Journal of Social Sciences *Vol. VIII, no. 2 (2025), pp. 17 - 27*
Fascicle *Social Science* *ISSN 2587-3490*
Topic *Economics and Management* *eISSN 2587-3504*

https://doi.org/10.52326/jss.utm.2025.8(2).02
UDC [631.86+663.5]:662.767.2

COMPLEX VALORIZATION OF WASTE FROM THE ALCOHOL PRODUCTION INDUSTRY

Corina Tașca *, ORCID: 0000-0003-3359-3490

State University of Moldova, Institute of Chemistry, 3 Academiei Str., Chisinau, Republic of Moldova
* Corresponding author: Corina Tașca, *zubic.corina@gmail.com*

Received: 04.26.2025
Accepted: 06.12.2025

Abstract. The study addresses the technological valorization of agro-industrial residues generated as a result of the integrated activity of a cattle farm and an ethyl alcohol distillery, in the context of the transition to a circular bioeconomy. The experiment was implemented within the enterprise SRL "Garma Grup", which uses a continuous anaerobic digestion system for the conversion of a homogeneous mixture of cereal bran and cattle manure into biogas. The objective was to evaluate the influence of dihydroxyfumaric acid (DHFA) on the efficiency of the anaerobic digestion process under industrial conditions. The results confirmed the hypothesis regarding the stimulating effect of DHFA on the microbiological activity in the acidogenesis and methanogenesis stages. The enterprise implemented an integrated biogas purification system, which allowed the reduction of the level of impurities to safe thresholds from an operational point of view. The study confirmed the feasibility of circular bioeconomy strategies, the need to deepen the biochemical mechanisms involved, as well as economic assessments.

Keywords: *circular bioeconomy, grain mash, cattle manure, biogas, dihydroxyfumaric acid, methanogenesis*

Rezumat. Articolul abordează problema valorificării reziduurilor agroindustriale generate în urma activității integrate a unei ferme de bovine și a unei distilerii pentru alcool etilic, în contextul tranziției către bioeconomia circulară. Experimentul a fost implementat în cadrul întreprinderii SRL „Garma Grup”, care utilizează un sistem continuu de digestie anaerobă pentru conversia unui amestec omogen de borhot de cereale și dejecții bovine în biogaz. Obiectivul a constat în evaluarea influenței acidului dihidroxifumaric (DHFA) asupra eficienței procesului de digestie anaerobă în condiții industriale. Rezultatele au confirmat ipoteza privind efectul stimulator al DHFA asupra activității microbiologice din etapele de acidogeneză și metanogeneză. Întreprinderea a implementat un sistem integrat de purificare a biogazului, care a permis reducerea nivelului de impurități la praguri sigure din punct de vedere operațional. Studiul a confirmat fezabilitatea strategiilor de bioeconomie circulară, necesitatea aprofundării mecanismelor biochimice implicate, precum și a evaluărilor de ordin economic.

Cuvinte cheie: *bioeconomie circulară, borhot de cereale, dejecții bovine, biogas, acid dihidroxifumaric, metanogeneză.*

1. Introducere

Pentru a descompune biomasa reziduală în zaharuri care pot fi transformate în continuare în biocombustibili gazosi sau lichizi sau în alte produse utile, este adesea folosită conversia biochimică de către microorganisme și enzime [1,2] deși alte abordări precum coagularea și oxidarea au fost de asemenea propuse. În general, digestia biochimică este un proces relativ lent care necesită un anumit timp pentru transformarea biomasei în produse. Dintre aceste tehnologii, digestia anaerobă și fermentația sunt procesele cele mai populare, având ca rezultat producerea de biogaz care conține în principal biometan, dioxid de carbon și, în cantități mai mici de biohidrogen, hidrogen sulfurat [3]. În timpul digestiei anaerobe, bacteriile sunt aplicate pentru a hidroliza carbohidrații în zaharuri care sunt digerabile de alte bacterii metanogene care, la rândul lor, produc biogaz din componentele digerabile ale biomasei.

În funcție de condițiile biochimice de digestie, biogazul cu conținut ridicat de metan [4] sau hidrogen [5] poate fi produs în condiții fără oxigen, sau sub presiune ridicată [6] sau folosind alte abordări, cum ar fi adăugarea de compuși bioactivi, care accelerează digestia biochimică și fac posibilă obținerea de cantități mult mai mari de biometan și biohidrogen pe timp mai scurt [7,8].

Industria producătoare de alcool generează, pe lângă produsul principal, cantități considerabile de reziduuri lichide și solide, precum borhotul de cereale.

În cazul întreprinderii SRL „Garma Grup”, aceste reziduuri sunt completate de dejecții animaliere provenite din ferma de bovine proprie, constituind împreună un substrat valoros pentru digestia anaerobă. În actualul context al tranziției către o economie circulară și al intensificării eforturilor globale privind protecția mediului, gestionarea eficientă și durabilă a acestor fluxuri secundare reprezintă o prioritate strategică pentru dezvoltarea agroindustrială [9].

Integrarea principiilor bioeconomiei circulare în procesele tehnologice oferă oportunități valoroase pentru transformarea deșeurilor organice în resurse utile, în special prin obținerea de biogaz. Digestia anaerobă a biomasei organice, ca proces biotehnologic complex, permite conversia eficientă a substraturilor în metan și alte gaze energetice, fiind totodată o soluție pentru reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră și pentru producerea energiei regenerabile [10,11].

Cu toate acestea, eficiența digestiei anaerobe poate fi afectată de factori biochimici și microbiologici, inclusiv de prezența compușilor toxici sau de dezechilibrele în compoziția substratului.

Recent, studiile au demonstrat că utilizarea unor substanțe biologic active (SBA) cu proprietăți antioxidante poate contribui la stabilizarea procesului de fermentație și la creșterea producției de metan [12-14]. În acest sens, DHFA identificat anterior pentru potențialul său redox, a fost selectat pentru testare în condiții industriale [9,14].

Lucrarea de față prezintă un studiu de validare tehnologică desfășurat la întreprinderea SRL „Garma Grup” (Hîncești, R. Moldova), infrastructura experimentală disponibilă în cadrul SRL „Garma Grup” care a permis evaluarea aplicării DHFA asupra unui amestec compus din borhot lichid și dejecții bovine, în condiții industriale controlate, cu monitorizarea continuă a parametrilor de generare și calitate a biogazului [15].

Rezultatele obținute susțin ipoteza conform căreia optimizarea microbiologică prin utilizarea aditivilor naturali poate constitui o soluție eficientă pentru valorificarea energetică a deșeurilor agroindustriale [16].

2. Materiale și Metode

Studiul aplicativ a fost realizat în cadrul întreprinderii SRL „Garma Grup”, situată în satul Fîrlădeni, municipiul Hîncești, Republica Moldova. Această unitate agroindustrială integrează funcțional o fermă de bovine și o instalație de distilare a alcoolului etilic, facilitând valorificarea fluxurilor reziduale într-un sistem tehnologic închis, specific bioeconomiei circulare.

Substratul utilizat pentru procesul de digestie anaerobă a fost compus din borhot lichid de cereale, rezultat în urma distilării, și dejecții proaspete provenite de la ferma de bovine. Fracția lichidă a borhotului a fost separată mecanic de partea solidă și ulterior amestecată într-un bazin deschis cu dejecțiile animaliere, în vederea obținerii unui substrat omogen și stabil din punct de vedere fizico-chimic.

Procesul de digestie anaerobă s-a desfășurat într-o instalație de tip continuu, echipată cu digestoare cilindrice cu diametrul de 24 m, înălțimea de 10 m și un volum util de aproximativ 3200 m^3 fiecare (Figura 1). Acestea sunt dotate cu un sistem automatizat de amestecare în trei trepte – Mixer Jos, GasMix (prin injecție de gaz) și Mixer Sus – comandat electronic, cu frecvențe reglabile între 45–46 Hz și cicluri de funcționare de 10–15 min, alternate cu pauze de 5 min [17]. Acest sistem a asigurat omogenizarea eficientă a încărcăturii organice și a substanței biologic active, prevenind formarea zonelor stagnante și optimizând transferul de masă și căldură în masa fermentabilă

Figura 1. Imaginea foto a digestoarelor cu funcționare continua a întreprinderii SRL “Garma Grup”.

Prin utilizarea acestor instalații, întreprinderea asigură un nivel ridicat de eficiență în conversia biomasei în biogaz, contribuind la valorificarea energetică sustenabilă a reziduurilor proprii și la reducerea impactului asupra mediului înconjurător.

În prima etapă a procesului tehnologic are loc separarea borhotului de cereale rezultat din distilarea alcoolului în două fracții – solidă și lichidă (Figura 2a). În vederea valorificării anaerobe, este utilizată exclusiv fracția lichidă, aceasta fiind caracterizată printr-un conținut ridicat de materie organică solubilă, ușor degradabilă în condiții anaerobe.

Fracția lichidă este direcționată într-un bazin deschis de amestec, unde este combinată cu dejecțiile proaspete colectate de la ferma de bovine (Figura 2b). Această etapă are ca scop obținerea unui substrat omogen, cu proprietăți fizico-chimice adecvate pentru procesul de digestie. Omogenizarea substratului este esențială pentru prevenirea blocajelor tehnologice,

asigurarea unei distribuții uniforme a microorganismelor și crearea unor condiții optime pentru desfășurarea fermentației [18].

a)

b)

Figura 2. Zona tehnologică de pregătire a substratului (a) și colectarea borhotului de cereale și realizarea amestecului de fermentare (b).

După finalizarea etapei de pregătire a substratului, amestecul omogen format din faza lichidă a borhotului de cereale și dejecțiile de la ferma de bovine a fost utilizat în cadrul experimentului pentru evaluarea impactului unei substanțe biologic active asupra procesului de digestie anaerobă. Pentru lotul experimental, s-au utilizat 2324,67 m^3 borhot lichid și 988,33 m^3 dejecții bovine. Pentru testarea influenței substanțelor biologic active, a fost selectat acidul dihidroxifumaric., substratul a fost tratat cu acid dihidroxifumaric în cantitatea de 113,28 g per lot experimental [9]. Substanța a fost introdusă direct în amestecul omogenizat, anterior alimentării fermentatorului, și dispersată uniform pentru a garanta o distribuție echilibrată în întreg volumul reactiv.

Obiectivul principal al acestui experiment a fost investigarea efectului SBA - DHFA, cu proprietăți antioxidante, asupra eficienței procesului de digestie anaerobă, în condiții controlate [19], la scară industrială. În mod specific, s-a urmărit evaluarea volumului total de biogaz generat, precum și determinarea variațiilor în conținutul de metan în prezența acestui compus.

Un aspect tehnologic esențial al implementării a fost prezența unui sistem automat de amestecare cu pompă, implementat pe toate digestoarele instalației, configurat să funcționeze în regim secvențial, pe trei nivele verticale: inferior (Mixer Jos), mediu (prin injecție de gaz – GasMix) și superior (Mixer Sus) (Figura 3).

Comanda electronică a acestui sistem asigură alternanța ciclică între fazele de agitare și repaus, cu frecvențe reglabile între 45 - 46 Hz și durate programate de până la 15 min. Aceste funcții sunt operate prin intermediul unei pompe de recirculare cu turație variabilă, comandată electronic, ceea ce permite adaptarea frecvenței de amestec la dinamica procesului biologic.

Fiecare ciclu de amestecare este programat cu durate fixe (ex. 15 min, 10 min, 8 min), urmate de o pauză de 5 min, asigurând astfel un echilibru între consumul energetic și eficiența hidrodinamică. Funcționarea secvențială în regim automat permite o omogenizare completă a masei fermentabile, prevenind formarea de zone moarte, stratificări sau acumulări de spumă.

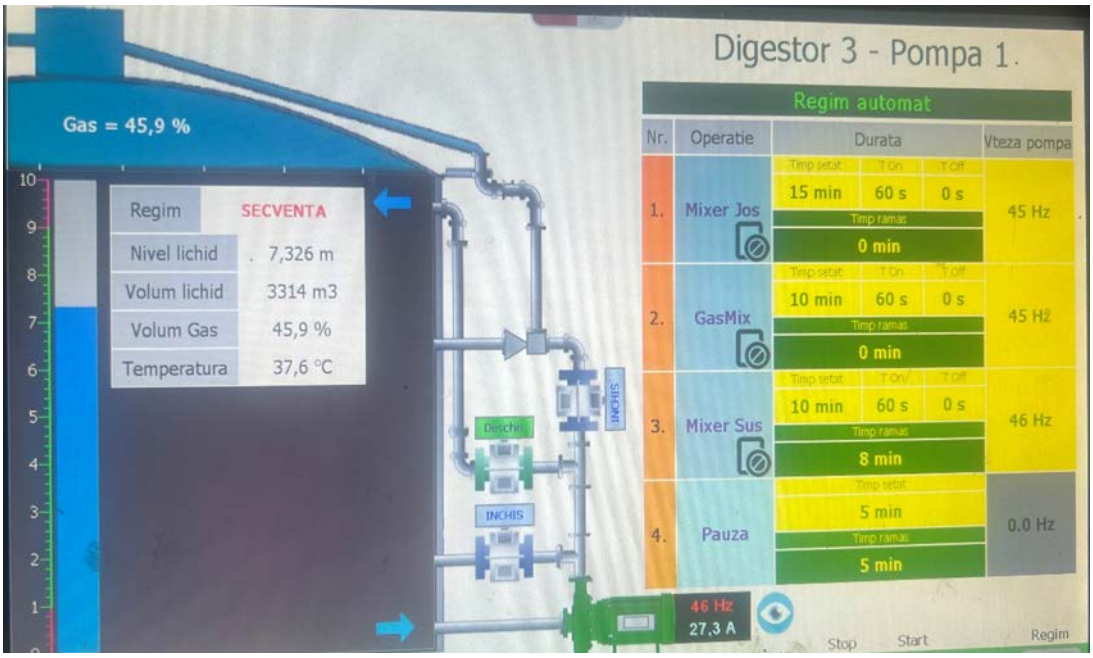

Figura 3. Interfața de control digital al sistemului de amestecare automat pe nivele, utilizat în toate digestoarele instalației de biogaz de la SRL „Garma Grup".

Prin această configurare, se realizează o distribuție uniformă a încărcăturii organice, a microorganismelor și a temperaturii, aspecte esențiale pentru desfășurarea optimă a etapelor de acidogeneză și metanogeneză. În contextul experimentului de aplicare a DHFA, sistemul automat de amestecare a asigurat dispersia eficientă și uniformă a substanței biologic active în întregul volum de reacție, contribuind la validitatea experimentală a rezultatelor obținute.

Această soluție tehnologică avansată a garantat o distribuție uniformă a încărcăturii organice, a microorganismelor și a SBA în volumul total de substrat, prevenind formarea zonelor stagnante și optimizând transferul de masă și căldură în reactor. În contextul aplicării acidului dihidroxifumaric, sistemul de amestecare automatizat a jucat un rol crucial în asigurarea unei dispersii omogene a SBA, ceea ce a permis ca efectele sale biologice să fie evaluate obiectiv, fără variații locale sau incertitudini experimentale [20].

Astfel, infrastructura tehnologică disponibilă la nivelul întreprinderii SRL „Garma Grup" nu doar că a permis desfășurarea experimentului în condiții comparabile cu cele din laborator, ci a oferit un cadru operațional controlabil, reproductibil și industrial validat, necesar pentru extrapolarea rezultatelor către aplicații practice de scară largă.

Aplicarea DHFA a avut drept fundament ipoteza că proprietățile sale antioxidante pot modula activitatea microbiologică implicată în etapele cheie ale fermentației – în special în metanogeneză – contribuind astfel la o creștere a randamentului energetic al procesului.

Pentru a evalua influența DHFA – o substanță biologic activă cu potențial antioxidant – asupra procesului de digestie anaerobă, au fost monitorizați parametrii tehnologici în timp real în cadrul instalației de biogaz a întreprinderii SRL „Garma Grup".

3. Rezultate

Experimentul desfășurat la scară industrială în cadrul întreprinderii SRL „Garma Grup" a urmărit evaluarea efectului acidului dihidroxifumaric (SBA) asupra eficienței digestiei anaerobe a unui substrat compus din borhot lichid de cereale și dejecții bovine. Substratul a fost procesat în două digestoare funcționale, configurate tehnologic identic, diferența

constând în aplicarea SBA în digestorul experimental (D3), în timp ce digestorul martor (D4) a funcționat în regim obișnuit.

Volumul de substrat introdus a fost de 3313 m^3 în digestorul tratat, respectiv 2907 m^3 în cel martor (Figura 4).

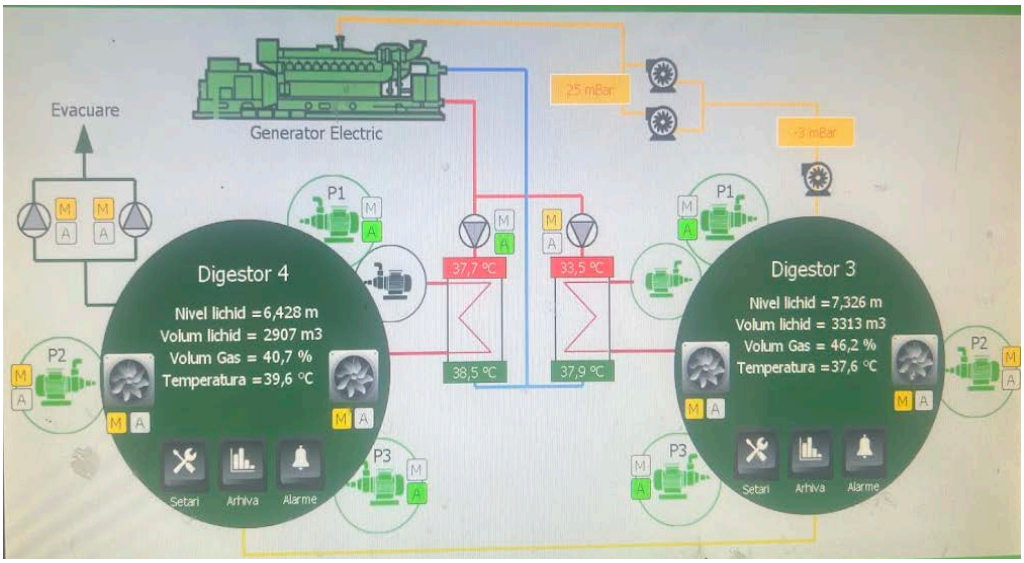

Figura 4. Interfața digitală de monitorizare a funcționării în timp real a stației de digestie anaerobă din cadrul SRL „Garma Grup" (rezultate comparative a celor de studiu cu cel martor).

Temperatura de operare s-a menținut în regim mezofil (37,6 °C în D3 și 39,6 °C în D4). Volumul total de biogaz generat în digestorul tratat a fost semnificativ mai mare (46,2%) față de cel obținut în lotul martor (40,7%), indicând o creștere cu 5,8%, considerată semnificativă statistic ($p < 0,05$).

Aceste rezultate preliminare susțin ipoteza conform căreia DHFA poate stimula activitatea microbiologică implicată în digestia anaerobă, în special în etapele de acidogeneză și metanogeneză. Monitorizarea digitală în timp real a permis nu doar observarea evoluției procesului, ci și validarea aplicabilității acestei substanțe în condiții reale, la scară industrială [21].

Determinarea compoziției gazelor a fost realizată cu ajutorul unui analizor portabil de biogaz de tip Madur GA-21 plus, care permite măsurători directe în conductele de gaz sau în rezervoarele de acumulare, cu afișare digitală a concentrațiilor exprimate în procente volumice (Tabelul 1).

Tabelul 1

Compoziția chimică a biogazului rezultat în urma digestiei anaerobe

Componente	Unitate	Digestor martor (D4)	Digestor tratat cu SBA (D3)
Metan (CH_4)	% vol	60,2	65,8
Dioxid de carbon (CO_2)	% vol	37,5	32,1
Oxigen rezidual (O_2)	% vol	1,1	0,8
Hidrogen sulfurat (H_2S)	% vol	0,25	0,18

Notă: *p<0,05.

Rezultatele obținute evidențiază o diferență semnificativă în compoziția biogazului între proba martor și cea tratată cu DHFA. În lotul experimental (digestor 3), s-a remarcat o creștere a conținutului de metan până la 65,8%, comparativ cu doar 60,2% în lotul martor,

care a crescut cu 5,8% față de lotul martor, ceea ce indică o eficiență superioară a conversiei materiei organice în energie utilă.

Totodată, s-a observat o scădere a concentrației de dioxid de carbon (CO_2) și a oxigenului rezidual (O_2), sugerând un echilibru fermentativ favorabil formării CH_4. Deosebit de relevant este și faptul că nivelul de hidrogen sulfurat (H_2S) a fost mai redus în lotul tratat, deși în ambele cazuri valorile brute sunt ridicate și necesită tratare ulterioară. (0,18 % vol față de 0,25 % vol), ceea ce poate fi corelat cu efectul antioxidant al acidului dihidroxifumaric, care limitează oxidarea anaerobă a sulfaților și formarea excesivă de H_2S [22]. Scăderea H_2S în prezența substanței biologic active ar putea indica o inhibare selectivă a bacteriilor sulfat-reducătoare, probabil datorită acțiunii antioxidante a acidului dihidroxifumaric [14,16,23].

Biogazul obținut în urma digestiei anaerobe prezintă, în forma sa brută, concentrații ridicate de hidrogen sulfurat (H_2S), care pot ajunge până la 0,25 % vol, în funcție de compoziția substratului utilizat. Acest compus este deosebit de coroziv, toxic și poate afecta semnificativ atât echipamentele tehnologice (cazane, motoare cu ardere internă), cât și eficiența generală a valorificării energetice a gazului. Pentru a face biogazul compatibil cu utilizarea industrială, în cadrul întreprinderii SRL „Garma Grup" este implementat un sistem integrat de purificare și condiționare, care permite reducerea conținutului de H_2S până la valori de 0,0030–0,0040 % vol, considerate sigure din punct de vedere operational (Figura 5).

Figura 5. Instalația de purificare a biogazului din cadrul întreprinderii SRL „Garma Grup".

Instalația este alcătuită dintr-o coloană verticală de epurare, conectată la un sistem de conducte etanșe din inox, care transportă biogazul brut de la digestoare spre unitatea de tratament. Sistemul este completat de o unitate de răcire și deshidratare, ce are rolul de a condensa vaporii de apă prezenți în biogaz, reducând astfel riscul de formare a acizilor sulfurici în conducte. În cadrul procesului de epurare, gazul este supus unei adsorbții chimice pe suport de oxid de fier.

Prin acest tratament, biogazul își păstrează valoarea calorică, dar devine mai stabil din punct de vedere chimic, reducând riscul de coroziune, blocaje și uzură prematură a echipamentelor energetice. Totodată, diminuarea concentrației de H_2S contribuie la creșterea duratei de viață a instalației și la eficiența economică a întregului proces de valorificare.

Aplicarea acidului dihidroxifumaric, o substanță biologic activă cu proprietăți antioxidante, a condus la o intensificare a activității microbiologice implicate în digestia anaerobă, fapt demonstrat de volumul sporit de biogaz și conținutul mai ridicat de metan. Creșterea proporției de CH_4 cu 5,6% sugerează un randament superior al etapei de metanogeneză, probabil favorizat de stabilizarea redox indusă de SBA, conform ipotezei formulate [24].

Reducerea nivelului de CO_2 și O_2 indică un regim fermentativ mai eficient, cu conversie avansată a substratului. Scăderea semnificativă a H_2S (cu 28%) poate fi explicată prin inhibarea selectivă a bacteriilor sulfat-reducătoare, ca urmare a influenței antioxidante exercitate de acidul dihidroxifumaric [25]. Astfel de rezultate confirmă contribuția pozitivă a SBA asupra calității biogazului, reducând necesarul de epurare și potențialele daune asupra infrastructurii tehnologice [26].

Valorificarea practicată la scară industrială a permis validarea funcțională a acestei abordări, susținând premisele teoretice ale integrării bioeconomiei circulare în sistemele agroindustriale complexe [26].

4. Concluzii

Studiul aplicativ desfășurat în cadrul întreprinderii SRL „Garma Grup” a demonstrat viabilitatea utilizării acidului dihidroxifumaric ca substanță biologic activă în optimizarea procesului de digestie anaerobă a reziduurilor agroindustriale. Aplicarea acestui compus a condus la o creștere semnificativă a randamentului procesului fermentativ, reflectată printr-o majorare cu 5,8% a volumului de biogaz produs și o creștere a conținutului de metan de la 60,2% la 65,8%.

Efectele benefice ale acidului dihidroxifumaric s-au manifestat și prin reducerea concentrațiilor de dioxid de carbon și hidrogen sulfurat, contribuind la îmbunătățirea valorii energetice și a stabilității chimice a biogazului generat. Această evoluție poate fi explicată prin acțiunea antioxidantă a compusului, care influențează favorabil echilibrul redox al ecosistemului microbian implicat în metanogeneză.

Integrarea tratamentului cu SBA într-o instalație industrială complet automatizată a validat transferabilitatea acestei soluții tehnologice la scară mare, susținând aplicarea conceptelor de bioeconomie circulară în sectorul de valorificare a deșeurilor agroindustriale.

Rezultatele obținute justifică necesitatea extinderii cercetărilor asupra mecanismelor de acțiune ale compușilor biologic activi în bioconversia deșeurilor și oferă un model funcțional pentru creșterea eficienței energetice în sistemele de digestie anaerobă din industrie.

Rezultatele obținute în cadrul studiului aplicativ desfășurat la întreprinderea SRL „Garma Grup” evidențiază potențialul remarcabil al DHFA ca aditiv biologic activ în optimizarea procesului de digestie anaerobă a substraturilor agroindustriale. Utilizarea DHFA a avut un impact pozitiv notabil asupra performanței tehnologice și calității bioenergetice a biogazului produs, în condiții reale, specifice unei instalații industriale funcționale.

În primul rând, aplicarea DHFA în substratul compus din borhot lichid de cereale și dejecții de bovine a determinat o creștere semnificativă a volumului de biogaz generat, atingând 46,2% din substratul procesat în digestorul tratat, comparativ cu 40,7% în digestorul martor. Această diferență de 5,8% reflectă o îmbunătățire evidentă a randamentului fermentativ, susținută de o conversie mai eficientă a materiei organice în gaz metan, cel mai valoros component energetic al biogazului.

În al doilea rând, compoziția chimică a biogazului a fost influențată favorabil de prezența DHFA. Conținutul de metan a crescut de la 60,2% la 65,8% vol., ceea ce corespunde unei majorări cu 5,6% față de proba martor, iar concentrațiile de dioxid de carbon și oxigen rezidual au scăzut, indicând un echilibru redox mai stabil și mai eficient din punct de vedere microbiologic. De asemenea, s-a constatat o reducere cu aproximativ 28% a concentrației de hidrogen sulfurat (H_2S), compus coroziv și toxic, fapt ce confirmă ipoteza unei posibile inhibări selective a bacteriilor sulfat-reducătoare de către DHFA. Acest efect poate fi atribuit capacității antioxidante a compusului, care contribuie la menținerea unui mediu anaerob propice proceselor de metanogeneză.

În plus, infrastructura tehnologică a permis implementarea tratamentului cu DHFA în condiții industriale controlate, cu omogenizarea eficientă a substratului și monitorizarea digitală în timp real a parametrilor esențiali, asigurând reproductibilitatea și validitatea rezultatelor. Acest aspect este esențial pentru extrapolarea concluziilor către aplicații la scară largă, în cadrul instalațiilor moderne de producere a biogazului.

Studiul confirmă, totodată, fezabilitatea integrării unei substanțe biologic active cu rol antioxidant în lanțul valoric al bioenergiei, în concordanță cu principiile bioeconomiei circulare. Prin valorificarea unor deșeuri agroindustriale locale, cum sunt borhotul și dejecțiile animale, și prin aplicarea unui aditiv eficient, s-a obținut nu doar o ameliorare a randamentului și calității biogazului, ci și o reducere a impactului negativ asupra mediului.

Prin urmare, se poate concluziona că DHFA reprezintă o soluție tehnologică promițătoare pentru optimizarea digestiei anaerobe, cu beneficii energetice, economice și ecologice. Sunt recomandate cercetări suplimentare privind mecanismele de interacțiune microbiologică, stabilirea dozelor optime și evaluarea sustenabilității economice a acestui tratament, în vederea integrării sale în strategiile moderne de gestionare a deșeurilor și producere a energiei regenerabile.

Conflicts of Interest: The author declares no conflict of interest.

Bibliografie

1. Zhe, Z.; Xian, M.; Liu, M.; Zhao, G. Biochemical routes for uptake. *Biotechnology for Biofuels* 2020, 13, 140. https://doi.org/10.1186/s13068-020-1662-x.
2. Merlin Christy, P.; Gopinath, L.R.; Divya, D. A review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2014, 34, pp. 167–173.
3. De Bere, L. Anaerobic digestion of solid waste: State of the art. *Water Science and Technology* 2000, 41, pp. 283–290. https://doi.org/10.2166/wst.2000.0082.
4. Rafique, R.; Poulsen, T.G.; Nizami, A.S.; Asam, Z.U.Z.; Murphy, J.D.; Kiely, G. Effect of thermal, chemical and thermo-chemical pre-treatments to enhance methane production. *Energy* 2010, 35(12), pp. 4556–4561.
5. Chandra, R.; Takeuchi, H.; Hasegawa, T. Methane production from lignocellulosic agricultural crop wastes: A review in context to second generation of biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2012, 16(2), pp. 1462–1476. https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.11.035.
6. Almoustapha, O.; Millogo-Rasolodimby, J.; Kenfack, S. Production de biogaz et de compost à partir de la jacinthe d'eau pour un développement durable en Afrique sahélienne. *VertigO* 2008, 8(1), pp. 1-13. https://doi.org/10.4000/vertigo.1227.
7. Yadvika; Sreekrishnan, T.R.; Santosh, S.; Kohli, S. Effect of HRT and slurry concentration on biogas production in cattle dung based anaerobic bioreactors. *Environmental Technology* 2007, 28(4), pp. 433–442.
8. Lu, J.; Gavala, H.N.; Skiadas, I.V.; Mladenovska, Z.; Ahring, B.K. Improving anaerobic sewage sludge digestion by implementation of a hyper-thermophilic prehydrolysis step. *Journal of Environmental Management* 2008, 88(4), pp. 881–889. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.04.020.

9. Tașca, C. Characteristics of biomass resulting from agro-industrial processes and possibilities of its evaluation in the context of the circular bioeconomy. *Journal of Engineering Science* 2024, 31(3), pp. 156–178. https://doi.org/10.52326/jes.utm.2024.31(3).12.
10. Venkata Mohan, S.; Goud, R.K.; Chiranjeevi, P.; Reddy, C.N.; Rohit, M.V.; Kumar, A.N.; Sarkar, O. Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: Critical review and future perspectives. *Bioresource Technology* 2016, 215, pp. 2–12. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.130.
11. Yan, L.; Liu, Y.; Wen, Y.; Ren, Y.; Hao, G.; Zhang, Y. Role and significance of extracellular polymeric substances from granular sludge for simultaneous removal of organic matter and ammonia nitrogen. *Bioresource Technology* 2015, 179, pp. 460–466. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.12.042.
12. Tuli, H.S.; Sak, K.; Gupta, D.S.; Kaur, G.; Aggarwal, D.; Chaturvedi Parashar, N.; Choudhary, R.; Yerer, M.B.; Kaur, J.; Kumar, M.; Garg, V. K.; Sethi, G. Anti-inflammatory and anticancer properties of birch bark-derived betulin: Recent developments. *Plants* 2021, 10(12), 2663. https://doi.org/10.3390/plants10122663.
13. Taofiq, O.; González-Paramás, A.M.; Barreiro, M.F.; Ferreira, I.C.F.R. Hydroxycinnamic acids and their derivatives: Cosmeceutical significance, challenges and future perspectives – A review. *Molecules* 2017, 22, 281 https://doi.org/10.3390/molecules22020281.
14. Duca, G.; Covaliov, V.; Covaliova, O.; Romanciuc, L.; Tașca, C. Studiul proceselor redox în sisteme biochimice în prezența antioxidanților. In: *Procese redox cu transfer de electroni și proton*, USM, Chișinău, Republica Moldova, 2023, pp. 211–237. ISBN 978-9975-62-658-3.
15. Siqueira, J.G.; Rodrigues, C.; de Souza Vandenberghe, L.P.; Woiciechowski, A.L.; Soccol, C.R. Current advances in on-site cellulase production and application on lignocellulosic biomass conversion to biofuels: A review. *Biomass and Bioenergy* 2020, 132, 105419. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105419.
16. Duca, G.; Covaliova, O.; Covaci, E.; Romanciuc, L.; Tașca, C. Effect of bioactive additives on biomass fermentation from agro-industrial sector. *Journal of Engineering Science* 2022, 29(3), pp. 176–188. https://doi.org/10.52326/jes.utm.2022.29(3).15.
17. Singha, P.; Muthukumarappan, K.; Krishnan, P. Influence of processing conditions on apparent viscosity and system parameters during extrusion of distiller's dried grains-based snacks. *Food Science & Nutrition* 2018, 6(1), pp. 101–110. https://doi.org/10.1002/fsn3.534.
18. Plămădeală, V.; Siuris, A.; Rusu, A.; Bulat, L. Cercetări privind valorificarea ca îngrăşământ a deşeurilor din industria vinicolă şi cea de producere a alcoolului etilic. *Ştiinţa Agricolă* 2016, 1, pp. 3–8. ISSN 1857-0003.
19. Duca, G.; Sturza, R.; Covaliova, O.; Covaci, E.; Romanciuc, L.; Tașca, C. Modification of waste biomass digestion in the presence of additives of bioactive substances. In: *Redox Processes within Environmental and Technological Cont*exts, IGI Global, USA, 2023, pp. 149–165. https://doi.org/10.4018/979-8-3693-0512-6.ch009.
20. Bolocan, N.; Duca, Gh. Dihydroxyfumaric acid. Transformations, importance and applications, new derivatives: Review of experimental and theoretical research. In: *Fundamental and Biomedical Aspects of Redox Processes*; Duca, Gh.; Vaseashta, A. (Eds.). IGI Global, USA, 2023, pp. 198–223.
21. Chowdhary, P.; Raj, A.; Bharagava, R.N. Environmental pollution and health hazards from distillery wastewater and treatment approaches to combat the environmental. *Chemosphere* 2018, 194, pp. 229–246. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.163.
22. Rasheed, F.; Kayani, W. K.; Asghar, M. U.; Farrukh, A.; Gul, S.; Khan, I.; Nazli,N. Unlocking the potential of biowaste: Sustainable strategies to produce valuable industrial products. *Journal of Environmental Quality* 2025, 54, pp. 319–334. https://doi.org/10.1002/jeq2.20671.
23. Vicol, C.; Sârghi, A.; Fifere, A.; Duca, G. Antioxidant co-actions of ascorbic and dihydroxyfumaric acids investigated by EPR spectroscopy. *Chemistry Journal of Moldova* 2024, 19(1), pp. 29-36. https://doi.org/10.19261/cjm.2024.1190.
24. Yang, G.; Zhang, G.; Zhuan, R.; Yang, A.; Wang, Y. Transformations, inhibition and inhibition control methods of sulfur in sludge anaerobic digestion: a review. *Current Organic Chemistry* 2016, 20(26), pp. 2780-2789.
25. Zhang, T. T.; Zhao, Q. B.; Wu, X. Q.; Xu, C.; Zheng, Y. M.; Yu, S. S. Enhancing sulfate reduction and hydrogen sulfide removal through gas stripping in the acidogenesis phase of a two-phase anaerobic process. *Bioresource Technology* 2023, 385, 129381. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129381.
26. Omran, B.A.; Baek, K.-H. Valorization of agro-industrial biowaste to green nanomaterials for wastewater treatment: Approaching green chemistry and circular economy principles. *Journal of Environmental Management* 2022, 311, 114806. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114806.

Citation: Tașca, C. Complex valorization of waste from the alcohol production industry. Journal of Social Sciences, 8 (2), pp. 17-27. https://doi.org/10.52326/jss.utm.2025.8(2).02.

Publisher's Note: JSS stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Copyright:© 2025 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Submission of manuscripts: *jes@meridian.utm.md*