

APPLICATION OF A MATHEMATICAL MODEL FOR MAKING A SMART DECISION FOR IMPROVING SUSTAINABILITY OF 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

Eng. Konstantina Galcheva

Faculty of Technical Sciences

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

E-mail: inka_selena@abv.bg

Abstract: Biodiesel is considered as an inexhaustible, clean consuming substitution on fossil fuel. It is set up from a different feedstock's including dairy waste scum. The development of a mathematical model for making a smart decision for improving sustainability of biodiesel supply chain using dairy waste scum as a feedstock is center on the presented work. The article presents superstructure of a combined dairy/biodiesel supply chain and mathematical model for making smart decision for sustainability. The given task is formulated in the terms of a MILP. The aim of the mathematical model is minimizing the total annual costs. The optimization criterion is defined in terms of economic sustainability, and environmental assessment data are implemented as part of it. The prepositional mathematical model is implemented on an example study from Republic of Bulgaria. The received results may be used as a device\ for intelligent decision-making.

Keywords: Biodiesel, Dairy waste scum, Supply chain, Optimal design, Sustainability, Mixed integer linear programming

ВЪВЕДЕНИЕ

Поради бързото нарастване търсенето на горива, които да задоволят глобалните нужди от енергия от една страна, а от друга - безвъзвратното изчерпване на невъзобновяемите природни ресурси, биогоривата се очертават като най – перспективната енергийна алтернатива. Негативите при използването на конвенционалните горива, като замърсяване на околната среда, нарушените доставки по целия свят, енергийната сигурност (Dutta et al., 2014) затвърждават ролята на биогоривата, като възможен заместител на изкопаемите енергоносители. По настоящем ролята на биогоривата би могла да се определи като „Златната треска“ на индустрията в 21 век. Като потенциална суровина за производството на биодизел би могла да се разглежда хранително – вкусовата промишленост или по-точно млекопреработката и производството на млечни продукти, при които се генерират големи количества отпадна биомаса. Едно голямо млекопреработвателно предприятие, което преработва 500 000 литра мляко на ден, генерира около 250-300 кг. млечни отпадъци дневно. Количество, което сериозно затруднява изхвърлянето им (Kavitha et al., 2019). Същевременно тази отпадъчна маса е богата на триглицериди (повече от 80 %), което дава основание маслото получено от този отпадък да се разглежда като прогресивна суровина за производство на биодизел. Анализатори (Yatisha et al., 2022) заключват, че в зависимост от технологията и икономиката отпадната от млекопреработването биомаса може да бъде отнесена към потенциалните суровини за производство на биодизел.

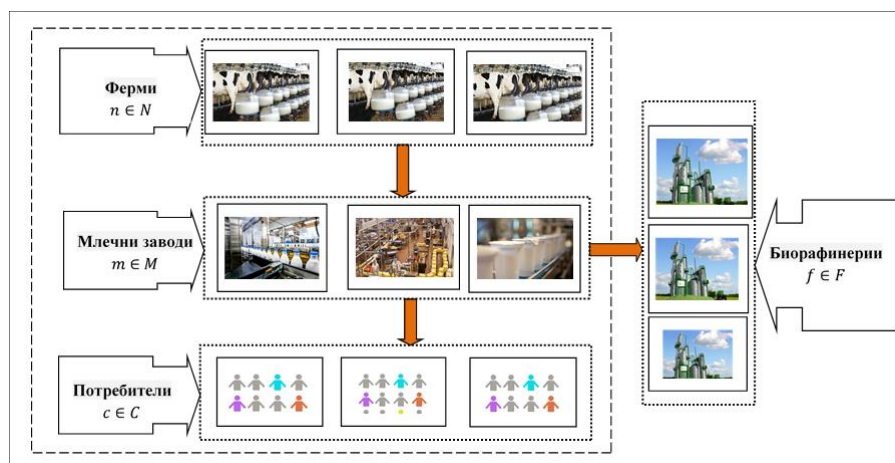
За производството и доставката на биодизел от млечни отпадъци е необходимо оптимално проектиране на устойчиви ресурсно – осигурителни вериги (POB), които включват три взаимносвързани нива за вземане на решения – стратегическо, тактическо и оперативно. За да могат да се постигнат глобални оптимални решения по отношение POB

като цяло е необходимо комбиниране между решенията от различните нива на управление (Babazadeh et al., 2012). Това би могло да се постигне с използването на методите за оптимизация. Разработените към момента модели за оптимизация, предложени в тази област, са насочени към устойчивостта, като се вземат предвид екологичните и икономическите фактори, включително несигурностите, свързани със суровините и логистиката на биогоривата. Разработени са математични модели, които отразяват оптимизирането при проектиране на верига за доставки на биогорива от различни потенциални източници на суровин (Hombach L. et al., 2016). В наличната литература по тематиката до момента не е разглеждана възможността за оптимизиране на устойчивостта на комбинирана верига за доставки на млечни продукти и биодизел.

С настоящето изследване се предлага математичен модел, описващ проектирането на устойчива верига на доставки на биодизел използваща като суровина отпадъци, генерирани от верига за доставки на млечни продукти. Целта е да се достигнат минимални общи разходи при работа на РОВ, при които да се осигури най-добрият сценарий за намаляване на въздействието върху околната среда на цялата верига на доставки. В статията е представена суперструктура на комбинирана верига за доставки на млечни продукти и биодизел.

ИЗЛОЖЕНИЕ

На Фигура 1 е илюстрирана предложената суперструктура на комбинирана верига за доставки на млечни продукти и биодизел. Проблемът, разгледан в тази работа може да бъде формулиран както следва (Табл. 1): Даден е набор от различни видове мляко, използвано като суровина за производството на множество крайни млечни продукти. Различните видове мляко (краве, козе, овче и др.) могат да бъдат произведени от млекопроизводителни ферми, разположени в различни места на разглежданата територия, като всяка една от тези ферми е с ограничена производителност и номенклатура които са предварително известни, а също така е известна и продажната цена на различните видове мляко. За всяка една от фермите е известен вида транспорт който може да се използва за превозването на млякото.



Фиг. 1 Комбинирана верига за доставки на млечни продукти и биодизел

От друга страна се предполага, че съществуват множество млекопреработвателни заводи, които са разположени на различни места в разглежданата територия. За всеки един от тези млекопреработвателни заводи са известни възможностите за производство на съответните крайни продукти (напр. прясно мляко за пиене 4,5%, кисело мляко 3,6%, бяло саламурено сирене, кашкавал) и технологиите за производството им, а също така и генерираните при производството отпадни продукти които могат да бъдат разглеждани като биогоривни суровини използвани за производство на биодизел. Предполага се, че са известни технологиите за утилизация на тези отпадни продукти за добиване на биодизел от

тях. В същото време са известни потенциалните места където могат да бъдат инсталирани инсталациите за производство на биодизел. Известни са възможните типове биорафинерии, които могат да бъдат използвани за инсталиране на допустимите места за тази цел. Определени са местата за доставяне на произведените крайните продукти, а също така техния вид и допустимо количество при зададени долни и горни граници. Транспортната логистика за всеки вид суровина, краен продукт и отпадни суровини е зададена като за всяка транспортна връзка са известни транспортният капацитет, наличните видове транспорт, разстоянието и емисиите от всеки вид транспорт. Задачата се свежда до определяне оптималните условия за работа на системата като цяло.

Таблица 1 Формулировка на проблема

Дадени са:	Да се определи:
местоположение на фермите и техния производствен капацитет;	портфолио за всяка една от фермите за производство на мляко;
продажна цена на млякото;	портфолио за работа на всеки един от млекопреработвателните заводи;
местоположение на млекопреработвателните заводи и техния производствен капацитет;	множество биорафинерии, които трябва да бъдат построени на определени за целта места;
технологията за производство на млечни продукти и технологии за производство на биодизел от млечни отпадъци;	оптимална производителност на биорафинерията;
търсенето на млечни продукти и биодизел;	транспортна схема за доставка на суровината, необходима за работата на биорафинерията.
вид транспорт за доставка;	
емисии на парникови газове за всеки етап от жизнения цикъл;	
транспортни разходи за всяка транспортна връзка и вид транспорт.	

Оптималните условия за работа на системата трябва да осигурят минимум на целевата функция, която включва всички разходи за доставка на суровини, производствени и транспортни разходи, а също така и разходи за строителство на необходимите биорафинерии. Като същевременно е необходимо съблюдаване на технологичните, екологичните и времеви ограничения т.е критерият за оптимизация е дефиниран по отношение на икономическата устойчивост, а данните за екологичната оценка са внедрени като част от него.

Оптимизационната задача може да бъде решена с помощта на приложният софтуер GAMS и е възможно да се използва за вземане на цялостни интелигентни решения. След изменение на необходимите данни, предложеният план може да бъде пригоден за различни територии.

Разглежда се РОВ за 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 $t = \{0, 1, 2, \dots, T\}$, всеки от които е с продължителност $\forall t$. През хоризонта на планиране се приема, че потреблението на млечни продукти ще се промени с прогнозна стойност. Математичният модел, описващ оптимална конфигурация на устойчивата РОВ е даден както следва:

Модел на екологичната оценка

Въздействието върху околната среда на РОВ се измерва по отношение на общите емисии на парникови газове ($kgCO_{2eq}$), произтичащи от дейността за целия жизнен цикъл. Те се конвертират във въглеродни кредити, като се умножат с цената на въглеродните емисии ($kgCO_{2eq}$), на пазара. Целта е да се сведе до минимум общото количество еквивалентни емисии на парникови газове, резултат от работата на РОВ.

Емисиите на парниковите газове се определят, както следва за всеки времеви интервал $t \in T$.

$$EIJ_t = EPI_t + EPB_t + EWS_t + ETF_t, \quad \forall t \quad (1)$$

където,

EIJ_t - Общо екологично въздействие от работата на РОВ за целия жизнен цикъл, $[kgCO_{2eq}/d]$;

EPI_t - Екологично въздействие при производство на крайните продукти в млекопреработвателните заводи, $[kgCO_{2eq}/d]$;

EPB_t - Емисии, отделени при производството на биодизел с използване на DWS като изходна суровина, $[kgCO_{2eq}/d]$;

EWS_t - Емисии, отделени при утилизацията на не използваната отпадна биомаса за производство на биодизел, $[kgCO_{2eq}/d]$;

ETF_t - Емисии отделени при транспорт на суровини, крайни продукти и отпадна биомаса до съответните съоръжения, $[kgCO_{2eq}/d]$;

Модел на икономическата оценка

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. Тази цена се изразява по зависимостта (2) за всеки времеви интервал $t \in T$.

$$TDC_t = TIC_t + TPC_t + TDWS_t + TDKN_t + TPI_t + TPW_t + TTC_t + TCO_{2t} - TB_t - TL_t, \quad \forall t \quad (2)$$

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 DWS 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 утилизирание на неизползвания DWS за производство на биодизел, $[\$/y]$;

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

TCO_{2t} - 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, $[\$/y]$;

Ограничения

Ограниченията, гарантиращи изпълнението на задачата са линейни функции по отношение на всички независими променливи и са както следва: по отношение капацитета на биорафинериите ограничен от долните и горните граници; граница на поточната допустимост; ограничения, осигуряващи нуждите на всички региони от крайните продукти; ограничения, осигуряващи необходимите количества мляко за производство на крайните продукти; логистични и транспортни ограничения; ограничения гарантиращи, че произведените отпадъци от млекопреработвателни заводи ще бъдат използвани за производство на биодизел; ограничения гарантиращи материалния баланс за цялата система; ограничения гарантиращи изпълнение на годишните капацитети на млекопреработвателните заводи; ограничения гарантиращи максимален годишен капацитет на ферма $n \in N$ за производството на мляко от тип $k \in K, [t/y]$; ограничения гарантиращи допустимост на потоците.

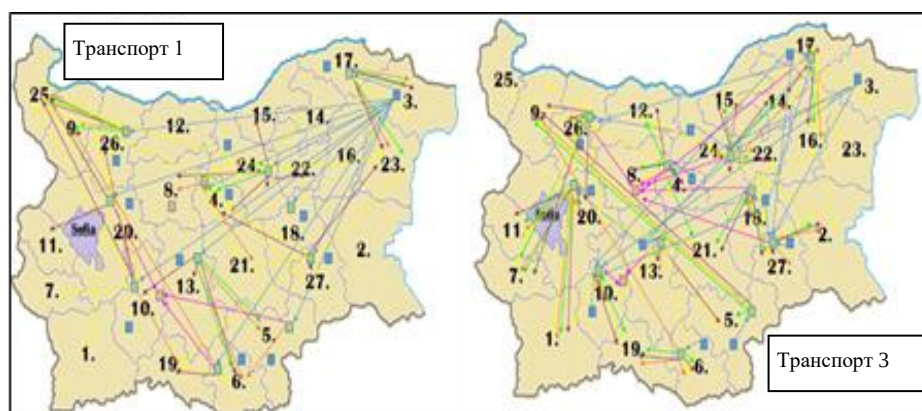
Целева функция

Целта е постигане устойчивост по зависимост (3), а именно, минимизиране на общите логистични разходи на системата за доставки, отчитащи постоянни, променливи и емисионни разходи [€].

$$COST = \sum_{t \in T} (LT_t TDC_t) \quad (3)$$

В уравнение (3) дефинициите за сумиране представляват годишните оперативни разходи за добиване крайните продукти и отпадъчна биомаса, нейното транспортиране и преобразуване в биодизел.

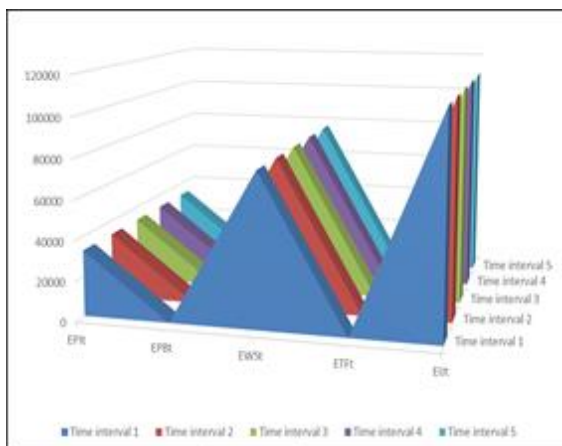
Представеният подход е приложен върху тестов пример от България. Фигура 2 представя оптималната структура на веригата за доставка на биодизел чрез транспорт 1 и транспорт 3 за всеки интервал от време.



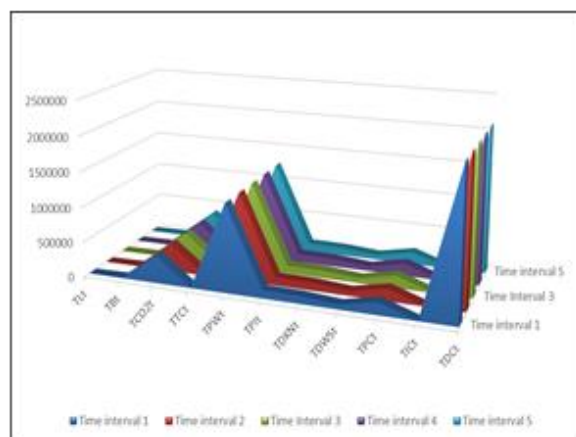
Фиг. 2 Оптимална структура на РОВ

Фигура 3 представя разпределението на емисиите на парникови газове, генерирани на всеки етап от функционирането на веригата за доставки и показва, че най-голямото количество емисии на парникови газове се генерират по време на производството на млечни продукти в млекопреработвателните заводи, както и по време на утилизацията на не използваната отпадна биомаса за производство на биодизел.

Фигура 4 представя структурата на разходите на веригата за доставки и показва, че най-големият разход е въглеродният данък, изчислен според общото количество CO₂, генериран по време на функционирането на веригата за доставки и производствените разходи за утилизацията на не използваната отпадна биомаса за производство на биодизел.



Фиг. 3 Разпределението на GHG



Фиг. 4. Структура на разходите на POB

ИЗВОДИ

Разработен е подход за моделиране и оптимизиране по икономически и екологични критерии на веригите за доставка на биодизел. Той включва математически модел и неговата софтуерна реализация на платформата GAMS. Предложена е суперструктура на комбинирана верига за доставки на млечни продукти и биодизел. Разгледан е тестов пример за територията на Република България.

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

- Babazadeh, R., (2012) A robust stochastic programming approach for agile and responsive logistics under operational and disruption risks, *Int. J. Logist., Syst. Manag.*, 13, 458e482
- Dutta, K., (2014) Evolution retrospective for alternative fuels: First to fourth generation. *Renewable energy*, 69, 114-122.
- Hombach L., (2016) Optimal design of supply chains for second generation biofuels incorporating European biofuel regulations, *Journal of Cleaner Production*, 133, 565e575
- Kavitha, V., (2019) Production of biodiesel from dairy waste scum using eggshell waste, *Process Safety and Environmental Protection*, 125, 279-287
- Yatisha et al., (2022) A comprehensive review on dairy waste-scum as a potential feedstock for biodiesel production, *Process Safety and Environmental Protection*, 160, 921–947