

LOCATION OPTIMIZATION OF THE ELEMENTS OF THE COMBINED DAIRY-BIODIESEL SUPPLY CHAIN

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

Abstract: The paper explored the application of a mixed integer linear programming (MILP) mathematical model for location optimization of the elements of a combined dairy-biodiesel supply chain. Special attention was paid to the optimal design and planning of the supply chain within Bulgaria. The country was divided into twenty-seven regions corresponding to its districts. The purpose was to provide such decision variables that, subject to the system of constraints, minimize the total cost of operating the combined dairy-biodiesel supply chain and to provide the best scenario for reducing the environmental impact of the entire supply chain.

The mathematical model was solved using GAMS software. The proposed master plan can also be applied to different time intervals as well as to different countries or regions by adjusting the necessary modeling data.

Keywords: Supply chain, MILP, Biodiesel, Dairy scum, Economic and environmental criteria

ВЪВЕДЕНИЕ

Съгласно политиките водени от Европейския съюз (ЕС) по отношение на енергийна сигурност и смекчаване на емисиите парникови газове, страните членки се ангажират да предприемат мерки за задържане покачването на средната температура в световен мащаб. В тази връзка, Европейската комисия (ЕК) е приела редица законодателни мерки и инициативи на ниво ЕС. Централно място в политиката на ЕС в областта на енергетиката и климата до 2030 г. е сключването на Европейския зелен пакт (European Green Deal, 2019). Чрез това свое действие Европейският съюз се стреми да постигне неутралност по отношение на климата до 2050 г. С приемането на „Зелената сделка“, ЕС 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 1990г.

Изпълнението на задължителната цел, поставен от ЕС предизвиква все по- голям към източниците на биомаса с кратък жизнен цикъл, които не се нуждаят от обработваема земя (микробни масла, клетъчна биомаса, водорасли и други). Хранителната индустрия и по – конкретно преработката на сурово мляко произвежда отпадъчна биомаса с голяма концентрация на мазнини (Kavitha, V., 2019). Биомасата, генерирана при работа на млекопреработвателните предприятия може да се разглежда като обещаваща суровина за производството на биодизел (Yatih, K., 2022). В друг аспект, превръщането на биодизела в източник на печалба е свързано с проектиране на подходящи ресурсно - осигурителни вериги (POB) (Allen, J., 1998).

В настоящото проучване се представя приложение на математичен модел на смесеното целочислено програмиране (MILP) за оптимизиране местоположението на елементите на комбинирана верига за доставки на млечни продукти и биодизел за територията на Република България. Страната е разделена на двадесет и седем региона, съответстващи на нейните области. Целта е да се минимизират общите разходи за експлоатация и да се осигури най-добрия сценарий за намаляване на въздействието върху околната среда за целия живнен цикъл на веригата за доставки.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Конфигурацията на комбинирана верига за доставки на млечни продукти и биодизел може да включва:

- **Ферми**, в които се произвежда набор от различни видове мляко (краве, овче, козе мляко и др.);
- **Млекопреработвателни заводи**, в които се произвеждат съответните крайни млечни продукти (сирене, прясно и кисело мляко, кашкавал и др.);
- **Инсталации за производство на биодизел** (биорафинерии);
- **Потребители на млечни продукти (Клиентски зони)** - местата за доставяне на произведените крайните млечни продукти.

Комбинираната верига за доставки включва и транспортната логистика за всеки вид суровина, краен продукт и отпадни суровини със съответните ѝ характеристики - транспортен капацитет, наличните видове транспорт, разстоянието и емисиите от всеки вид транспорт.

Описание на технологичния процес при производство на биодизел от отпадъци, генерирани в млечната промишленост

За получаване на биодизел от отпадна биомаса се използва процес на трансестерификация. Този процес представлява химично взаимодействие на триглицериди (масла/мазнини, съдържащи се в отпадъците от млечната промишленост) с алкохол в присъствие на катализатор, при което се образуват метилови естери на мастни киселини (биодизел) и страничен продукт глицерин. Като катализатор обикновено се използва калиев или натриев хидроксид (Koley A., 2019).

Технологичният процес при производство на биодизел от отпадъци, генерирани в млечната промишленост се състои от следните основни стадии:

- **Нагриване** на събраната отпадна биомаса. Нагриването се прави, за да се стопи отпадната биомаса, да се отдели горния маслен слой и да се отстранят нежеланите суспендирани твърди вещества;
- **Филтриране** на маслената субстанция през стоманена микромрежа;
- **Смесване** на CH_3OH и катализатор (KOH/NaOH). Хомогенизиране;
- **Зареждане на реактор** с хомогенизираните CH_3OH , катализатор (KOH/NaOH) и нагрятата отпадна биомаса;
- **Трансестерификация** при разбъркване на получения разтвор и нагриване при 600°C за 60 – 90 мин. За да се предотврати загубата на метанол, който е с температура на кипене 650°C , по време на реакцията се използва кондензатор с водно охлаждане. Кондензаторът спомага също за поддържане на атмосферно налягане вътре в реактора;
- **Разделяне** на получените суров биодизел и глицерин;
- **Филтриране, рафиниране и сушене** на суровия биодизел. Сушенето се извършва в пещ с горещ въздух при 105°C , докато водното съдържание спадне под 0,05%;
- **Филтриране и рафиниране** на суровия глицерин;

Отпадната биомаса, генерирана от млечната промишленост има следните предимства пред най – често използваните суровини за производството на биодизел (Yatih, K., 2022): *наличност през цялата година; предвидимост на количествата; прост процес на извличане и пречистване; ниско съдържание на свободни мастни киселини и следователно възможност за директен процес на трансестерификация.*

Параметри на получения биодизел

Горивните свойства на суровината, които влияят върху качеството на горивото, зависят пряко от състава на мастните киселини. Свойствата на биодизел, получен от отпадна биомаса, получена при преработване на сурово мляко, са представени в Таблица 1. Таблицата показва също сравнение на горивните свойства на биодизел от отпадна биомаса от млечната промишленост с други биодизели от негодни за консумация суровини (Yatih, K., 2022):

Таблица 1

Сравнение на горивните свойства на биодизел от отпадна биомаса от млечната промишленост с други биодизели от негодни за консумация суровини (Srikanth, H.V, 2018), (Sivakumar P., 2011), (Deng, X, 2001)

Свойства	Единици	Биодизел стандарт ASTM 6751	Биодизел от млечни	Биодизел от млечни отпадъци	Биодизел от млечни отпадъци	Биодизел от млечни отпадъци	Биодизел от ягтрофа	Биодизел от каранджа
Вискозитет до 40 °C	mm ² /sec	1.9–6.0	3.75	3.9	3.8	4.2	3.89	4.85
Плътност	kg/m ³	860–900	879	870	875	875	886	890
Температура на запалване	°C	> 130	157	136	129	138	185	180
Калоричност	kJ/kg	–	–	41,310	40115	37,833	41,720	40,750
Точка на потъмняване	°C	Max.18	5	3	17	5	–	–
Точка на течливост	°C	–	2	-1	10	3	-5.1	–
Киселинна стойност	mg KOH/g	0.8 max	0.3	0.18	0.35	0.4	0.154	0.42
Въглероден остатък	% mass	0.020	–	-	–	–	0.2	0.002
Стабилност на окисление		Min 0.3	–	7.83	–	–	–	6
Цетаново число		48–65	60	58.5	63.59	–	58	58

Формулиране на математичния модел

Математичният модел е формулиран като модел на целочисленото линейно програмиране (MILP). Той включва набор от данни; променливи за вземане на решения; математични зависимости, описващи въздействието върху околната среда и икономиката на комбинирана верига за доставки (млечни продукти/ биодизел); ограничения и критерий за оптимизация. Дефинираният критерий е за икономическа оптимизация, а въздействието върху околната среда се определя като ограничение. Плановият период H е определен на 10 години и е разделен на няколко равни времеви интервала $t=\{0,1,2,\dots,T\}$. Индексът t показва променливата или параметъра, съответстващи на t -тия интервал на планиране.

Целта е да се осигурят такива променливи на решението, които при спазване на системата от ограничения да минимизират общите разходи при работа на РОВ и да осигурят най-добрият сценарий за намаляване на въздействието върху околната среда на цялата верига на доставки.

Въздействието върху околната среда на РОВ се измерва по отношение на общите емисии на парникови газове, произтичащи от дейността за целия жизнен цикъл. Те се конвертират във въглеродни кредити, като се умножат с цената на въглеродните емисии на пазара.

$t \in T$ Икономическата оценка се определя в зависимост от общите инвестиционни разходи за производствените съоръжения на биодизел, разходи за изграждане на производствени съоръжения и функционирането на РОВ за периода на експлоатация.

Ограниченията, гарантиращи изпълнението на задачата са линейни функции по отношение на всички независими променливи.

Моделът за вземането на решения при структуриране на комбинирана верига за доставки на млечни продукти и биодизел включва критерий за икономическа оптимизация, дефиниран от гледна точка на разходите. Въздействието на веригата за доставки върху околната среда е включено като ограничение.

Оптимизационната задача се формулира както следва:

$$\begin{aligned} \text{Find: } X_t [\text{Decision variables}] \text{ MINIMIZE } \{ \text{COST}(T_t) \} \text{ s. t.: } \{ \text{Constraint } s \} \\ \text{COST} = \sum_{t \in T} (LT_t TDC_t) \\ LT_t - \text{продължителност на времевите интервали, } t \in T(y). \\ TDC_t - \text{Общи разходи на комбинираната РОВ за година, } (\$/y) \end{aligned} \quad (1)$$

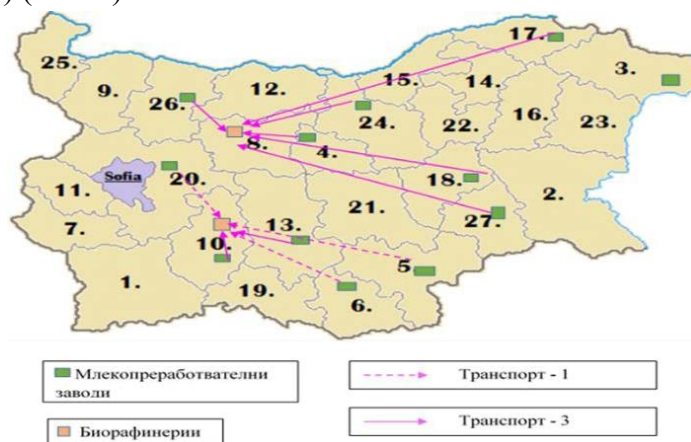
Предложеният модел е решен с помощта на програмния пакет GAMS 31.2.0 (McCarl *et al.*, 2008), използвайки CPLEX 11.1 solver на Intel(R) Core(TM) i7-1065G7 CPU @ 1.30GHz 1.50 GHz с 16 GB RAM на 64-битова платформа.

Приложение на математичния модел

За изследване адекватността на предложеният подход е решен тестов пример с реални данни, отнасящи се до територията на република България. 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. За целите на настоящото проучване са избрани три типа възможни транспортни средства (цистерна, камион и влак). Комбинираната верига за доставки включва; 12 региона като потенциални местонахождения на фермите, производители на краве мляко; 12 региона като потенциални местонахождения за млекопреработване; 5 потенциални местоположения за биорафинерии; 27 зони за клиенти.

➤ Структура на комбинираната РОВ по отношение на отпадната биомаса

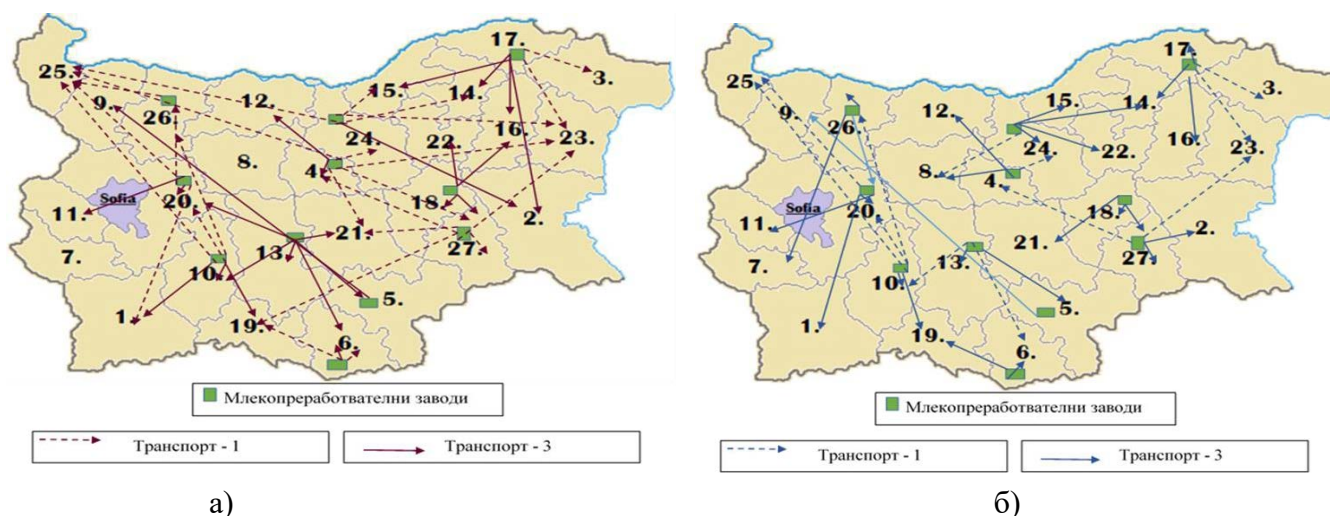
За удовлетворяване на въведените критерии е необходимо инсталирането на биорафинерии в два от регионите на разглежданата територия. Това са Регион 8 (Ловеч) и Регион 10 (Пазарджик) (Фиг.2).



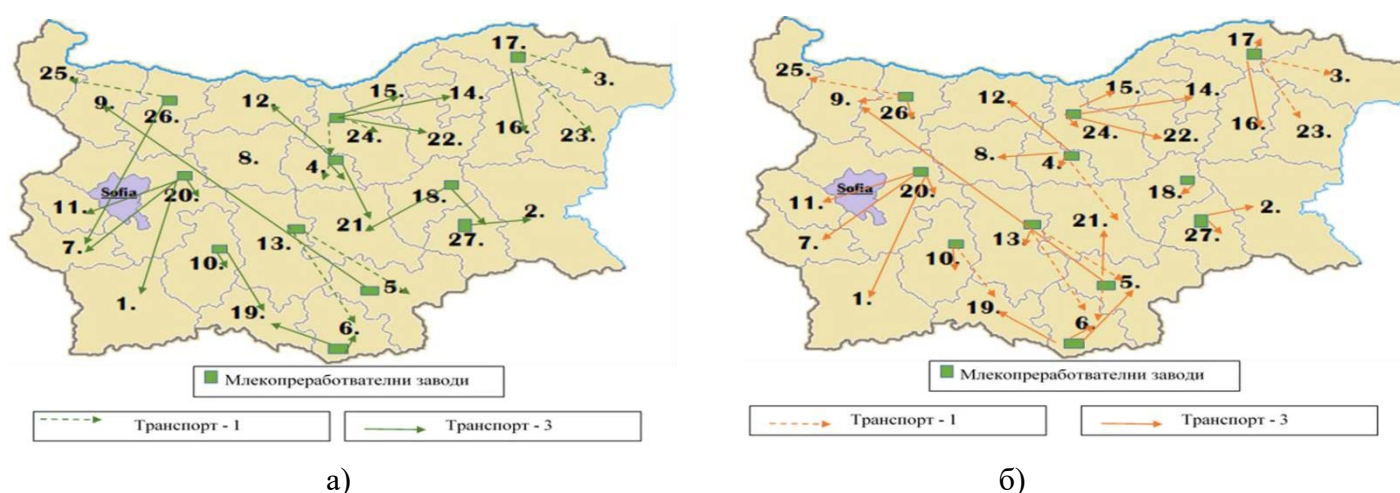
Фиг. 2 Оптимална структура на комбинирана РОВ по отношение на доставката на отпадна биомаса

➤ Структура на комбинираната РОВ по отношение на произвежданите крайни продукти, генериращи отпадна биомаса от регионите с инсталирани млекопреработвателни заводи до регионите на крайните потребители

Според оптималната конфигурация на ресурсно-осигурителната верига при критерий минимални годишни разходи (включително и разходите за CO2 емисии) са необходими 11 млекопреработвателни заводи, разположени в Регион 4, (Габрово), Регион 5 (Хасково), Регион 6 (Кърджали), Регион 10 (Пазарджик), Регион 17 (Силистра), Регион 18 (Сливен), Регион 20 (София), Регион 24 (Велико Търново), Регион 26 (Враца) и Регион 27 (Ямбол). Предпочитан транспорт за доставката на всички млечни продукти до крайните потребители е Транспорт тип 1 (цистерни) и Транспорт тип 3 (влак) (Фиг.3 и Фиг.4).



Фиг. 3 Оптимална структура на комбинирана РОВ по отношение на доставката на краве прясно мляко 3% а) и на кисело мляко б) от млекопреработвателните заводи до потребителите



Фиг. 4 Оптимална структура на комбинирана РОВ по отношение на доставката на бяло саламурено сирене а) и кашкавал б) от млекопреработвателните заводи до потребителите

➤ Структура на комбинираната РОВ по отношение доставката на суровото краве мляко

Според оптималната конфигурация на ресурсно-осигурителната верига при критерий минимални годишни разходи (включително и разходите за СО₂ емисии) са необходими 12 ферми производители на сурово прясно мляко, разположени в Регион 3 (Добрич), Регион 4, (Габрово), Регион 5 (Хасково), Регион 6 (Кърджали), Регион 10 (Пазарджик), Регион 17 (Силистра), Регион 18 (Сливен), Регион 20 (София), Регион 24 (Велико Търново), Регион 26 (Враца) и Регион 27 (Ямбол) (Фиг.5).



Фиг.5 Оптимална структура на комбинирана РОВ по отношение на доставката на краве мляко от регионите производители до регионите с инсталирани млекопреработвателни заводи

Клиентските зони на крайни млечни продукти (прясно мляко 3%, кисело мляко 4,5%, бяло саламурено сирене и кашкавал), получени от само от краве мляко включват всички 27 административни региона на Република България.

ИЗВОДИ

Предложена е стратегия за оптимизация елементите на комбинирана верига за доставки на млечни продукти и биодизел, като е разработен математичен алгоритъм с цел минимизиране на разходите и екологичното въздействие. Адекватността на предложения математичен модел е проверена чрез решаване на тестов пример върху реални данни с помощта на програмния пакет GAMS. Анализът на резултатите от оптималния дизайн на система като цяло по отношение на структурата показва, че комбинираната верига за доставки на млечни продукти и биодизел включва: 12 региона за разположение на фермите, производители на краве мляко; 11 региона за разположение на млекопреработвателните заводи; 2 региона за разположение на биорафинериите и 27 региона за разположение на клиентските зони.

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, 463-477.
- European Green Deal, 2019, https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- 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.
- Koley A., Tuhin Samanta, Dipak Kumar Singha., 2019, Production of Biodiesel from Dairy Waste Scum, *Int. J. for Res. in Appl. Sc & Eng Tech*, 7(5)
- 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,
- Srikanth, H.V., Venkatesh, J., Sharanappa, Godiganur, 2018. Box-behnken response surface methodology for optimization of process parameters for dairy washed milk scum biodiesel production, *Biofuels*, 12 (1):1-11,
- Sivakumar P., K. Anbarasu, S. Renganathan, 2011, Bio-diesel production by alkali catalyzed transesterification of dairy waste scum, *Fuel*, 90, p. 147-151
- Deng, X., Fang, Z., Liu, Y., Yu, C., 2011. Production of biodiesel from Jatropha oil catalyzed by nanosized solid basic catalyst, *Energy* 36, 777-784.