

UNCERTAINTIES IN THE DESIGN OF SUPPLY CHAIN FOR BIODIESEL WITHIN THE REPUBLIC OF BULGARIA

Ch. Asst. Prof. eng. Evgeniy Ganev, PhD

Process Systems Engineering Laboratory,
Institute of Chemical Engineering, Bulgarian Academy of Sciences of Sofia
E-mail: evgeniy_ganev@iche.bas.bg

eng. Yunzile Dzhelil, PhD

Process Systems Engineering Laboratory,
Institute of Chemical Engineering,
Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria
E-mail: unzile_20@abv.bg

Abstract: The problem discussed in this article can generally be expressed as follows. We have a range of energy crops that need to be converted to biodiesel, which include crops such as sunflower, rapeseed and others. We envisage a ten-year planning horizon that includes government regulations, manufacturing, construction and a carbon tax. For the purposes of the study, a model of a biodiesel supply chain (SC) has been developed, including a set of collection points and a number of search areas, as well as potential locations for individual facilities and biorefineries. In order to compile the optimization model of a sustainable supply chain, we need to take into account the uncertainties related to supply and transport. For this reason, we use a scenario-generating campaign. We consider two scenarios: centralized mixing of biodiesel with petroleum diesel in the appropriate ratio for the period and diversified. We will monitor the impact of each of the scenarios on the price of the finished product and the amount of greenhouse gas emissions over the entire life cycle of the fuel. Based on the obtained results, conclusions have been formed in favor of the diversification scenario, which will serve as a guide in the development of the problem, including the construction of a mathematical model in conditions of uncertainty.

Keywords: biodiesel, sustainable supply chain, modeling, uncertainties, scenarios.

ВЪВЕДЕНИЕ

Понастоящем изкопаемите горива са един от основните източници на енергия, които съставляват около 88% от световното потребление на енергия. Според експертите природните ресурси от нефт и газ ще се изчерпят напълно, ако същият модел на потребление продължи през следващите 60 години. Въпреки, че изкопаемите горива са гръбнакът на социално-икономическото развитие, те оказват сериозно отрицателно въздействие върху околната среда. В този аспект глобалното преминаване към възобновяеми енергийни източници има потенциал да отговори на бъдещите енергийни нужди (Shah et al., 2018). През последните десетилетия възобновяемото гориво в частност биодизелът, се явява алтернатива на стандартните изкопаеми горива, тъй като има много предимства пред тях, които включват по-висока точка на възпламеняване, подобро смазване и по-ниска токсичност. Биодизелът може да бъде произведен от различни хранителни (Ganev et al., 2021) и нехранителни (Mohtashami et al., 2021) суровини или от източници на отпадъци (Habib et al., 2021). Голямото разширяване на производството на биодизел и наложените изисквания за подобряване на неговата устойчивост изискват оптимизиране на всички дейности в ресурсно-осигурителната верига (SC): от избора на суровина до разпределението му до крайните клиенти (Doliente & Samsatli, 2020). Една ресурсно-осигурителна верига обхваща: управлението на стоките от доставчиците на суровини, през производството, складирането и разпространението, до доставката до крайния потребител и обслужването след продажбата (Caldeira et al., 2019). Основната задача се състои в определянето на параметрите на работа на отделните елементи на SC, което да води до максимална ефективност при функционирането ѝ като цяло (Doliente & Samsatli, 2020). Необходимо е да се вземат предвид

ключови дейности на SC, като съвместимост на инфраструктурата, разпределение на търсенето, размер и местоположение на биорафинерии за производство на биодизел и наличните данъци за биомаса и въглерод (Habib et al., 2021). Икономическата и екологичната ефективност на интегрираната биодизел-дизел ресурсно-осигурителна верига (IBDSC) се оценява от разходите за проектиране на IBDSC и емисиите на парникови газове на замърсители, свързани с неговата експлоатация, също и социалното отражение, което се измерва с броя на очакваните нови работни места, свързани с проектиране и експлоатация на IBDSC (Ganev et al., 2020). Поради факта че производството на биодизел от суровини първо поколение е предпоставка за конкуренция с използването на наличната обработваема земя за осигуряване на продоволствена сигурност, от съществено значение е да се предвидят несигурности по отношение на този параметър, за да се предотвратят проблеми, свързани с глобалното снабдяване с храни и нарастващите цени на храните. Друг вид несигурности, свързани с обекта на нашето изследване са такива, свързани с достъпността на инфраструктурата и възможността за ритмичност на транспортните доставки (Pieter Bot et al., 2015).

Настоящото изследване предлага многоцелеви подход за оптимално проектиране на устойчива SC за биодизел/дизел, използвайки два вида суровини - слънчоглед и рапица, като същевременно отговаря на екологични и икономически критерии. Екологичната оценка е по отношение на генерираните емисии парникови газове за целия жизнен цикъл на продукта, като икономическата оценка е по отношение на годишните капиталови и оперативни разходи. Подходът е приложен при два сценария по отношение на центровете за смесване – диверсифициран и монополен. Всяка от задачите се решава по отношение само на единия от критериите (икономически или екологичен), като другият е зададен като ограничение. Задачата следва да бъде решена посредством смесено целочислено линейно програмиране (MILP), като решенията дават оптималните стойности на заложените параметри. Анализът на резултатите, получени при решаването на проблема за оптимизация в двата сценария и в двата критерия показва, че изборът на решение относно броя на използваните центрове за смесване засяга както екологичните, така и икономическите резултати на разглежданата SC. Последното е пряко свързано с устойчивото функциониране на SC за биодизел/дизел.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Формулиране на оптимизационния пролем

Формулиран е детерминистичен оптимизационен модел, посредством MILP. Моделът включва набори от: данни и променливи за вземане на решения, математически модели за въздействие на SC върху околната среда и икономиката, също така и ограничения. Задачата за оптимизация се решава по отношение на единия от критериите (икономически или екологичен), като другият се определя като ограничение и обратно. Определен е планов период H от десет години. Последният е разделен на няколко равни времеви интервала, $t = \{0, 1, 2, \dots, T\}$, всеки от които има продължителност Δt .

Модел на общото въздействие върху околната среда на IBDSC

Критерият за въздействие върху околната среда представлява емисиите парникови газове, генерирани през всеки етап от жизнения цикъл на продуктите ($kgCO_{2eq}$), за всеки интервал от време $t \in T$. Тези емисии са равни на сбора от въздействието на всеки от етапите от жизнения цикъл върху околната среда. Емисиите на парниковите газове обикновено се определят както следва за всеки времеви интервал $t \in T$:

$$TEI_t = ELBC_t + ELBP_t + ELTR_t + EBCAR_t, \quad \forall t, t \in T \quad (1)$$

където,

TEI_t - Общо екологично въздействие от работата на IBDSC за целия жизнен цикъл, ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{d}$);

$\left. \begin{matrix} ELBC_t \\ ELBP_t \\ ELTR_t \end{matrix} \right\}$ - Екологично въздействие на етапите на жизнения цикъл, ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{d}$);

$EBCAR_t$ - Емисии от използването на биодизел (B100) в превозните средства, ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{d}$).

Екологичната целева функция има за цел да намали годишните емисии на парникови газове в резултат на дейностите на SC за биодизел (B100) и дизел за задоволяване на енергийните нужди на регионите.

Годишният еквивалент на емисии на ПГ от използваните горива се определя като:

$$TEIF_t = TEI_t + EG_{CAR,t}, \quad \forall t, t \in T \quad (2)$$

$TEIF_t$ - общото въздействие върху околната среда на използваните горива (биодизел (B100) и дизел), за да се гарантира енергийният баланс на регионите, ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{d}$);

EG_{CAR} - емисиите на парникови газове в резултат на използването на петролен дизел в превозните средства, ($\text{kgCO}_{2\text{eq}}/\text{d}$).

Модел на общите разходи на IBDSC

Годишните оперативни разходи включват: разходите за отглеждане на биомаса, транспортни разходи, производството на крайни продукти и местните разходи за дистрибуция на гориво. В производствените разходи включваме експлоатационни разходи за период от една година, като процент от общия инвестиционен капитал; и променливите разходи, които са пропорционални на количеството на продукцията. Транспортните разходи се отчитат, като разстояние между анализирания обект (региони). Те могат да се постоянни и променлив разходи за транспортиране. Икономическият критерий се определя в зависимост от общите инвестиции разходите за производството на биодизел (B100), разходи за изграждане на производствените съоръжения и функционирането на SC за периода на експлоатация. Тази цена се изразява по зависимостта:

$$TDC_t = TIC_t + TPC_t + TTC_t + TTAXB_t - TL_t, \quad \forall t, t \in T \quad (3)$$

където,

TDC_t - Обща стойност на мрежата на SC за една година, ($\$/y$);

TIC_t - Инвестиционните разходи за производство на биодизел (B100) по отношение на периода на експлоатация и изкупуването на завода за годишна база, ($\$/y$);

TPC_t - Производствени разходи (B100), ($\$/y$);

TTC_t - Транспортни разходи, ($\$/y$);

$TTAXB_t$ - Въглероден данък при работата на веригата за една година, ($\$/y$);

TL_t - Правителствени стимули за производство и потребление на биодизел (B100), ($\$/y$).

Ограничения на модела

Проблемът за оптимизация включва ограничения, свързани с: капацитет на инсталацията, добив на биодизел (B100), който да се произвежда от биомаса, налична в

регионите; допустимост на потоци по време на работа на IBDSC; осигуряване на доставки със зърно за осигуряване на продоволствената сигурност на регионите, логически ограничения; транспортни ограничения; проектиране на SC за биодизел/дизел; цялостно въздействие върху околната среда за всички региони; ограничения свързани с обработваемите площи; ограничения за сеитбооборота; ограничения за енергийните баланси; ограничения за общите разходи по веригата на доставки, (Ganev et al., 2021).

Екологична цел

Критерият за оптимизиране на въздействието върху околната среда включва екологични оценки за всички дейности върху биодизел/дизел SC, изразени като количество CO₂ еквивалент, генериран през целия жизнен цикъл на продуктите. За дефинирането му се използва методът Eco-Indicator 99. Екологичният критерий е обект на минимизиране и се определя по следния начин:

$$ENV = \sum_{t \in T} (LT_t TEI_t) \quad (4)$$

Икономическа цел

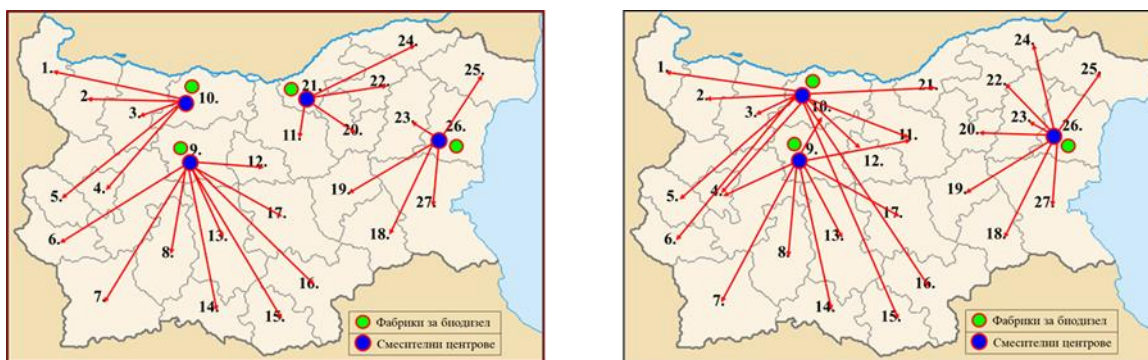
Критерият за икономическа оптимизация включва годишните разходи, свързани с отглеждането и събирането на биомаса, нейното транспортиране до съоръженията за събиране, съхранение и преобразуване, съхранение на биодизел и транспортирането му до съоръженията за смесване. Включва и инвестиционните разходи за изграждане на биорафинерии. Икономическият критерий е обект на минимизиране и се определя по следния начин:

$$COST = \sum_{t \in T} (LT_t TDC_t) \quad (5)$$

Анализ на получените резултати

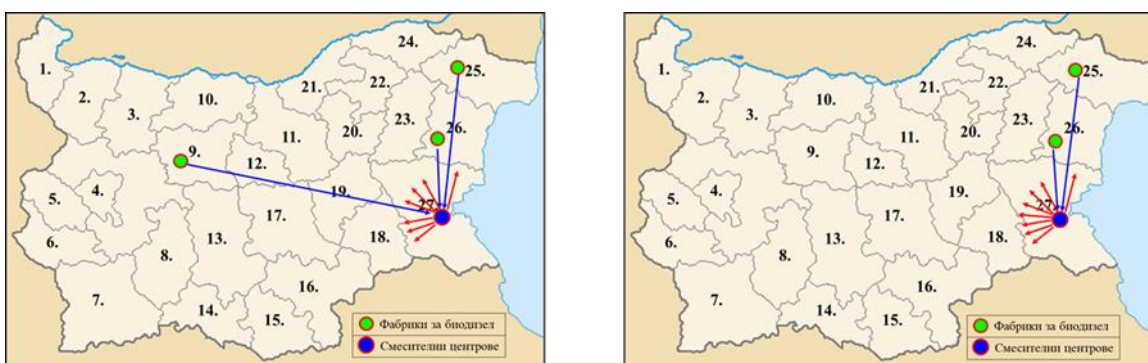
Оптималната структура на IBDSC по сценарий 1, в който е предвидена диверсификация на центровете за смесване на биодизел с фосилно дизелово гориво, за достигане на съответното процентно съотношение, съгласно Директива 2003/30/ЕС и Директива 2009/28/ЕС е представена във фиг. 1.

Според това, което е представено на Фигура 1(а) оптимална конфигурация на IBDSC за критерий (а) - Минимално количество емисии на парникови газове, трябва да бъдат изградени четири биорафинерии с капацитет на инсталацията от 32 500 t/y, 34 838 t/y, 12 000 t/y и 26 000 t/y. Те трябва да бъдат разположени в райони 9, 10, 21 и 26. Последният съответства на градовете Ловеч, Плевен, Русе и Варна. Представената на Фигура 1(б) IBDSC предвижда три биорафинерии, които трябва да бъдат изградени с производствени мощности от 32 500 t/y, 44 866 t/y и 27 972 t/y в региони 9, 10 и 26 съответстващи на градовете Ловеч, Плевен и Варна. При двете решения биорафинериите, които трябва да бъдат изградени, са свързани с центровете за смесване на петролен дизел и биодизел, които се намират в същите региони.



Фиг. 1: Оптимална структура на SC за производство на биодизел на територията на Република България в сценарий 1 за: (а) Минимално количество емисии на парникови газове и (б) Минимални средногодишни разходи

Оптималната структура на IBDSC по сценарий 2, в който е предвиден само един център за смесване на биодизел с фосилно дизелово гориво е, както следва:



Фиг. 2: Оптимална структура на SC за производство на биодизел на територията на Република България при сценарий 2 за: (а) Минимално количество емисии на парникови газове и (б) Минимални средногодишни разходи

Съгласно представената на Фигура 2(а) оптимална конфигурация на IBDSC за критерия (а) - Минимално количество емисии на парникови газове, трябва да бъдат изградени три биорафинерии с капацитет на инсталацията от 30 000 t/y, 38 000 t/y и 37 339 t/y. Те трябва да бъдат разположени в райони 9, 25 и 26. Последните отговарят на градовете Ловеч, Добрич и Варна. Представената на Фигура 2(б) оптимална структура на IBDSC предвижда две биорафинерии, които трябва да бъдат изградени с производствени мощности от 41 080 t/y и 64 259 t/y в райони 25 и 26, съответстващи на градовете Добрич и Варна.

ИЗВОДИ

Проучването предлага модел MILP за оптимално проектиране на устойчива IBDSC, използваща различни култури като суровина. Предложеният подход е приложен на реален казус, в който територията на Република България с нейните 27 административни района се разглежда като потенциални зони за отглеждане на суровина и производство на биодизел. Проблемите за оптимизация са формулирани и решени в два сценария, в които се разглеждат един или повече смесителни центрове за дизел и биодизел. При анализа на резултатите се наблюдават следните ефекти за стойностите на целевата функция при: критерий (а) се отчита 503 kg_{CO_2eq}/d понижение при минимални количества GHG и 3136 kg_{CO_2eq}/d понижение при минимални годишни разходи в полза на Сценарий 1 (диверсификация на смесителните инсталации). При критерий (б) се отчита 240576 \$ понижение на разходите при минимални количества GHG в полза на Сценарий 1 и 363410\$ понижение на разходите при минимални годишни разходи в полза на Сценарий 2 (един център за смесване). От така направения анализ могат да се направят изводи, че от екологична гледна точка не се наблюдава

съществена разлика в емитираните количества GHG и между двата сценария. От друга страна имаме макар и слабо изразена икономическа ефективност при Сценарий 2, касаеща минималните годишни разходи. Това се дължи на факта, че при Сценарий 2, преимуществено се толерира железопътният транспорт, използването, на който освен, че допринася за снижаване на разходите, гарантира в значителна степен сигурността на доставките. Всеки от двата сценария притежава своите предимства и недостатъци, но в определени случаи, като извънредни ситуации свързани със затруднения при доставките, те могат да допринесат за адекватното и своевременно снабдяване на регионите с горива.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was carried out with the financial support of National Science Fund, Ministry of Education and Science of the Republic of Bulgaria, Contract No. КП-06-Н37/5/06.12.19.

REFERENCES

- Caldeira, C., Sweil, O., Freire, F., Dias, L. C., A., Olivetti, Kirchain, R. (2019). *Planning strategies to address operational and price uncertainty in biodiesel production*. Applied Energy, Volume 238, 2019, Pages 1573-1581, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.01.195>.
- Doliente, S., Samsatli, S. (2020). *Integrated production of fuels, energy and chemicals from Jatropha curcas: multiobjective optimisation of sustainable value chains*. Chemical Engineering Transactions. 80, 343-348.
- Ganev, E., Ivanov, B., Vaklieva-Bancheva, N., Kirilova, E., Dzhelil, Y. (2021). *A Multi-Objective Approach toward Optimal Design of Sustainable Integrated Biodiesel/Diesel Supply Chain Based on First- and Second-Generation Feedstock with Solid Waste Use*. Energies, 14, 2261, <https://doi.org/10.3390/en14082261>.
- Ganev, E., Dzhelil, Y., Ivanov, B., Vaklieva-Bancheva, N., Kirilova, K. (2020). *Optimal design of a sustainable integrated biodiesel/diesel supply chain using first and second generations bioresources*. Chemical Engineering Transactions. 81, 67-72.
- Habib, M. S., Asghar, O., Hussain, A., Imran, M., Mughal, M. P., Sarkar, B. (2021). *A robust possibilistic programming approach toward animal fat-based biodiesel supply chain network design under uncertain environment*. Journal of Cleaner Production. 278, 122403.
- Mohtashami, Z., Bozorgi-Amiri, A., Tavakkoli-Moghaddam, R. (2021). *A two-stage multi-objective second generation biodiesel supply chain design considering social sustainability: A case study*. Energy. 233, 121020.
- Bot, P., Van Donk, D.P., Pennink, B., Simatupang, T.M (2015), *Uncertainties in the Bidirectional Biodiesel Supply Chain*. Journal of Cleaner Production, Volume 95, Pages 174-183, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.064>.
- Shah, S.H., Raja, I.A., Rizwan, M., Rashid, N., Mahmood, Q., Shah, F.A., Pervez, A. (2018). *Potential of microalgal biodiesel production and its sustainability perspectives in Pakistan*, Renew. Sustain. Energy Rev. 81, pp. 76-92, 10.1016/j.rser.2017.07.044.