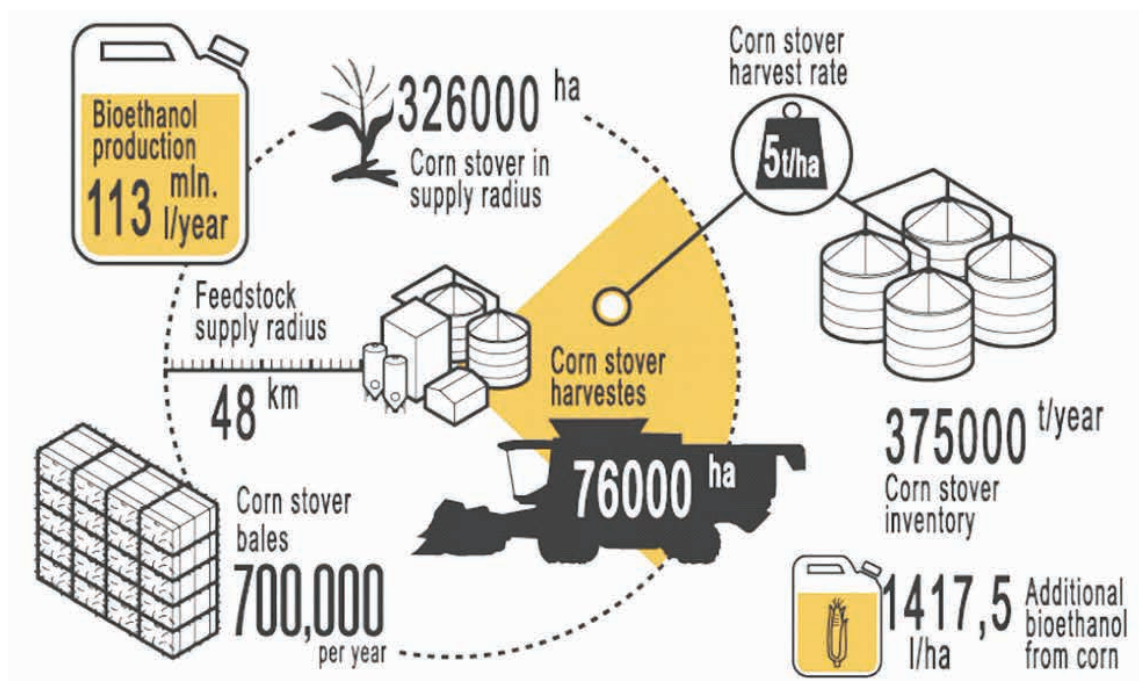
FIGURA 14:

Modelul de fabrică de etanol celulozic de la DuPont pentru lanțul de aprovizionare de mașini de balotat pentru coceni de porumb³⁷.

³⁶ <http://ethanolproducer.com/articles/15885/burgeoning-biomethane>

³⁷ DuPont Nevada Site Cellulosic Ethanol Facility Feedstock Collection Program

http://www.dupont.com/content/dam/dupont/products-and-services/industrial-biotechnology/documents/IB-PDF-04-Feedstock_Collection_Program_2015.pdf

**FIGURA 15:**

Programul de operare al fabricii de bioetanol celulozic DuPont³⁸

Programul de operare este prezentat în Fig. 15. Fabrica DuPont plătea cultivatorilor permisiunea de a recolta cocii de porumb și de a gestiona costurile de recoltare, depozitare și transport. Cultivatorii au primit costuri pentru accesul la câmp și pentru cantitățile de nutrienți care erau îndepărtate împreună cu subprodusele de porumb. Cocii de porumb au fost recoltați de la cele mai apropiate 500 de ferme. La fabrică existau 85 de locuri de muncă permanente și 150 de persoane au fost implicate în colectarea, transportul și depozitarea colectării sezoniere a materiei prime.

Datorită programului de recoltare a porumbului cu etanol celulozic DuPont, DuPont avea un contract cu cultivatorii pentru a recolta, depozita și livra uzina de etanol celulozic DuPont. Cultivatori calificați trebuiau să îndeplinească următoarele criterii:

- Situat pe o rază de 48 km de Nevada, Iowa;
- Hectarele de porumb trebuie cultivate într-un sistem de prelucrare a solului fără prelucrare sau de conservare;
- Randament de 12,2 tone pe ha sau mai mare;
- Teren relativ plat (cu o pantă de 4% sau mai puțin).

TRANSPORTAREA BALOTURILOR DE PORUMB

De asemenea, similar celor descrise mai sus, sistemul de recoltare a subproduselor de porumb în baloți pătrați mari este utilizat de alte companii. După stivuirea baloților pe depozitele operative din apropierea câmpurilor, aceștia trebuie transportați la depozitul principal (central). Pentru operațiunile de încărcare în depozite se folosesc încărcătoare frontale și manipolatoare telescopice. Pentru transportul de la depozitul local la cel central se folosesc camioane cu platforme de semiremorci. Un astfel de echipament este folosit în mod tradițional pentru operațiuni logistice cu baloturi de paie și fân. Dar baloții din subprodusele de porumb au, în general, un conținut de umiditate mai mare și, prin urmare, sunt mai grei în comparație cu baloții din paie de cereale și rapită, așa că acest lucru trebuie luat în considerare atunci când alegeți mașini pentru ridicarea și stivuirea baloturilor. Este esențial să asigurați în mod corespunzător încărcătura folosind curele de fixare sau cu clichet pe remorcile cu platformă sau remorcile fără laterale. Până la 36 de baloți pătrați mari cu o greutate medie uscată de 0,43 t pot fi transportați pe o semiremoră standard de 48 de picioare din SUA. Densitatea balotului uscat de

³⁸ <http://www.dupont.com/products-and-services/industrial-biotechnology/advanced-biofuels/articles/nevada-cellulosic-ethanol-by-the-numbers.html>

³⁹ Justin McGill, Matt Darr *Transporting Biomass on Iowa Roadways*. PM 3051G (2014)
<https://store.extension.iastate.edu/product/Transporting-Biomass-on-Iowa-Roadways>

196 kg/m³ ar trebui vizată pentru a maximiza eficiența de transportare a greutatei de transport a semiremor-cilor standard. Încărcăturile de biomasă trebuie fixate corespunzător pentru a se asigura că încărcăturile nu se deplasează în timpul transportului.

RECOLTAREA CU PRESE DE BALOTAT PENTRU COCENI DE PORUMB ÎN BALOTURI ROTUNDE

În plus, biomasa poate fi balotată în baloți rotunzi folosind o presă de balotat rotundă în loc de o presă de balotat pătrată mare. Presele de balotat rotunde sunt, de asemenea, foarte viabile pentru producția de biomasă și oferă avantajul de a fi mai simple de operat, cu mai puține probleme de întreținere. Presele de balotat rotunde pot necesita până la 75 de cai putere PTO. Pentru o putere adecvată la bară și pentru a maximiza productivitatea presei de balotat, se recomandă utilizarea unui tractor cu peste 120 de cai putere pentru operațiunile de balotare industrială. Presele de balotat rotunde de mare densitate cu pretratare de tocare pot atinge densități de balot de 160 kg/m³. Presele de balotat pătrate mari necesită mult mai multă putere decât presa de balotat rotundă. Presele de balotat pătrate mari de înaltă densitate și de mare capacitate indică de obicei un minim de 180 de cai putere în documentația producătorului.

Pot fi necesari cai putere suplimentari dacă se folosesc prese de balotat de mare densitate. Astfel de baloți pot produce baloți cu o densitate de peste 184 kg/m³. Dar, în general, presa de balotat rotundă este mai puțin productivă decât presa de balotat pătrată mare. Având în vedere eficiența în volum mai mică a transportului și depozitării, operațiunile logistice ale baloturilor rotunde în comparație cu baloturile pătrate, baloturile rotunde sunt mai complexe și mai scumpe.

RECOLTAREA CU MĂRUNȚITOR PENTRU COCENI DE PORUMB

Pe lângă tehnologiile de balotare, cocenii de porumb poate fi recoltat sub formă de mărunțire ca un amestec de diferite fracțiuni de subproduse de porumb sau separat de acestea, cum ar fi știuleții. Diagramele de recoltare a reziduurilor de porumb mărunțite cu ajutorul unei mașini de recoltat furaje sau a unui vagon de încărcare a furajului, care sunt utilizate pentru recoltarea porumbului însilozat, sunt prezentate în Fig. 16. Experimentele pe teren în Centrul de Cercetare pentru Agricultură de Stat din Bavaria în 2014 și 2015 arată că conținutul de cenușă al resturilor de porumb a fost de 7,0 % în DM ±1,9 pentru mașina de recoltat nutreț și de 6,9 % în DM ± 2,0 pentru vagonul încărcător de furaje⁴¹.



a) Sistem de recoltat nutret:
combina + tractor cu masina de tocat tulpini + masina de recoltat nutret + tractor cu remorca



b) Sistem de vagon încărcător de furaje:
combină + tractor cu mașină de tocat tulpini + tractor cu vagon încărcător de furaje

FIGURA 16:

Lanțuri de aprovizionare pentru mărunțitori de coceni de porumb

⁴⁰ Matt Darr, Keith Webster Corn Stover Harvesting Machinery. PM3051A (2014)

<https://store.extension.iastate.edu/product/Corn-Stover-Harvesting-Machinery>

⁴¹ Monika Fleschhut, Kurt-Jurgen Hulsbergen, Stefan Thurner, Joachim Eder Analysis of different corn stover harvest systems / LANDTECHNIK, 71 (6), 2016. – 252-270 p.

SISTEME DE RECOLTARE A ȘTIULEȚILOR DE PORUMB

O altă opțiune pentru recoltarea reziduurilor de porumb este colectarea unei părți a acestora după treieratul cerealelor într-o combină de recoltat. În 2018, cercetătorii de la CREA-IT italian (Consiglio per la Ricerca in Agricoltura e l'Analisi dell'Economia Agraria) au efectuat teste pe teren în cadrul proiectului BECOOL pentru a evalua performanța unui sistem mecanizat inovator, numit Harcob, pentru colectarea știuleților de porumb⁴² (Fig. 17a). Folosind combina de recoltat cu sistemul Harcob s-au putut recolta în medie 2 t/ha de știuleți (4,1 t/ora)⁴³. Compania Vermeer lansează o mașină de recoltat știuleți CCX770 (Fig. 17b), care este disponibil pe piață. Mașina de recoltat știuleți Vermeer CCX770 este un vagon de colectare de știuleți de tip

tracțiune, atașat la o combină de recoltat. Acest utilaj permite fermierilor să recolteze atât porumb, cât și știuleți – separat și simultan – într-o singură trecere.

În Ucraina, unii fermieri ajustează sistemul de separare al combinelor de recoltat pentru a reduce separarea boabelor de porumb de știuleți. În acest fel, cerealele cu știuleți sunt transferate în buncărul de cereale. Apoi, acest amestec este separat pe unități de separare staționare, iar știuleții sunt utilizați ca biomasă pentru uscătoarele de boabe de porumb. Tehnologia descrisă se bazează pe utilaje existente și nu necesită cheltuieli de capital pentru echipamente suplimentare. Dar, este folosit doar pentru a acoperi nevoile proprii ale fermierilor și nu se aplică pentru colectarea pe scară largă a acestui tip de biomasă pentru sectorul bioenergiei.



a)



b)

FIGURA 17:

Mașini de recoltat Cob: a) Sistem Harcob; b) Vermeer CCX770.

DEPOZITAREA PRESELOR DE BALOTAT PENTRU COCENI DE PORUMB

Cocenii de porumb trebuie depozitați în condiții de menținere a nivelului normal de umiditate din cauza ploilor și a înmuiării din pământ, evitând degradarea și asigurând protecție împotriva incendiilor. Alegerea unui tip de depozitare depinde de locația acestuia și de condițiile locale. Cocenii de porumb pot fi depozitați în depozitare deschisă, depozitare prelata, depozitare permanentă în structură sau depozitare anaerobă⁴⁵.

La selectarea sistemelor de stocare adecvate trebuie luați în considerare câțiva factori: stabilitatea materiei prime în timpul depozitării, costul infrastructurii de stocare, accesibilitatea materiei prime pe toată durata de stocare, integrarea platformei de stocare cu o instalație de procesare. Este important să se asigure accesul liber la biomasă pentru încărcătoare.

Depozitarea biomasei în structuri permanente oferă multe avantaje în comparație cu alte sisteme. Cu toate acestea, din cauza densității relativ scăzute a focarului

⁴² <https://www.becoolproject.eu/2018/10/22/recovering-maize-cob-converting-untapped-biomass-resource-into-valuable-feed-stock/>

⁴³ <http://www.etaflorence.it/proceedings/?detail=15215>

⁴⁴ https://www.vermeer.com/NA/en/N/equipment/cob_harvester

⁴⁵ Matt Darr, Ajay Shah, Kevin Peyton, Keith Webster Corn Stover Storage Methods <https://store.extension.iastate.edu/product/14077>



FIGURA 18:
Depozitarea în aer liber a baloturilor de coceni de porumb în Spania

de porumb, inclusiv a baloturilor și a costurilor de capital mari pentru construirea de noi depozite, depozitele permanente sunt nefezabile din punct de vedere economic. În acest caz, dacă un stakeholder are depozite permanente, le poate folosi pentru cocenii de porumb.

Depozitarea în aer liber poate fi utilizată pentru depozitarea locală temporară a focarului de porumb atunci când stratul superior de biomasă servește drept acoperire (Fig. 18). De asemenea, poate fi folosit pentru depozitul principal în unele regiuni, dar este necesar să se facă acest lucru cu mare atenție din cauza pierderilor de substanță uscată de biomasă.

Depozitarea anaerobă sau însilozarea este o metodă de depozitare larg răspândită pentru materii prime umede în industria zootehnică. Depozitarea anaerobă rămâne viabilă din punct de vedere economic pentru

materii prime cu umiditate ridicată, în special pentru depozitarea baloților la începutul sezonului sau pentru depozitarea de urgență în perioadele de recoltare extrem de umede⁴⁵.

Depozitarea cu prelată a cocenii de porumb ofera echilibrul optim între cost și conservarea calității. Materialul agrofibră poate fi folosit ca material de prelată, care oferă protecție împotriva ploii și zăpezii. Oferă posibilitatea de a ieși aer prin ea, ceea ce previne formarea ciupercilor și mușcăiului. Agrofibra este folosită pentru uscarea așchiilor de lemn. Agrofibra poate fi folosită mai mult de 5 ani⁴⁶.

Spațiile de depozitare a cocenilor de porumb trebuie amenajate conform Reglementărilor de securitate la incendiu. De exemplu, în Ucraina⁴⁷, suprafața unui teanc de baloți de paie trebuie să fie mai mică de

⁴⁵ Matt Darr, Ajay Shah, Kevin Peyton, Keith Webster Corn Stover Storage Methods <https://store.extension.iastate.edu/product/14077>

⁴⁶ <http://zavod-kobzarenko.derevo.ua/catalog/details/6019>

⁴⁷ <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0313-07>

500 m² , iar paiele mărunțite trebuie să fie mai mici de 300 m² . Este permisă aruncarea baloturilor (paie mărunțită) în stive duble cu o distanță de cel puțin 6 m între stive în pereche și de cel puțin 30 m între stive duble adiacente.

DENSIFICAREA REZIDUURILOR DE PORUMB

Prelucrarea ulterioară a subproduselor de porumb în brichete și pelețe va crește valoarea adăugată a biomasei. Brichetele din biomasă sunt materiale presate de formă cilindrică, dreptunghiulară sau orice altă formă, cu o dimensiune transversală care nu este mai mică de 25 mm și cu o lungime de 100-400 mm. Diametrul obișnuit al unei brichete este de 60-75 mm, iar lungimea sa este de obicei în cinci diametre. Nu există dimensiuni standard pentru acest produs. Brichetele pot avea forme foarte diferite, dar în ansamblu, se pot distinge trei tipuri: NESTRO, RUF, și Pini&Kay (denumirile se bazează pe numele companiilor care produc prese cunoscute pentru producerea brichetelor de aceste tipuri). Un proces tipic de producție de brichete din biomasă include șapte etape: primirea materiei prime, mărunțirea, calibrarea, uscarea, presarea materiei prime în brichete (brichetare), răcirea și ambalarea brichetelor. Obținerea unei brichete solide din masa vegetală mărunțită este asigurată atât de proprietățile fizice, cât și mecanice ale materialului și de condițiile procesului de brichetare în sine. În acest caz, trebuie atinse anumite niveluri de calitate. Acestea sunt densitatea brichetelor (0,8-1,3 t/m³), conținutul de umiditate, dimensiunile (diametrul, lungimea) și forma obișnuită. Densitatea este principalul factor care determină rezistența mecanică și rezistența la apă a unei brichete. Un avantaj important al brichetelor ca și combustibil este temperatura constantă în timpul arderii timp de câteva ore. Brichetele din biomasă pot fi arse în cazane de uz casnic și cazane mici pentru combustibili solizi cu încărcare manuală (până la ~ 100-150 kW), care de multe ori sunt deja disponibile în gospodării, instituții finanțate de stat sau instituții din sfera socială. În piață există și cazane automate cu buncăre (până la ~240 kW) destinate brichetelor din biomasă. Brichetele cu densitate mai mică (adică „mai moi” datorită presării

materiei prime mai umede) pot fi utilizate în cazanele mari cu alimentare cu șnecuri. Este de așteptat ca șnecul fabricat din metal puternic să poată zdrobi brichetele și să asigure alimentarea lor neîntreruptă în cuptor.

Biomasa agricolă este peletizată pentru a crește eficiența operațiunilor logistice și a extinde posibilitatea de utilizare a energiei acesteia. Peleții din reziduurile de porumb se referă la peleți nelemnoși, iar procesul tehnic de producere a acestora este similar cu brichetarea biomasei în funcție de caracteristicile materiei prime. Peleții nelemnoși sunt biocombustibil densificat obținut din biomasă măcinată sau măcinată cu sau fără aditivi. Au o formă de cilindri cu diametrul < 25 mm, lungime aleatorie (de obicei 3,15 până la 40 mm), cu capete rupte, obținute prin compresie mecanică⁴⁸. Principalele caracteristici care afectează organizarea procesului de producție de granulare sunt starea inițială a biomasei (mărimea particulelor, reducerea volumului inițial, prezența impurităților, conținutul de umiditate). La prelucrarea reziduurilor de cultură, a cojilor de floarea soarelui, a stufului etc. este posibil să se utilizeze o schemă tipică concepută pentru producția de peleți de paie.

Pentru a rezuma, multe tehnologii bazate pe diferite utilaje pot fi aplicate pentru recoltarea subproduselor de porumb. Pentru recoltarea la scară mare, este rezonabil să folosiți mașini speciale de înaltă productivitate, inclusiv mașini de tocat tulpini, prese de balotat, remorci etc. Dar, pentru recoltarea la scară mică, se poate face în diferite moduri, în funcție de echipamentul existent. Este important să se reducă contaminarea biomasei cu sol și să se prevină conținutul ridicat de umiditate al subproduselor de porumb. Principalele elemente de cost ale depozitării cu prelată de porumb sunt costurile cu chiria terenului, costurile de pregătire a terenului, materialul prelat, costurile de încărcare/deșcărcare, costurile de pază și costurile legate de pierderile de materie primă din cauza pierderii de materie uscată a biomasei. Procesarea resturilor de porumb în brichete și peleți crește densitatea energetică a volumului de biomasă, ceea ce este deosebit de important în cazul transportului biomasei pe distanțe lungi.

⁴⁸ ISO 17225-6:2014 Solid biofuels – Fuel specifications and classes – Part 6: Graded non-woody pellets

PRODUCȚIA DE ENERGIE TERMICĂ DIN REZIDUURI DE PORUMB

PRODUCȚIE DE ENERGIE TERMICĂ DIN PAIE DE PORUMB

Reziduurile de porumb ca și alte tipuri de reziduuri agricole au fost folosite pentru încălzirea spațiului în zonele rurale cu iarnă rece, în special pe teritoriile fără sau cu puține păduri. De exemplu, în satele din sudul regiunii Odesa din Ucraina, de zeci de ani, localnicii foloseau o practică atunci când închiriau terenuri de porumb de la întreprinderi agricole sau de la fermieri. Atunci localnicii cultivau și recoltau manual porumb, dar în prezent folosesc utilaje, inclusiv prese de balotat pentru cocenii de porumb. Ei colectează reziduurile de porumb și le pun lângă casele lor (Fig. 19). În perioada rece, localnicii folosesc reziduurile de porumb ca nutrețuri și biomasă pentru încălzire. Ei ard cocenii de porumb în sobe tradiționale, a căror utilizare s-a redus în ultimii ani.

Resturile de porumb mărunțite sunt o biomasă dificilă pentru utilizarea la scară mică a încălzirii casnice datorită densității sale scăzute. De asemenea, manipularea baloturilor mari poate fi o problemă. În acest caz, producția de brichete și peleți din astfel de biomasă poate fi o opțiune pentru cazanele moderne. Cu toate acestea, deocamdată, producția largă de biocombustibili solizi din reziduuri de porumb nu este lansată în Ucraina și Europa. Există doar câteva cazuri de generatoare de energie termică pe baloți de porumb, care sunt folosite pentru încălzire și uscarea cerealelor. Motivul principal pentru aceasta este problema cu recoltarea biomasei pe vreme ploioasă și contaminarea acesteia cu solul sub șiruri.

După cum s-a menționat mai sus, reziduul de porumb poate fi considerat o biomasă mai bună pentru ardere în comparație cu paie de cereale, dar caracteristicile



FIGURA 19:
Baloți pătrați de mașini de balotat pentru coceni de porumb în satul Krynychnoe.

combustibilului agrobiomasei depind de multe condiții locale și practici de recoltare. În orice caz, cazanele trebuie să se potrivească pentru arderea reziduurilor de porumb. Acesta poate fi un cazan îmbunătățit pentru arderea biomasei lemnoase ca un cazan special conceput. În general, cazanele cu paie de cereale pot fi considerate potrivite pentru cocenii de porumb, cu condiția să aibă un conținut de umiditate adecvat scăzut la ardere. De asemenea, se pot folosi soluții de încălzire pentru amestecul de ardere a biomasei, de exemplu, lemn cu reziduuri de porumb.

Sunt descrise experimentele de ardere a baloturilor mici de porumb într-un cazan de 146 kW cu camere duble proiectate pentru bușteni de lemn fără nicio modificare și arderea baloturilor rotunzi de porumb în cazanul pe biomasă alimentat în serie Farm 2000 cu o putere nominală de 176 kW în articole^{49,50}. Ambele cazane au arătat un potențial bun pentru producerea de energie termică folosind baloți de porumb, dar aceste cazane aveau nevoie de îmbunătățiri pentru o ardere mai eficientă. Astfel, în cazanul la scară mică de 146 kW, baloții de porumb au produs în medie 7,5% cenușă, care a inclus aproximativ 2% din reziduurile nearse, în timp ce lemnul a produs 1,7% cenușă. Emisiile de gaze de ardere au fost în medie de 1324 mg/m³ CO și 99,1 NOx pentru coceni (118 mg/m³ CO și 50,6 NOx pentru lemn). Eficiența globală a transferului de energie termică pentru coceni a fost mai mică decât pentru lemn (57% față de 77%). Și, în cazanul cu biomasă alimentat în loturi, emisiile medii de la cocenii de porumb au fost de 2725 mg/m³ CO, 9,8 mg/m³ NOx și 2,1 mg/m³ SO₂, care au fost mai mici în ceea ce privește NOx și mai mari în ceea ce privește CO și SO₂ decât emisiile din paiele de grâu (CO 2210 mg/m³, NOx 40,4 mg/m³, și SO₂ 3,7 mg/m³).

Trebuie remarcat faptul că ambele cazane au folosit sisteme de ardere cu grătar fix, care prezintă adesea randamente scăzute și emisii ridicate de poluanți nearși pentru arderea agrobiomasei cu conținut ridicat de cenușă. Sistemele cu grătar mobil pot atinge o viteză și o eficiență mai mare de ardere, comparativ cu cele cu grătar fix, deoarece combustibilul solid se deplasează pe grătar de la secțiunea de admisie la secțiunea de evacuare a cenușii și acest lucru permite o mai bună amestecare între aer și combustibil și facilitează distribuția cărbunelui, care apoi arde mai repede⁵¹.

Interesul pentru utilizarea paielor de porumb pentru aplicații de încălzire poate fi găsit în teritorii care intenționează să elimine treptat cărbunele pentru încălzire și au un potențial ridicat al acestei resurse. În Grecia, compania Municipal District Heating Company of Amyntaio (DETEPA) din Macedonia de Vest a inaugurat în toamna anului 2020 o nouă centrală de încălzire pe biomasă (2 x 15 MW) pentru înlocuirea căldurii furnizate de o centrală electrică cu lignit, dezafectată. În primul său an, fabrica se baza mai mult pe materii prime din biomasă care puteau fi obținute de la producători consacrați (așchii de lemn și pelete din coajă de floarea-soarelui), dar DETEPA are un mare interes să dezvolte lanțuri locale de aprovizionare cu agrobiomasă, cu scopul de a procura aproximativ 5.000 de tone de porumb, tăieri de paie și vie în sezonul de încălzire 2021-2022⁵². În China, există un potențial imens de reziduuri agricole – inclusiv paiele de porumb. Compania Great Resources a dezvoltat diferite proiecte de utilizare a paielor de porumb, de la instalații de uscare a cerealelor care folosesc brichete de paie de porumb până la centrale multi-generație care produc răcire, căldură, abur, electricitate și îngrășământ din paie de porumb⁵³.

PRODUCȚIE DE ENERGIE TERMICĂ DIN ȘTIULEȚI DE PORUMB

La prima vedere, proprietățile de combustibil ale știuleților de porumb par destul de promițătoare: conținut mai scăzut de cenușă și azot în comparație cu mulți alți combustibili din agrobiomasă. Principala provocare în arderea știuleților de porumb este conținutul ridicat de potasiu al combustibilului, care scade temperatura de topire a cenușii. Pe grătarul cuptorului se pot forma zguri topite, obstruționând pasajele de aer. În plus, depunerile de cenușă de pe suprafețele de schimb de căldură sunt foarte izolatoare și pot duce la pierderi considerabile de eficiență datorită scăderii transferului de căldură. În cele din urmă, știuleții de porumb prezintă de obicei un conținut ridicat de clor care – în combinație cu potasiu și alți compuși – poate duce la formarea de substanțe corozive. Rezultatele arderii știuleților de porumb în reactorul la scară de laborator și instalația de ardere a biomasei pe grătar la scară pilot din Austria sunt descrise în lucrarea²². Densitatea energetică a știu-

⁴⁹ R.Morissette, P.Savoie, J.Villeneuve *Combustion of Corn Stover Bales in a Small 146-kW Boiler* // *Energies*, 2011, 4. – 1102-1111 p.

⁵⁰ R.Morissette, P. Savoie, J. Villeneuve. *Corn Stover and Wheat Straw Combustion in a 176-kW Boiler Adapted for Round Bales* // *Energies*, 2013, 6. – 5760-5774 p.

⁵¹ https://agrobioheat.eu/wp-content/uploads/2020/10/AgroBioHeat_D4.2_agrobiomass-fuels-and-utilization-systems_v1.0.pdf

⁵² www.ot.gr/2021/10/05/english-edition/kozani-green-heating-from-corn-and-vine-residues/

⁵³ Hong Hao *Unlock the huge potential of agro residue. Presentation*. 9.12.2021

<https://www.worldbioenergy.org/news/574/50/WBA-Webinar-1-Agricultural-residues-to-energy/>

leților de porumb se ridică la 518 kWh/m³ (aproximativ 55% din densitatea energetică a așchiilor de lemn cu conținut de umiditate comparabil). Datorită conținutului mai mare de azot al știuleților de porumb în comparație cu așchiile de lemn netratate chimic, este de așteptat o creștere a emisiilor de NO_x. În timpul testelor la scară pilot, instalația de ardere a funcționat la 70 până la 85% din capacitatea sa nominală a cazanului (350 kW th). S-a putut observa formarea unor bucăți mici de zgură în cenușa grătarului, care s-a datorat în principal formării de silicați îmbogățiți cu K și Na cu temperaturi de topire în intervalul de 1050 °C. În ceea ce privește emisiile gazoase, se poate afirma ca emisiile de CO și OGC în medie de 15,6 respectiv 1,3 mg/Nm³ (gaze de ardere uscate, 13 vol% O₂) s-ar putea realiza o ardere în fază gazoasă foarte bună. Emisiile medii de NO_x s-au ridicat la 247 mg/Nm³, dar un potențial suplimentar de reducere a emisiilor de NO_x cu aproximativ 30% ar putea fi atins prin aplicarea optimizată a măsurilor primare. După cum era deja de așteptat din evaluarea analizelor privind combustibilul chimic umed, au trebuit să se recunoască emisiile crescute de HCl și SO_x în valoare medie de 34 mg/Nm³, respectiv 30 mg/Nm³. Emisiile totale de particule (TSP) (în aval de multiclon) au fost în mod clar dominate de emisiile de particule fine, care s-au ridicat în medie la 91 mg/Nm³. În consecință, în special pentru aplicațiile la scară mai mare, va fi necesară instalarea unui filtru cu saci sau a unui ESP pentru controlul emisiilor de particule fine. Analizele cenușii zburătoare ale grătarului și ale ciclonului au arătat că ciclul nutrienților relevanți pentru plante (cu excepția azotului) ar putea fi aproape închis prin reciclarea cenușii grătarului sau a unui amestec de cenușă zburătoare a grătarului și a ciclonului pe câmpurile de porumb.

Impactul potențial al conținutului ridicat de potasiu al știuleților de porumb a fost demonstrat într-o serie de teste efectuate în cadrul proiectului AgroBioHeat²³. Două sisteme de ardere de ultimă generație (cazan cu boiler cu grătar mobil cuplat cu ESP pentru controlul particulelor, cazan cu concept inovator de încălzire extremă a aerului), potrivite pentru aplicații rezidențiale și diverse sortimente de combustibili din agrobiomasă (sâmburi de măsline, pelete de coajă de floarea soarelui, au fost testate miscanthus, plop, agropetești și știuleți de porumb). Știuleții de porumb testați au prezentat un conținut deosebit de ridicat de potasiu – mai mult de 1 % wt db – ceea ce a dus la emisii de particule excepțional de mari în comparație cu ceilalți combustibili din agrobiomasă testați, precum și la creșterea temperaturii gazelor de ardere și la pierderi de eficiență corespunzătoare.

Particularitățile arderii știulețelor de porumb pot fi gestionate în aplicații la scară medie, prin utilizarea unor tehnologii și know-how adecvate. Producătorul francez de cazane Comptech a dezvoltat mai multe astfel de cazane cu știuleți de porumb din 2012. Caracteristicile cheie ale unor astfel de sisteme includ utilizarea grătarelor răcite cu apă care mențin temperaturile sub 850 °C, proiectarea și construcția corespunzătoare a camerei de ardere și suprafețele schimbătoarelor de căldură pentru a scădea temperatura gazelor de ardere la intrarea foilor tubulare sub 650 °C și utilizarea unor sisteme adecvate de curățare a gazelor arse pentru a evita eliberarea de particule fine în atmosferă⁵⁴. La firmele de prelucrare a cerealelor, dar și la centralele de termoficare au fost instalate cazane de porumb Comptech.

REȚEAUA DE TERMIFICARE ECO₂ WACKEN DIN STRASBURG⁵⁵

Din 2016, mai multe clădiri cheie ale cartierului Wacken din Strasburg sunt alimentate cu energie termică de la o centrală cu două cazane Comptech, una pe lemne de 3,2 MW și una cu porumb de 2 MW. Rețeaua Eco2Wacken furnizează 30 GWh/an de căldură și utilizează 8.000 t de așchii de lemn și 3.000 t de știuleți de porumb anual, cu o eficiență medie de 87 %. Combustibilii sunt livrați cu camioane (mai puțin de trei programe pe zi) și descărcați în două zone separate. Depozitul de lemne are o capacitate

de 300 m³, suficient pentru patru date de funcționare, în timp ce depozitul de știuleți de porumb este de siloz de 180 m³, garantând două zile de funcționare. Știuleții de porumb provin de la o companie agricolă din apropiere; cenușa lor de ardere, bogat în potasiu, este reciclată înapoi la ferme pentru fertilizare. Filtrele cu saci sunt folosite pentru a menține emisiile de praf la niveluri foarte scăzute (sub 10 mg/Nm³). Rezerva este asigurată de două cazane pe gaz de 6 MW, în timp ce un rezervor de apă caldă de 95 m³ oferă posibilități de stocare termică. Se calculează că prin exploatarea acestui sistem de termoficare se economisesc anual peste 7.000 t de CO₂.

⁵⁴ <https://www.bioenergie-promotion.fr/51630/comptech-confirme-son-expertise-en-combustion-des-agrocombustibles-solides/>

⁵⁵ <https://www.bioenergie-promotion.fr/51570/bois-rafle-de-mais-pour-la-chaufferie-eco2wacken-de-strasbourg/>

REZIDUURI DE PORUMB PENTRU GENERAREA ENERGIEI

Reziduurile de porumb pot fi utilizate de CHP (Combined Heat and Power) și centralele electrice, care funcționează pe paie. În unele cazuri, poate fi folosit ca biomasă suplimentară pentru arderea în comun cu lemnul. Centrala electrică tipică pe biomasă folosește arderea directă pentru a arde biomasa într-un cazan pentru a produce abur de înaltă presiune, care antrenează o turbină și produce energie electrică. Un CHP captează în plus căldură și astfel furnizează căldură și energie.

Multe proiecte de centrale electrice pentru utilizarea reziduurilor de porumb ca și combustibil au fost dezvoltate de DP CleanTech. Compania a livrat în 2007 centrala electrică avansată pe bază de paie Liaoyuan, cu o capacitate de 30 MWe, în provincia Jilin din China. Funcționează cu combustibili din surse locale, în principal din reziduuri agricole, cum ar fi paiele de porumb. Cazanul cu paie este proiectat să manipuleze combustibili tari, cum ar fi așchii de lemn, care pot fi alimentați prin silozul auxiliar, contribuind cu până la 35% din consumul total de combustibil. Uzina consumă peste 160.000 de tone de paie pe an și atinge o disponibilitate de 7800 h/an. Cazanul de abur cu paie funcționează cu parametri mari de abur la 92 bar și 540 °C, rezultând o eficiență totală netă a instalației de peste 32% și o eficiență a cazanului de peste 93%. Paiele sunt conduse la cazan printr-un arzător și apoi sunt arse pe un grătar vibrant răcit cu apă în condiții atent controlate; mișcările vibratoare reglează etapele arderii⁵⁶.

Centrala electrică pe biomasă de 15 MWe Miajadas din Spania (Fig. 20, 21), care este în funcțiune din 2010, consumă 110.000 de tone metrice de biomasă erbacee (paie de cereale, porumb) și lemn (deșeuri

de tăiere și forestier) pe an. A fost dezvoltat ca proiect de cercetare și dezvoltare împreună cu companii și centre tehnologice din Spania, Finlanda și Danemarca, cu sprijinul celui de-al 7-lea Program-cadru al Uniunii Europene pentru sprijinirea cercetării. Operatorul este Acciona Energía. Producția medie anuală a centralei este de 128 GWh, echivalent cu cererea de energie electrică a 40.000 de locuințe. Se evită 123.000 de tone metrice de CO₂ pe an⁵⁷. Centrala electrică folosește un cazan de abur cu grătar vibrant și capacitate de abur de 71 t/h, ciclu Rankine fără regenerare și sistem de alimentare dublă pentru baloti și așchii de lemn⁵⁸.

Compania daneză Babcock & Wilcox Vølund a furnizat tehnologie unei centrale energetice pe biomasă de la fabrica de hârtie Bulleh Shah Packaging Limited din Pakistan⁶⁰. Centrala poate folosi mai multe produse agricole diferite reziduuri (paie de grâu, tulpini de porumb, tulpini de orez, bețișoare de bumbac și altele) de la fermierii locali pentru producție abur cu un debit de 150 t/h. Capacitatea nominală de combustibil este de 37,7 t/h. Cazanul are grătarul vibrator Vølund răcit cu apă de la B&W pentru arderea eficientă a biomasei. Cenușa produsă din acest cazan este oferită gratuit, care poate fi folosită ca îngrășământ pentru culturi în momentul cultivării, în procesul de fabricare a cărămizilor și poate fi folosită ca alternativă la nisip în timpul fixării plăcilor pentru podea⁶¹.

Mai multe informații despre centralele termice și electrice cu paie pot fi găsite în ghidul AgroBioHeat „Paie pentru producerea Energiei. Tehnologii, politică și inovație în Danemarca. Ediția a doua” (http://agro-bioheat.eu/wp-content/uploads/2020/11/AgroBioHeat_D7.6_Straw_to_energy_EN.pdf).

⁵⁶ <https://www.dpcleantech.com/waste-and-biomass-clean-energy-technologies/combustion-technology/dp-wcv-grate/download/994/30/22>

⁵⁷ https://www.acciona.com/projects/miajadas-biomass-plant/?_adin=01010174103

⁵⁸ http://ghesa.com/en/portfolio_page/miajadas/

⁵⁹ https://www.acciona-energia.com/es/areas-de-actividad/?_adin=0744759730

⁶⁰ <https://www.babcock.com/-/media/documents/case-profiles/renewables/pch201-130-packages.ashx?la=ru-ru&hash=-F11E957E430907C7A937EE06E6AA6FAA852EB0A2>

⁶¹ <https://www.packages.com.pk/wp-content/uploads/2020/09/Packages-Group-Sustainability-Report-2019.pdf>



FIGURA 20:
Centrală de biomasă Miajadas de 15 MW



FIGURA 21:
Baloți de reziduuri de porumb în depozitul de biomasă a centralei electrice Miajadas⁵⁹

REZIDUURI DE PORUMB PENTRU BIOETANOL

Porumbul joacă un rol crucial ca materie primă pentru producția de etanol. Potrivit rapoartelor Asociației Europene a etanolului din surse regenerabile (ePURE), industria de etanol din surse regenerabile din Europa continuă să crească. Capacitatea de producție instalată (UE27 + Regatul Unit) în 2020 a fost de 9.992 milioane litri, în timp ce în 2019 era de 9.893 milioane litri. Membrii ePURE au folosit 6,67 milioane de tone de porumb în acest scop în 2020, ceea ce a reprezentat 49,5% din volumul total de bioetanol produs (respectiv, 6,56 milioane de tone și 48,6% în 2019), ceea ce arată importanța porumbului în producția de bioetanol de prima generație în UE⁶².

Este de așteptat ca reziduurile de porumb să fie o materie primă importantă pentru bioetanolul de a doua generație, care este un biocombustibil avansat din biomasa lignocelulozică. Contribuția biocombustibililor avansați și a biogazului produs din materia primă enumerată în partea A din anexa IX la Directiva RED II ca pondere din consumul final de energie în sectorul

transporturilor va fi de cel puțin 0,2 % în 2022, de cel puțin 1 % în 2025, și cel puțin 3,5 % în 2030. Trebuie menționat ca biocombustibilii avansați din aceste materii prime pot fi considerați a fi dublul conținutului lor energetic în contribuția la cotele minime.

Producția de bioetanol din reziduuri de porumb necesită o etapă de pretratare pentru distrugerea structurii lignocelulozice, care facilitează accesul enzimelor la lanțurile celulozice sau orientează utilizarea fracțiilor lignocelulozice ale acestora. O schemă tipică de producere a bioetanolului din materie primă lignocelulozică este prezentată în Fig. 22. Dintr-o tonă uscată de coce-ni de porumb, randamentul potențial de etanol este de 428 litri. Conform datelor DuPont Nevada Site Cellulosic Etanol Facility, 283,5 l de bioetanol pot fi produse din 1 t de porumb recoltat (Fig. 15). De asemenea, porumbul din zona câmpului ar putea furniza porumb pentru producția de bioetanol de prima generație. În total, 140,8 GJ pot fi obținute prin arderea reziduurilor și a biocombustibililor dintr-un hectar de porumb⁶³.

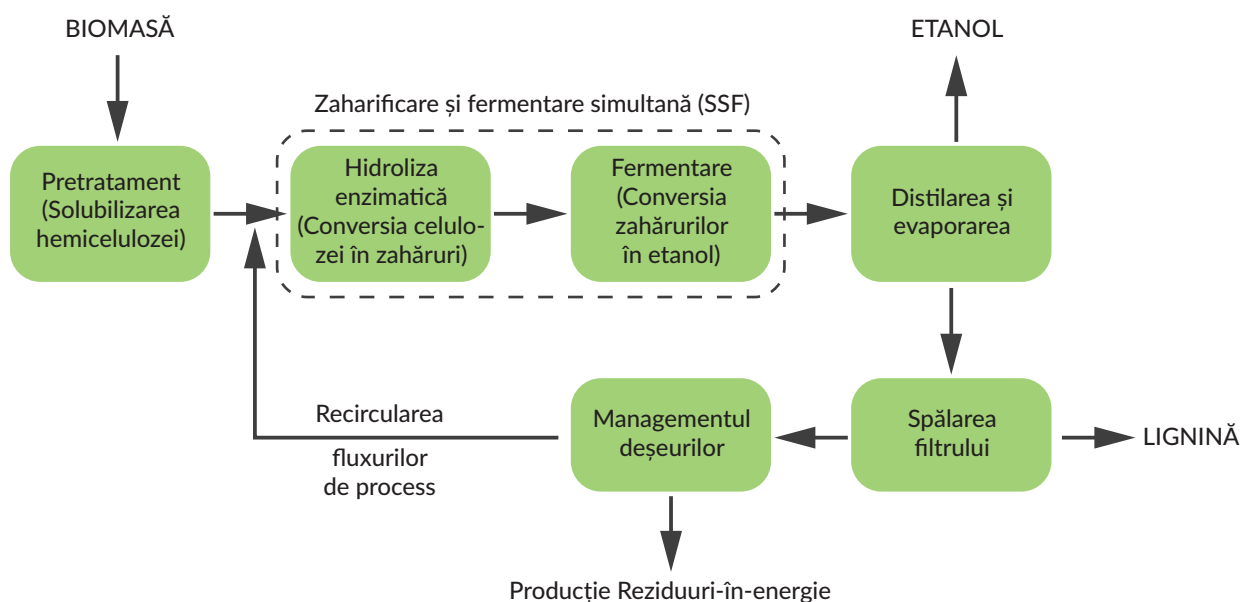


FIGURA 22:

Procesul de producere a bioetanolului din biomasa lignocelulozică⁶⁴

⁶² <https://www.epure.org/wp-content/uploads/2021/09/210823-DEF-PR-European-renewable-ethanol-Key-figures-2020-web.pdf>

⁶³ *Second-Generation Biofuel Markets: State of Play, Trade and Developing Country Perspectives*. United Nations conference on trade and development – 69 p.

⁶⁴ M. N. A. M. Yusoff, N. W. M. Zulkifli, B. M. Masum and H. H. Masjuki *Feasibility of bioethanol and biobutanol as transportation fuel in spark-ignition engine: a review*. RSC Adv., 2015, 5, 100184–100211.

Doar un număr mic de instalații care produc etanol din materiale celulozice funcționau cu succes în întreaga lume până la sfârșitul anului 2020⁶⁵. Activitățile pentru lansarea pe piață a bioetanolului lignocelulozic au avut loc recent în principal în SUA și Brazilia⁶⁶. De asemenea, unele instalații de bioetanol de a doua generație au fost deschise în UE și China, dar doar câteva dintre ele sunt fabrici comerciale care pot produce bioetanol din reziduuri de porumb.

În SUA, capacitatea totală instalată de producție de bioetanol a fost de 66.000 mln l pe an în 2020, ceea ce a produs anul trecut 52239 mln l⁶⁷. 4,1% din capacitățile de producție de bioetanol din SUA pot folosi biomasă celulozică ca materie primă, inclusiv, 0,4% funcționează numai pe biomasă celulozică. Unele dintre ele produc bioetanol din reziduuri de porumb. Cele mai mari facilități în prezent sunt VERBIO North America Corp din Nevada, cu o capacitate de producție de 113,5 mln l pe an (30 mgy⁶⁸), care a fost cumpărată de la DuPont, Project LIBERTY din Emmetsburg – 75,7 mln l pe an (20 mgy), Seaboard Energy Kansas în Hugoton – 94,6 mln l pe an (25 mgy).

În Brazilia, bagasul este principala materie primă pentru bioetanolul celulozic. Se așteaptă ca 178 mii de tone din această biomasă să fie utilizate pentru producția a 32 mln l în 2020⁶⁹. Instalațiile nu au atins capacitatea maximă din cauza provocărilor operaționale/mecanice. În China, Longlive Bio-technology Co. Ltd a deschis o instalație de etanol celulozic cu o capacitate de 60.000 de tone pe an în Shandong în 2012⁷⁰.

Proгноza USDA este de 25 mln l de producție de etanol celulozic în UE în 2020⁷¹. Una dintre cele mai mari unități de producție de etanol celulozic din lume, uzina Beta Renewables a fost deschisă oficial la Crescentino (Italia) în 2013, dar a fost închisă din 2017 din cauza unui efort de restructurare al companiei chimice-ma-

mă Mossi & Ghisolfi. Fabrica avea o capacitate anuală de 40 kt de etanol produs din paie de grâu, paie de orez și trestie uriașă (*Arundo donax*)⁷². Fabrica a fost achiziționată de filiala chimică a Eni, Versalis, în noiembrie 2018. Noul operator plănuia să pună în funcțiune instalația în 2020.

Proiectul COMETHA susținut de cel de-al șaptelea program-cadru al Comunității Europene în perioada 2014-2018 a presupus construirea și exploatarea unei instalații industriale precomerciale integrate pentru producerea a 80.000 t/an de bioetanol de a doua generație pornind din biomasă lignocelulozică la Porto Marghera (Italia)⁷³. Proiectul a abordat dezvoltarea lanțului de aprovizionare durabil cu biomasă bazat pe 360.000 de tone de biomasă lignocelulozică pe an derivată din regiunea Veneto, cum ar fi culturi perene dedicate (*Arundo donax*) și reziduuri agricole (coceni de porumb, cea mai potrivită materie primă pentru producția de bioetanol în scenariul geografic considerat).

În 2021, prima fabrică de producție de etanol celulozic la scară comercială din Europa va fi finalizată de compania elvețiană Clariant în sud-vestul României. O soluție inovatoare dezvoltată de companie în acest sens este tehnologia sunliquid® care creează valoare prin conversia reziduurilor agricole, de exemplu, paie de cereale, paie de porumb, paie de orez sau bagas de trestie de zahăr în etanol celulozic. Fabrica sunliquid® din România va produce 50.000 de tone de etanol celulozic prin conversia a 250.000 de tone de paie de grâu sustenabile din surse locale. Peste 400 de locuri de muncă verzi vor fi create permanent prin construirea fabricii într-o zonă predominant rurală – 100 dintre ele în uzina propriu-zisă și 300 în zonele adiacente, de exemplu, în lanțul de aprovizionare cu materii prime. În plus, proiecte de etanol celulozic sunt în desfășurare și în alte trei țări europene – Slovacia, Polonia și Bulgaria – cu tehnologia Clariant⁷⁴.

⁶⁵ *Renewables 2021 Global Status Report*. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf

⁶⁶ *Technical options for retrofitting industries with bioenergy*. *BioFitHandbook* <https://www.biofit-h2020.eu/publications-reports/BioFitHandbook-2020-03-18.pdf>

⁶⁷ *Essential energy*. 2021. *Ethanol industry outlook*. *Renewable fuels association report*. https://ethanolrfa.org/wp-content/uploads/2021/02/RFA_Outlook_2021_fin_low.pdf

⁶⁸ Million gallons per year

⁶⁹ *Biofuels Annual*. Brazil. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual_Sao%20Paulo%20ATO_Brazil_08-03-2020

⁷⁰ <https://www.etipbioenergy.eu/value-chains/conversion-technologies/advanced-technologies/sugar-to-alcohols>

⁷¹ *Biofuels Annual*. European Union. https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Biofuels%20Annual_The%20Hague_European%20Union_06-29-2020

⁷² Monica Padella, Adrian O'Connell, Matteo Prussi. What is still Limiting the Deployment of Cellulosic Ethanol? Analysis of the Current Status of the Sector Appl. Sci. 2019, 9, 4523; doi:10.3390/app9214523

⁷³ <https://cordis.europa.eu/project/id/322406>

⁷⁴ <https://www.euractiv.com/section/alternative-renewable-fuels/opinion/making-european-sustainable-mobility-a-reality-with-cellulosic-ethanol/>

REZIDUURI DE PORUMB PENTRU BIOGAZ

Silozul de porumb este unul dintre cele mai populare substraturi utilizate pentru alimentarea instalațiilor agricole de biogaz. Cu toate acestea, din cauza creșterii prețurilor la silozul de porumb, mulți operatori de instalații de biogaz au început să caute substraturi alternative care pot fi ușor de obținut, sunt ieftine și au o productivitate bună a metanului⁷⁵. Reziduurile de porumb pot fi unul dintre aceste substraturi.

Un avantaj al utilizării reziduurilor de porumb pentru digestia anaerobă este că procesul nu este afectat de conținutul lor potențial ridicat de umiditate după recol-

tare – ceea ce poate fi problematic pentru procesele de ardere directă. Substratul fermentat de la instalația de biogaz poate fi aplicat ca bio îngrășământ pentru recircularea nutrienților către terenul agricol, împreună cu o parte din carbon.

În comparație cu silozul de porumb, digestia anaerobă a reziduurilor de porumb (paie) are un potențial de biogaz mai mic (tabelul 3). De asemenea, necesită un timp de retenție mai mare în comparație cu silozul de porumb, dar se consideră că o astfel de diferență ar putea fi acoperită de operatorii instalațiilor de biogaz.

TABELUL 3 :

Metanul produs din reziduuri de porumb⁷⁶ și silozul de porumb⁷⁷.

	DM, % greutate umedă	Biogaz, I _N /kg VS	CH ₄ , I _N /kg VS	DM degradat, %
1. Frații de reziduuri de porumb				
• Tulpini	25.5 ± 0.8	424.3	233.8	53.9
• Frunze	63.3 ± 0.8	442.9	244.5	57.0
• Coji	58.2 ± 0.6	544.4	307.0	70.4
• Știuleți	43.5 ± 0.2	379.8	206.6	51.3
2. Siloz de porumb	27.7	673	345	77.9

DM – substanță uscată; VS – solide volatile

⁷⁵ Mazurkiewicz, J.; Marczuk, A.; Pochwatka, P.; Kujawa, S. Maize Straw as a Valuable Energetic Material for Biogas Plant Feeding. *Materials* 2019, 12, 3848. <https://doi.org/10.3390/ma12233848>

⁷⁶ Simona Menardo, Gianfranco Airolti, Vincenzo Cacciatore, Paolo Balsari Potential biogas and methane yield of maize stover fractions and evaluation of some possible stover harvest chains, *Biosystems Engineering*, Volume 129, 2015, 352-359. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2014.11.010>.

⁷⁷ Bauer, A., Leonhartsberger, C., Bösch, P., Amon, B., Friedl, A., & Amon, T. (2009). Analysis of methane yields from energy crops and agricultural by-products and estimation of energy potential from sustainable crop rotation systems in EU-27. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 12(2), 153–161. doi:10.1007/s10098-009-0236-1.

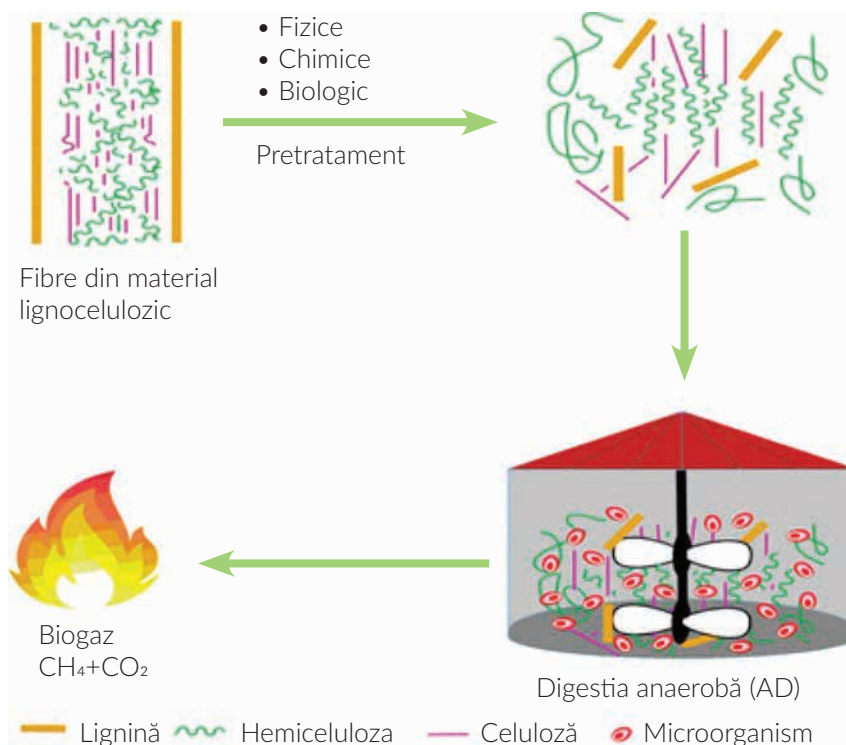


FIGURA 23:

Diagrama schematică a pretratării materialului lignocelulozic pentru producerea de biogaz⁸¹

Datorită conținutului ridicat de compuși chimici lignocelulozici din reziduurile de porumb (Tabelul 2), aceștia trebuie pretratați pentru distrugere mecanică, fizică, biologică sau chimică înainte de fermentare (Fig. 23). Aceste procese îmbunătățesc randamentul de biogaz și scad timpul de retenție al substratului într-un digester anaerob, dar necesită energie și costuri suplimentare. Din punct de vedere energetic, doar pretratarea chimică părea a fi durabilă⁷⁸. Analiza a șapte pretratări chimice ale paielor de porumb arată că paielor pretrata-

te cu 3% H_2O_2 și 8% Ca(OH)_2 au generat cele mai mari randamente de metan de 216,7 și 206,6 ml CH_4 /g solide volatile (VS), care sunt cu 115,4% și 105,3% mai mari decât cea a paielor netratate, respectiv⁷⁹. Aceste două procese sunt superioare din punct de vedere economic și efectiv celorlalte pretratări comparate. De asemenea, promițător este pretratamentul biologic. Paielor de porumb pretratate de microbi compoziți au produs cu 131,6% mai mult metan total decât cei netratate⁸⁰.

⁷⁸ Croce, S., Wei, Q., D'Imporzano, G., Dong, R., & Adani, F. (2016). Anaerobic digestion of straw and corn stover: The effect of biological process optimization and pre-treatment on total bio-methane yield and energy performance. *Biotechnology Advances*, 34(8), 1289–1304. doi:10.1016/j.biotechadv.2016.09.004

⁷⁹ Song Z, GaiheYang, Liu X, Yan Z, Yuan Y, et al. (2014) Comparison of Seven Chemical Pretreatments of Corn Straw for Improving Methane Yield by Anaerobic Digestion. *PLoS ONE* 9(4): e93801. doi:10.1371/journal.pone.0093801

⁸⁰ Panpan Li, Chao He, Gang Li, Pan Ding, Mingming Lan, Zan Gao & Youzhou Jiao (2020) Biological pretreatment of corn straw for enhancing degradation efficiency and biogas production, *Bioengineered*, 11:1, 251-260, DOI: 10.1080/21655979.2020.1733733

⁸¹ Amin, F.R., Khalid, H., Zhang, H. et al. Pretreatment methods of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion. *AMB Expr* 7, 72 (2017). <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0375-4>

În 2013, a fost pusă în funcțiune o instalație pilot de monodigestie a paielor de porumb cu o capacitate electrică de 50 kW la Renqiu din China⁸². Stația de biogaz este formată din 40 m³ cu hidroliză cu alimentare continuă pentru etapa de pretratare și 2 digester 476 m³.

În decembrie 2019, AB Energy SPA din Spania a lansat producția de biometan cu un debit de 606 Nm³/h din materii prime agricole, inclusiv tulpini de porumb, la Milano. Biometanul alimentat în rețeaua de gaz italiană⁸³.

Se dezvoltă tehnologiile industriale de biogaz pentru utilizarea reziduurilor de porumb și a altor reziduuri de cultură ca materie primă. Un astfel de proiect nou al EnviTec Biogas (Germania) va fi construit lângă orașul Qin Xian din provincia Shaanxi din China. Odată final-

izate, cele patru digester ale fabricii de biogaz vor genera zilnic aproximativ 37.000 Nm³ de biogaz din reziduurile fermei, cum ar fi tulpinile de porumb⁸⁴. Procedura de modernizare a gazului membranar în trei etape, brevetată de Evonik, permite rafinarea biogazului în biometan cu niveluri scăzute de pierdere de metan⁸⁵.

În regiunea Hmelnițki din Ucraina, compania Teofipol Energy construiește o uzină de biogaz cu o capacitate electrică de 10,5 MW, care va folosi reziduuri de cultură, inclusiv un volum mare de reziduuri de porumb.

Verbio (Germania) a anunțat instalarea unui digester anaerob la fosta fabrică de etanol celulozic DuPont din Nevada, SUA, care va folosi 100.000 de tone de sobă de porumb anual pentru a produce biometan cu echivalentul energetic a 80 de milioane de litri de benzină⁸⁶.

ASPECTE DE DURABILITATE ALE UTILIZĂRII REZIDUURILOR DE PORUMB

ÎNDEPĂRTAREA SUSTENABILĂ A REZIDUURILOR DE PORUMB

Recoltarea fără discernământ a reziduurilor de cultură poate induce efecte dăunătoare asupra funcționării solului, asupra creșterii plantelor și asupra altor servicii ecosistemice⁸⁷. Reducerea aportului de reziduuri organice în sol implică o reducere directă a stocurilor de C, care afectează negativ biota solului. Dar, impactul managementului reziduurilor de cultură asupra emisiilor de GES din sol nu este încă pe deplin înțeles și necesită mai multe studii de teren. În general, recoltarea reziduurilor reduce emisiile de CO₂ și N₂O produse prin degradare și nu are efecte asupra emisiilor de CH₄. Cu toate acestea, epuizarea treptată a stocurilor de C și N din sol, asociată cu înlocuirea azotului

prin îngrășăminte minerale, ar putea induce un bilanț negativ de C și emisii mai mari de N₂O în zonele în care sunt recoltate reziduurile. Răspunsul plantelor la gestionarea reziduurilor de cultură este specific sitului și, pentru producția durabilă de bioenergie, pot fi aplicate diferite bune practici de management (de exemplu, cultivarea conservativă a solului, rotația culturilor și culturile de acoperire, managementul nutrienților și/sau reziduurile organice).

În același mod, strategia de recoltare a reziduurilor de porumb depinde de condițiile locale. O ilustrare conceptuală a modului în care factorii economici trebuie să fie echilibrați cu factorii limitatori bazați pe protecția solului și furnizarea de servicii ecosistemice este prezentată în Fig. 24.

⁸² Bionova Biogas GmbH. Map with references Semi-aerobic Hydrolysis Facilities in Germany and around the world https://bionova-biogas.de/en/pdf/2014_References_Bionova.pdf

⁸³ Biogas success stories 2020. European Biogas Association. https://www.europeanbiogas.eu/wp-content/uploads/2020/11/EBA_catalogue2020_WEB-1.pdf

⁸⁴ Biogas barometer 2020. EurObserv'ER <https://www.eurobserv-er.org/pdf/biogas-barometer-2020/>

⁸⁵ <https://www.bioenergy-news.com/news/construction-underway-on-two-envitec-biogas-projects-in-china/>

⁸⁶ Renewables 2021 Global Status Report. https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf

⁸⁷ Cherubin Mauricio et al. (2018). Crop residue harvest for bioenergy production and its implications on soil functioning and plant growth: A review. *Scientia Agricola*, v.75, n.3, 55-272. 75. doi:10.1590/1678-992X-2016-0459

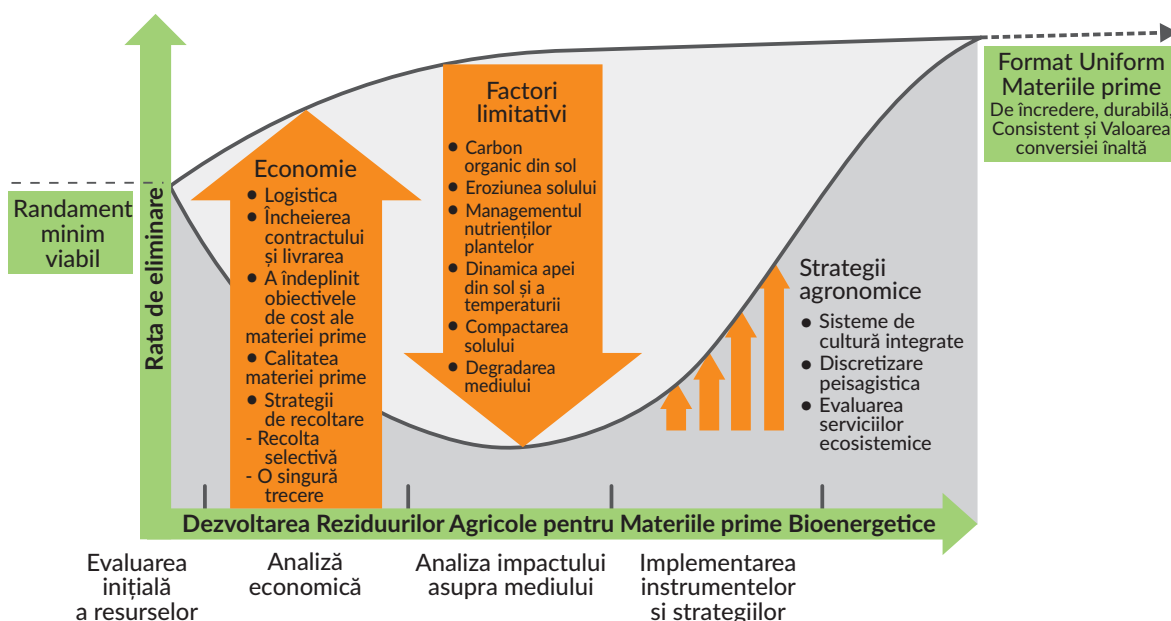


FIGURA 24:

Dependența ratei de îndepărtare a reziduurilor de porumb de economia, factorii limitatori și strategiile agronomice⁸⁸. Barele din dreapta ilustrează diverse practici de gestionare a solului și a culturilor care pot fi implementate pentru a asigura că sunt dezvoltate și disponibile aprovizionarea durabilă cu materii prime.

Pentru a ajuta fermierii să ia o decizie rațională, liniile directe specifice pentru recoltarea reziduurilor au fost elaborate de serviciul de conservare a resurselor naturale USDA-Natural Resource Conservation Service, într-un efort de a preveni degradarea solului rezultată din suprarecoltarea reziduurilor de porumb⁸⁹. Potrivit documentului, ratele durabile de eliminare a reziduurilor de culturi pentru producția de biocombustibili vor varia în funcție de factori precum managementul, randamentul și tipul de sol. Instrumente precum RUSLE, WEQ și Soil Conditioning Index sunt probabil cele mai practice modalități de a prezice ratele de îndepărtare în siguranță.

Ratele de îndepărtare nu sunt aceleași cu procentul de acoperire a solului: este necesară o conversie adecvată și va varia în funcție de cultură și regiune. În timp ce zonele cu pante mici și producții mari pot susține recoltarea reziduurilor, în multe zone cantitățile de reziduuri necesare pentru menținerea calității solului vor fi

mai mari decât practicile actuale de acoperire a solului. Unele companii asigură eliminarea durabilă a reziduurilor de recoltă, de exemplu, Pacific Ag⁹⁰ determină cu fiecare cultivator, câmp cu câmp, cantitatea potrivită de reziduuri de recoltă pentru a se asigura că sunt îndeplinite nevoile de umiditate și de protecție a solului, optimizând în același timp eficiența lucrului, a intrărilor și a răsaririi.

EMISII DE GES PROVENITE DIN LOGISTICA REZIDUURILOR DE PORUMB

Reziduurile de porumb ar trebui să îndeplinească criteriile RED II de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră și de durabilitate non-GES (de exemplu, calitatea solului și carbonul solului, biodiversitatea și stocurile de carbon) atunci când este utilizat la centrale mari (≥ 20 MW). Evaluarea durabilă a lanțului de aprovizionare cu CHP al cocii de porumb din România este prezentată în raportul proiectului de cercetare Smart

⁸⁸ <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2442&context=usdaarsfacpub>

⁸⁹ Susan S. Andrews. White paper. Crop Residue Removal for Biomass Energy Production: Effects on Soils and Recommendations // USDA-Natural Resource Conservation Service – February 22, 2006.

CHP EU⁹¹. Acest lanț de aprovizionare este evaluat pe baza valorilor totale de emisie pentru furnizarea de biomasă, procesul de producție de bio-ulei cu piroliză rapidă (FPBO) și transportul FPBO de la locația instalației virtuale la utilizatorul final. Nu numai uleiul de piroliză este produs în cadrul procesului, ci și aburul și electricitatea ca și co-produse. Rezultatele arată că valorile de reducere a emisiilor din lanțul de aprovizionare Smart CHP al aragazului de porumb sunt de 95% pentru electricitate și 96% pentru căldură în cazul asumării unei distanțe minime de transport FPBO de 50 km și 94% și respectiv 96% pentru 150 km. Emisiile totale de GES ale aprovizionării cu focar de porumb sunt de 2,0 gCO_{2-eq}/MJ biomasă, inclusiv emisiile colectate de porumb 0,88 gCO_{2-eq}/MJ biomasă.

În SUA, electricitatea și combustibilii obținuți din cocii de porumb, în comparație cu omologii lor convenționali, reduc emisiile de GES cu 21–92%. Beneficiul de mediu este cel mai mare pentru căldură și energie combinată în scenariul de referință al înlocuirii rețelei

medii din SUA și a gazelor naturale (1,4 tCO_{2e} per t cocii de porumb)⁹², care este prezentat în Fig. 25. Studiul de caz din provincia Jilin din China⁹³ indică că utilizarea peleților din paie de porumb poate elimina 90,46% din emisiile de GES din ciclul de viață prin înlocuirea arderii cărbunelui. Cu toate acestea, există diferite temeri asociate cu reziduurile de porumb similare cu alte tipuri de reziduuri de cultură recoltate de pe câmp.

Astfel, producția de energie din reziduurile de porumb emite emisii de GES relativ mici, care pot fi calculate folosind o metodologie de calcul aprobată pentru reducerea emisiilor pentru un anumit lanț valoric. În cazul biomasei solide, numai instalațiile care produc energie electrică, încălzire și răcire sau combustibili cu o putere termică nominală totală egală sau mai mare de 20 MW trebuie să îndeplinească criteriile de durabilitate și de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră conform directivei europene privind energia regenerabilă-Euro-pean Renewable Energy Directive (REDII).

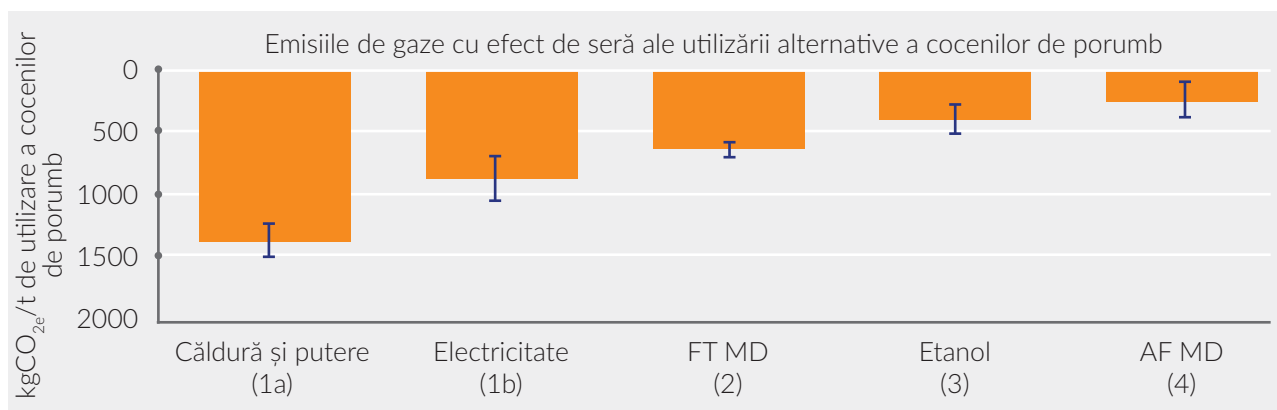


FIGURA 25:

Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră din utilizarea alternativă a preselor de balotat pentru cocii de porumb în comparație cu media rețelei din SUA, unde: FT este Fischer-Tropsch; MD este distilat mediu; AF este fermentație avansată⁹².

⁹⁰ <https://pacificag.com/harvesting/>

⁹¹ D5.1 SUSTAINABILITY ASSESSMENT_ BTG_ JUNE 2020 https://www.smartchp.eu/?jet_download=1799

⁹² Trivedi, P., Malina, R., & Barrett, S. R. H. (2015). Environmental and economic tradeoffs of using corn stover for liquid fuels and power production. *Energy & Environmental Science*, 8(5), 1428–1437. doi:10.1039/c5ee00153f

⁹³ Shizhong Song, Pei Liu, Jing Xu, Chinhao Chong, Xianzheng Huang, Linwei Ma, Zheng Li, Weidou Ni, Life cycle assessment and economic evaluation of pellet fuel from corn straw in China: A case study in Jilin Province, *Energy* (2017), doi: 10.1016/j.energy.2017.04.068

ANEXA I: PRINCIPALE TIPURI DE MAȘINI PENTRU RECOLTAREA, LOGISTICA REZIDUURILOR DE PORUMB, ȘI PROCESAREA LOR ÎN PELETE/BRICHETE

Mai multe informații de la constructorii și dealerii de mașini pot fi găsite în tabelul online de la linkul de mai jos:
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1o-u1S0B5IXwjQW72b7C_G5kNAwmxE6-l6VcyEd6myog/edit#gid=0

Siglă	Contact	Descriere	Mărunțire/ derulare	Balotarea	Colectare/ încărcare	Transport	Peletizare/ Brichetare
	BioG GmbH Weilbolden 18, 4972 Utzenaich Austria +43 (0) 7751/50149-0 office@biog.at https://biog.at	BioChipper dezvoltat de BioG, un concept de mulcire prin consolidarea brazdei, permite recoltarea reziduurilor de pe câmp precum paie de porumb, rapiță paie, paie de cereale, culturi ecundare și materiale de amenajare peisagistică. Operațiunile de aspirare, tocare și înfășurare sunt realizate într-o singură etapă	●				
	HINIKER COMPANY 58766 240th Street Mankato, MN 56002 USA (507)-625-6621 (800)-433-5620 https://www.hiniker.com	O mașină de drenaj Hiniker seria 5600 vă poate reduce substanțial timpul pe teren prin mărunțirea și înfletarea tulpinilor printr-o singură trecere	●				
	LOFTNESS COMPANY 650 South Main Street PO Box 337 Hector, MN 55342 USA 320-848-6266 info@loftness.com https://www.loftness.com	Windrowing Shredder este cel mai recent exemplu de Loftness de transformare a provocării într-o oportunitate. Piețele imprevizibile și cererea de biomasa transformă reziduurile de cultură în un centru de profit	●				
	CLAAS https://www.claas-group.com/	Claas este producătorul global de furaje și combine autopropulsate recoltatoare. CLAAS este, de asemenea, un top performer în agricultură la nivel mondial inginerie cu tractoare, agricole prese de balotat și utilaje de recoltare a biomasei		●	●		

Siglă	Contact	Descriere	Mărunțire/ derulare	Balotarea	Colectare/ încărcare	Transport	Peletizare/ Brichetare
	Maschinenfabrik Bernard KRONE GmbH & Co. KG Zentrale: Heinrich- Krone-Straße 10 D-48480 Spelle Tel.: +49 (0)5977/935-0 Fax: +49 (0)5977-935-339 Info.ldm@krone.de https://landmaschinen.krone.de/	În calitate de specialist în furaje, KRONE produce mașini de tuns iarba cu discuri, fânătoare, greble, vagoane pentru furaje și remorci pentru siloz, mașini de balotat rotunzi și pătrați, precum și mașinile de tuns iarba BiG M de înaltă capacitate și auto-propulsate și BiG X mașini de recoltat furaje.					
	Kuhn Group KUHN SAS 4 Impasse des Fabriques BP 50060 F-67706 Saverne CEDEX +33(0)3 88 01 81 00 Fax: +33(0)3 88 01 81 01 https://www.kuhn.com/	Kuhn Group este producătorul global de mașini de recoltat fân și nutrețuri. Kuhn produce tocatoare, greble și prese de balotat.					
	AGCO Corporation https://www.agcocorp.com	Prin branduri cunoscute incluzând Challenger®, Fendt®, GSI®, Massey Ferguson® și Valtra®, AGCO Corporation ofera solutii agricole pentru fermieri idin întreaga lume printr-o linie completă de tractoare, combine de recoltat, fân si utilaje furajere, insamantare si instrumente de prelucrare a solului, depozitarea cerealelor și sisteme de producere a proteinelor AGCO soluțiile de fân și furaje variază de la cositoare și prese de balotat pentru suflante de furaj și cutii de depozitare, toate cu inovații în dimensiune, capacitate și eficiență.					
	CNH Industrial https://www.cnhindustrial.com/	CNH Industrial produce și vinde utilaje agricole si de constructii, camioane, vehicule comerciale. Mărcile companiei - utilaje agricole recoltarea reziduurilor si logistica - sunt New Holland, Case, Iveco.					
	John Deere https://www.deere.com	De la fondarea sa în 1837, John Deere a livrat produse și servicii pentru a-i sprijini pe cei care lucrează terenurile. John Deere produce o gamă largă de utilaje pentru recoltarea biomasei, inclusiv prese de balotat și încărcătoare.					

Siglă	Contact	Descriere	Mărunțire/ derulare	Balotarea	Colectare/ încărcare	Transport	Peletizare/ Brichetare
	Arcusin S.A. Polígono Industrial Pla d'Urgell - Av. Merlet, 8 - 25245 VILA-SANA Lleida (Spain) T 973 71 28 55 - 696 98 29 10 arcusin@arcusin.com https://www.arcusin.com	Compania produce utilaje pt sectorul de manipulare a baloturilor. Încărcătorul automat de baloturi Au- toStack FSX și XP54. Acumulatorul de baloti ForStack 8.12			●		
	ZAVOD KOBZARENKO LTD Ukraine, 42500, Sumy region., Lypova Dolyna, Rusaniwska street, 17 +38 (044) 451-68-77, +38 (095) 277-63-98 www.kobzarenko.com.ua	Productie de echipamente pentru colectarea și transportul baloturilor. - remorca pentru baloti patrati PT-16 KVADRO; - remorci cu autoincarcare pentru baloti rotunzi; - remorci cu platformă.			●	●	
	ProAG 2131 Airport Drive Saskatoon, SK Canada S7L 7E1 306-933-8585 https://www.proagde- signs.com/	Transportoarele de baloti ProAG sunt proiectate fie pentru baloți rotunzi fie pentru cele pătrate de mari dimensiuni, pentru colectare și stivuire.			●		
	URSUS S.A. DOBRE MIASTO - HQ ul. Fabryczna 21, 11-040 Dobre Miasto Poland +48 22 506 56 00 dobremiasto@ursus.com https://www.ursus.com/	URSUS este, fără îndoială, cea mai veche marcă poloneză a vehiculelor, mașinilor, și dispozitivelor fabricate pentru nevoile agriculturii, printre care există prese de balotat (inclusiv cele destinate silozului de fân) și platforme pentru transport baloți.		●		●	
	AMANDUS KAHL GmbH & Co. KG Dieselstrasse 5-9 21465 Reinbek Ham- burg, Germany +49 (0) 40 72 77 10 info@akahl.de https://akahl.de	Peletarea materiilor prime regenerabile pentru recuperarea energiei reprezintă o preocupare pentru KAHL. Instalațiile de peletizare pentru paie și furaje uscate fac parte din gama de produse KAHL.					●

Siglă	Contact	Descriere	Mărunțire/ derulare	Balotarea	Colectare/ încărcare	Transport	Peletizare/ Brichetare
	CPM Europe B.V. Rijder 2, 1507 DN Zaandam The Netherlands +31 75 65 12 611 info@cpmeurope.nl https://www.cpmeurope.nl/	CPM Europe produce echipamente exclusiviste pentru peletare și măcinare a uneiimare varietăți de produse lemnoase și agricole.					●
	ANDRITZ Feed and Biofuel A/S Esbjerg, Denmark Phone: +45 72 160 300 andritz-fb.dk@andritz.com https://www.andritz.com	ANDRITZ poate proiecta, produce, aproviziona și optimiza utilaje pentru producerea de peleți din biomasă de înaltă calitate. Soluțiile noastre sunt întotdeauna susținute de consultanță tehnică, inginerie, instalare și servicii post-vânzare de către centrele noastre globale de service.					●
	ICK GROUP office 222, 89 A, Prospect Peremogy, Kyiv, 03115, Ukraine tel.: +38 (067) 215 10 32 fax: +38 (044) 451 02 30 e-mail: info@ick.ua https://ick.ua/	ICK Group produce echipamente sub marca proprie GRANTECH. Mulți ani de experiență în Implementarea de tehnologii de economisire a energiei si tehnologii pentru peletizarea diferitelor materiale.					●
	C.F. Nielsen A/S Solbjergvej 19 DK-9574 Baelum tel: +45 9833 7400 https://cfnielsen.com/	C. F. Nielsen este brandul de lider global în proiectare și producție solutii mecanice de brichetare a biomasei și deșeurilor.					●
	PE "Briquetting Technologies" 13313, Ukraine, Zhytomyr region, c. Berdychiv, Semenivska str., 116 +38 (067) 410 21 02 bricteh@gmail.com https://briq-tech.com/	Complexitatea de echipamente pentru producția de brichete și peleți.					●

ANEXA II: SISTEME ENERGETICE PENTRU PRODUCEREA CĂLDURII DIN REZIDUURI DE PORUMB

Mai multe informații de la producătorii de cazane pot fi găsite în tabelul online urmărind link-ul de mai jos:
https://docs.google.com/spreadsheets/d/1hb1IEKxIR_OStT5LOibOfZzggeZ-BjeARq33iwjiaE/edit#gid=0

Sigla	Contact	Descriere	Cazane mici (100-500 kW)	Cazane medii (500 kW - 1 MW)	Cazane mari (above 1 MW)	Cazane cu abur
	Group COMPTE.R https://www.compte-r.com/en/	De peste 130 de ani, COMPTE.R inovează și inventează noi soluții de încălzire cu biomasă pentru dezvoltarea surselor regenerabile de energie, devenind un specialist în energie din biomasă			●	●
	DP CleanTech https://www.dpcleantech.com/	Portofoliul de soluții de biomasă al DP este format din tehnologii dovedite, patentate și de vârf pentru arderea, gazeificare și conversie a biomasei în biogaz, pentru obținerea de energie curată			●	●
	Babcock & Wilcox Vølund https://www.babcock.com/	B&W oferă soluții și servicii tehnologice, prietenoase cu mediul, pentru clienții din sectorul de energie și din industrie din întreaga lume – sigur, etic și conform promisiunii			●	●
	TTS eko s.r.o. https://www.ttsboilers.cz/	În cadrul programului ecologic compania TTS se ocupă în principal de dezvoltarea, producția, asamblarea și service-ul cazanelor industriale și a centralelor termice pentru arderea biomasei			●	
	Volyn-Kalvis LLC https://www.volyn-kalvis.com.ua/en/	Volyn-Kalvis SRL produce cazane pe combustibil solid de încălzire automată a apei, cu grătar mobil, pentru diferite tipuri de biomasă: rumeguș, tocături de lemn, deșeuri de cereale, floarea soarelui și tulpini de porumb, precum și peleti din lemn, floarea soarelui, turba și alte materiale vegetale	●	●	●	
	Kruger boiler plant https://kriger.com.ua/	Producătorul de centrale termice Kruger este o companie care acoperă ciclul complet de construcție la cheie a producerii de energie termică		●	●	●

CONSORTIUL AGROBIOHEAT

Sigla	Descriere
	Centrul pentru Cercetare și Tehnologie Hellas (CERTH) este unul dintre cele mai importante centre de cercetare din Grecia. Printre domeniile sale de expertiză se numără activitățile legate de surse regenerabile de energie, producția și utilizarea biocombustibililor solizi, economisirea energiei și protecția mediului. www.certh.gr
	AVEBIOM este Asociația Spaniolă de Bioenergie care reprezintă toate companiile din întregul lanț de aprovizionare cu bioenergie din Spania. www.avebiom.org
	BIOS este o companie austriacă de cercetare și dezvoltare și inginerie cu peste 20 de ani de experiență în domeniul utilizării biomasei energetice. www.bios-bioenergy.at
	Bioenergy Europe (cunoscută anterior ca AEBIOM) este vocea bioenergiei europene. Acesta își propune să dezvolte o piață durabilă a bioenergiei, bazată pe condiții de afaceri corecte. www.bioenergyeurope.org
	Food & Bio Cluster Denmark este clusterul național danez pentru alimente și bioresurse. Promovăm o cooperare sporită între cercetare și afaceri și oferim membrilor noștri acces one-stop-shop la rețele, finanțare, dezvoltarea afacerii, proiecte, facilități și oferim diverse servicii de consultanță. www.foodbiocluster.dk
	Centrul de Tehnologie fondat în Spania în 1993, urmărește să ofere soluții inovatoare în domeniul energiei pentru o dezvoltare durabilă. www.fcirce.es
	INASO-PASEGES este o organizație civilă non-profit, înființată în 2005 la Atena de către Confederația Panhelenică a Sindicatelor Cooperativelor Agricole (PASEGES). www.neapaseges.gr
	Cooperativa pentru Energie Verde (ZEZ) a fost înființată în 2013 ca parte a proiectului „Dezvoltarea Cooperativelor Energetice în Croația” implementat de Programul Națiunilor Unite pentru Dezvoltare (PNUD) în Croația. www.zez.coop
	Scopul principal al Clusterului este de a dezvolta sectorul bioenergiei în România și de a stârni interesul pentru producerea și utilizarea biomasei. www.greencluster.ro
	UABIO a fost înființată în 2013 ca organizație publică. Scopul activității Asociației este de a crea o platformă comună de cooperare pe piața de bioenergie din Ucraina. www.uabio.org

Siglă	Descriere
	AILE lucrează în domeniul energiilor regenerabile și economisirii de energie în zonele agricole și rurale din vestul Franței. www.aile.asso.fr
	White Research este o întreprindere de cercetare și consultanță în domeniul social, specializată în comportamentul consumatorilor, analiza pieței și managementul inovației, cu sediul la Bruxelles. www.white-research.eu
	Agronergy este un ESP francez (furnizor de servicii energetice) dedicat încălzirii din surse regenerabile. www.agronergy.fr



PUBlicație

Această publicație a Asociației de Bioenergie din Ucraina (UABIO) și a Centrului de Cercetare și Tehnologie Hellas (CERTh) acoperă probleme legate de starea actuală a producției de porumb, caracteristicile cultivării acestuia și posibilitățile de utilizare a reziduurilor de porumb pentru energie. Ghidul oferă o trecere în revistă a tehnologiilor pentru recoltarea reziduurilor de porumb și utilizarea acestora pentru producerea de căldură, energie, biogaz și bioetanol. Include, de asemenea, liste cu companii, care oferă utilaje pentru recoltare și logistică a reziduurilor de porumb, procesarea lor în pelete/brichete și sisteme energetice pentru a produce căldură din reziduurile de porumb. Ghidul a fost creat în cadrul proiectului AgroBioHeat, care este cofinanțat de programul Orizont 2020 al Uniunii Europene. AgroBioHeat își propune să promoveze soluții de încălzire cu biomasă agricolă durabile din punct de vedere economic și ecologic în Europa.

Despre Clusterul Green Energy

Obiectivul Clusterului este de a dezvolta comunități sustenabile din punct de vedere energetic în România, promovarea conceptului "Un sat - 1 MW", furnizarea de servicii de consultanță tehnică, proiectare și furnizare de sisteme de încălzire pe bază de biomasă, educație și informare cu privire la cele mai bune practici.

Clusterul Green Energy este o organizație în domeniul economiei sociale, care asigură cadrul pentru a dezvolta soluții în domeniul biomasei, ținând cont de aspecte legate de eco-inovare și inovare socială.



UABIO



CERTh
CENTRE FOR
RESEARCH & TECHNOLOGY
HELLAS



Proiectul a primit finanțare din programul de cercetare și inovare Orizont 2020 al Uniunii Europene în baza Acordului de Grant nr. 818369

