

SAT-LCR-P-2-CT(R)-01

SUSTAINABLE STRATEGY FOR DESIGN AND MANAGEMENT OF BIODIESEL SUPPLY CHAINS ON A BULGARIAN CASE STUDY

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

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

Ch. Asst. Prof. eng. 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. Yunzile Dzhelil, PhD

Ch. Asst. Prof. eng. Rayka Vladova, PhD

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

Abstract: This article examines the application of a mixed integer linear programming (MILP) mathematical model for optimal design and planning of the biodiesel supply chain within Bulgaria. Sunflower and rapeseed are used as raw materials for biodiesel production. The country is divided into twenty-seven regions corresponding to its districts. Existing crops in each region, oil processing and biodiesel production plants, as well as potential crops are represented as discrete variables in the model. The mathematical model is solved using GAMS software and is a comprehensive decision-making tool. The proposed strategy can also be applied to different time intervals as well as to different countries or regions by adjusting the necessary modeling data.

Keywords: Biodiesel, Supply chain, Multi criteria decision making.

ВЪВЕДЕНИЕ

Въвеждането на биогоривата, като възможен заместител на изкопаемите енергоносители, биха допренесли за решаване въпроса свързан с негативите при използването на конвенционалните горива, като замърсяване на околната среда, нарушените доставки по целия свят, енергийната сигурност и др. (Dutta et al., 2014).

За да могат да се постигнат глобални, оптимални решения по отношение ресурсно-осигурителната верига 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, взимайки предвид екологичните и икономическите фактори, включително несигурностите, свързани със суровините и логистиката на биогоривата. За целта са разработени множество математични модели, които отразяват оптимизирането при проектиране на ресурсно-осигурителната верига за биогорива от различни потенциални източници на суровина (Hombach L. et al., 2016).

Целта на тази разработка е прилагайки математически модел за смесено целочислено линейно програмиране (MILP), да се извърши оптимално проектиране и планиране на

ресурсно-осигурителната верига за биодизел в България. Страната е разделена на двадесет и седем региона, съответстващи на нейните области. Съществуващите култури във всеки регион, предприятията за преработка на масло и производство на биодизел, както и потенциалните култури са представени като отделни променливи в модела. Математическият модел се решава с помощта на софтуера GAMS и е цялостен инструмент за вземане на решения.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Формулировка на математичния модел

Проблемът най-общо може да бъде изразен по следния начин. Имаме на разположение даден набор от енергийни култури, които следва да бъдат превърнати в биодизел. Те включват земеделски култури напр. слънчоглед, рапица и други. Предвиден е хоризонт за планиране пет години, включващ правителствени разпоредби, производство, строителство и въглероден данък. За целите на изследването се разглежда интегрираната ресурсно-осигурителна верига за биодизел (IBDSC), включваща набор от места за събиране и набор от зони на търсене, както и потенциални места за разполагане на отделните съоръжения и биорафинерии (Ganev E. et al., 2021). Фуражните суровини следва да бъдат транспортирани до биорафинериите за по-нататъшна обработка. Съставянето на математическия модел цели да помогне на вземащите решения при проектирането и планирането на устойчива IBDSC, като се използва методологията "Анализ на жизнения цикъл" (LCA). Моделът установява връзката със схемата за търговия с емисии за постигане на целите за устойчивост. IBDSC гарантира връзката между икономическите, екологичните и социалните показатели. Изследването на социалните аспекти (равенство на труда, здравеопазване, безопасност) показва, че те са зависими от контекста на функциониране на IBDSC, правителствените политики и културните норми. Така че при математическата формулировка, абстрахирането от социалните аспекти не би имало негативно отражение. Анализът свързан с производството и дистрибуцията на биодизел (B100) и дизелово гориво ще се извърши по три критерия, икономически, екологичен и социален. Оптималното решение би се явило компромис между тези три критерия.

Зависимости свързани с общото въздействие върху околната среда

Под екологични критерии за оценка, ще се разбира общото въздействие върху околната среда по време на работа на IBDSC чрез получените емисии на парникови газове при всеки времеви интервал $t \in T$. 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 $t \in T$:

$$TEI_t = ELS_t + ELB_t + ELD_t + ETT_t + ESW_t + ESTRAW_t + ECAR_t + EWCO_t, \forall t \quad (1)$$

където,

TEI_t Общо екологично въздействие от работата на IBDSC за целия жизнен цикъл $\left(\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{d}}\right)$;

$\begin{Bmatrix} ELS_t \\ ELB_t \\ ELD_t \\ ETT_t \end{Bmatrix}$ Екологично въздействие на етапите на жизнения цикъл;

ESW_t Емисии, отделени при оползотворяването на твърдия отпадък за всеки времеви интервал $t \in T$;

$ESTRAW_t$ Емисии, генерирани в резултат на оползотворяването на остатъчната слама в районите за всеки времеви интервал $t \in T$;

$ECAR_t$	Емисии от използването на биодизел (B100) и петролен дизел в превозните средства, $\left(\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{d}}\right)$.
$EWCO_t$	Емисии, отделени при утилизацията на отпадъчни мазнини и масла в случай, че не се използва за производство на биодизел (B100)

Основни зависимости при общите разходи

Икономическият критерий ще бъде разходите за съществуване на предприятието, които включват общите инвестиционни разходи за производствените мощности на биодизел (B100) и функционирането на IBDSC. Тази цена се изразява както следва за всеки интервал от време $t \in T$:

$$TDC_t = TIC_t + TIW_t + TPC_t + TPW_t + TTC_t + TTAXB_t - TL_t - TA_t + TWCO_t, \forall t \quad (2)$$

където,

TDC_t Общи разходи на IBDSC за година, $\left(\frac{\$}{y}\right)$;

TIC_T Общи инвестиционни разходи за производствен капацитет на IBDSC спрямо оперативния период на експлоатация и изкупуването на завода за година, $\left(\frac{\$}{y}\right)$

TIW_T Общи инвестиционни разходи за инсталациите за преработка на твърдите отпадъци на IBDSC спрямо оперативния период на експлоатация и изкупуването на завода на година, $\left(\frac{\$}{y}\right)$;

TPC_T Производствени разходи при производство на биодизел (B100), $\left(\frac{\$}{y}\right)$

TPW_T Производствени разходи за утилизиране на твърдите отпадъци, $\left(\frac{\$}{y}\right)$;

TTC_T Общи транспортни разходи на IBDSC, $\left(\frac{\$}{y}\right)$;

$TTAXB_T$ Въглероден данък, начислен според общата сума CO_2 , генериран при работата на IBDSC, $\left(\frac{\$}{y}\right)$;

TL_t Правителствени стимули за производството и потреблението на биодизел (B100), $\left(\frac{\$}{y}\right)$;

TA_t Обща стойност на съпътстващите продукти (глицерол, кюспе) $\left(\frac{\$}{y}\right)$;

$TWCO_t$ Цената на неизползваната част отпадъчни мазнини и масла за производство на биодизел (B100), която е наказателна функция. (Тази неизползвана част отпадъчни мазнини и масла се счита за екологичен замърсител, който трябва да се минимизира)

Основни зависимости при социалната оценка

Социалната оценка определя очаквания общ брой на създадените работни места (J_t) като резултат на действието на всички елементи на системата по време на нейната работа:

$$Job_t = NJ1_t + LT_t NJ2_t + LT_t NJ3_t, \quad \forall t \quad (3)$$

където, компонентите на (3) се определят съгласно отношенията при всеки времеви интервал $t \in T$, $\left(\frac{\text{Number of Jobs}}{y}\right)$:

$NJ1_t$ - броя на работните места, създадени по време на инсталирането на съоръженията за биодизел (B100) и твърдите отпадъци;

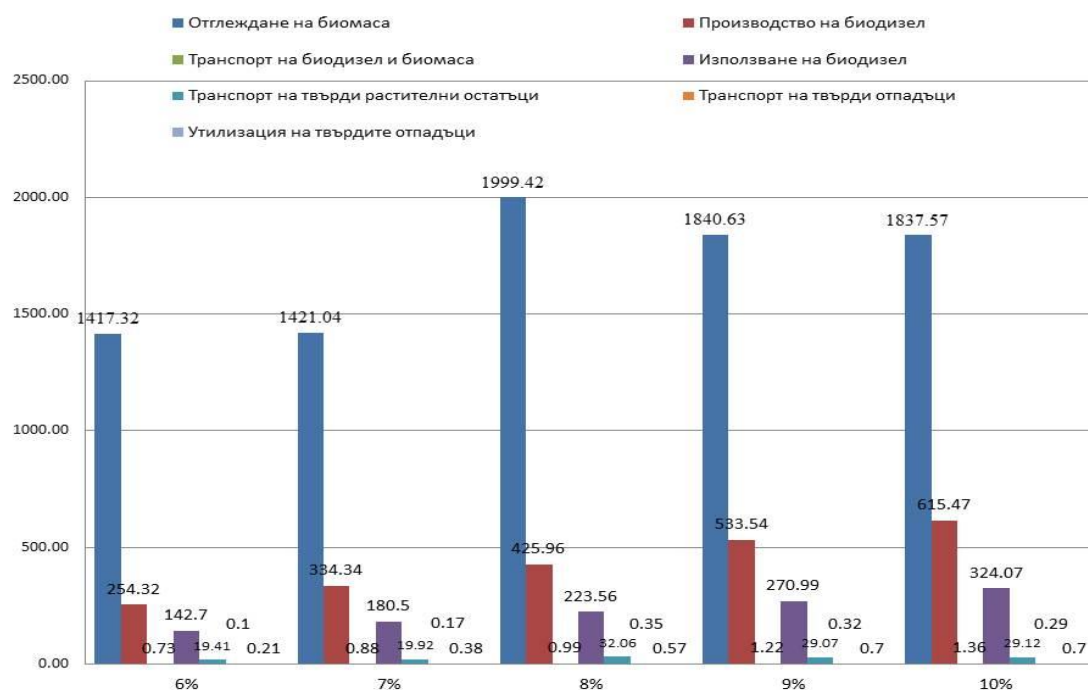
$NJ2_t$ - броя на работните места, създадени по време на работа на съоръженията за биодизел (B100) и твърдите отпадъци;

$NJ3_t$ - броя на работните места, създадени по време на отглеждането на биоресурсите за производството на биодизел (B100).

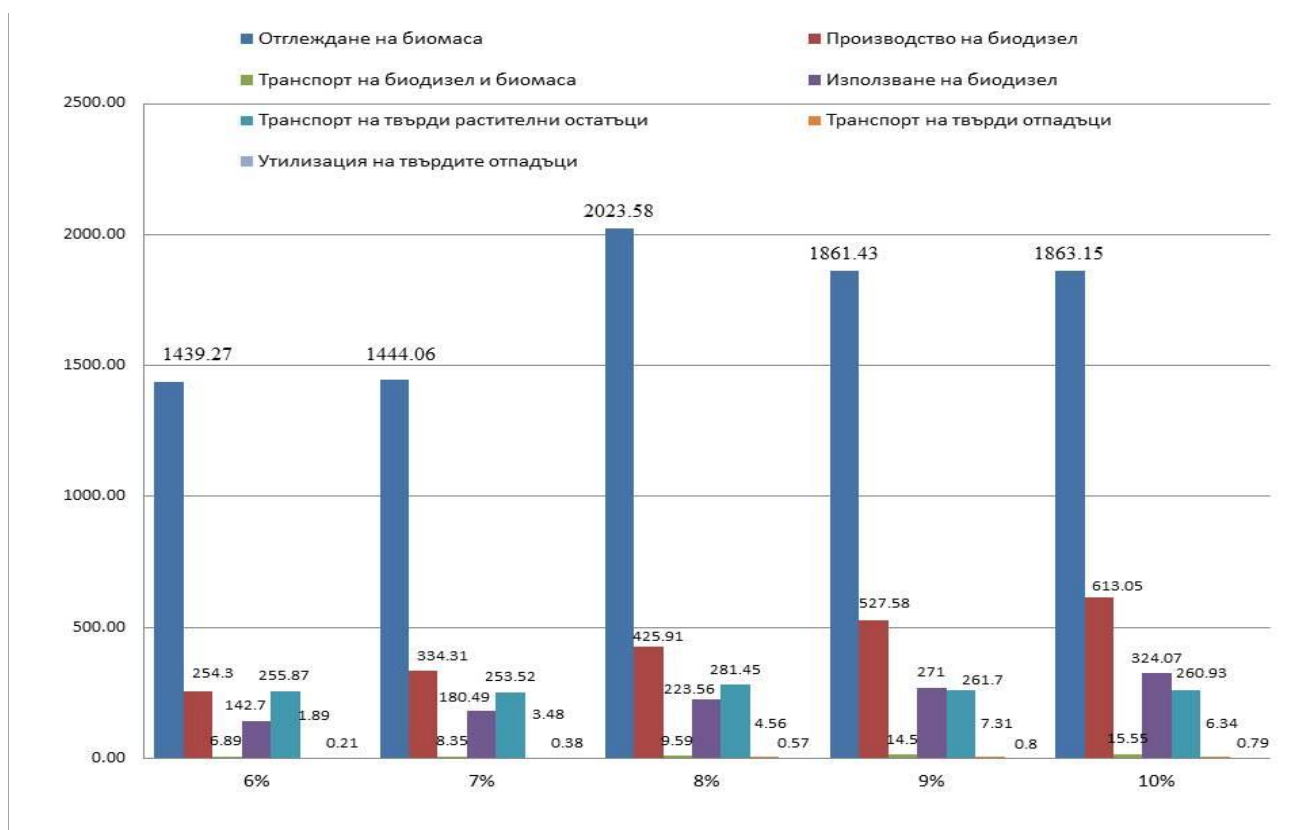
РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

Емисии парникови газове

Разпределението на емисиите на парникови газове се извършва за всички етапи на жизнения цикъл за цялата система за производство и разпределение на биодизел. Извършен е анализ по отношение на (А) Минимални общи емисии на парникови газове и (Б) Минимални общи годишни разходи



Фиг. 1. Разпределение на емисиите на парникови газове за етапите на жизнения цикъл за цялата система за производство и разпределение на биодизел при критерий:
(А) Минимални общи емисии на парникови газове

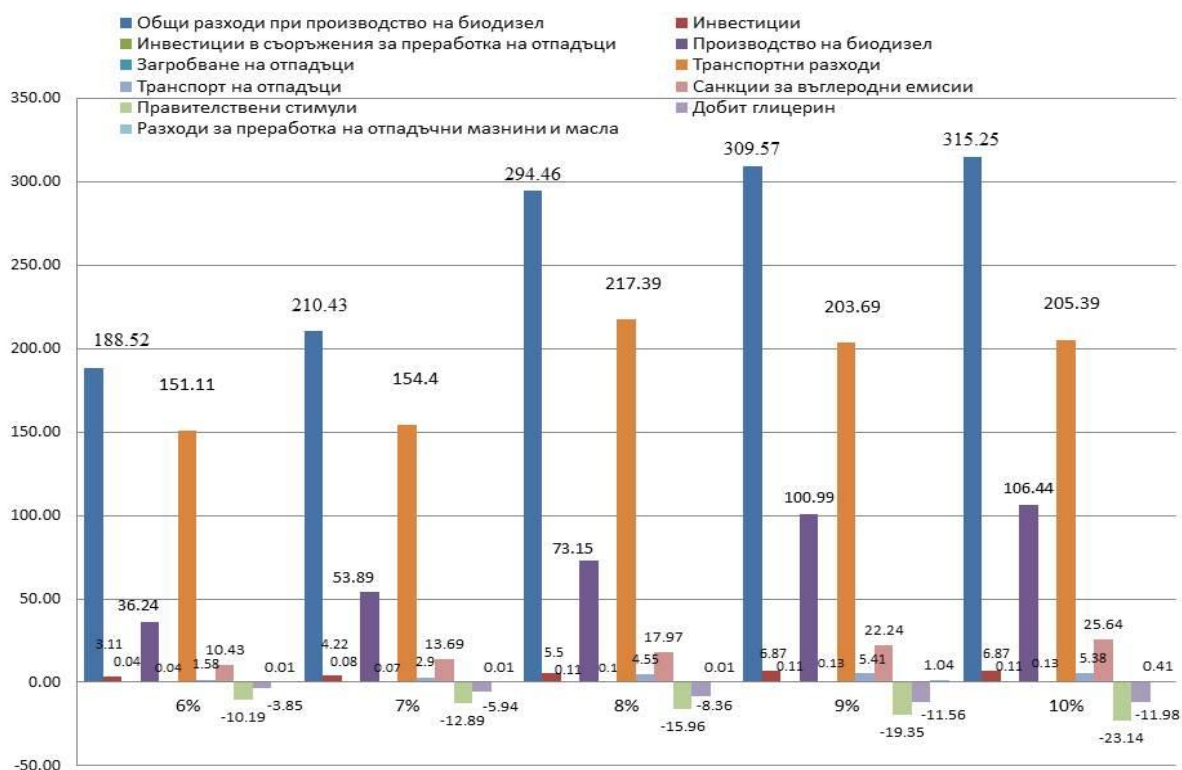


Фиг. 2. Разпределение на емисиите на парникови газове за етапите на жизнения цикъл за цялата система за производство и разпределение на биодизел при критерий: (Б) Минимални общи годишни разходи

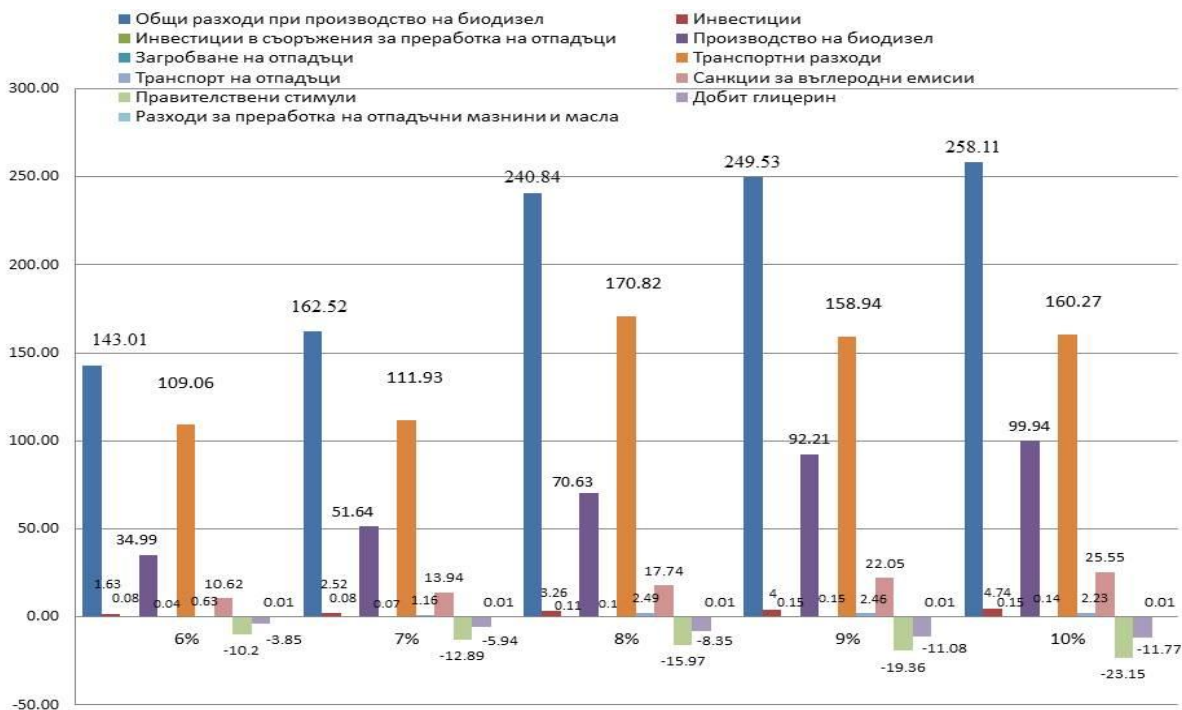
От Фиг. 1 и Фиг. 2, може да се направят следните изводи: Най-високи стойности на емисиите от парникови газове се регистрират в процесите свързани с отглеждането на биомасата като суровина за производство на биодизел. Този резултат обаче е обезпечен с факта че за да натрупат биомаса, растенията асимилират въглероден диоксид от атмосферата в процеса на фотосинтеза, като наред с това емитират кислород. Поради тази причина, този тип емисии могат да дадат само едностранна информация, предвид екологосъобразния тип земеделие. Емисиите обаче, отделени при производството на биодизел, както и при неговата експлоатация са показателни за цялостния процес на производство на биодизел. Прави впечатление, че най-ниски нива на отделените емисии парникови газове и при двата критерия се отчитат при транспорта на суровини и продукция. По-ниските стойности на емисиите при критерий (А) Минимални общи емисии на парникови газове в сравнение с (Б) Минимални общи годишни разходи, се дължат на факта, че според критерий (А) Минимални общи емисии на парникови газове, предпочитания транспорт е железопътния, докато при критерий (Б) Минимални общи годишни разходи се разчита на превоз при по-къси разстояния посредством автомобилен транспорт.

Структура на разходите на ресурсно-осигурителната верига за биодизел

Фигура 3. и Фигура 4. отразяват структурата на разходите на ресурсно-осигурителната верига за биодизел (B100), при двата основни критерия. Резултатите показват, че и в двата случая, най - високи стойности отчитат общите разходи за производство на биодизел, следвани от транспортните разходи и разходите за същинското производство (суровини и енергия). Съпоставяйки стойностите на показателите при двата критерия, отчитаме по-високи такива при (А) Минимални общи емисии на парникови газове в сравнение с (Б) Минимални общи годишни разходи. Това е обусловено с целите, които трябва да бъдат постигнати за всеки отделен случай, като оптималния вариант би бил компромис между двата изследвани критерия.



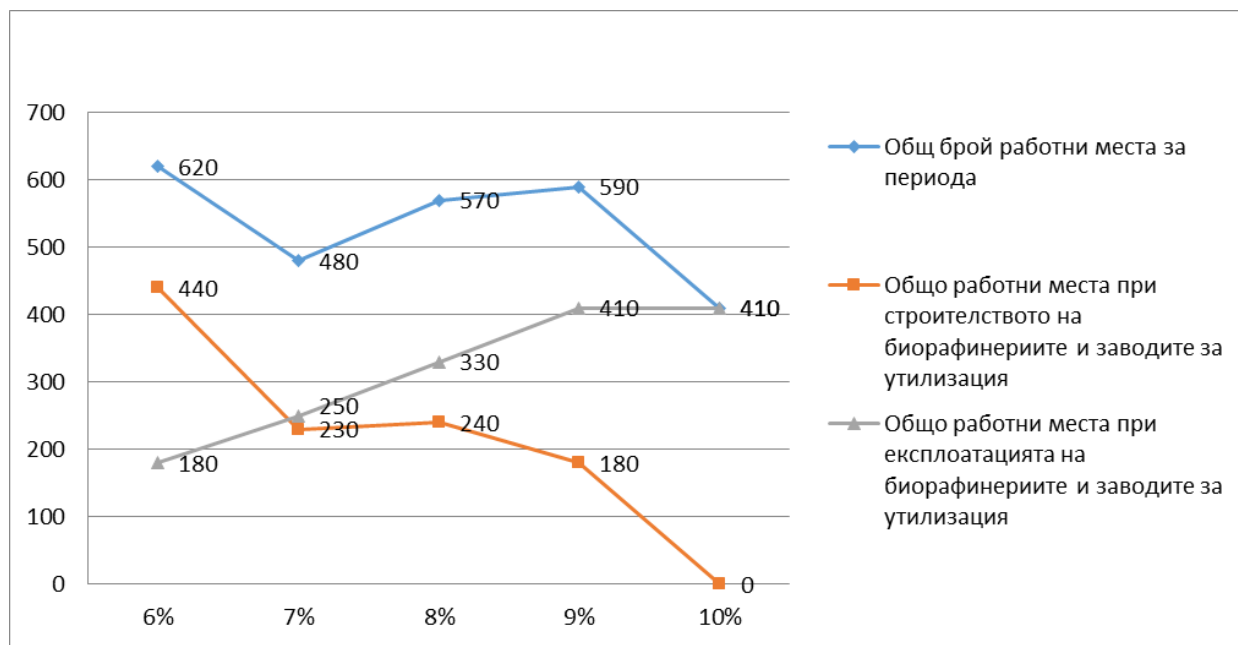
Фиг. 3. Структура на разходите на SC за биодизел (B100) при критерий:
(А) Минимални общи емисии на парникови газове



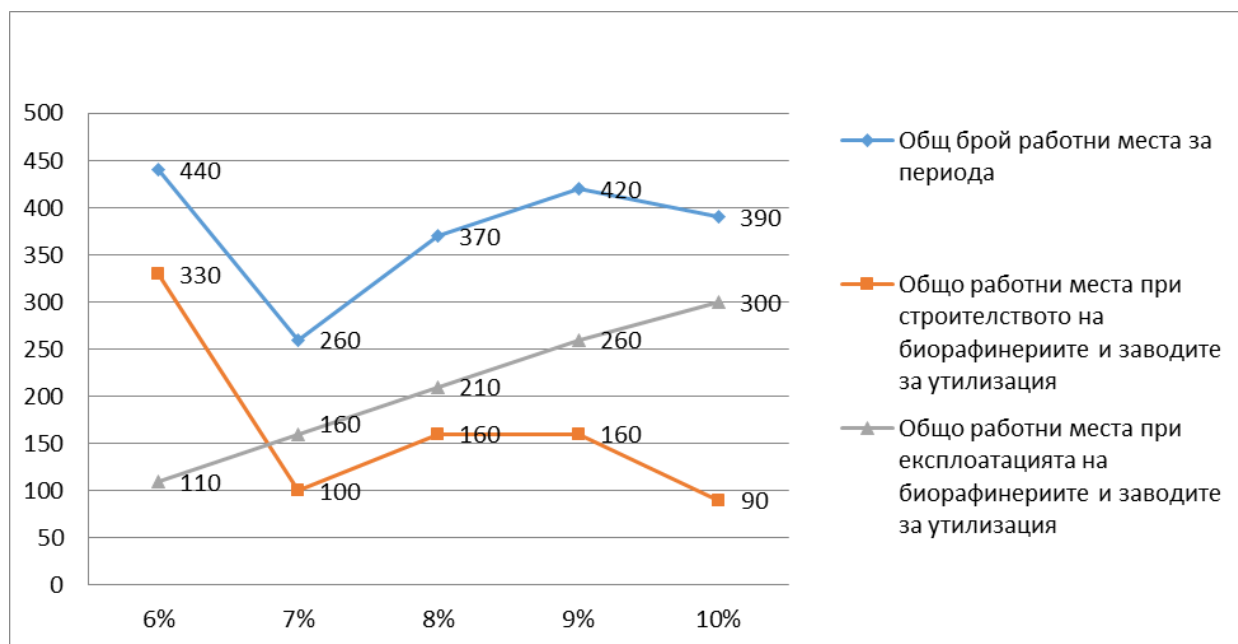
Фиг. 4. Структура на разходите на SC за биодизел (B100) при критерий:
(Б) Минимални общи годишни разходи

Структура на разпределението на работните места заети при строителството и експлоатацията на ресурсно-осигурителната верига за биодизел

Разпределението на работните места заети при строителството и експлоатацията на ресурсно-осигурителната верига за биодизел при двата критерия **Фигура 5.** и **Фигура 6.**, показват брой работни места при (А) Минимални общи емисии на парникови газове в сравнение с (Б) Минимални общи годишни разходи. Както беше споменато по горе, това е обусловено с целите, които трябва да бъдат постигнати за всеки отделен случай.



Фиг. 5. Разпределение на работните места заети при строителството и експлоатацията при критерий: (А) Минимални общи емисии на парникови газове



Фиг. 6. Разпределение на работните места заети при строителството и експлоатацията при критерий: (Б) Минимални общи годишни разходи

ИЗВОДИ

За да се постигне „интелигентен“ дизайн на системата за производство и разпространение на биодизел, е необходимо да се вземат предвид взаимодействията между всички компоненти, включени в производството и дистрибуцията на биодизел, произведени от различни видове биомаса. В същото време трябва да бъдат изпълнени изискванията на Директива 20/20/20 на ЕО. Анализирайки резултатите, установихме, че икономически конкурентното производство на биодизел зависи от оптимизирането на цялата интегрирана верига на доставки през целия хоризонт за планиране за България. Предложената стратегия може да се приложи и към различни времеви интервали, както и към различни държави или региони чрез коригиране на необходимите данни за моделиране.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изследването е осъществено с финансовата подкрепа на Фонд „Научни изследвания“, Министерство на образованието и науката на Република България, Договор № КП-06-Н37/5/06.12.19г.

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
- 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>.