

SAT-LCR-P-2-CT(R)-03

WASTE TO BIOFUEL: UTILIZATION OF WASTE DAIRY SCUM FOR SUSTAINABLE SYNTHESIS OF BIODIESEL - BULGARIAN SCALE

Chief Assit. Prof. Desislava Nikolova, PhD

Department "Material science and technology"

Faculty of Technical Sciences

University "Prof. d-r Assen Zlatarov" – Burgas

E-mail: desislava_nikolova@btu.bg

Eng. Evgeniy Ganev, PhD

Eng. Yunzile Dzhelil, PhD

Laboratory "Process System Engineering", Institute of Chemical Engineering,

Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria

E-mail: evgeniy_ganev@abv.bg

E-mail: unzile_20@abv.bg

Eng. Konstantina Galcheva

Faculty of Technical Sciences

University "Prof. d-r Assen Zlatarov" – Burgas

E-mail: inka_selena@abv.bg

Abstract: *The transformation of waste into energy, respectively into fuel is one of the main issues to be solved in achieving the developed low-carbon society. Despite this, in the waste-to-energy studies, the possibilities for the utilization of alternative organic wastes have not been comprehensively considered. In order to achieve a balanced solution to this problem, improvements and innovations are needed in terms of strategic management of resources (in particular potential energy resources), ensuring healthy ecosystems and a sustainable economy.*

The presented study focuses on the production of biodiesel based on waste generated in the dairy industry. The article investigates the design of an efficient supply chain, in order to minimize the total costs of operating the chain, providing an optimal scenario for reducing the environmental impact of the entire chain. A mathematical model has been developed which is defined in the field of MILP. The task was solved with the GAMS software package and was assigned to the territory of the Republic of Bulgaria.

Keywords: *Biodiesel, Sustainability, Waste, Dairy, Supply Chain*

ВЪВЕДЕНИЕ

Усложнените световна политическа, финансова и енергийна ситуации са съпроводени от една страна с непрекъснато увеличение употребата на суровини и енергия, а от друга са пряко свързана с покачващата се цена и несигурност при доставките на енергия. Наред с това непоколебим стои въпросът за спазване изискванията на околната среда. Поради това, хората ще трябва да използват по-често енергия от устойчиви източници, за да постигнат неутрални въглеродни емисии в прехода към енергийна независимост.

Органичните отпадъци от растителен и животински продукти са били добре познати на човечеството като енергийни носители още от древни времена. Поради високия си енергиен потенциал отпадната биомаса се изгаря и до днес в централите за изгаряне на отпадъци. Негативите при изгаряне, опасенията относно изменението на климата и нарастващите разходи за енергия драстично увеличават интереса към използване на алтернативни въглеродно - неутрални енергийни носители.

Напоследък използването на течни биогорива в транспортния сектор показва бърз глобален растеж, движен най-вече от политики насочени към постигане на енергийна

сигурност и смекчаване на емисиите парникови газове (IEA, 2007). Чрез сключването на Европейския зелен пакт Европейският съюз се стреми да постигне неутралност по отношение на климата до 2050г. С приемането му Европейският съюз и неговите държави членки са правно ангажирани да намалят нетните емисии на парникови газове в ЕС с поне 55 % до 2030 г. в сравнение с равнищата от 1990 г (European Green Deal, 2019).

За намаляване на въглерода в енергийния сектор непрекъснато се изследват алтернативни горива. Те са по-чисти с по-малък въглероден отпечатък. Сред тези горива е биодизелът - ново поколение устойчиво гориво, което може да замени изкопаемите горива или да се смеси с конвенционален дизел (Meng, X., 2009; Zahan, K., 2018). Биодизелът е вид биогориво, което се произвежда от растително масло, животинска мазнина или използвано олио за готвене чрез различни основни химични процеси (Dutta, K., 2014). Но цената на биодизела е по-висока от тази на стандартния дизел, което е основна бариера това биогориво да бъде разглеждано като печеливш елемент (Sivakumar, P., 2011). Близко 85% от производствените разходи за биодизел са пряко свързани със суровините (Demirbas, A., 2009). Защо е необходимо да се плаща този значителен разход, за да бъде биодизелът истинска опция на конвенционалния дизел? Напрегнатата ситуация се задълбочава, защото голяма част от населението на Земята изпитва трудности при осигуряването на храна, а традиционните източници на биомаса (рапица, слънчоглед и др.) заемат големи земеделски площи.

Все повече интерес предизвикват източниците на биомаса с кратък жизнен цикъл, които не се нуждаят от обработваема земя. Такива са например микробни масла, клетъчна биомаса, водорасли и други (Kumar, S., 2019; Yellapu, K., 2019). Секторът на хранително-вкусовата промишленост и в частност млекопреработването генерира значителни количества отпадъчна биомаса с голяма концентрация на мазнини (Kavitha, V., 2019). Биомасата, която е резултат от дейността на млекопреработвателните предприятия може да се третира като надеждна суровина за производството на биодизел (Yatih, K., 2022). От друга гледна точка комерсиализирането на биодизела е свързано с изграждане на устойчиви ресурсно осигурителни вериги (Allen, J., 1998).

Представената работа изследва проектирането на устойчива верига за доставки на биодизел, с цел минимизиране общите разходи при работа на РОВ, като се осигури оптимален сценарий за редуциране на въздействието върху околната среда на цялата верига. Разработен е математичен модел, който е дефиниран в областта на MILP и решен с програмния продукт GAMS. Поставената задача е отнесена към територията на Република България.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Представената оптимизационна процедура, която генерира математичния модел на устойчива ресурсно – осигурителна верига за синтез на биодизел, е съпроводена с предварително набиране и обработване на необходимите данни. В този случай, като основен тип ресурс за производството на биодизел се разглежда отпадна биомаса, получена при производството на четири типа млечни продукти (прясно мляко 3%, кисело мляко 4,5%, бяло саламурено сирене и кашкавал), получени от само от краве мляко.

Входни данни за тестовия пример:

- **Териториално разпределение** – България е разделена на 27 региона, като разглежданата РОВ се състои от: 12 региона - потенциален център за разположение на фермите, производители на мляко; 12 региона за преработка на млякото; 5 потенциални места за разположение на биорафинериите и 27 клиентски зони.

- **Действителното разстояние на доставка между регионите в България за различните видове транспортни средства** - Разстоянията в километри между населените места в България за целите на това изследване са взети от Националната агенция за транспорт (www.rta.government.bg).

- **Ферми, производители на мляко като изходна суровина използвана в млекопреработвателните заводи** - Подбрани са български производители на мляко (като

изходна суровина), имащи право да го изнасят за страни от Европейския съюз (www.old.europe.bg/htmls/page.php?id=7010&category=247).

▪ **Цена на млякото, продавано от фермите на млекопреработвателните заводи.**

Производителност на фермите - Данните за цената на млякото, произвеждано от фермите и продавано на млекопреработвателните предприятия са взети от Министерството на земеделието, храните и горите (www.mzh.government.bg/bg/media/filer_public/2021/02/09/ceni_mliako_2019_2020_vat.xls/). Количеството мляко, произвеждано от фермите е теоретично изчислено въз основа на характеристиката на някои млечни породи крави.

▪ **Капиталови разходи и капацитет на биорафинериите** - Капиталовите разходи на рафинериите сами по себе си представляват фиксирани и променливи капиталови разходи.

▪ **Транспортни разходи за мляко, млечни продукти и отпадна биомаса и емисионни фактори** – Приема се, че всички превози ще се извършват по сухоземните пътища. Транспортните разходи включват три основни компонента: товаро-разтоварителни разходи, времеви зависими и разходи зависими от разстоянието между центровете.

▪ **Времеви интервали. Парични параметри, зависещи от времевите интервали** – Разглежда се дълъг хоризонт на планиране H (10 години). Целият времеви хоризонт H се разделя на набор от дискретни интервали от време t . Този времеви интервал е разделен на няколко равни времеви подинтервали $t = \{0, 1, 2, \dots, T\}$, всяка от които трае $\forall t$. През хоризонта на планиране се приема, че потреблението на млечни продукти ще се промени с прогнозна стойност.

Оптимизационната процедура разглежда ключови дейности по веригата на доставки, в това чило производство на мляко като суровина, преработване на млякото в различни млечни продукти, доставяне до клиентски зони и утилизация на получените отпадни продукти чрез производство на биодизел. Моделът използва общите разходи и емисиите на парникови газове като критерии за ефективност на системата. Моделът е полезен инструмент за управление на РОВ, включително избор на оптимално място на биорафинериите и логистичен дизайн.

Структурата на предложената РОВ включва следните основни елементи: ферми, производители на краве мляко като суровина; млекопреработвателни заводи, в които се произвеждат четири типа млечни продукти (прясно мляко 3%, кисело мляко 4,5%, бяло саламурено сирене и кашкавал); клиентски зони за крайните млечни продукти; биорафинерии.

Модел на икономическа оценка:

$$TDC_t = TIC_t + TPC_t + TDWS_t + TDKN_t + TPI_t + TPW_t + TTC_t + TCO2_t - TB_t - TL_t, \forall t \quad (1)$$

където,

TDC_t - Общи разходи на РОВ за година $[\$/y]$;

TIC_t - Общи инвестиционни разходи за производствен капацитет на РОВ спрямо оперативният период на експлоатация и изкупуването на завода за биодизел на година, $[\$/y]$;

TPC_t - Производствени разходи при производство на общото количество биодизел в заводите за биодизел, $[\$/y]$;

$TDWS_t$ - Разходи за покупка на отпадна биомаса за производство на биодизел, $[\$/y]$;

$TDKN_t$ - Разходи за покупка на мляко за производство на крайните продукти $[\$/y]$;

TPI_t - Производствени разходи при производство на крайните продукти в млекопреработвателните заводи, $[\$/y]$;

TPW_t - Производствени разходи за утилизиране на неизползвания отпадна биомаса за производство на биодизел, $[\$/y]$;

TTC_t - Общи транспортни разходи на РОВ, $[\$/y]$;

$TCO2_t$ - Въглероден данък, начислен според общата сума $[CO_2]$ генериран при работата на РОВ, $[\$/y]$;

TB_t - Приход от продажбата на произведения биодизел от всички инсталирани биоафинерии [$\$/y$];

TL_t - Правителствени стимули за производството и потреблението на биодизел, [$\$/y$];

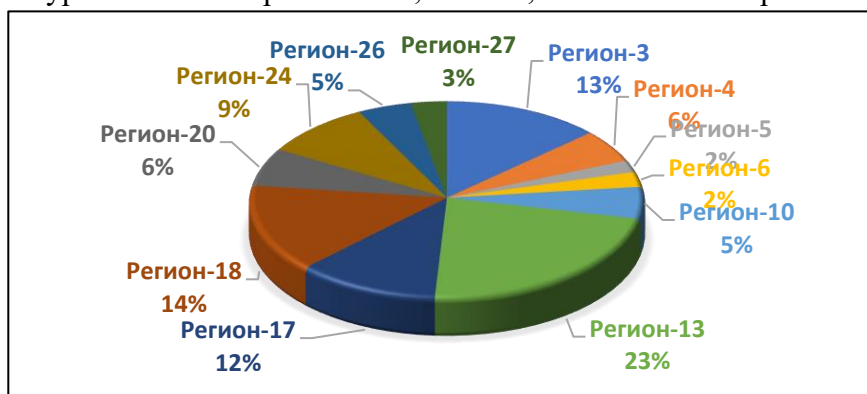
Модел на екологична оценка:

Оценката на екологичното въздействие на всеки етап от жизнения цикъл включва:

- Емисии отделени при производство на крайните продукти в млекопреработвателните заводи;
- Емисии отделени при транспорт на суровини, крайни продукти и отпадна биомаса до съоръженията за производство на биодизел;
- Емисии отделени при утилизацията на не използваното отпадна биомаса за производство на биодизел;
- Емисии отделени при производството на биодизел с използване на отпадна биомаса като изходна суровина.

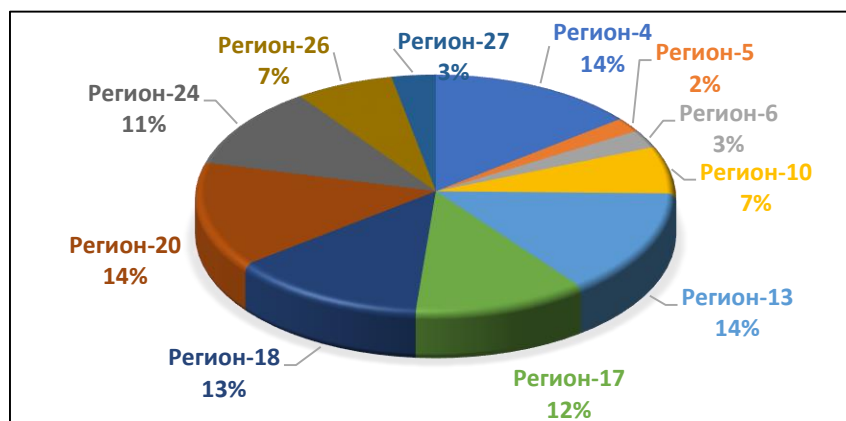
Оптимизационният модел, позволява вземането на решения за инфраструктурата при производство на биогориво, обемите и логистика на транспорта от биомаса до биорафинериите и от биорафинериите до местата за смесване и потребление. Тестовата задача е решена с помощта на специализираният софтуер GAMS. Графичният израз на получените резултати дава възможност за обективна представа на реалното състояние на проблема.

Фигура 1 показва каквво е разпределението на производството на сурово краве мляко по региони. Както се вижда за всички времеви интервали най – голям дял от производството на млякото като суровина заемат региони 13, 17 и 18, а най – малък – региони 5 и 6.



Фиг.1. Общ размер на производството на краве мляко, като суровина, разпределено по региони

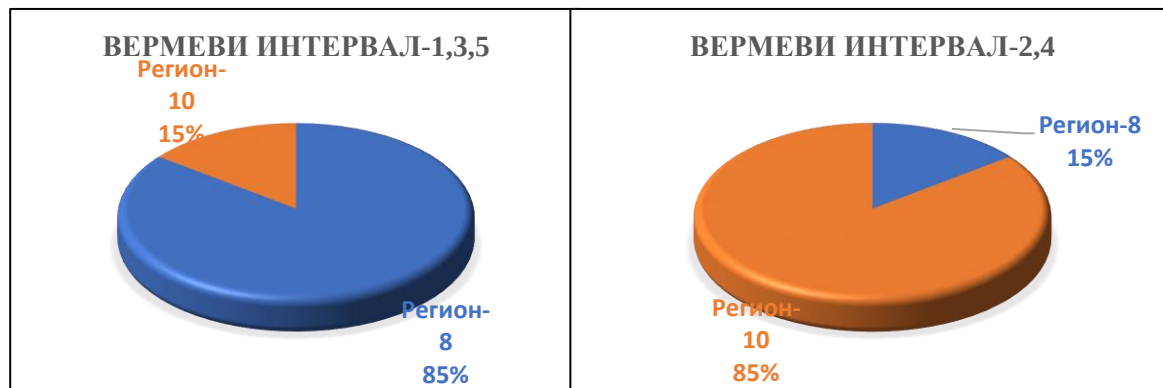
Общият размер на производство на крайни млечни продукти (прясно мляко 3%, кисело мляко 4,5%, бяло саламурено сирене и кашкавал) разпределено по региони за всички времеви интервали е демонстрирано на Фигура 2.



Фиг.2.Общ размер на производството на крайни млечни продукти, разпределено по региони

Вижда се, че за всички времеви интервали най – голям дял от производството на крайни млечни продукти заемат региони 4, 13 и 20; следвани от региони 18,17 и 24.

Общият размер на производство на отпадна биомаса, разпределено по региони е показано на Фигура 3. Анализът показва, че през вермеви интервали 1,3 и 5 в регион 8 се генерира по-голямо количество биомаса, а по време на времевите интервали 2 и 4 по-голямото количество биомаса се генерира в регион 10.



Фиг.3. Общ размер на производството на отпадна биомаса, разпределено по региони.

ИЗВОДИ

Предложен е гъвкав модел за оптимизация (на POB), основан на смесено целочислено линейно програмиране. Решен е тестов пример за територията на република България. Подходът се базира на намиране икономическата устойчивост, като данните за екологичната оценка са внедрени в критерия за оптимизация. Самият модел представлява полезен инструмент за управление и би могъл лесно да се разшири, за да отговори на въпросите на стратегическото планиране и реновацията на съществуващи POB.

Acknowledgements

The authors would like to thank Bulgarian National Science Fund for the financial support obtained under contract № КП-06-H37/5/06.12.19.

REFERENCES

- Allen, J., Browne, M., Hunter, A., Boyd, J., Palmer, H.,(1998). Logistics management and costs of biomass fuel supply. *Int. J. Phys. Distrib. Logist. Manag.* 28, 463e477. <http://dx.doi.org/10.1108/09600039810245120>
- Demirbas A.H. (2009). Inexpensive oil and fats feedstocks for production of biodiesel, *Energy Education Science And Technology Part A Energy Science And Research*, 23, 1-13.
- Dutta, K., Daverey, A., Lin, J.G. (2014). Evolution retrospective for alternative fuels: first to fourth generation. *Renew. Energy* 69, 114–122. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.02.044>
- European Green Deal (2019) https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- IEA. World energy outlook 2007. Paris: International Energy Agency; 2007
- Kavitha, V., Geetha, V., Jacqueline, P.J., (2019). Production of biodiesel from dairy waste scum using eggshell waste. *Process Saf. Environ. Prot.* 125, 279–287. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.03.021>
- Kumar, S.J., Banerjee, R., (2019). Enhanced lipid extraction from oleaginous yeast biomass using ultrasound assisted extraction: a greener and scalable process. *Ultrason. Sonochem.* 52, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2018.08.003>
- Meng, X., Yang, J., Xu, X., Zhang, L., Nie, Q., Xian, M. (2009). Biodiesel production from oleaginous microorganisms. *Renew. Energy* 34, 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.04.014>
- Sivakumar P., Anbarasu K., Renganathan S. (2011). Bio-diesel production by alkali catalyzed transesterification of dairy waste scum, *Fuel*, 90, 147-151

Yatish K.V, Harsha Hebbar H.R., Sakar M., Geetha Balakrishnaa R., (2022). A comprehensive review on dairy waste-scum as a potential feedstock for biodiesel production, *Process Safety and Environmental Protection* 160, 921-947, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2022.02.063>

Yellapu, S.K., Klai, N., Kaur, R., Tyagi, R.D., Surampalli, R.Y., (2019). Oleaginous yeast biomass flocculation using bioflocculant produced in wastewater sludge and transesterification using petroleum diesel as a co-solvent. *Renew. Energy* 131, 217–228. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.06.066>

Zahan, K.A., Kano, M. (2018). Biodiesel production from palm oil, its by-products, and mill effluent: a review. *Energies* 11, 2132. <https://doi.org/10.3390/en11082132>

www.rta.government.bg

www.old.europe.bg/htmls/page.php?id=7010&category=247

www.mzh.government.bg/bg/media/filer_public/2021/02/09/ceni_mliako_2019_2020_vat.xls

/