INDICI DE CALITATE AI BIOMASEI ENERGETICE DE *SILPHIUM PERFOLIATUM* ÎN MOLDOVA

QUALITY INDICATORS OF *SILPHIUM PERFOLIATUM* BIOMASS AS AN ENERGY SOURCE IN MOLDOVA

CZU: 581.19:582.998.16(478) **https://doi.org/10.59295/spd2025e.11**

Ana GUȚU
ORCID: 0000-0001-8965-2416
E-mail: ag9152633@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Victor ȚÎȚEI
ORCID: 0000-0002-1961-1536
E-mail: vic.titei@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Mihai GADIBADI
ORCID: 0000-0002-7038-5669
E-mail: mm.gadibadi@gmail.com
Grădina Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru”, Universitatea de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Nicolae DARADUDA
ORCID: 0000-0001-5683-0431
E-mail: nicolae.daraduda@tran.utm.md
Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Republica Moldova

Andreea ANDREOIU
ORCID: 0009-0001-3709-275X
E-mail: andreea.ciopata@yahoo.com
Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști, Brașov, România

Simona ACATRINEI (DUMITRIU)
ORCID: 0009-0003-7026-137X
E-mail: scdp_vs@yahoo.com
Research and Development Station for Meadows, Vaslui, Romania

Mihai STAVARACHE
ORCID: 0000-0002-3133-3372
E-mail: scdp_vs@yahoo.com
Research and Development Station for Meadows, Vaslui, Romania

Cristian GAVRILĂ
ORCID: 0009-0003-0584-7745
E-mail: scdp_vs@yahoo.com
Research and Development Station for Meadows, Vaslui, Romania

Veaceaslav MAZĂRE
ORCID: 0009-0003-1751-8762
E-mail: valentin.mazare@gmail.com
Universitatea de Științe ale Vieții „Regele Mihai I" din Timișoara, Timișoara, România

Romina MAZĂRE
ORCID: 0000-0002-1247-5551
E-mail: m.romina@gmail.com
Universitatea de Științe ale Vieții „Regele Mihai I" din Timișoara, Timișoara, România

Summary. *The goal of this study was to evaluate the quality indicators of the biomass from the local cultivar 'Vital' of Silphium perfoliatum cultivated in experimental plots at the National Botanical Garden (Institute) of Moldova State University, Republic of Moldova, for energy purposes. The results showed that the biochemical composition of the dry matter of green mass substrates was characterized by the following key indicators: 506.11-508.89 g/kg carbon, 18.72-26.56 g/kg nitrogen, 117-166 g/kg crude protein, 84-89 g/kg ash, 46-60 g/kg acid detergent lignin, 306- 316 g/kg cellulose, 202-239 g/kg hemicellulose. The Silphium perfoliatum green mass substrates used for anaerobic digestion had a C/N ratio of 19–27, with an optimal content of acid detergent lignin and hemicellulose. The biochemical methane potential varied from 310 to 341 L/kg ODM. The collected dry stems of Silphium perfoliatum, processed into solid fuels such as briquettes and pellets, exhibited optimal ash and volatile matter content, as well as a favorable net calorific value.*

Keywords: *biochemical composition, biochemical methane potential, briquettes, green mass substrates, Silphium perfoliatum.*

INTRODUCERE

Asigurarea cu resurse energetice este un subiect de actualitate la nivel global și regional. Înlocuirea petrolului, cărbunelui, gazelor naturale cu alternative de energie regenerabilă a devenit o problemă globală majoră a secolului XXI și o cheie pentru dezvoltarea unei economii durabile. Sursele de energie din biomasă, cum ar fi tocătura, biocombustibili solizi densificați în formă de brichete și peleți, bioetanolul, biodieselul și producția de biometan, pot juca un rol important în ceea ce privește furnizarea de

energie și prezintă o sursă de energie renovabilă cu efecte pozitive socio-economice și de protecție a mediului înconjurător.

Republica Moldova nu dispune de zăcăminte fosile de petrol și gaze, iar suprafața cu păduri este mică și nu poate asigura necesarul de lemn de foc pentru uz casnic și industrial. Colectarea reziduurilor agricole și producerea de biomasă din culturi energetice pentru obținerea diferitor tipuri de biocombustibili este promițătoare în acest context [1-3].

Silfia (*Silphium perfoliatum* L.) este o plantă erbacee perenă, policarpică, din familia Asteraceae, originară din America de Nord, caracterizată prin fotosinteză de tip C3. Are o tulpină erectă, cu patru muchii, acoperită de perișori, de culoare verde deschis, iar înălțimea plantei variază între 250 și 370 cm. Frunzele bazale sunt prevăzute cu pețiol, având un limb de culoare verde închis. Frunzele de pe tulpină, de culoare verde mai deschis, sunt concrescute și formează o cupă care permite acumularea de rouă, contribuind astfel la valorificarea eficientă a umidității și a radiației solare. Inflorescența este de tip calatidiu, alcătuită din mai multe flori, iar perioada de înflorire este extinsă, cu o durată de aproximativ 51-60 de zile. Această plantă constituie o sursă importantă de polen și nectar pentru albine și alte insecte utile. Fructele se coc neuniform, iar întârzierea recoltării poate duce la pierderi semnificative de semințe. Masa a 1000 de fructe este, în medie, de 22–24 g. *Silphium perfoliatum* se înmulțește prin semințe și răsad. Semănatul se poate efectua toamna târziu, la o adâncime de 3-5 cm, sau primăvara devreme, utilizând semințe în prealabil stratificate. Distanța recomandată între rânduri poate fi de 45 sau 70 cm. Plantulele răsar uniform primăvara și sunt rezistente la înghețurile târzii de sezon. Răsadurile se produc în palete cu substrat și se plantează în luna mai, utilizând mașini de plantat legume, cu o densitate de 70.000-80.000 de plante/ha. O plantanție de *Silphium perfoliatum* poate fi menținută pe același teren timp de 15-20 de ani, cu un potențial productiv de până la 120 t/ha/an de masă proaspătă sau 15-20 t/ha/an de substanță uscată. Specia *Silphium perfoliatum* prezintă interes pentru integrarea în circuitul bioeconomic, fiind studiată și introdusă în cultură în mai multe țări, inclusiv ca plantă energetică[4-19].

Scopul cercetării a constat în determinarea indicilor de calitate a biomasei energetice din plantele de *Silphium perfoliatum*, ca substrat pentru stațiile de biogaz și materie primă pentru obținerea biocombustibililor densificați în formă de brichete și peleți.

MATERIAL ȘI METODĂ

În calitate de obiect de studiu a servit plantele de silfie *Silphium perfoliatum*, soiul local 'Vital', creat la Grădină Botanică Națională (Institut) „Alexandru Ciubotaru" a Universității de Stat din Moldova, înregistrat în Catalogul Soiurilor de Plante anul 2012 și brevetat la Agenția de Stat de Proprietate Intelectuală din Republica Moldova în anul 2016. Plante de silfie pentru evaluarea indicilor de calitate ai substratului pentru obținerea biometanului au fost recoltate anul trei de vegetație la demararea înfloririi și în anul șapte de vegetație la finele înfloririi. Pentru a evalua indicii de calitate, plantele de silfie recoltate au fost tocate și deshidratate într-o etuvă cu ventilație forțată la 60°C,

iar după uscarea completă, materialul biologic a fost măcinat fin cu ajutorul unei mori de laborator cu bile. Evaluarea conținutului de proteina brută (CP), cenușă brută (CA), hidrați de carbon structurali și lignină s-a realizat aplicând metoda spectrofotometriei în infraroșu apropiat cu utilizarea echipamentului tehnic PERTEN DA 7200 din cadrul Institutul de Cercetare-Dezvoltare pentru Pajiști Brașov, România cu metode standardizate. Conținutul de celuloză (Cel) și hemiceluloză (HC) a fost estimat utilizând ecuații recunoscute în literatură. Procentul de carbon din materia organică a fost determinat pe baza formulei propuse de Badger et al. [20]. Potențialul de generare a biogazului și randamentul specific de metan au fost calculate în funcție de conținutul de proteină brută și de compoziția chimică a pereților celulari, lignină sulfurică și hemiceluloză, din masa proaspăt recoltată, conform ecuațiilor publicate de Dandikas et al. [21].

Biomasa uscată tulpini a fost recoltată la începutul lunii martie din parcelele experimentale. Tulpinile de *Silphium perfoliatum* 'Vital' au fost recoltate manual, ulterior fiind tocate la utilajul staționar. Pentru producerea peleților, biomasa tocată a fost măcinată la moara cu ciocane SV7 echipată cu site cu orificii cu diametrul de 4 mm, iar pentru obținerea brichetelor – au fost utilizate site cu orificii cu diametrul de 10 mm. Brichetarea s-a realizat la linia Briklis BrikStar 50, iar peletarea la echipamentul MLG 200 din cadrul Laboratorului de Cercetări Științifice Biocombustibili Solizi al Universității Tehnice din Moldova. Evaluarea indiciilor de calitate a biomasei uscate, a biocombustibilului solid – brichete și peleți – s-a efectuat în conformitate cu standardele în vigoare SM EN ISO 18134, SM EN ISO 18122; SM EN ISO 18125; SM EN ISO 17828, SM EN ISO 18847 [1].

REZULTATE ȘI DISCUȚII

Utilizarea substraturilor vegetale pentru obținerea de biogaz a devenit în ultimele decenii de interes major la nivel global. Generatoarele de biogaz produc de rând cu biometanul, ce urmează a fi utilizat ca sursă de căldură și electricitate, și subproduse valoroase precum digestatul și fugatul, care pot fi utilizate ca un bun fertilizant, bogat în nutrienți disponibili pentru plante, cum ar fi azotul, fosforul și potasiu, care ar putea constitui o alternativă durabilă pentru fertilizanții chimici produși cu utilizarea de combustibili fosili, precum petrolul și gazele naturale.

Este cunoscut faptul că substraturile vegetale pot fi utilizate în generatoarele de biogaz ca masă proaspătă recoltată, dar și ca masă însilozată. Cunoașterea compoziției biochimice a substratului constituie un factor de bază care determină cursul corect al procesului de digestie anaerobă și randamentului de biometan. Bacteriile metanogene necesită de un raport optim de carbon-azot pentru desfășurarea proceselor metabolice, întrucât raporturile mai mari de C/N=30:1 s-au dovedit a fi nepotrivite pentru o digestie optimă, iar raporturile mai mici de 10:1 s-au dovedit a fi inhibitoare, din cauza pH-ului scăzut, a capacității de tamponare slabe și a concentrațiilor mari de amoniac în substrat [22,23]. Datele privitor la indicii de calitate a substratului pentru digestia anaerobă în stațiile de biogaz din plantele recoltate de *Silphium perfoliatum* și potențialul de obținere

a biometanului sunt redate în Tabelul 1. S-a stabilit că substraturile cercetate de *Silphium perfoliatum* se caracterizează printr-un conținut de azot de 18.72-26.56 g/kg și carbon de 506.11-508.89 g/kg, și un raport favorabil pentru buna funcționare a stațiilor de biogaz de C/N= 19.07-27.08. Concentrația de lignină sulfurică variază de la 46 g/kg la 60 g/kg, iar de hemiceluloză de la 202 g/kg la 230 g/kg. Am putea menționa că potențialul estimat de obținere a biometanului variază de la 310 la 341 l/kg materie organică, sau 284-306 l/kg substanță uscată. Substratul de *Silphium perfoliatum* colectat la demararea înfloririi are un conținut redus de lignină sulfurică și poate asigura un potențial biochimic de obținere a biometanului de 341 l/kg materie organică.

Tabelul 1. Indicii de calitate și potențialul de obținere a biometanului din masa proaspătă de de *Silphium perfoliatum* în dependență de perioada recoltării.

Indici	**Anul de vegetație**	
	trei	**șapte**
Carbon, g/kg	506.11	508.89
Azot, g/kg	26.56	18.72
Raportul carbon / azot (C/N)	19.06	27.18
Proteină brută, g/kg	166	117
Lignină sulfurică (ADL), g/kg	46	60
Cenușă brută (CA), g/kg	89	84
Celuloză (Cel), g/kg	306	316
Hemiceluloză, g/kg	202	279
Potențial biometan, l/kg MO	341	310
Potențial biometan, l/kg SU	306	284

Conform investigațiilor realizate de Vetter și col. [24] randamentul de obținere a metanului în substratul de *Silphium perfoliatum* atinge valori de 133.1-208.3 l/kg or 4583-7567 m^3/ha, iar în substratul de *Zea mays* – 146.6-212.2 l/kg or 4281-8569m^3/ha. Mast și col. [24]au raportat că în dependență de perioada de recoltare a plantelor de *Silphium perfoliatum* randamentul de obținere a metanului variază de la 232 la 274 l/kg materie organică. Gansberger și col. [4]notează că substraturile de *Silphium perfoliatum* pregătite la finele perioadei de înflorire ating un potențial de biometan de circa 260 l/kg substanță uscată. Haag și col. [6]au stabilit că randamentul de obținere a metanului în substratul de *Silphium perfoliatum* este de aproximativ 227-251 L/kg materie organică. Herrmann și col. [25] remarcă că substratul de silfie se caracterizează printr-un raport carbon azot de C/N=35-46, iar potențialul de biometan variază de la 181.6 ia 237.6l/kg materie organică. Vishnevskaya [7] a stabilit că, în dependență de norma de fertilizare, substraturile de *Silphium perfoliatum* prezintă un potențial de 232- 235 l/kg materie organică sau 3065-4715 m^3/ha. Ruf & Emmerling [8] reportează că potențialul biochimic de metan a substraturilor din plantele de silfie variază de la 236 la 282 l/kg materie organică. Ustak & Muñoz [10] au stabilit că potențialul de biometan a substratului de *Silphium perfoliatum* atinge 276 l/kg materie organică. Zhang și col. [11] notează că

substratul de *Silphium perfoliatum* prezintă un potențialul de biometan de 228- 345 l/kg materie organică. Siwek și col. [14] reportează că potențialul biochimic a de obținere a biogazului în substraturile de silfie variază de la 483 la 504 L/kg substanță uscată, cu o concentrație de biometan de 51.1-52.9%. Peni și col. [15] au stabilit că potențialul de biometan în substraturile de *Silphium perfoliatum* variază de la 193.59 la 243.61 L/kg substanțe volatile. Von Cossel și col. [16] menționează că substratul de S*ilphium perfoliatum* are o concentrație 34.6 % fibra detergent acidă, 52.0 % fibră detergent neutru, 6.7% lignină sulfurică, 37.9% celuloză, 7.4% hemiceluloză, 9.2% cenușă cu un randament specific de metan de 264.7 l/kg materie organică. Witaszek și col. [18]menționează că substratul de *Silphium perfoliatum* netratat conține 665.6 g/kg substanțe uscate, 82.53% materie organică, 21.62 % lignină, 30.96% celuloză, 22.6 % hemiceluloză cu un randament de metan de 204 L/kg, pe când substratul tratat conține 725.9-903.4 g/kg substanțe uscate, 83.47-87.74% materie organică, 19.71-23.68 % lignină, 21.07-30.49% celuloză, 18.41-20.56 % hemiceluloză, iar potențialul de biometan atinge valori de 244-255 l/kg. Kemmann și col. [19] au stabilit că potențialul de biometan în substratul din plantele de silfie atinge 296.8 ± 50.6 l/kg substanțe volatile, comparativ cu potențialul de biometan de 383.3 ± 37.4 l/kg substanțe volatile a substratului de porumb. Baumgart și col. [28] reportează că randamentul de obținere a metanului în substraturile de *Silphium perfoliatum* variază în dependență de perioada de recoltare, de la 167 la 257 l/kg materie organică.

În rezultatul cercetărilor efectuate s-a stabilit că plantele de *Silphium perfoliatum*, recoltate în perioada de repaus, luna Martie, au un conținut de umiditate în tulpini de 9.74-10.84%, și pot fi utilizate la fabricarea de biocombustibili solizi densificați în formă de brichete și peleți. Indicii de calitate a biomasei și biocombustibililor solizi din plantele de *Silphium perfoliatum* șunt prezentați în Tabelul 2. S-a stabilit că biomasa tocată de *Silphium perfoliatum* are un conținut de cenușă de 3.01- 4.54% și valoare calorică brută de 18.54-18.72 MJ/kg. Brichetele obținute se caracterizează printr-o încărcătură energetică de 15.03-15.45 MJ/kg energie netă și densitatea în vrac de 533-541 kg/m^3, iar peleții obținuți au o densitate în vrac de 555-575 kg/m^3 și încărcătură energetică de 15.11-15.48 MJ/kg energie netă. Conform datelor prezentate de Frączek și col. [29], biomasa de silfie tocată are o densitate specifică de 210 kg/m^3, valoare energetică de 17.3 MJ/kg și un conținut de cenușă de 3.4%, brichetele produse au o densitate specifică de 920 kg/m^3 și o durabilitate de 93.1%. Bury și col. [30] raportează că biomasa de *Silphium perfoliatum* conține 3.10% - 4.08% cenușă, 33.7-34.5% carbon, 1.37-1.62% azot, 0.06-0.07% fosfor, 0.08-0.09% potasiu, 0.05-0.09% sulf și are o valoarea calorifică netă de 16.26 -16.95 MJ/kg. Peni et. al. [16] menționează că biomasa de *Silphium perfoliatum* conține 8.47% cenușă, 24.47% celuloză, 14.80% celuloză, 8.29% lignină, 18.51% carbon fixat, 73.02% materii volatile, 17.73MJ/kg energie netă. Šurić et al. [31] raportează că biomasa de *Silphium perfoliatum* se caracterizează printr-o concentrație de 5.86% cenușă, 9.28% carbon fixat, 74.45% materii volatile, 15.46 MJ/kg energie brută și 14.54 MJ/kg energie netă. Tóth [32] a stabilit că tulpinile de silfie conțin 31.3-48.94% fibră în detergent acid, 7.21-12.54% lignină sulfurică, 24.11-37.30% celuloză, 2.33-5.75% hemiceluloză, 34.94-54.69% fibră în detergent neutru și 15.21-16.79 MJ/kg energie brută [24]. Witaszek și col. [18] raportează că plantele de

Silphium perfoliatum recoltate conțin 7.17% umiditate, 15.78 MJ/kg energie brută și 14.08 MJ/kg energie netă. În cercetările noastre anterioare (Țîței, 2023) s-a stabilit că biomasa de silfie se caracterizează printr-o concentrație de 3.0-3.83% cenușă, 45.07% carbon, 0.21% azot, 5.96% hidrogen, 0.03% sulf, 18.65 MJ/kg energie brută, 16.7 MJ/kg energie netă, iar biocombustibilii solizi au o densitate specifică de 949-1048 kg/m^3 [33].

Tabelul 2. Proprietățile fizice și mecanice a biomasei și biocombustibililor solizi din plantele de *Silphium perfoliatum.*

Indici	**Anul de vegetație**	
	trei	**șapte**
Umiditatea tulpinilor recoltate,%	9.74	10.64
Densitatea în vrac a biomasei tocate, kg/m^3	78.00	58.80
Densitatea în vrac a biomasei măcinate pentru brichetare , kg/m^3	146.10	122.80
Densitatea în vrac a biomasei măcinate pentru peletare, kg/m^3	149.65	142.80
Conținut de cenușă în biomasa măcinată , %	3.01	4.24
Conținut de materii volatile în biomasa măcinată, %	79.10	76.40
Valoarea calorifică brută în biomasa măcinată, MJ/kg	18.72	18.54
Valoarea calorifică netă în biomasa măcinată, MJ/kg	17.43	17.21
Densitatea în vrac pentru brichete, kg/m^3	540.90	533.20
Densitatea în vrac pentru peleți, kg/m^3	575.00	555.00
Valoarea calorifică netă pentru brichete, MJ/kg	15.45	15.03
Valoarea calorifică netă pentru peleți, MJ/kg	15.48	15.11

CONCLUZII

Soiul local ‘Vital’ de *Silphium perfoliatum*, recoltat în al treilea an de vegetație, se remarcă printr-un conținut ridicat de proteină brută și un nivel redus de carbohidrați structurali. Biomasa acestei specii prezintă un echilibru optim între proteina brută și carbohidrații structurali, ceea ce o face potrivită ca substrat pentru producerea biometanului în stațiile de biogaz, contribuind astfel la generarea de energie regenerabilă.

Tulpinile soiului ‘Vital’, recoltate în perioada de repaus vegetativ (luna martie), au un conținut de umiditate cuprins între 9,74-10,84% și un conținut de cenușă între 3,01 și 4,24%. Aceste caracteristici permit recomandarea acestui soi pentru fabricarea de biocombustibili solizi densificați, precum brichetele și peleți. Produsul finit are o valoare calorifică netă între 15,03–15,48 MJ/kg și o densitate în vrac de 533–575 kg/m³, reprezentând astfel o alternativă viabilă la lemnul de foc colectat din pădure.

REFERINȚE:

1. MARIAN, G. *Biocombustibili solizi, producere şi proprietăţi*. “Bons Offices” Publishing House, Chişinău, 2016. ISBN 978-9975-87-166-2.

2. ȚÎȚEI, V., ROȘCA, I. *Bunele practici de utilizare a terenurilor degradate în cultivarea culturilor cu potențial de biomasă energetică*: Ghid practic pentru producătorii agricoli. Chișinău, 2021. 80p. ISBN 978-9975-87-778-7
3. DARADUDA N. *Valorificarea biomasei culturilor energetice pentru producerea biocombustibililor solizi densificați.* Teză de doctor în științe inginerești. Chișinău, 2024. 174p. *https://anacec.md/files/Daraduda-teza.pdf*
4. GANSBERGER, M., MONTGOMERY, L.F.R., LIEBHARD, P. Botanical characteristics, crop management and potential of *Silphium perfoliatum* L. as a renewable resource for biogas production: a review. In: *Industrial Crops and Products*. 2015. no. 63, p. 362-372.
5. CUMPLIDO-MARIN, L., GRAVES, A.R., BURGESS, P.J., MORHART, C., PARIS, P., JABLONOWSKI, N.D., FACCIOTTO, G., BURY, M., MARTENS, R., NAHM, M. 2020. Two novel energy crops: *Sida hermaphrodita* (L.) Rusby and *Silphium perfoliatum* L.-state of knowledge. In: *Agronomy*. no.10 (7):928. DOI: *https://doi.org/10.3390/agronomy10070928* (Accesat la 15.05.2025)
6. HAAG, N.L., NAEGELE, H-J., REISS, K., BIERTÜMPFEL, A., OECHSNER, H. Methane formation potential of cup plant (*Silphium perfoliatum*). In: *Biomass and Bioenergy*. 2015. no.75, p. 126–133.
7. VISHNEVSKAYA O.V. 2017. Alternative sources of vegetative mass for biofuels in Polissia zone. In: *Agricultural Science and Practice*. no.4(3), p.35-42.
8. RUF, T., EMMERLING, C. Biomass partitioning and nutrient fluxes in *Silphium perfoliatum* and silage maize cropping systems. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, no.124(3), p.389-405.
9. ȚÎȚEI, V. Plant species for renewable energy production in the Republic of Moldova. *Scientific Papers. Series A. Agronomy,* 2015, no.58, p:425-431. ISSN 2285-5750
10. USTAK, S., MUNOZ, J. Cup-plant potential for biogas production compared to reference maize in relation to the balance needs of nutrients and some microelements for their cultivation. In: *Journal of Environmental Management*. 2018. no. 228: 260–266.
11. ZHANG, Y., KUSCH-BRANDT, S., SALTER, A.M., HEAVEN, S. Estimating the methane potential of energy crops: an overview on types of data sources and their limitations. In: *Processes* 2021, 9, 1565. https:// doi.org/10.3390/pr9091565 (Accesat la 15.05.2025).
12. ENDE L.M.; LAUERER M. Spreading of the cup plant (*Silphium perfoliatum*) in northern Bavaria (Germany) from bioenergy crops. In: *NeoBiota*, 2022, no.79, p.87–105.
13. ȚÎȚEI V. The mobilization of energy crop resources in Moldova. In. *Romanian Agricultural Research*. 2023. no.40, p.646-654. *https://www.incda-fundulea.ro/rar/nr40/rar40.3.pdf*
14. SIWEK, H., WŁODARCZYK, M., MOŻDŻER, E., BURY, M., KITCZAK, T.

2019. Chemical composition and biogas formation potential of *Sida hermaphrodita* and *Silphium perfoliatum*. In: *Applied Sciences*.no. 9, p. 4016. *doi:10.3390/app9194016 (*Accesat la 15.05.2025*).*

15. CÎRLIG, N. Entomofaunistic study on the species *Silphium perfoliatum* L. în the Republic of Moldova. *Scientific Papers. Section A. Agronomy.* 2022, no.65(2), p. 348-353.
16. PENI, D., DĘBOWSKI, M., STOLARSKI, M.J. Influence of the fertilization method on the Silphium perfoliatum biomass composition and methane fermentation efficiency. In: *Energies*. 2022, no.15, p.927. *https:// doi.org/10.3390/en15030927(*Accesat la 15.05.2025*).*
17. VON COSSEL M., AMARYSTI C., WILHELM H., PRIYA N., WINKLER B., HOERNER L. The replacement of maize (*Zea mays* L.) by cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) as biogas substrate and its implications for the energy and material flows of a large biogas plant. In: *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2020. no. 14(2). 10.1002/bbb.2084 *(*Accesat la 15.05.2025*).*
18. WITASZEK, K., HERKOWIAK, M., PILARSKA, A., CZEKAŁA, W. Methods of handling the cup plant (*Silphium perfoliatum* L.) for energy production. In: *Energies*. no. 15 (5), p. 1897. *https://doi.org/10.3390/en15051897 (*Accesat la 15.05.2025*).*
19. KEMMANN, B., RUF, T., WELL, R., EMMERLING, C., FUB. R. Greenhouse gas emissions from *Silphium perfoliatum* and silage maize cropping on stagnosols. In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2022. no.186, p.79–94.
20. BADGER, C.M., BOGUE, M.J., STEWART, D.J. Biogaz production from crops and organic wastes. In*: New Zeland Journal of Science*. 1979. no.22, p.11 -20.
21. DANDIKAS, V., HEUWINKEL, H., LICHTI, F., DREWES, J. E., KOCH, K. Correlation between biogaz yield and chemical composition of grassland plant species. In: *Energy Fuels*. 2015, no. 29(11), p. 7221–7229.
22. CHOI, Y., RYU, J., LEE S.R. Influence of carbon type and carbon to nitrogen ratio on the biochemical methane potential, pH, and ammonia nitrogen in anaerobic digestion. *Journal of Animal Science and Technology*.2020. no. 62(1), p. 74-83. doi: 10.5187/jast.2020.62.1.74
23. VINTILĂ, T., GHERMAN, V., BURA, M., DRAGOMIRESCU, M., ILIE, D., JULEAN, C., NEO, S. I. Biogas generation from corn stalks and corn stalks bagasse resulted from ethanol production. *Romanian Biotechnological Letters*, 2013, no.*18*(6), p.8812-8822.
24. VETTER, A., CONRAD, M., BIERTÜMPFEL, A.. Energiepflanzen für die Biogasproduktion – Teilvorhaben 2: Optimierung der Verfahrenskette der Bereitstellung und Nutzung von Energiepflanzen zur Kofermentation im Biogasreaktor (Abschlussbericht No. 42.22.430). Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Jena. 2007. 72p.
25. MAST, B., LEMMER, A., OECHSNER, H., REINHARDT-HANISCH, A.,

CLAUPEIN, W., GRAEFF-HÖNNINGER, S.. Methane yield potential of novel perennial biogas crops influenced by harvest date. In: *Industrial Crop and Products*. 2014. no. 58, p.194–203.

26. HERRMANN, C., IDLER, C., HEIERMANN, M. 2016. Biogas crops grown in energy crop rotations: linking chemical composition and methane production characteristics. In: *Bioresource Technology*. no.206: p.23-30.
27. SIWEK, H., WŁODARCZYK, M., MOŻDŻER, E., BURY, M., KITCZAK, T. 2019. Chemical composition and biogas formation potential of *Sida hermaphrodita* and *Silphium perfoliatum*. In: *Applied Sciences*.no. 9, p. 4016. *doi:10.3390/app9194016 (*Accesat la 15.05.2025*).*
28. BAUMGART, M., HÜLSEMANN, B., SAILER, G., OECHSNER, H., MÜLLER, J. Effects of harvest date and ensiling additives on the optimized ensiling of *Silphium perfoliatum* to prevent faulty fermentation. In: *Agriculture*, 2024, 14, 1363. *https://doi.org/10.3390/agriculture14081363 (*Accesat la 15.05.2025*).*
29. FRĄCZEK, J., MUDRYK, K., WRÓBEL, M. *Rożnik przerośnięty Silphium perfoliatum* L. –źródło biomasy do produkcji biopaliw stałych. (Cup plant *Silphium perfoliatum* L.-biomass source for biofuels production). In: *Inżynieria Rolnicza*, 2011, no.6(131), p.21-27.
30. BURY, M., MOZDZER, E., KITCZAK, T., SIWEK, H., WLODARCZYK, M. 2020. Yields, calorific value and chemical properties of cup plant *Silphium perfoliatum* L. biomass, depending on the method of establishing the plantation. In: *Agronomy*. 10 (6): 10060851. DOI: https://doi.org/10.3390/agronomy10060851 *(*Accesat la 15.05.2025*).*
31. ŠURIĆ, J., ŠIC ŽLABUR, J., PETER, A., BRANDIĆ, I., VOĆA, S., DUJMOVIĆ, M., LETO, J., VOĆA, N. 2022. Energy vs. nutritional potential of virginia mallow (*Sida hermaphrodita* L.) and cup plant *(Silphium perfoliatum* L.). In: *Plants*. 2023. no.11, p.2906. *https://doi.org/10.3390/plants112129 06 (*Accesat la 15.05.2025*).*
32. TÓTH, Š. Ligno-cellulose quality and calorific value of green phytomass of *Silphium perfoliatum* L. cultivated on marginal soils under conditions of moderate continental climate of Central Europe. In: *Journal of Central European Agriculture*. 2023. no. 24(2), p.391-402.
33. ŢÎŢEI V. 2023. The mobilization of energy crop resources in Moldova. In. *Romanian Agricultural Research*. 2023. no.40, p.646-654. *https://www.incda-fundulea.ro/rar/nr40/rar40.3.pdf* .

N.B. *Suport în realizarea cercetărilor proiectul de cercetare ”Mobilizarea resurselor genetice vegetale, ameliorarea soiurilor de plante și valorificarea lor ca și culturi furajere, melifere și energetice în circuitul bioeconomic” cu cifrul 20.80009.5107.02 și subprogramul,, Identificarea formelor valoroase de resurse vegetale cu utilitate multiplă pentru utilizare în economia circulară” cu cifrul 010102.*