



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
Институт по инженерна химия



ЕВГЕНИЙ ИВАНОВ ГАНЕВ

**ОПТИМАЛЕН СИНТЕЗ И УПРАВЛЕНИЕ НА РЕСУРСНО -
ОСИГУРИТЕЛНИ ВЕРИГИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО И
РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА БИОДИЗЕЛ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертационен труд,
за придобиване на образователна и научна степен
“ДОКТОР”**

**по докторска програма:
„Процеси и апарати в химичната и биохимичната технология”**

**в професионално направление
4.2. „Химически науки”**

София, 2019г.

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
Институт по инженерна химия

ЕВГЕНИЙ ИВАНОВ ГАНЕВ

**ОПТИМАЛЕН СИНТЕЗ И УПРАВЛЕНИЕ НА РЕСУРСНО -
ОСИГУРИТЕЛНИ ВЕРИГИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО И
РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА БИОДИЗЕЛ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертационен труд,
за придобиване на образователна и научна степен
“ДОКТОР”**

**по докторска програма:
„Процеси и апарати в химичната и биохимичната технология”**

**в професионално направление
4.2. „Химически науки”**

**Научни ръководители:
проф. дтн Боян Бонев Иванов,
доц. д-р Драгомир Господинов Добруджалиев**

София, 2019г.

ЕВГЕНИЙ ИВАНОВ ГАНЕВ

**ОПТИМАЛЕН СИНТЕЗ И УПРАВЛЕНИЕ НА РЕСУРСНО -
ОСИГУРИТЕЛНИ ВЕРИГИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО И
РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА БИОДИЗЕЛ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертационен труд,
за придобиване на образователна и научна степен
“ДОКТОР”**

**по докторска програма:
„Процеси и апарати в химичната и биохимичната технология”**

**в професионално направление
4.2. „Химически науки”**

Научно жури:

- 1. проф. д-р Наташа Ваклиева-Банчева**
- 2. проф. д-тн Боян Иванов**
- 3. проф. д-тн Христо Бояджиев**
- 4. проф. д-р Коста Бошнаков**
- 5. проф. д-р Мария Кършева**

София, 2019г.

Дисертационният труд съдържа 196 страници, 48 фигури и 58 таблици. Структуриран е както следва: въведение, четири глави, заключение, приноси, списък на авторските публикации по темата на дисертацията и списък на цитираната литература. Използвани са 266 литературни източника. Номерациите на използваните в автореферата фигури, таблици, уравнения и цитати, са идентични с тези в дисертацията.

Докторанта е зачислен в редовна докторантура към лаборатория „Инженерно-химична системотехника”, Институт по инженерна химия при Българска академия на науките през 2015 година.

Дисертационният труд е обсъден от Колоквиума по Инженерна химия и насочен към защита пред Научно жури от Научния съвет на Института по електрохимия и енергийни системи при БАН с Протокол

Защитата на дисертационния труд ще се проведе
на от ч.
в залата на Института по инженерна химия към Българска академия на науките,
гр. София, ул. ”Акад. Г. Бончев”, бл. 103,
на заседание на Научно жури в състав:

1. проф. д-р Наташа Ваклиева-Банчева,
2. проф. д-р Боян Иванов,
3. проф. д-р Христо Бояджиев,
4. проф. д-р Коста Бошнаков,
5. проф. д-р Мария Кършева.

Изказвам своите най-искрени благодарности към научните ми ръководители проф. д-р Боян Иванов и доц. д-р Драгомир Добруджалиев. За мен беше чест и привилегия да работя с тях. Благодаря за подкрепата и търпението, с които ми съдействаха при разработването и оформянето на дисертационния труд. Опитът и уменията, които придобих и усъвършенствах, благодарение на Вас са безценни.

Благодаря на семейството си и на всички приятели, които ме подкрепяха през цялото време, мотивираха ме и ми помогнаха да повярвам в себе си.

Всички материали по защитата са публикувани на интернет страницата на ИИХ- БАН

<http://www.iche.bas.bg/>

СЪДЪРЖАНИЕ

ВЪВЕДЕНИЕ	10
ГЛАВА 1. СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА ЗА ОПТИМАЛЕН СИНТЕЗ И УПРАВЛЕНИЕ НА РЕСУРСНО - ОСИГУРИТЕЛНИ ВЕРИГИ (SC) ЗА ПРОИЗВОДСТВО И РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА БИОДИЗЕЛ . ..	11
1.1. Актуалност на проблема за оптималния синтез и управление на ресурсно-осигурителни вериги за биодизел . ..	11
1.1.1. Вземане на решения за SC	11
1.1.1.1. <i>Стратегически решения за SC за биогорива</i>	11
1.1.1.2. <i>Тактически решения за SC за биогорива</i>	11
1.1.1.3. <i>Оперативни решения за SC за биогорива</i>	12
1.2. Модели на SC за биодизел	12
1.2.1. <i>Главна структура на SC за биогорива</i>	12
1.2.2. <i>Критерии за проектиране на SC</i>	12
1.2.2.1. <i>Екологични критерии</i>	12
1.2.2.2. <i>Икономически критерии</i>	12
1.2.2.3. <i>Социални критерии</i>	12
1.2.3. <i>Детерминистични модели за синтез на SC за биодизел</i>	12
1.2.3.1. <i>Подход с използване на математичното програмиране</i>	12
1.2.3.2. <i>Детерминистични модели за синтез с използване на линейно програмиране</i>	13
1.2.3.3. <i>Детерминистични модели за синтез с използване на смесено целочислено линейно програмиране</i>	13
1.2.3.4. <i>Детерминистични модели за синтез с използване на нелинейно програмиране (NLP)</i>	13
1.2.3.5. <i>Детерминистични модели за синтез с използване на многокритериално вземане на решение</i>	13
1.2.3.6. <i>Детерминистични модели за синтез с използване на евристични и мета-евристични подходи</i>	13
1.3. Изводи към първа глава	14
ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА. . ..	15
ГЛАВА 2. СЪВРЕМЕННИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА БИОДИЗЕЛ И ПАРАМЕТРИ НА ИЗПОЛЗВАНИТЕ БИОСУРОВИНИ	16
2.1. <i>Суровини при производството на биодизел</i>	16
2.2. <i>Съвременни технологии за производство на биодизел</i>	16
2.2.1. <i>Микроемулгиране</i>	17
2.2.2. <i>Пиролиза</i>	17
2.2.3. <i>Трансестерификация</i>	17
2.3. <i>Характеристика на технологиите за производство на биодизел от растителни суровини</i>	17
2.3.1. <i>Характеристика на технологиите за производство на биодизел от растителни суровини, конкурентни на хранително вкусовата промишленост</i>	19
2.3.2. <i>Характеристика на технологиите за производство на биодизел от растителни суровини, неконкурентни на хранително вкусовата промишленост</i>	19

2.3.3.	<i>Характеристика на технологиите за производство на биодизел от животински и отпадъчни мазнини</i>	20
2.4.	Основни свойства на биодизела	20
2.5.	Смесване на биодизел (B100) с петролен дизел	21
2.6.	Изводи към втора глава	21
ГЛАВА 3.	МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА УСТОЙЧИВА ИНТЕГРИРАНА РЕСУРСНО - ОСИГУРИТЕЛНА ВЕРИГА ЗА БИОДИЗЕЛ (IBDSC)	22
3.1.	Същност на проблема	22
3.2.	Формулировка на модела	24
3.2.1.	<i>Описание на математическия модел</i>	24
3.2.2.	<i>Входни параметри за проблема</i>	25
3.2.3.	<i>Променливи за решение на проблема</i>	33
3.2.4.	<i>Основни зависимости за решаване на проблема</i>	36
3.2.5.	<i>Ограничения на модела</i>	47
3.2.5.1.	<i>Ограничения, свързани с капацитета на заводите</i>	47
3.2.5.2.	<i>Баланс на биодизел (B100), който ще бъде произведен от биомаса, налична в регионите</i>	48
3.2.5.3.	<i>Допустимост на потоците при работа на IBDSC</i>	48
3.2.5.4.	<i>Ограничения, гарантиращи снабдяването на регионите със слама за технически нужди</i>	49
3.2.5.5.	<i>Ограничения, гарантиращи снабдяването на регионите със зърно за осигуряване на продоволствената сигурност</i>	49
3.2.5.6.	<i>Ограничения за заводите за утилизация на твърдите отпадъци</i>	49
3.2.5.7.	<i>Логически ограничения</i>	49
3.2.5.8.	<i>Транспортни ограничения</i>	50
3.2.5.9.	<i>Ограничения за проектиране на SC</i>	51
3.2.5.10.	<i>Ограничения на общото въздействие върху околната среда от всички региони</i>	51
3.2.5.11.	<i>Ограничения, свързани с обработваемите площи</i>	51
3.2.5.12.	<i>Ограничения за сеитбооборота</i>	52
3.2.5.13.	<i>Ограничения за енергийните баланси</i>	52
3.2.5.14.	<i>Ограничения за общите разходи за IBDSC</i>	53
3.2.6.	Формулиране на целите на оптимизационния проблем	53
3.2.6.1.	<i>Икономическа цел</i>	53
3.2.6.2.	<i>Екологична цел</i>	54
3.2.6.3.	<i>Социална цел</i>	55
3.2.7.	Съставяне на оптимизационния проблем	56
3.2.7.1.	<i>Еднокритериални модели</i>	56
3.3.	Изводи към трета глава	58
ГЛАВА 4.	ПРИЛОЖЕНИЕ НА МАТЕМАТИЧНИЯ МОДЕЛ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА УСТОЙЧИВА IBDSC В РАМКИТЕ НА БЪЛГАРИЯ	59
4.1.	Входни данни за проектиране на IBDSC в рамките на България	59
4.1.1.	Териториално разделение на България и данни за потреблението на петролен дизел от транспорта	59
4.1.1.1.	<i>Териториално разделение на България, според наличните обработваеми площи и население по региони</i>	59

4.1.1.2.	<i>Данни за потреблението на дизелово гориво за транспорта за периода 2016 - 2020 г.</i>	60
4.1.2.	<i>Потенциални суровини за производство на биодизел (B100) в България</i>	60
4.1.3.	<i>Данни за емисионния фактор за отглеждане на биомаса и добив</i>	60
4.1.4.	<i>Данни за производствените разходи за енергийни култури, произведени в България</i>	60
4.1.5.	<i>Потенциални местоположения на рафинерии за биодизел и нефтен дизел</i>	60
4.1.6.	<i>Технология за производство на биодизел (B100) за целите на проучването</i>	61
4.1.7.	<i>Конверсионен фактор на биомаса към биодизел (B100)</i>	61
4.1.8.	<i>Разходи и капацитет на биорафинериите</i>	61
4.1.9.	<i>Производствени разходи за биодизел (B100)</i>	61
4.1.10.	<i>Данни за петролни дизелови инсталации</i>	61
4.1.11.	<i>Данни за биодизел (B100) и нефтен дизел</i>	62
4.1.12.	<i>Данни за транспортни разходи и емисионни фактори за биомаса и биодизел (B100)</i>	62
4.2.	Анализ на резултатите, получени за оптималния синтез на SC на примера за България, прилагайки разработения метод	62
4.2.1.	<i>Производство на биомаса</i>	62
4.2.2.	<i>Разпределение на обработваемата земя</i>	65
4.2.3.	<i>Доставка на биомаса</i>	66
4.2.4.	<i>Доставка на биодизел и петролен дизел от заводите и складовете до крайните потребители</i>	66
4.2.5.	<i>Оптимален дизайн на системата</i>	66
4.2.6.	<i>Разпределение на емисиите на парникови газове за етапите на жизнения цикъл при производството на биодизел</i>	68
4.2.7.	<i>Структура на разходите на SC за биодизел</i>	71
4.2.8.	<i>Географско разположение на заводите за производството на биодизел и инсталациите за утилизация на твърдите отпадъци и логистика на потоците</i>	72
4.2.9.	<i>Обобщени изчислителни резултати</i>	74
4.3.	Заключение към четвърта глава	76
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	77
	Научни приноси	77
	Научно-приложни приноси	77
	Приложни приноси	77
	<i>Публикувани статии и доклади в пълен текст с редактор и издател и намерени цитати от чужди автори върху тях</i>	78
	<i>Изнесени доклади на международни научни форуми</i>	79
	<i>Изнесени доклади на национални научни форуми</i>	80
	<i>Литература</i>	81

ВЪВЕДЕНИЕ

Понятието биодизел е известно още от 1890 г., когато Рудолф Дизел изобретява дизеловия двигател за машините в селското стопанство, работещ с фъстъчено масло. Наличието по онова време на по-евтиното петролно гориво не благоприятства за неговото промишлено производство, докато не настъпват енергийната и екологична кризи, което подновява интереса към растителните масла и тяхното използване.

На 8 май 2003г. е приета Директива 2003/30/ЕО за насърчаване използването на биогорива в транспорта. Тя цели екогоривата постепенно да влязат в състава на дизеловите и бензиновите горива във всяка страна-членка.

Биодизелът е възобновяем, нетоксичен и биоразградим. Известен е като въглеродно неутрално гориво, тъй като при неговото изгаряне се отделя толкова въглероден диоксид, колкото е бил взет от атмосферата при фотосинтезата и растежа на растението. Също така използването му би довело до намаляване на вредните емисии като SOx, CO, CO₂, сажди, както и на NOx. Нещо повече, недостигът на конвенционални изкопаеми горива, увеличаването на емисиите на замърсители, парникови газове, атмосферното замърсяване и глобалното затопляне, както и нарастващите разходи ще направят биогоривата по-привлекателни. Биодизелът може да се счита за алтернативно, възобновяемо гориво и най-добър кандидат за заместване на дизеловото гориво по ред предимства: по-високо цетаново число, подобрява работата на двигателя, увеличава мощността му, намалява разхода на гориво и има по-гладко горене от петролния дизел.

Химически биодизелът представлява смес от моно-алкилови естери, получени от растителни масла, чрез процеса известен като трансестерификация. Той може да бъде произведен също така и от други източници като: животински мазнини, отпадно олио и масла.

Разработваните в дисертационния труд проблеми, търпят изключително бурно развитие през последните години. Свидетелство за това са многобройните теоретични разработки и съответни приложения в индустриалната практика. Интересът към това ново направление е продиктуван от това, че понастоящем се наблюдава обединяване на отделни промишлени предприятия в мощни корпорации или съгласувани действия на отделни предприятия със сходни предмети на дейност. Разбира се крайната цел на такива действия е продиктувана от стремежа за постигане на високи икономически резултати, съчетано с устойчиво развитие и предсказуемост на крайните резултати в краткосрочен и дългосрочен план.

В настоящата дисертация се използва смесения, целочислен модел на линейно програмиране (MILP) за оптимално проектиране и планиране на ресурсно-осигурителната верига за биодизел. Слънчогледът и рапицата се използват като суровина първо поколение за производството на биодизел, докато отпадъчните готварски масла (WCO) и отпадъчните животински мазнини се използват като суровина второ поколение. България е разделена на двадесет и седем региона, съответстващи на нейните области. Съществуващите във всеки регион култури, нефтени и биодизелови инсталации и потенциалните такива са представени като дискретни променливи в модела. Математическият модел е симулиран с помощта на GAMS софтуер и представлява инструмент за вземане на всеобхватни решения. Предложената стратегия може да се приложи за други страни или региони чрез коригиране на необходимите данни за моделиране.

ГЛАВА 1. СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА ЗА ОПТИМАЛЕН СИНТЕЗ И УПРАВЛЕНИЕ НА РЕСУРСНО – ОСИГУРИТЕЛНИ ВЕРИГИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО И РАЗПРЕДЕЛЕНИЕ НА БИОДИЗЕЛ.

1.1. Актуалност на проблема за оптималния синтез и управление на ресурсно-осигурителни вериги за биодизел.

Терминът ресурсно-осигурителна верига „*Supply Chain*” (SC) се появява за първи път през 1982г. Той е въведен от професионалните консултанти Оливър и Уебър, за да опишат мрежа от организации, които участват в различните процеси и дейности, всяка от които произвежда стойност под формата на продукти и услуги, достигайки до потребителя [1].

Изграждането на SC започва с определянето на вида на изходната суровина и местоположението за нейното отглеждане, като се вземе предвид, ограничеността на земеделските площи и недостига на храни и хранителни продукти. На следващия етап е необходимо да се решат проблемите като събиране и транспортиране до складовете за съхранение и последващо транспортиране до биорафинериите, формирайки специална координационна система, осигуряваща най-добрата възможност между отделните региони.

Изборът на местоположение и технология е най-важният етап от производството на биогориво. Тук трябва да се имат предвид и оптималните мощности на биорафинериите.

След избора на технология, следва избор на транспорт и маршрут за транспортиране на готовия продукт до съоръженията за смесване, като предварително трябва да се определят и местоположенията им, тъй като получените биогорива в чист вид могат да се използват само в хибридни/специални автомобили, което изисква тяхното смесване с петролните горива за масово ползване от обикновен двигател с вътрешно горене.

1.1.1 Вземане на решения за SC

Като цяло, SC се състои от обобщена мрежа от доставчици, производители и крайни потребители. Управлението на SC е управление на всички дейности в нея, за да се гарантира ефективността на материалния поток, информационния поток и паричния поток [2].

1.1.1.1. Стратегически решения за SC за биогорива

Стратегическите решения ресурсно-осигурителната верига на биогорива включват, но не се ограничават до; (1) избор на технологии за производство на енергия, (2) конфигурация на мрежата, (3) договори за предлагане и търсене и (4) осигуряване на устойчивост [26].

1.1.1.2. Тактическите решения за SC за биогорива

Тактическите решения са средносрочни решения, които включват решения за снабдяване, решения за производство, график, транспорт и логистични договори и дефиниране на процеса на планиране. Решенията за складовите наличности, като местоположение, качество и количество на запасите, също се вземат предвид. Решенията, взети на ниво тактическо решение, са планирани за постигане и изпълнение на стратегическите решения [31].

1.1.1.3. Оперативни решения за SC за биогорива

Оперативните решения са краткосрочни решения, които гарантират, както непрекъснатото функциониране на заводите, така и различните процеси в ресурсно-осигурителната верига. Тези решения се вземат ежедневно или ежеседмично, а понякога и по-често, за да се гарантира, че продуктите се произвеждат, доставят и продават своевременно и рентабилно [36].

1.2. Модели на SC за биодизел

1.2.1. Главна структура на SC за биогорива

Ресурсно-осигурителните вериги се разглеждат, като интегрирана мрежа от съоръжения и възможности за транспорт за доставка, производство, съхранение и дистрибуция на материали и продукти. Те се различават значително по размер, сложност и мащаб от индустрията до промишлеността. Стандартните елементи на SC могат да включват доставчици, производители и дистрибутори. Във физическото измерение тези елементи се превеждат в съоръжения за преработка, фабрики, камиони, влакове и складове [6].

1.2.2. Критерии за проектиране на SC

Устойчивостта се изразява в посрещане на днешните енергийни нужди при екологосъобразност, икономически просперитет и качество на живот, без да се прави компромис с възможността на бъдещите поколения да посрещнат своите нужди [39].

1.2.2.1. Екологични критерии

Основните въпроси на екологичната устойчивост са: (1) емисии на парникови газове, (2) качество на водните ресурси (3) деградация на почвата и загуба на биологично разнообразие [46].

1.2.2.2. Икономически критерии

Икономически разгледан въпроса за биогоривата, включва, но не се ограничава до следното; (1) сравнение по отношение с петролните горива, (2) енергиен баланс и (3) увеличаване на бюджетните програми за биогорива [43] [45] [48].

1.2.2.3. Социални критерии

Социалните аспекти при навлизането на биогоривата, разглеждат потенциала на технологичните иновации и как той подобрява благосъстоянието на обществото. Някои от въпросите на концепцията за социална устойчивост включват; (1) потенциал за намаляване на бедността, (2) непреки въздействия върху земята и (3) въздействие върху социалните ресурси, като например системите за водоснабдяване [2].

1.2.3. Детерминистични модели за синтез на SC за биодизел

Детерминистичните модели приемат априори, че всички параметри такива като прогнозните цени за всеки един от продуктите произвеждани в рамките на SC и други са известни. Това има смисъл за кратки времеви интервали.

1.2.3.1. Подход с използване на математичното програмиране.

Според *Hamid et al.*, моделите с използване на математическо програмиране включват целеви функции, ограничения и независими променливи. Последните трябва да бъдат определени. Цели се получаване оптималната стойност на целевата функция и решението, като се удовлетворят всички ограничения [54].

1.2.3.2. Детерминистични модели за синтез с използване на линейно програмиране.

Линейното програмиране “*Linear Programming*” (LP) е специфичен вид метод за математическо програмиране, при който целевата функция и ограниченията са линейни [54].

1.2.3.3. Детерминистични модели за синтез с използване на смесено целочислено линейно програмиране.

Подобно на LP моделите, моделите на смесеното целочислено линейно програмиране “*Mixed Integer Linear Programming*” (MILP), имат линейни целеви функции и ограничения, с тази разлика, че при вторите, всички или някои от променливите са цели числа [64].

1.2.3.4. Детерминистични модели за синтез с използване на нелинейно програмиране (NLP)

NLP моделите включват специфични типове нелинейни ограничения и/или целеви функции. В зависимост от наличието или отсъствието на целочислени променливи, моделът е или от типа на смесеното целочислено нелинейно програмиране “*Mixed Integer Non-linear Programming*” (MINLP), или от типа нелинейно програмиране [54].

1.2.3.5. Детерминистични модели за синтез с използване на многокритериално вземане на решение.

Моделите за вземане на многокритериални решения “*Multi-Criteria Decision Making*” обикновено се справят с противоречиви цели или атрибути при вземане на решение. Тези модели са или вземане на решения с много атрибути “*Multi-Attribute Decision Making*” или многоцелево вземане на решения “*Multi-Objective Decision Making*” [54].

1.2.3.6. Детерминистични модели за синтез с използване на евристични и мета-евристични подходи.

Iddrisu & Jun [2] разделят оптимизационните методи и алгоритми на точни и приблизителни. Тези, които включват стандартни алгоритми с точно решение, са в състояние да намерят точни оптимални решения, но не са в състояние да се справят със сложните задачи за оптимизация (т.е. сложно NP и изключително сложно NP), тъй като изчислителното време нараства експоненциално. Методите за сближаване, които включват евристични и мета-евристични алгоритми, са в състояние да намерят близки до оптималните решения за сложни проблеми за кратък период от време.

1.3. Изводи към първа глава

1. Изграждането на SC започва с определянето на вида на изходната суровина и местоположението за нейното отглеждане (внос или собствено производство), като се вземе предвид, ограничеността на земеделските площи и недостига на храни и хранителни продукти. На следващия етап е необходимо да се решат проблемите като събиране, и транспортиране до складовете за съхранение и последващо транспортиране до биорафинериите, формирайки специална координационна система, осигуряваща най-добрата възможност между отделните региони.
2. Изборът на местоположение и технология е най-важният етап от производството на биогориво. Тук трябва да се има предвид и оптималните мощности на биорафинериите. Трябва да се осигурят такива производствени мощности, за да изпълнят изискванията на пазара и Директивата на ЕС.
3. След избора на технология, следва избор на транспорт и маршрут за транспортиране на готовия продукт до съоръженията за смесване, като предварително трябва да се определят и местоположенията им, тъй като получените биогорива в чист вид могат да се използват само в хибридни/специални автомобили, което изисква тяхното смесване с петролните горива за масово ползване от обикновен двигател с вътрешно горене.
4. Устойчивото развитие изисква баланс между околната среда, икономиката и социална устойчивост.
5. Проектирането на ресурсно-осигурителната верига за биогориво трябва да се съсредоточи върху оптимизиране на стратегически, тактически и оперативни решения за намаляване на общите разходи на системата или увеличаване на печалбата.
6. Управлението на ресурсно-осигурителната верига е управление на всички дейности в ресурсно-осигурителната верига, за да се гарантира ефективността на материалния, информационния и паричния поток.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИОННАТА РАБОТА

Целта на дисертационната работа е разработването на стратегия, методи и програмни средства за оптимално използване на ресурсите при производството на биодизел. Анализират се етапите на жизнения цикъл, както следва: отглеждане на суровината, транспортирането и до предприятието, производство на биодизел и транспорт до централите за смесване. При оптимизиране на ресурсно – осигурителната верига се отчитат два критерия: количество отделени парникови емисии и възможно най-ниска цена на произведения биодизел. Оптимизацията се извършва, като единият от критериите се поставя, като ограничение и се търсят оптималните стойности на втория критерий. Когато критерий е минимално отделено количество парникови емисии в атмосферата, тогава като ограничение се ползват разходите по-веригата за производство на биодизел. В този случай се търсят физически възможните стойности на емисионните показатели. И обратното, когато критерий е минимум на разходите за построяване и експлоатация на биорафинерията, то тогава като ограничение се поставят количеството парникови емисии. Търсят се стойностите на ценовите показатели.

Обектът на изследване представлява територията на република България. Използва се законовото административно деление на страната ни, според което съществуват 27 региона на планиране. Тези региони са както следва: Видин, Монтана, Враца, София, Перник, Кюстендил, Благоевград, Пазарджик, Ловеч, Плевен, В. Търново, Габрово, Пловдив, Смолян, Кърджали, Хасково, Стара Загора, Ямбол, Сливен, Търговище, Русе, Разград, Шумен, Силистра, Добрич, Варна и Бургас.

За постигане на поставената цел, имайки предвид казаното по-горе, а също така и изводите направени в т. 1.4, са формулирани следните **задачи**;

1. *Разработване на стратегия за оптимално използване на ресурсите в РОВ.*
2. *Извеждане на математичен модел, с помощта, на който да се достигне до адекватно решение на проблема.*
3. *Създаване на подходяща програмна среда за решаване на оптимизационната задача.*
4. *Верификация на модела върху два примера, в зависимост от местата за смесване на получения биодизел, като единия от вариантите да е Лукойл Нефтохим Бургас, а при другия всеки един от регионите.*
5. *Обработка на получените резултати и критичен поглед върху тях.*

ГЛАВА 2 СЪВРЕМЕННИ ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА БИОДИЗЕЛ И ПАРАМЕТРИ НА ИЗПОЛЗВАНИТЕ БИОСУРОВИНИ

2.1. Суровини при производството на биодизел.

При производството на биодизел могат да бъдат използвани суровини с различен произход. Най-често използвани в промишлен мащаб са растителните масла, масла от водорасли, животинските мазнини, както и отпадъчни мазнини и масла.

Основните критерии за избор на суровини за производството на биодизел са: наличност и цена. Други критерии, които също играят важна роля при избора на суровини за получаване на растителни масла са: местните почвени условия, географско положение и производителност.

За целите на дисертацията, категоризацията на суровините според конкуренцията с други промишлени сектори се счита за най-приемлива **Таблица 2.2.**

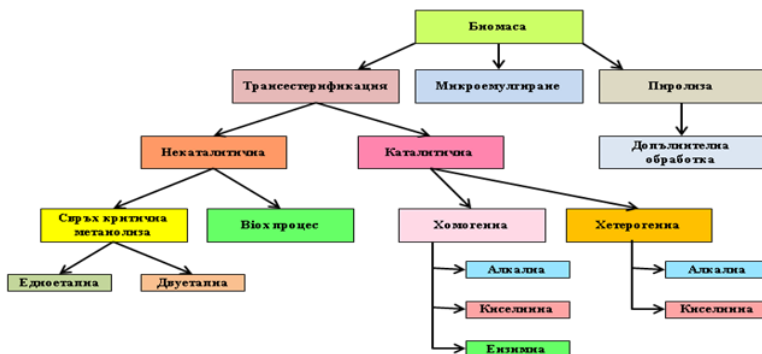
Таблица 2.2.
Видове биомаса за получаване на биодизел [136, 137, 138]

Конкурентни на хранително вкусовата промишленост	Неконкурентни на хранително вкусовата промишленост	Други
Слънчогледово масло	Ятрофа	Отпадни мазнини
Рапично масло	Рициново масло	Животински мазнини
Соево масло	Каранджа	Водорасли
Сусамово масло	Памучно масло	Утайки от отпадъчни води
Ленено масло	Масло от жожоба	
Масло от канола	Тютюново масло	
Палмово масло	Масло от нийм	
Фъстъчено масло		
Маслиново масло		
Кокосово масло		
Царевичен зародиш		

2.2. Съвременни технологии за производство на биодизел.

Най-често срещаните технологии [149] за производство на биодизел в зависимост от съдържанието на свободни мастни киселини са: микроемулгиране [150], трансестерификация [149, 151] и пиролиза (термичен крекинг) [152] (Фигура 2.6.).

В края на производствения процес, полученият биодизел трябва да отговаря на Европейския стандарт, гарантиращ качеството на произведения биодизел - EN 14124 [153] **Таблица 2.3.**, в противен случай замърсителите понижават качеството му и това се отразява на безпроблемната работа на двигателите с вътрешно горене.



Фигура 2.6. Технологии за производство на биодизел.

2.2.1. Микроемулгиране

Микроемулгирането е процес, при който чрез смесване на масла с подходящи разтворители се получават микроемулсии, представляващи потенциални разтвори за решаване на проблема с високия вискозитет на растителните масла. Микроемулсиите са прозрачни, термодинамични стабилни колоидни дисперсии, в които диапазонът на разпределените частици е много малък, в границите 1–150nm . [154].

2.2.2. Пиролиза

Този процес представлява термично разлагане на органична биомаса при силен кислороден дефицит, при което се получават пиролизно масло, пиролизни газове, пепел и въглища.

2.2.3. Трансестерификация

Процесът трансестерификация е един от най-популярните методи за получаване на биодизел. Като термин тя се използва за описание на важен клас органични реакции, където един естер се преобразува в друг чрез обмен на алкокси група. Трансестерификацията представлява равновесна реакция между триглицериди и алкохол [159].

Крайните продукти при процес на трансестерификация на триглицериди са нискомолекулни естери (метилови, етилови и т.н. в зависимост от използвания алкохол) на висши мастни киселини и глицерин, представляващ страничен продукт с по-висока плътност от естерите [161].

Таблица 2.4.

Материален баланс на суровините за производство на биодизел, при конверсия на маслото: за слънчоглед и рапица - 95%, маслодайна палма - 87%, отпадни мазнини и масла - 63.84% [164].

	Слънчоглед	Рапица	Маслодайна палма	Опадни мазнини и масла
Добив на масло (kg)	390	320	500	1000
Необходим метанол (kg)	59	48	65	642
Добит глицерол (kg)	58,5	48	65	461,6
Добив на биодизел (kg)	370,5	304	435	638,4
Сух остатък (kg)	610	680	500	

2.3. Характеристика на технологиите за производство на биодизел от растителни суровини

Семената използвани за получаването на масло трябва предварително да се смелят чрез следните методи: смачкване, стриване, разрязване или чрез удар. Изборът на метод или комбинация от методи зависи от физикохимичните свойства на семената и тяхната масленост.

Поради факта, че различните маслодайни семена имат различни размери, форма и външна обвивка, за смилането им се използват различни по конструкция машини. Най-широко приложение намират валцовите мелници.

Полученото мливо след това се изпича чрез водно-термичната обработка.

Извличането на маслото се осъществява по химичен или механичен начин.

Механичното извличане се извършва, като полученото мливо се подава в екструдер, който го затопля и компресира. Пресите, които могат да бъдат използвани са с периодично или с непрекъснато действие, в зависимост от вида на суровината. Използваното налягане е около 30–40bar и температура около 95°C. Методът

осигурява извличане до 85% от съдържащото се в мливото масло. При максимална натовареност на пресите се получава 5–12% остатък от масло в експелера, а в отделни случаи достига до 20% [186]. Експелер (кюспе) се нарича страничният продукт - остатъкът от пресоването и се използва като фураж за животните.

Химичното извличане на маслото от биомасата се осъществява с помощта на разтворители. Използваните разтворители са: n-хексан [187], минерален терпентин, трихлоретилен, въглероден сулфид [144]. Маслото се извлича чрез много бавен дифузионен процес. Инсталациите обикновено работят непрекъснато и процесите представляват: потапяне, просмукване или смесена система от потапяне-просмукване.

След процеса на отделяне, маслото се подлага на допълнителна обработка като: филтруване за отстраняване на нежеланите компоненти (протеини, клей кетони, фосфати, алдехиди), неутрализация, обезцветяване и обезмирисяване.

Вторият етап от производството на биодизел представлява смесването на алкохола (метанол) с избрания катализатор. Целта на това смесване е да се получи метоксид, който реагира с маслото. Повечето катализатори *KON* и *NaOH* се намират в твърдо състояние и не се разтварят веднага в алкохола. Необходимо е, първоначално разбъркване на метанола в смесител и след това бавно и внимателно да се добави катализаторът. Реакцията (2.3) е екзотермична и води до образуване на вода:



Топлината, която се отделя в процеса на смесването не може да бъде възстановена. Водата, която се получава в резултат на реакцията е в много малки количества и не влияе на последващата трансестерификационна реакция.

Третият, най-важен етап от производството на биодизел представлява етапът на трансестерификация, при която сместа от алкохол и катализатор взаимодейства с триглицеридите (предварително нагreti до 40–50°C, с цел увеличаване на скоростта на реакцията и намаляване на реакционното време).

За протичане на процеса трансестерификация се използват различни видове реактори, които се разделят в две основни групи - реактори с периодично и с непрекъснато действие.

Реакцията на алкална катализа, протича в реактор с непрекъснато разбъркване в продължение на около 1 час, при налягане близко до атмосферното и обикновено при температура малко под температурата на кипене на алкохола. След приключване на реакцията са обособени два основни продукта: метилови естери и глицерин, които могат да се разделят чрез утайтел или центрофуга. Разделянето чрез утайтел се извършва чрез просто отсипване на глицериновата съставна част (плътност - 1053 kg/m³) от дъното на утайтелния съд, тъй като е много по-плътна от биодизеловата (880 kg/m³) и се разделят посредством силата на тежестта

След етап на разделяне, двете фази съдържат съществено количество излишен метанол, използван в реакцията. Отстраняването на излишния алкохол във всяка от тях се осъществява посредством дестилация. Метанолът, който се отстранява от биодизеловата част и глицерола може да бъде използван повторно след дестилацията.

Глицериновият вторичен продукт поради многобройните си приложения в различни промишлени продукти като: овлажнители, сапуни, в козметика, в лекарствата и други се обработва допълнително. Той освен метанол съдържа също и неизползван катализатор и сапуни, които се неутрализират с киселина и след това пречистеният глицерол се изпраща за съхранение във вид на нерафиниран глицерин.

Метиловият естер след етап на дестилация също се подлага на неутрализация с киселина (3-6% H₂SO₄ или HCl) за премахване на остатъчния катализатор и сапуни.

Сапуните ще реагират с киселината до получаване на водоразтворими соли съгласно следното уравнение:



Натриев сапун *К-на* *Мастна киселина* *Сол*

Образувалите се соли в етап на неутрализация, ще бъдат премахнати по време на измиване на биодизела. През този етап се отстраняват всякакви остатъци от катализатор, сапуни, соли, остатъчен алкохол и глицерол. Измиването на биодизела се осъществява с топла вода с температура около 50–60°С или с омекотена вода (леко кисела). Топлата вода предотвратява утаяването на наситените естери на мастни киселини и забавя образуването на емулсии. Обикновено в края на производствения процес се получава чиста кехлибарено - жълта течност с вискозитет, подобен на петролния дизел.

Температурата на съхраняване трябва да бъде между 7–10°С, за да се избегне образуването на кристали. Резервоарите за съхранение на биодизел трябва да бъдат изработени от алуминий, стомана или тефлон. Стабилността на биодизела е важно свойство, което трябва да се поддържа, ако ще се съхранява за дълъг период от време. Лошата стабилност може да доведе до образуване на смоли и утайки, както и до увеличаване на киселинната стойност и вискозитета на горивото. Биодизелът и смесите му трябва да се третират с антиоксидантна добавка, ако се съхраняват в продължение на повече от 6 месеца.

2.3.1. Характеристика на технологиите за производство на биодизел от растителни суровини, конкурентни на хранително-вкусовата промишленост

Растителните суровини, явяващи се конкурентни на хранително-вкусовата промишленост имат ниски количества на СМК и използването на алкални катализатори при тях води до по-бърза скорост на преобразуване до биодизел.

Таблица 2.6.

Реакционни условия на алкална трансестерификация [194].

Суровина	Рафинирани триглицериди (СМК < 0.5%, H2O < 0.06 %) безводни късовержни алкохоли (често използван метанол)
Моларно съотношение алкохол:масло	3:1 - 9:1 (обикновено 6:1)
Масло/съразтворител съотношение	моларно 0.2 - 0.4
Температура	20 - 75°С (обикновено 60 - 65 °С)
Налягане	0.14 - 0.41 МРа.
Катализатор	NaOH и КОН
Концентрация на катализатора	0.25 - 2 %
Скорост на разбъркване	300 - 600 rpm.
Време за реакция	1 - 4 h. (обикновено 1 h.) за >98%.

2.3.2. Характеристика на технологиите за производство на биодизел от растителни суровини, неконкурентни на хранително-вкусовата промишленост.

При суровините, неконкурентни на хранително-вкусовата промишленост могат да се използват всички възможни технологии за получаване на биодизел. Изборът на технология зависи от икономическите цели.

2.3.3. Характеристика на технологиите за производство на биодизел от животински и отпадъчни мазнини.

Животинските и отпадъчните мазнини имат високо съдържание на СМК. Процесът на алкална трансестерификация при тях не може да бъде използван за получаване на биодизел. Триглицеридите веднага реагират с основния катализатор до образуване на сапун и вода:



Масна Кат. Калиев
Киселина сапун

Образуваните се сапуни ще попречат за разделянето на глицерина от биодизела. Най-добрата технология за получаване на биодизел при тези суровини е киселинната трансестерификация, чрез използване на киселинни катализатори, при които не се образуват сапуни [195].

Предимство на киселинната трансестерификация е нечувствителността ѝ към съдържанието на вода и СМК [157].

Тя е твърде бавен процес, изискващ по-високо моларно съотношение алкохол / масло в сравнение с алкалната трансестерификация, но е ефективен при тези суровини.

Таблица 2.7.

Основни реакционни условия за производство на биодизел с помощта на киселинни катализатори [202].

Суровина	Триглицериди с високо съдържание на СМК (обикновено животински и отпадни мазнини) и алкохол (обикновено метанол)
Моларно съотношение алкохол / масло	30:1 - 50:1
Температура	50 - 150°C
Налягане	0.4 МРа
Катализатор	H ₂ SO ₄
Катализатор натоварване	1.3:1 (моларно съотношение H ₂ SO ₄ / масло)
Превръщане	97 % след 4 h

За този тип суровини, предвид предвид спецификата им, в технологично отношение, най удачен вариант е Киселинно-алкална двустепенна трансестерификация Първият етап според *Juan et al* [204] представлява процес на естерификация с киселинен катализатор за намаляване количеството на СМК в суровината, а през втория етап се извършва процес на трансестерификация с алкален катализатор.

2.4. Основни свойства на биодизела

Биодизелът е възобновяем, нетоксичен и биоразградим. Известен е като въглеродно-неутрално гориво, тъй като при неговото изгаряне се отделя толкова количество въглероден диоксид, колкото е бил взет от атмосферата при фотосинтезата и растежа на растението. Също така използването му би довело до намаляване на вредните емисии като SO_x, CO, CO₂, сажди, както и на азотни оксиди. Той представлява алтернативно възобновяемо гориво и е най-добрият кандидат за заместване на дизеловото гориво по ред предимства: по-високо цетаново число, подобрява работата на двигателя, увеличава мощността му, намалява разхода на гориво и има по-гладко горене от петролния дизел [208].

2.5. Смесване на биодизел (B100) с петролен дизел

Биодизелът може да се използва самостоятелно или чрез смесване с дизелово гориво. В световен мащаб е възприета система, известна като “B” фактор, за определяне количеството на биодизела във всяка горивна смес. Например, горивото, съдържащо 20% биодизел, е обозначено с B20. Чистият биодизел се нарича B100.

2.6. Изводи към втора глава.

1. Въвеждането на биодизела, като съставка на дизеловото гориво, от една страна води до занижаване на вредните емисиите на отпадните газове в транспортния сектор а от друга, изпълнение на Европейска директива 2003/30/ЕО.
2. Подробно са анализирани потенциалните суровини за производство на биодизел с техните характеристики и особености, както и съвременните технологии за неговото производство с цел локализиране на оптималните варианти за изграждане на биорафинерии.
3. От трите базови технологии за получаване на биодизел - пиролиза, микроемулгиране и трансестерификация, най-използваема и перспективна се оказва транс естерификацията.
4. Алкалната и киселинната трансестерификации са най-предпочитани за производство на биодизел, според редица автори, поради сравнително ниските разходи.
5. Алкалната трансестерификация е най-ефективна при масла с ниско съдържание на СМК като катализатори се използват най-често *KON* и *NaOH*. При високо съдържание на СМК в мазнините е за предпочитане киселинната трансестерификация.
6. Метанолът е предпочитан алкохол за трансестерификацията, поради ниската си цена, както и поради физичните му и химични свойства, като по-късата верига водеща до по-просто и по-бързо реагиране.
7. Ензимната трансестерификация е перспективен метод за производство на биодизел, но времето за реакция, както и разходите спрямо алкалната и киселинна транс естерификации, са значително по-големи.
8. Използването на суровини от трета група, като отпадни мазнини и масла от една страна води до намаляване цената на получения биодизел, от друга се решава важен екологичен проблем, свързан с утилизацията им.
9. Суровините от трета група имат високо съдържание на СМК и процесът на алкална трансестерификация при тях не може да бъде използван за получаване на биодизел. Киселинната трансестерификация е приложим вариант, поради нечувствителността ѝ към съдържанието на вода и СМК, но от друга страна тя е твърде бавен процес.
10. Киселинно-алкалната, двустепенна трансестерификация е удачен вариант, тъй като съчетава предимствата на киселинната естерификация и алкалната транс естерификация.

ГЛАВА 3 МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА УСТОЙЧИВА ИНТЕГРИРАНА РЕСУРСНО - ОСИГУРИТЕЛНА ВЕРИГА ЗА БИОДИЗЕЛ

3.1. Същност на проблема

Проблемът, разгледан в дисертацията, 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 дисертацията се разглежда интегрираната ресурсно-осигурителна верига за биодизел (IBDSC) (**Фигура 3.1.**), включваща набор от места за събиране и набор от зони на търсене, както и потенциални места за разполагане на отделните съоръжения и биорафинерии. Фуражните суровини следва да бъдат транспортирани до биорафинериите за по-нататъшна обработка.

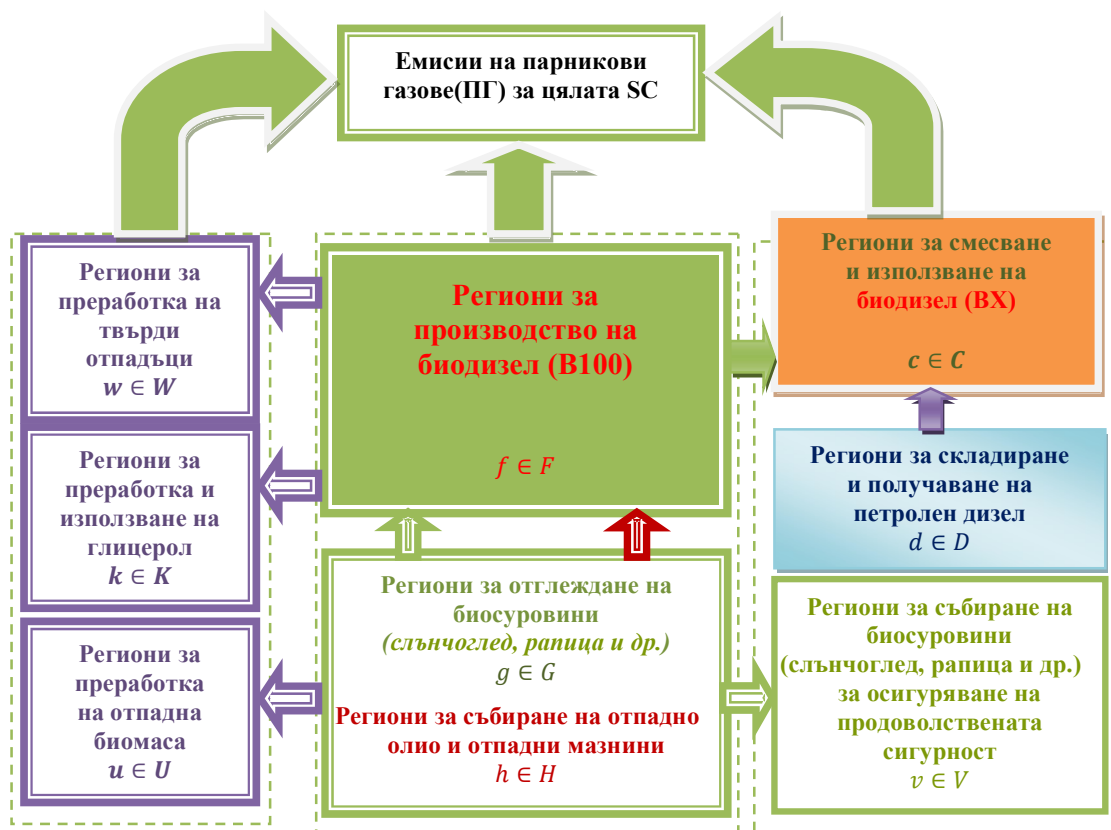
Позоваваме се на данни за единичните разходи, както и за разходите за отглеждане и събиране на енергийните култури. За всяко потенциално съоръжение за събиране, се задават фиксираните и променливите разходи за изграждане на съоръженията. За всяка потенциална биорафинерия са посочени разходите за производство, за различни нива и капацитет. За всяка зона на търсене се задава търсенето на биогориво и свързаната с това екологична тежест, обусловена от разпространението на биогоривата в съответния регион. За всяка транспортна връзка, са зададени транспортния капацитет, наличните видове транспорт, транспортните разходи за единица разстояние, както и транспортните разстояния и емисии за всеки вид транспорт.

Суперструктурата на IBDSC, изобразена на **Фигура 3.1.** включва следните елементи:

1. Набор от райони за добив на биомаса, където различните видове биомаса се използват като суровина за биорафинериите.
2. Набор от кандидатстващи инициативи за реализация на предприятия за производство на биодизел с различни възможности за капацитет.
3. Набор от зони за смесване и реализация, където крайните продукти се продават с определени максимални изисквания.
4. Набор от съществуващи рафинерии за петролно дизелово гориво.

Целта е да се определят броя, местоположението и мащаба на рафинериите за биодизел, както и биоресурсите, които да бъдат транспортирани между различните възли на проектираната мрежа, така че общата нетна настояща стойност да бъде сведена до минимум, като се спазват ограниченията, свързани с търсенето на продукти. Това означава, че рафинериите за биодизел, ще работят в предстоящия интервал от време, като същевременно ще има възможност за обновления, свързани с увеличаване капацитета на производството.

Разглеждаме IBDSC за дълъг хоризонт на планиране H (5 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 дизелово гориво ще се промени с прогнозна стойност. В същото време се приема, че е известен и годишния ръст на потреблението на биодизел, за постигане изискванията на възприетите от държавата директиви.



Фигура 3.1. Суперструктура на интегрираната ресурсно-осигурителна верига за биодизел и петролен дизел

Най-общо проблемът за всеки интервал от време t може да се изрази като:

Да се определят:

- потенциални местоположения на центровете за реализация на биогоривата,
- търсенето на дизелово гориво за всеки от центровете за търсене на гориво,
- съответни изисквания за процентното съдържание на биодизел като съставка на дизеловото гориво през разглеждания интервал от време,
- видове биомаса и тяхната географска наличност,
- разходи за отглеждане на единица биомаса за всеки вид суровина,
- единична себестойност на биодизела според вида на суровината,
- характеристики на транспортната логистика (разходи, режими),
- разходи за капиталови инвестиции на съоръженията за производство на биодизел,
- специфични емисионни фактори на парниковите газове през етапите на жизнения цикъл на биодизела,
- въглероден данък,
- правителствени стимули за производство и употреба на биодизел.

Целите са да се максимизират икономическите и екологични показатели на IBDSС чрез оптимизиране за всеки времеви интервал t на времевия хоризонт H на следните променливи на решение:

- Структура на ресурсно-осигурителната верига (SC),
- време за отглеждане на биомаса за всеки вид производство на биомаса и биодизел,
- местоположения на съоръженията за производство на биодизел и местоположения на терените за отглеждане на биомаса,
- потоци от всеки вид биомаса и биодизел между регионите,
- видове транспорт за доставка на биомаса, биодизел и нефтен дизел,
- емисиите на парникови газове за всеки етап от жизнения цикъл,
- транспортирани количества за всяка транспортна връзка и режим на транспортиране,
- стратегия за снабдяване с биомаса на производствените мощности,
- процеси на дистрибуция на биогорива и дизелово гориво, доставяни в зоните на търсене.

3.2. **Формулировка на модела**

Този раздел описва общ математически модел, който да помогне на вземащите решения при проектирането и планирането на устойчив SC, базиран на методологията Анализ на жизнения цикъл (LCA). Моделът установява връзката със схемата за търговия с емисии за постигане на целите за устойчивост. SC 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 SC, правителствените политики и културните норми. Така че при математическата формулировка, абстрахирането от социалните аспекти не би имало негативно отражение.

3.2.1. **Описание на математическия модел**

За да опишем MILP модела, като за начало въвеждаме параметрите, които са постоянни и известни априори, и променливите, които са обект на оптимизация. Тогава ще опишем стъпка по стъпка математическия модел чрез представяне на целевата функция и всички ограничения. На първо място, въвеждаме множеството от времеви интервали на хоризонта на планиране $t = \{0, 1, 2, \dots, T\}$. Индексът t показва променливата или параметъра, съответстващи на t -тия интервал на планиране. В тази част е описан математическият модел, който се използва при проектирането на мрежата. Преди да опишем математическия модел, по-долу са изброени входните параметри, променливите за вземане на решения и множествата, подмножествата и индексите.

1/ **Множества, подмножества и индекси**

Въвеждат се следните множества и подмножества:

2/ **Множества/индекси**

- I Множество на биоресурсите първо поколение (слънчоглед, рапица и други), индексирани с i ;
- Y Множество на биоресурсите второ поколение (отпадно олио и отпадни животински мазнини), индексирани с y ;
- LF Множества на възможните транспортни средства, индексирани с lf ;

- P* Множества от типовете мощности и технологии на заводите за производство на биодизел (B100), индексирани с $p = \overline{1, N_p}$;
- S* Множества от типовете мощности на заводите за преработка на генерираните твърди отпадъци, индексирани с $s = \overline{1, N_s}$;
- GF* Множества на регионите, на които е разделена територията, индексирани с *gf*;
- K* Множества от пропорциите биодизел (B100) и дизел, подлежащи на смесване за всяка от клиентските зони, индексирани с *k*;
- T* Множества на времеви интервали, индексирани с *t*.

3/ Подмножества/индекси

- B* Множества на видовете транспортни средства за транспортиране на биодизел (B100) и дизел, които са подмножества на *LF* ($B \subset LF$), индексирани с *b*;
- L* Множество на видовете транспортни средства за транспортиране на биомаса, което е подмножество на *LF* ($L \subset LF$), индексирано с *l*;
- LC* Множество на видовете транспортни средства за транспортиране на отпадно олио и отпадни животински мазнини и е подмножество на *LF* ($LC \subset LF$), индексирано с l_c ;
- M* Множество на видовете транспорт за твърди отпадъци е подмножество на *LF* ($M \subset LF$), индексирано с *m*;
- E* Множество на видовете транспорт за отпадна биомаса е подмножество на *LF* ($E \subset LF$), индексирано с *e*;
- Z* Множество на видовете транспорт за слънчоглед/рапица за храна е подмножество на *LF* ($Z \subset LF$), индексирано с *z*;
- F* Множество на регионите кандидати за производство на биодизел (B100), което е подмножество на *GF* ($F \subset GF$), индексирано с *f*;
- C* Множествата на зоните за смесване и потребление на биодизел са подмножества на *GF* ($C \subset GF$), индексирани с *c*;
- D* Множествата за доставка и производство на петролен дизел са подмножества на *GF* ($D \subset GF$), индексирани с *d*;
- W* Множествата на регионите за събиране и обработка на твърдите отпадъци са подмножества на *GF* ($W \subset GF$), индексирани с *w*;
- U* Множествата на регионите за събиране и преработка на отпадната биомаса са подмножества на *GF* ($U \subset GF$), индексирани с *u*;
- V* Множествата на регионите за потребление за хранителни цели на слънчоглед и рапица са подмножества на *GF* ($V \subset GF$), индексирани с *v*;
- H* Множествата на регионите за събиране на отпадно олио и животински мазнини са подмножества на *GF* ($H \subset GF$), индексирани с *h*;

3.2.2. Входни параметри за проблема

- A/* **Постоянни параметри или такива, които могат да се променят много бавно във времето:**

Екологични параметри

$EFBP_{ip}$	Емисионен коефициент за производство на биодизел (B100) от биомаса тип $i \in I$ чрез технология $p \in P$, $[kgCO_2 - eq / ton biofuel]$;
$EWCO_{yp}$	Емисионен коефициент за производство на биодизел (B100) от отпадно олио и животински мазнини тип $y \in Y$ по технология $p \in P$, $[kgCO_2 - eq / tonbiofuel]$;
ESU_i	Емисионен коефициент на замърсяване причинено от отпадната биомаса $i \in I$, ако не бъде използвана за други цели, $\left[\frac{kg CO_2 - eq}{ton solid waste} \right]$
$ESF1_{ft}$	Отделените емисии при утилизация на твърдия отпадък, ако се извършва в завода $f \in F$, $\left[\frac{kg CO_2 - eq}{ton solid waste} \right]$
$ESW1_{wst}$	Емисионен коефициент на замърсяване, причинено от твърдите отпадъци, когато се утилизират в завод $w \in W$ по технология $s \in S$, ако не се използва за други цели, $\left[\frac{kg CO_2 - eq}{ton solid waste} \right]$;
$EFDP_d$	Емисионен коефициент за производство на петролен дизел в регион $d \in D$, $[kg CO_2 - eq ton / diezel]$;
$EFTRA_{il}$	Емисионен коефициент за биомаса $i \in I$, транспортирана с използване на транспорт $l \in L$, $[kg CO_2 - eq / ton km]$;
$EFTWA_{ylc}$	Емисионен коефициент за WCO $y \in Y$, транспортирана с използване на транспорт $l_c \in LC$, $[kg CO_2 - eq / ton km]$;
$EFTWC_y$	Емисионен коефициент за WCO $y \in Y$, водещо до замърсяване на околната среда, ако не се използва за производство на биодизел (B100), $\left[\frac{kgCO_2 - eq}{tonWCO} \right]$;
$EFTB_b$	Емисионен коефициент за транспортиране на биодизел (B100) и петролен дизел с използване на транспорт $b \in B$, $[kg CO_2 - eq / ton km]$;
$EFTRW_m$	Емисионен коефициент за транспортиране на твърди отпадъци с транспорт от тип $m \in M$, $[kg CO_2 - eq / ton km]$;
$EFTRU_e$	Емисионен коефициент за транспортиране на отпадната биомаса с транспорт от тип $e \in E$, $[kg CO_2 - eq / ton km]$
$EFTRV_z$	Емисионен коефициент за транспортиране на слънчоглед/рапица за храна с транспорт от тип $z \in Z$, $[kg CO_2 - eq / ton km]$;
ECB	Емисии (CO_2), отделени по време на изгаряне на единица биодизел (B100), $[kg CO_2 - eq / ton biodiesel]$;
ECG	Емисии (CO_2), отделени по време на изгаряне на единица дизел, $[kg CO_2 - eq / ton diesel]$.

Финансови параметри

PO	Цена на петролния дизел, $[\$ / ton]$;
$cost_Gl$	Цена на глицерола, $[\$ / ton]$;
$cost_Ml$	Цена на кюспето, като храна за животни, $[\$ / ton]$.

C_{CO_2}	Данък върху въглеродните емисии за излъчване на единица еквивалент на CO_2 при работата на IBDS, $[\$/kg CO_2 - eq]$;
IA_{il}	Постоянни разходи за транспортиране на единица биомаса $i \in I$ чрез транспорт от тип $l \in L$, $[\$/ton]$;
IB_{il}	Променливи разходи за транспортиране на единица биомаса $i \in I$ чрез транспорт от тип $l \in L$, $[\$/ton km]$;
IAW_{ylc}	Постоянни разходи за транспортиране на единица WCO $y \in Y$ чрез транспорт от тип $l_c \in LC$, $[\$/ton]$;
IBW_{ylc}	Променливи разходи за транспортиране на единица WCO $y \in Y$ чрез транспорт от тип $l_c \in LC$, $[\$/ton]$;
OA_b	Постоянни разходи за транспортиране на единица биодизел (B100) чрез транспорт от тип $b \in B$, $[\$/ton]$;
OB_b	Променливи разходи за транспортиране на единица биодизел (B100) чрез транспорт от тип $b \in B$, $[\$/ton km]$;
OAD_b	Постоянни разходи за транспорт на единица петролен дизел чрез транспорт от тип $b \in B$, $[\$/ ton]$;
OBD_b	Променливи разходи за транспорт на единица петролен дизел чрез транспорт от тип $b \in B$, $[\$/ ton km]$;
OAW_m	Постоянни разходи за транспорт на единица твърди отпадъци чрез транспорт от тип $m \in M$, $[\$/ton]$;
OBW_m	Променливи разходи за транспорт на единица твърди отпадъци чрез транспорт от тип $m \in M$, $[\$/ton km]$;
OAU_e	Постоянни разходи за транспорт на единица отпадна биомаса чрез транспорт от тип $e \in E$, $[\$/ton]$;
OBU_e	Променливи разходи за транспорт на единица отпадна биомаса чрез транспорт от тип $e \in E$, $[\$/ton km]$;
OAV_z	Постоянни разходи за транспорт на единица слънчоглед/рапица за храна чрез транспорт от тип $z \in Z$, $[\$/ton]$;
OBV_z	Променливи разходи за единица слънчоглед/рапица за храна чрез транспорт от тип $z \in Z$, $[\$/ton km]$;

Технически параметри

QT_{il}^{MIN}	Минимален транспортен капацитет l , използван за транспорт на биомаса i , $[ton]$;
QTB_b^{MIN}	Минимален транспортен капацитет $b \in B$ използван за транспорт на биодизел, $[ton]$;
Gl_i	Количество глицерол, получено в процеса на преработка на суровината при производството на биодизел, $[ton/ton]$;
GW_y	Количеството глицерол, произведено при преработката на суровината WCO при производството на биодизел, $[ton/ton]$;

Ml_i	Количество кюспе, получено в процеса на преработка на един тон суровина при производството на биодизел, $[ton/ton]$.
MW_y	Количество шрот, получено в процеса на преработка на един тон суровина WCO при производството на биодизел, $[ton/ton]$.
PB_p^{MAX}	Максимален годишен капацитет на съоръжението от тип $p \in P$ за производството на биодизел (B100), използвайки като суровина зърно от тип $i \in I$ и отпадни мазнини от тип $y \in Y$, $[ton/year]$;
PB_p^{MIN}	Минимален годишен капацитет на съоръжението от тип $p \in P$ за производството на биодизел (B100), използвайки като суровина зърно от тип $i \in I$ и отпадни мазнини от тип $y \in Y$, $[ton/year]$;
PBS_{ip}^{MAX}	Максимален годишен капацитет на съоръжението от тип $p \in P$ за производството на биодизел (B100), използвайки като суровина зърно от тип $i \in I$, $[ton/year]$;
PBS_{ip}^{MIN}	Минимален годишен капацитет на съоръжението от тип $p \in P$ за производството на биодизел (B100), използвайки като суровина зърно от тип $i \in I$, $[ton/year]$;
PBS_{yp}^{MAX}	Максимален годишен капацитет на съоръжението от тип $p \in P$ за производството на биодизел (B100), използвайки WCO от тип $y \in Y$ като суровина, $[ton/year]$;
PBS_{yp}^{MIN}	Минимален годишен капацитет на съоръжението от тип $p \in P$ за производството на биодизел (B100), използвайки WCO от тип $y \in Y$ като суровина, $[ton/year]$;
P_s^{MIN}	Минимален годишен капацитет на съоръжението от тип $s \in S$ за преработка на твърдите отпадъци;
P_s^{MAX}	Максимален годишен капацитет на съоръжението от тип $s \in S$ за преработка на твърдите отпадъци;
ENO	Енергиен еквивалент на единица петролен дизел, $[GJ/ton]$;
ENB	Енергиен еквивалент на единица биодизел (B100), $[GJ/ton]$;
ADD_{acb}	Разстоянието за доставка между регионите $d \in D$ и $c \in C$ чрез транспорт от тип $b \in B$, $[km]$;
ADG_{gfl}	Разстоянието за доставка между регионите $g \in G$ и $f \in F$ чрез транспорт от тип $l \in L$, $[km]$;
ADF_{fcb}	Разстоянието за доставка между регионите $f \in F$ и $c \in C$ чрез транспорт от тип $b \in B$, $[km]$;
ADU_{gue}	Разстоянието за доставка между регионите $g \in G$ и $u \in U$ чрез транспорт от тип $e \in E$, $[km]$;
ADW_{fwm}	Разстоянието за доставка между регионите $f \in F$ и $w \in W$ чрез транспорт от тип $m \in M$, $[km]$;
ADV_{gvz}	Разстоянието за доставка между регионите $g \in G$ и $v \in V$ чрез транспорт от тип $z \in Z$, $[km]$;

AHF_{hfl_c}	Разстоянието за доставка между регионите $h \in H$ и $f \in F$ чрез транспорт от тип $l_c \in LC$, [km];
QTB_{il}^{MIN}	Минимален капацитет на транспортните средства от тип $l \in L$ използвани за транспортиране на биомаса (зърно) $i \in I$, [ton];
$QTW_{yl_c}^{\text{MIN}}$	Минимален капацитет на транспортните средства от тип $l_c \in LC$ използвани за транспортиране на WCO $y \in Y$, [ton];
QTE_b^{MIN}	Минимален капацитет на транспортните средства от тип $b \in B$ използвани за транспортиране на биодизел (B100), [ton];
$JobB_p$	Необходими работни места при изграждането на рафинерия за биодизел с размер $p \in P$;
$JobO_p$	Необходими работни места за експлоатация на рафинерия за биодизел с размер $p \in P$ на година;
$JobG_{ig}$	Работни места, необходими за отглеждане на единица биоресурс $i \in I$ в регион $g \in G$ на година;
$JobW_s$	Необходими работни места при изграждането на съоръжения за твърди отпадъци с размер $s \in S$;
$JobOW_s$	Работни места, необходими за експлоатацията на заводите за твърди отпадъци с размер $s \in S$ на година;
M_{ft}^{JobP}	Фактор за промяна на оценката на заетостта в зависимост от района $f \in F$ в който е инсталиран заводът;
M_{wt}^{JobW}	Фактор за промяна на оценката на заетостта в зависимост от района $w \in W$ в който е инсталиран завода.

Б. / Параметри, считани за променливи във времето.

Отчита се, че са на лице параметри, които се влияят от колебанията на пазара и други външни фактори.

По този начин те се считат за променящи се във времето, тъй като имат различна стойност за всеки интервал от време $t \in T$.

Екологични параметри според времевия интервал.

$EFBC_{igt}$	Емисионен фактор за отглеждане на биомаса $i \in I$ в регион $g \in G$, [kg CO ₂ – eq / ton biomass];
TEI_t^{MAX}	Максимално общо въздействие върху околната среда, [kgCO ₂ – eq].

Финансови параметри, зависещи от времевия интервал.

ζ_t	Лихвен процент, %;
ε_t	Преференции;
M_{tf}^{const}	Фактор за промяната на базовата цена, в зависимост от региона $f \in F$ според местоположението на завода ($M_f^{\text{const}} \geq 1$), [Dimensionless];
PGL_{it}	Продажна цена на глицерола, получен от суровината – i , [\$/ton];
$PGLW_{yt}$	Продажна цена на глицерола, получен от WCO -у, [\$/ton];

PMI_{it}	Цена, получена от продажбата на i -тата суровина, като хранителна такава, [\$/ton];
PMW_{yt}	Цена, получена от продажбата на чист продукт, получен от WCO - y , [\$/ton];
PG_t	Цена на петролния дизел за всеки интервал от време $t \in T$, [\$/ton];
PSU_{it}	Цена на отпадната биомаса за всеки интервал от време $t \in T$, [\$/ton];
M_{wt}^W	Коефициент на корекция в цената на съоръжението за твърди отпадъци в региона за всеки интервал от време $t \in T$;
$Cost_{pft}^F$	Капитални инвестиции за изграждане на съоръжението $p \in P$ за производство на биодизел (B100) във всички зони $f \in F$ за всеки интервал от време $t \in T$, [\$];
$CosB_{pt}$	Капиталови разходи за построяване на съоръжението за производство на биодизел (B100) с производителност $p \in P$ по зададена технология, [\$];
$CosW_{st}$	Капитални разходи за построяване на съоръжението за оползотворяване на твърдите отпадъци с производителност $s \in S$ по зададена технология, [\$];
TDC_t^{MAX}	Максимални общи разходи в мрежата на IBDSC за всеки времеви интервал $t \in T$, [\$];
INS_{ft}	Правителствени стимули за производство на биодизел (B100) в зависимост от региона $f \in F$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [\$/ton];
UPC_{igt}	Производствени разходи за единица биомаса от тип $i \in I$ в регион $g \in G$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [\$/ton];
UPW_{yht}	Разходи за добиване на единица WCO от тип $y \in Y$ в регион $h \in H$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [\$/ton];
UPB_{ipft}	Производствени разходи за единица биодизел (B100) от биомаса от тип $i \in I$ в биорафинерия от типоразмер $p \in P$, инсталирана в регион $f \in F$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [\$/ton];
$UPBW_{ypft}$	Производствени разходи за единица биодизел (B100) от WCO от тип $y \in Y$ в биорафинерия с мащаб $p \in P$, инсталирана в регион $f \in F$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [\$/ton];
UPD_{dt}	Производствени разходи за единица петролен дизел в рафинерия, инсталирана в регион $d \in D$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [\$/ton];
UPW_{swt}	Цената, която се заплаща за утилизация на единица твърди отпадъци в съоръжението за твърди отпадъци с размер $s \in S$, инсталирано в региона $w \in W$, за всеки времеви интервал $t \in T$, [\$/ton];
$UPSW_{ft}$	Цената, която се заплаща за утилизацията на твърдия отпадък, ако това се извършва в заводите $f \in F$ за производство на биодизел (B100) за всеки времеви интервал $t \in T$, [\$/ton].
$UPWCO_{yht}$	Цената, която се заплаща за утилизацията на единица WCO от тип $y \in Y$ в регион $h \in H$ за всеки времеви интервал $t \in T$

Технически параметри в зависимост от времевия интервал

K_{tc}^{mix}	Пропорция на смесване на биодизела (B100) и петролният дизел за всяка от зоните на клиента. Съотношението на биодизела (B100) и петролният дизел е с по-висок енергиен еквивалент спрямо двете горива за всеки времеви интервал $t \in T$, [Dimensionless];
γ_{it}	Конверсионен фактор от биомаса в биодизел, зависещ от типа биомаса $i \in I$, [tonbiodiesel / tonbiomass];
YO_{tc}	Потребление на петролен дизел в годините в клиентските зони $c \in C$, [ton / year];
PBI_{tig}^{MAX}	Максимално количество биомаса от тип $i \in I$, които могат да бъдат произведени в регион $g \in G$ годишно, [ton / year];
PBI_{tig}^{MIN}	Минимално количество биомаса от тип $i \in I$ които могат да бъдат произведени в регион $g \in G$ годишно, [ton / year];
QI_{igt}^{MAX}	Максимално количество биомаса i от регион $g \in G$, [ton / d];
QB_{ft}^{MAX}	Максимално количество биодизел от регион $f \in F$, [ton / d];
QD_{td}^{MAX}	Максимално количество петролев дизел от регион d , [ton / d];
QB_{ti}^{Food}	Общото количество на биоресурсите от тип $i \in I$, които трябва да се предоставят за всички региони $g \in G$ за продоволствена сигурност, [ton];
QT_{til}^{MIN}	Оптимален капацитет на транспорта $l \in L$ използван за транспортиране на биомаса i , [ton];
QTB_{tb}^{MIN}	Оптимален капацитет на транспорта $b \in B$ използван за транспортиране на биодизел, [ton].
A_{gt}^S	Свободна земя в региона $g \in G$ за отглеждане на биомаса за всеки времеви интервал $t \in T$, [ha];
A_{gt}^{Food}	Земя в региона $g \in G$ за отглеждане на слънчоглед/рапица за осигуряване на продоволствената сигурност за всеки времеви интервал $t \in T$, [ha];
β_{igt}	Производствена норма на биомасата $i \in I$ отглеждана в региона $g \in G$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / ha];
LT_t	Продължителност на времевите интервали $t \in T$, [year];
α_t	Работен период на IBDSC за една година, [d / year];
γ_{ipt}	Конверсионен фактор на биомаса към биодизел (B100) специфичен за биомаса от тип $i \in I$, използвайки технология $p \in P$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [tonbiodiesel / tonbiomass];
$\gamma_{w_{ypt}}$	Конверсионен фактор на WCO биомаса към биодизел (B100) специфичен за WCO от тип $y \in Y$, използвайки технология $p \in P$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton biodiesel / tonWCO];
SW_{ipt}	Количество твърди отпадъци генерирани при производството на един тон биодизел (B100), използвайки биомаса $i \in I$ и технология $p \in P$ при времеви интервал $t \in T$, $\left[\frac{\text{ton solid waste}}{\text{ton biofuel}} \right]$;

YO_{ct}	Търсенето на петролен дизел в клиентските зони през годините $c \in C$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / year];
PBI_{igt}^{MAX}	Максимално количество биомаса от тип $i \in I$, която може да бъде произведена в региона, $g \in G$ за година за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / year];
PBI_{igt}^{MIN}	Минимално количество биомаса от тип $i \in I$, която може да бъде произведена в региона, $g \in G$ за година за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / year];
$PBIS_{yht}^{MAX}$	Максимално количество WCO от тип $y \in Y$, която може да бъде осигурено в региона, $h \in H$ за година за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / year];
$PBIS_{yht}^{MIN}$	Минимално количество WCO от тип $y \in Y$, която може да бъде осигурено в региона, $h \in H$ за година за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / year];
QI_{igt}^{MAX}	Максимален допустим дебит на зърнена биомаса $i \in I$ от регион $g \in G$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / d];
QIS_{yht}^{MAX}	Максимално допустим дебит на WCO от тип $y \in Y$ от регион $h \in H$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / d];
QB_{ft}^{MAX}	Максимален допустим дебит на биодизел (B100) от регион $f \in F$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton/d];
QD_{dt}^{MAX}	Максимален допустим дебит на петролен дизел от регион $d \in D$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / d];
QW_{ft}^{MAX}	Максимален допустим дебит на твърди отпадъци от регион $f \in F$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / d];
QU_{gt}^{MAX}	Максимален допустим дебит на отпадна биомаса от регион $g \in G$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / d];
QV_{gt}^{MAX}	Максимален допустим дебит на слънчоглед/рапица за осигуряване на продоволствената сигурност от региона $g \in G$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / d];
QB_{it}^{Food}	Общото количество на биоресурсите от тип $i \in I$, което трябва да бъде осигурено от регионите $g \in G$ за осигуряване на продоволствената сигурност за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / year];
QTL_{ilt}^{MIN}	Оптимален капацитет на транспортните средства от тип $l \in L$, използвани за транспортиране на биомаса $i \in I$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton];
QTB_{tt}^{MIN}	Оптимален капацитет на транспортните средства от тип $b \in B$, използвани за транспортиране на биодизел (B100) и петролен дизел за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton];
QTE_{et}^{MIN}	Оптимален капацитет на транспортните средства от тип $e \in E$, използвани за транспортиране на отпадната биомаса за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton];

QTZ_{zt}^{MIN}	Оптимален капацитет на транспортните средства от тип $z \in Z$, използвани за транспорт на слънчоглед/рапица за продоволствената сигурност за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton];
QTM_{mt}^{MIN}	Оптимален капацитет на транспортните средства от тип $m \in M$, използвани за транспорт на твърди отпадъци за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton].
$QTW_{l_c y t}^{\text{MIN}}$	Оптимален капацитет на транспортните средства от тип $l_c \in LC$, използвани за транспорт на WCO от тип $y \in Y$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton].

3.2.3. Променливи за решение на проблема.

За да се намери оптималната конфигурация на IBDS, се изискват следните променливи за решение:

A/ Положителни непрекъснати променливи.

$QB_{tfc b}$	Дебит на биодизела, произведен от биомаса $i \in I$ с режим на транспорт $b \in B$ от регион $f \in F$ в $c \in C$ във всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / d];
QD_{tdcb}	Дебит на нефтен дизел чрез режим $b \in B$ от регион $d \in D$ в $c \in C$, във всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / d];
QED_{tc}	Количеството нефтен дизел, който ще се доставя, за да се отговори на енергийните нужди на регион $c \in C$, за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / year];
QEB_{tc}	Количество биодизел, произведен от биомаса, който ще се доставя за задоволяване на енергийните нужди на регион $c \in C$, за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / year];
A_{tig}	Земя, заета от първо поколение култури в област g , за всеки времеви интервал t , [ha];
A_{tig}^F	Земя необходима за производство на култури $i \in I$ за осигуряване на продоволствената сигурност на населението в региона $g \in G$, за всеки времеви интервал $t \in T$, [ha];
TC_t	Цена на транспорта, за всеки времеви интервал $t \in T$, [\$];
TCI_t	Общи капиталови инвестиции, за всеки времеви интервал $t \in T$, [\$];
TI_t	Общо въздействие, за всеки времеви интервал $t \in T$, [kg CO ₂ – eq];
TEI_t	Общо въздействие на парниковите газове, за всеки времеви интервал $t \in T$, [kg CO ₂ – eq].
PBB_{igt}	Биомаса от тип $i \in I$, която трябва да бъде осигурена от регион $g \in G$ във времеви интервал $t \in T$;
QI_{igflt}	Дебит на зърнена биомаса $i \in I$, осигурена чрез транспортни средства $l \in L$ от регион $g \in G$ в $f \in F$, за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / d];
QIP_{igflpt}	Дебит на зърнена биомаса $i \in I$, осигурена чрез транспортни средства $l \in L$ от регион $g \in G$ в $f \in F$, при използване на технология $p \in P$ за всеки времеви интервал $t \in T$, [ton / d];

- QIw_{yhflct} Дебит на WCO биомаса $y \in Y$, осигурена чрез транспортни средства $l_c \in LC$ от регион $h \in H$ в $f \in F$, за всеки времеви интервал $t \in T$, $[ton / d]$;
- $QIPw_{yhflcpt}$ Дебит на WCO биомаса $y \in Y$, осигурена чрез транспортни средства $l_c \in LC$ от регион $h \in H$ в $f \in F$ при използване на технология $p \in P$ за всеки времеви интервал $t \in T$, $[ton / d]$;
- QB_{fcbt} Дебит на биодизел (B100), произведен от биомаса $i \in I$ и $y \in Y$, транспортиран чрез транспортни средства $b \in B$ и $l_c \in LC$ от регион $f \in F$ в $c \in C$ във всеки времеви интервал $t \in T$, $[ton / d]$;
- QBP_{ifcbpt} Дебит на биодизел (B100), произведен от зърнена биомаса $i \in I$ и транспортиран чрез транспортни средства $b \in B$ от регион $f \in F$ в $c \in C$, използвайки технология $p \in P$ във всеки времеви интервал $t \in T$, $[ton / d]$;
- $QBPw_{yfc bpt}$ Дебит на биодизел(B100), произведен от WCO биомаса $y \in Y$ и транспортиран чрез транспортни средства $b \in B$ от регион $f \in F$ в $c \in C$, използвайки технология $p \in P$ във всеки времеви интервал $t \in T$, $[ton / d]$;
- QD_{dcbt} Дебит на петролния дизел, транспортиран чрез транспортни средства $b \in B$ от регион $d \in D$ в $c \in C$, във всеки времеви интервал $t \in T$, $[ton / d]$;
- QW_{fwmt} Дебит на твърдия отпадък, транспортиран чрез транспортни средства $m \in M$ от регион $f \in F$ в $w \in W$, във всеки времеви интервал $t \in T$, $[ton / d]$;
- $QWS_{fw mst}$ Дебит на твърдия отпадък, транспортиран чрез транспортни средства $m \in M$ от регион $f \in F$ в $w \in W$, използвайки завод с размер $s \in s$ във всеки времеви интервал $t \in T$, $[ton / d]$;
- $QU_{igu et}$ Дебит на сламата, събирана от биомаса $i \in I$ и транспортирана за обработка чрез транспортни средства $e \in E$ от регион $g \in G$ в $u \in U$, за всеки времеви интервал $t \in T$, $[ton / d]$;
- QV_{igvzt} Дебит на слънчоглед/рапица за осигуряване на продоволствената сигурност, транспортирани чрез транспортни средства $z \in Z$ от регион $g \in G$ в $v \in V$, при всеки времеви интервал $t \in T$, $[ton / d]$;
- QED_{ct} Количеството дизел, който трябва да бъде предоставен за задоволяване на енергийните нужди на региона $c \in C$, за всеки времеви интервал $t \in T$, $[ton / year]$;
- QEB_{ct} Количество биодизел (B100), произведен от биомаса и WCO, който се предоставя за задоволяване на енергийните нужди на региона $c \in C$, за всеки времеви интервал $t \in T$, $[ton / year]$;
- A_{igt} Земя за отглеждане на култури $i \in I$, за производство на биодизел (B100) в регион $g \in G$, за всеки времеви интервал $t \in T$, $[ha]$;
- A_{igt}^F Земя за отглеждане култури $i \in I$, необходима за задоволяване на продоволствената сигурност на населението в региона $g \in G$, при всеки времеви интервал $t \in T$, $[ha]$;
- TC_t Транспортни разходи, във всеки времеви интервал $t \in T$, $[\$]$;

TCI_t	Капитални инвестиции, във всеки времеви интервал $t \in T$, [\\$];
TI_t	Общо въздействие, във всеки времеви интервал $t \in T$, [$kg CO_2 - eq$]
TEI_t	Общо въздействие на емисиите от парниковите газове, във всеки времеви интервал $t \in T$, [$kg CO_2 - eq$].

Б/ Бинарни променливи.

X_{igflpt}	0-1 променлива, заема стойност “1” ако биомасата тип $i \in I$ е транспортирана от регион $g \in G$ в $f \in F$ с транспорт $l \in L$ за производство чрез $p \in P$ технология и е “0” в противен случай в интервал от време $t \in T$;
$X_{Syhflcpt}$	0-1 променлива, заема стойност “1” ако WCO биомаса тип $y \in Y$ е транспортирана от регион $h \in H$ в $f \in F$ с транспорт $l_c \in LC$ за производство чрез $p \in P$ технология и е “0” противен случай в интервал от време $t \in T$;
Y_{fcbt}	0-1 променлива, заема стойност “1” ако биодизел (B100) се транспортира от регион $f \in F$ в $c \in C$ с транспорт $b \in B$, и е “0” в противен случай в интервал от време $t \in T$;
WS_{fwmt}	0-1 променлива, заема стойност “1” ако твърдият отпадък се транспортира от регион $f \in F$ в $w \in W$ с транспорт $m \in M$ и е “0” в противен случай в интервал от време $t \in T$;
WU_{guet}	0-1 променлива, заема стойност “1” ако сламата е транспортирана от регион $g \in G$ в $u \in U$ с транспорт $e \in E$ и е “0” в противен случай в интервал от време $t \in T$;
WV_{igvzt}	0-1 променлива, заема стойност “1” ако биомасата тип $i \in I$ за осигуряване на продоволствената сигурност се транспортира от регион $g \in G$ в $v \in V$ с транспорт $z \in Z$ и е “0” в противен случай в интервал от време $t \in T$;
ZW_{swt}	0-1 променлива, заема стойност “1” ако размерът на инсталацията за оползотворяване на твърдия отпадък $s \in S$ е инсталиран в региона $w \in W$, и е “0” в противен случай в интервал от време $t \in T$;
ZWF_{swt}	0-1 променлива, заема стойност “1” ако размерът на инсталацията за оползотворяване на твърдия отпадък $s \in S$ трябва да работи в региона $w \in W$, и е “0” в противен случай в интервал от време $t \in T$, който включва заводите инсталирани в предишния времеви интервал и новите построени през този интервал, което се изчислява с уравнение $ZWF_{swt} = ZWF_{sw(t-1)} + ZW_{swt}$ за първата година ($t = 1$) конфигурацията се настройва чрез инициализиране $ZWF_{sw1} = ZW_{sw1}$;
Z_{pft}	0-1 променлива, заема стойност “1” ако размерът на биодизел (B100) производството $p \in P$ трябва да се построи в региона $f \in F$ и е “0” в противен случай в интервал от време $t \in T$;
ZF_{pft}	0-1 променлива, заема стойност “1” ако размерът на биодизел (B100) производството $p \in P$ трябва да работи в региона $f \in F$, и е “0” в противен случай в интервал от време $t \in T$, който включва заводите които са инсталирани в предишния времеви интервал и новите, построени през този интервал, което се изчислява със следното рекурсивно уравнение $ZF_{pft} =$

$ZF_{pf(t-1)} + Z_{pft}$ за първата година ($t = 1$) конфигурацията се настройва чрез инициализиране $ZF_{pf,1} = Z_{pf,1}$;

PD_{dt} 0-1 променлива, заема стойност "1", ако дизела се произвежда в региона $d \in D$, и е "0" в противен случай в интервал от време $t \in T$;

DT_{dcbt} 0-1 променлива, заема стойност "1", ако дизела се транспортира от региона $d \in D$ в $c \in C$ с транспорт $b \in B$ и е "0" в противен случай в интервал от време $t \in T$.

3.2.4. Основни зависимости за решаване на проблема.

Както е отбелязано в т. 3 от дисертацията, 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.

A/ Зависимости, свързани с общото въздействие върху околната среда.

Сред различните подходи за оценка на въздействието на процесите и предприятията върху околната среда, методът LCA изглежда най-обещаващ. Той обобщава резултатите от различни аспекти на екологичните проучвания, включително емисиите на парникови газове, които са признати като най-вредните елементи за околната среда и отговорни за изменението на климата. Екологичното въздействие на IBSDC се отчита по отношение на общите емисии на парникови газове ($kg CO_2 - eq$), произтичащи от дейностите на SC и общите емисии се превръщат във въглеродни кредити, като се умножават по цената на въглерода (за $kg CO_2 - eq$) на пазара.

Това изследване разглежда значимите парникови газове, отделени при производствата на биогорива: въглероден диоксид (CO_2), метан (CH_4) и азотен оксид (NO_2). Отчитат се стойностите на тези параметри за описание на жизнения цикъл. Описанието на жизнения цикъл се извършва след групиране на парниковите газове (т.е. CO_2 , CH_4 и NO_2) в един показател по отношение на еквивалентните емисии на въглероден диоксид ($CO_2 - eq / year$) чрез използване на съответните им потенциали за глобално затопляне (GWPs) на базата на препоръката на Междуправителствената експертна група по изменение на климата (IPCC, 2007 г.) [215] за 100-годишен времеви хоризонт, както следва: 1 за CO_2 , 25 за CH_4 и 298 за NO_2 .

Екологичната цел е да се сведе до минимум общото годишно количество емисии на парникови газове, произведени от SC за биодизел. Формулирането на тази цел се основава на анализа на жизнения цикъл, който отчита следните етапи от жизнения цикъл на течните горива за транспортиране на базата на биомаса:

- Етап на производство на биомаса - състои се от различни подетапи в зависимост от вида на суровината и последващата употреба.
- Етап на транспортиране на биомаса - отнася се до доставката на биомаса до инсталацията за преработка.
- Етап на превръщане на биомасата в биодизел.
- Етап на транспортиране на биодизел (B100) и дизелово гориво към зоните на смесване за дизелово гориво и клиентите.
- Етап на крайно потребление на биогоривото - етап, в който биогоривото се въвежда в двигателя на превозното средство и се изгаря за осигуряване на механична енергия за мобилност.

Под екологични критерии за оценка, ще се разбира общото въздействие върху околната среда по време на работа на IBDSС 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 $t \in T$:

$$TEI_t = ELS_t + ELB_t + ELD_t + ETT_t + ESW_t + ESTRAW_t + ECAR_t + EWCO_t, \forall t \quad (3.1)$$

където,

TEI_t Общо екологично въздействие от работата на IBDSС за целия жизнен цикъл $[kg CO_2-eq d^{-1}]$;

$\begin{pmatrix} ELS_t \\ ELB_t \\ ELD_t \\ ETT_t \end{pmatrix}$ 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, $[kg CO_2-eq d^{-1}]$.

$EWCO_t$ Емисии, отделени при утилизацията на WCO в случай, че не се използва за производство на биодизел (B100)

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

- A. Отглеждане на биомаса ELS_t ;
 - B. Производство на биодизел (B100) ELB_t ;
 - C. Получаване на петролен дизел ELD_t ;
 - D. Оползотворяване на твърдите отпадъци ESW_t ;
 - E. Транспортиране на биомасата ETA_t ;
 - F. Транспортиране на биодизел (B100) ETE_t ;
 - G. Транспортиране на петролен дизел ETD_t ;
 - H. Транспортиране на твърдия отпадък ETW_t ;
 - I. Транспортиране на сламата ETU_t ;
 - J. Транспортиране на слънчоглед/рапица за продоволствената сигурност ETV_t ;
 - K. Използването в превозните средства на биодизел (B100) и дизел $ECAR_t$;
 - L. Утилизацията на WCO, когато не се използва за биодизел (B100) $EWCO_t$
- .1/ **Емисии на парниковите газове за отглеждането на биомасата.** ELS_t , $[kg CO_2-eq d^{-1}]$

Емисиите на парниковите газове в резултат от производството на биомаса, зависят от спецификата на отглежданите култури, както и от географския регион, в който се отглежда биомасата [216]. По специално, въздействието върху околната среда се влияе от използването на торове и пестициди, техниките за напояване, както и от характеристиките на почвата. Този фактор може да е различен за различните

производствени области. Съответно, етапът от производството на биомаса, може да се определи както следва:

$$ELS_t = \sum_{i \in I} \sum_{g \in G} \left(EFBC_{igt} \frac{\beta_{igt} (A_{igt} + A_{igt}^F)}{\alpha_t} \right), \forall t \quad (3.2)$$

където, ELS_t означава общото въздействие върху околната среда при отглеждането на биомаса, което по принцип представлява скоростта на производство на ресурс $i \in I$ в регион $g \in G$ и се изчислява с представеното уравнение за култивиране на биомасата $i \in I$ в съответния регион, $[kg CO_2 - eq d^{-1}]$.

2/ **Общи емисии на парниковите газове при производството на биодизел (B100) $ELB_t, [kg CO_2 - eq d^{-1}]$**

Екологичното въздействие на етапа от производството на биодизел (B100) е свързано с използваните суровини и технологията за получаване на биодизел (B100). Съответно, емисиите на парниковите газове отделени от този етап на жизнения цикъл се приемат пропорционално на специфичното количество биомаса при получаването на биодизел:

$$ELB_t = + \sum_{p \in P} \left(\sum_{y \in Y} (EWCO_{yp} \gamma_{w_{yt}}) \sum_{g \in G} \sum_{f \in F} \sum_{l \in L} QIP_{w_{yhflcpt}} \right), \forall t \quad (3.3)$$

където,

$$QI_{igflpt} = \sum_{p \in P} QIP_{igflpt}, \forall igfl, \forall t \in T$$

$$QIP_{yhflcpt} = \sum_{p \in P} QIP_{w_{yhflcpt}}, \forall yhfl_c, \forall t \in T$$

$$QIP_{igflpt} \leq QI_{igt}^{MAX} X_{igflpt}, \quad \forall igflp, \forall t \in T$$

$$QIP_{w_{yhflcpt}} \leq QI_{igt}^{MAX} X_{s_{yhflcpt}}, \quad \forall yhfl_cp, \forall t \in T$$

$$\sum_{p \in P} X_{igflpt} \leq 1, \quad \forall igfl, \forall t \in T$$

$$\sum_{p \in P} X_{s_{yhflcpt}} \leq 1, \quad \forall yhfl_cp, \forall t \in T$$

където ELB_t е общото въздействие върху околната среда на производството на биодизел (B100) ($[kg CO_2 - eq d^{-1}]$)

3/ **Общи емисии на парникови газове при производството на петролен дизел. $ELD_t, [kg CO_2 - eq d^{-1}]$**

$$ELD_t = \sum_{d \in D} EFDP_d \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} QD_{dcbt}, \forall t \quad (3.4)$$

където ELD_t е общото въздействие на производството на дизел върху околната среда $[kgCO_2-eqd^{-1}]$.

4/ Въздействие върху околната среда при транспортирането ETT_t , $[kgCO_2-eqd^{-1}]$

Въздействието на глобалното затопляне, свързано както с доставките на биомаса, така и с разпределението на горивото, зависи от използването на различни транспортни средства, захранвани с изкопаеми енергийни източници, обикновено конвенционални горива на базата на петрол или електричество. Произтичащите от това емисии на парникови газове от всяка транспортна опция зависят както от разстоянието, което се изпълнява от конкретните средства, така и от транспортното натоварване при доставка. В резултат на това емисионния фактор представлява съответно еквивалентните емисии на въглероден диоксид:

$$ETT_t = ELA_t + ELB_t + ELD_t + ELW_t + ELU_t + ELV_t \quad (3.5)$$

където,

ETT_t е екологичното въздействие при транспортирането на всички ресурси, $[kgCO_2-eqd^{-1}]$

$$ELA_t = \sum_{i \in I} \sum_{g \in G} \sum_{f \in F} \sum_{l \in L} (EFTRA_{il} ADG_{gfl} QI_{igt}) \sum_{y \in I} \sum_{h \in H} \sum_{f \in F} \sum_{l_c \in LC} (EFTWA_{ylc} ADG_{hfc} QI_{whflct}), \forall t$$

е въздействието върху околната среда на транспортана биомаса и WCO

$$ELB_t = \sum_{f \in F} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} (EFTRB_b ADF_{fcb} QB_{fcbt}), \forall t$$

е въздействието върху околната среда на транспортното биогориво (B100) от зони $f \in F$ до $c \in C$;

$$ELD_t = \sum_{d \in D} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} (EFTBD_b ADD_{dcb} QD_{dcbt}), \forall t$$

е въздействието върху околната среда на транспортирането на нефтен дизел от зони $d \in D$ до $c \in C$.

$$ELW_t = \sum_{f \in F} \sum_{w \in W} \sum_{m \in M} (EFTRW_m ADW_{fwm} QW_{fwmt}), \quad \forall t$$

е екологичното въздействие при транспортирането на твърдите отпадъци от зоните $f \in F$ към $w \in W$, $[kgCO_2-eqd^{-1}]$;

$$ELU_t = \sum_{g \in G} \sum_{u \in U} \sum_{e \in E} \sum_{i \in I} (EFTRU_e ADU_{gue} QU_{iguet}), \quad \forall t$$

е екологичното въздействие при транспортирането на слама от зоните $g \in G$ към $u \in U$, $[kgCO_2-eqd^{-1}]$;

$$ELV_t = \sum_{g \in G} \sum_{v \in V} \sum_{z \in Z} \sum_{i \in I} (EFTRV_z ADV_{gvz} QV_{igvzt}), \quad \forall t$$

транспортирането на слънчоглед / рапица за осигуряване на продоволствената сигурност от зоните $g \in G$ към $v \in V$, $[kgCO_2-eqd^{-1}]$;

5/ **Общи емисии на парникови газове при оползотворяването на твърдите отпадъци.** ESW_t , $[kgCO_2-eqd^{-1}]$

$$ESW_t = \sum_{f \in F} (ESF1_{ft}(FSW_{ft} - FSWW_{ft})) + ESWW_t, \quad \forall T \quad (3.6)$$

$ESF1_{ft}$ Отделените емисии при утилизация на твърдия отпадък, ако се извършва в завода $f \in F$, $\left[\frac{kgCO_2-eq}{ton\ solid\ waste} \right]$

Където, ESW_t са емисиите на парниковите газове, които биха били генерирани, ако част от твърдите отпадъци не бяха третирани в местата, определени за тази цел, $[kgCO_2-eqd^{-1}]$ и FSW_{ft} е количеството генериран твърд отпадък при работата на всеки един от заводите $f \in F$ за времевия интервал $t \in T$, а $FSWW_{ft}$ е количеството твърд отпадък, генериран от $f \in F$ който се преработва във всички заводи $w \in W$.

$$FSW_{ft} = \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} (SW_{ip} QBP_{ifcbpt}), \quad \forall t$$

$$FSWW_{ft} = \sum_{m \in M} \sum_{w \in W} QW_{fwmst}, \quad \forall t$$

В същото време $ESWW_t$ представлява парникови емисии, генерирани при утилизацията на твърдия отпадък, когато тя се извършва в някой от заводите $w \in W$ и се определя съгласно зависимостта:

$$ESWW_t = \sum_{f \in F} \sum_{w \in W} \sum_{m \in M} \sum_{s \in S} (ESW1_{wst} QWS_{fwmst}), \quad \forall t$$

6/ **Общи емисии на парникови газове при оползотворяването на сламата.** $ESTRAW_t$, $[kgCO_2-eqd^{-1}]$

$$ESTRAW_t = \sum_{i \in I} \left(ESU_i \left(\sum_{g \in G} (A_{igt} + A_{igt}^F) \beta s_{igt} - \alpha \sum_{g \in G} \sum_{u \in U} \sum_{e \in E} QU_{iguget} \right) \right), \quad \forall t \quad (3.7)$$

където $ESTRAW_t$ са емисиите на парниковите газове при утилизацията на слама, $[kgCO_2-eqd^{-1}]$.

7/ **Емисии на парниковите газове при използването на биодизел(B100) и петролен дизел от транспорта.** $ECAR_t$, $[kgCO_2-eqd^{-1}]$

$$ECAR_t = \sum_{f \in F} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} QB_{fcbt} + ECG \sum_{d \in D} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} QD_{dcbt}, \quad \forall t \quad (3.8)$$

където $ECAR_t$ са емисиите на парниковите газове от използването на биодизел (B100) и петролен дизел в превозните средства, $[kgCO_2-eqd^{-1}]$.

8/ Емисии на парниковите газове отделени при утилизацията на WCO в случай, че не се използва за производство на биодизел(B100). $EWCO_t$, $[kgCO_2-eqd^{-1}]$

$$EWCO_t = \frac{1}{\alpha_t} \sum_{h \in H} \sum_{y \in Y} (PBIS_{yht}^{MAX} EFTWC_y) - \sum_{h \in H} \sum_{y \in Y} \sum_{f \in F} \sum_{l_c} (EFTWC_y QIw_{yhfl_c t}), \forall t \quad (3.9)$$

където $EWCO_t$ са емисиите на парниковите газове отделени при утилизацията на WCO в случай, че не се използва за производство на биодизел (B100), $[kgCO_2-eqd^{-1}]$.

Б/ Основни зависимости при общите разходи

Годишните оперативни разходи включват разходите за придобиване на биомаса, местните разходи за крайния продукт, производствените разходи на крайните продукти и транспортните разходи за биомаса и крайните продукти. В производствените разходи се вземат предвид както фиксираните годишни оперативни разходи, които са дадени като процент от съответната обща капиталова инвестиция, също така и нетната променлива цена, която е пропорционална на сумата за обработка. При разходите за транспорт се отчитат както фиксираните разстояния, така и разстоянието с променливите разходи. Икономическият критерий ще бъде разходите за съществуване на предприятието, които включват общите инвестиционни разходи за производствените мощности на биодизел(B100) и функционирането на IBDS. Тази цена се изразява чрез зависимостта [215] за всеки интервал от време $t \in T$:

$$TDC_t = TIC_t + TIW_t + TPC_t + TPW_t + TTC_t + TTAXB_t - TL_t - TA_t + TWCO_t, \forall t \quad (3.10)$$

където,

TDC_t Общи разходи на IBSC за година, $[\$ year^{-1}]$;

TIC_T Общи инвестиционни разходи за производствен капацитет на IBDS спрямо оперативния период на експлоатация и изкупуването на завода за година, $[\$ year^{-1}]$;

TIW_T Общи инвестиционни разходи за инсталациите за преработка на твърдите отпадъци на IBDS спрямо оперативния период на експлоатация и изкупуването на завода на година, $[\$ year^{-1}]$;

TPC_T Производствени разходи при производство на биодизел (B100), $[\$ year^{-1}]$

TPW_T Производствени разходи за утилизирани на твърдите отпадъци, $[\$ year^{-1}]$;

TTC_T Общи транспортни разходи на IBDS, $[\$ year^{-1}]$;

$TTAXB_T$ Въглероден данък, начислен според общата сума CO_2 , генериран при работата на IBDS, $[\$ year^{-1}]$;

TL_t Правителствени стимули за производството и потреблението на биодизел(B100), $[\$ year^{-1}]$;

TA_t Обща стойност на съпътстващите продукти (глицерол, кюспе) $[\$ year^{-1}]$;

$TWCO_t$ Цената на неизползваната част WCO за производство на биодизел (B100), която е наказателна функция. (Тази неизползва на част WCO се счита за екологичен замърсител, който трябва да се минимизира)

1/ Модел на инвестиционните разходи за биорафинериите по години. TIC_t , [$\$ year^{-1}$]

Рационалното планиране на SC се базира на времето. Трябва да гарантира, че след като бъде изградено, съоръжението ще работи през оставащата времева рамка

$$TIC_t = \varepsilon_t \sum_{f \in F} \sum_{p \in P} (Cost_{pft}^F Z_{pft}), \quad \forall t \quad (3.11)$$

където ε_t изразява фактора отстъпка, дефиниран от *Zamboni A. et al. [218]* и се изчислява с формулата (3.11):

$$\varepsilon_t = \frac{1}{(1 + \zeta_t)} \quad (3.12)$$

където, ζ_t е лихвеният процент [%] за времевия интервал $t \in T$.

Капиталовите разходи на рафинерията се състоят от фиксирани и променливи капиталови разходи. Разходите за основен капитал варират в зависимост от местонахождението на рафинериите. Променливата капиталова стойност на предприятията от биомаса към биодизел(B100) се влияе главно от размера на насажденията, тъй като технологията се счита за дадена.

Променливите капиталови разходи се мащабират, като се използва общата връзка [219]:

$$\frac{CosB_{pt}}{Cost_{base}} = \left(\frac{Size_p}{Size_{base}} \right)^R, \quad \forall t \in T \quad (3.13)$$

където $CosB_{pt}$ е променлива капиталова цена и $Size_p$ представлява инвестиционните разходи и производствения капацитет съответно за новия завод р базовата цена на известните инвестиционни разходи за определен производствен капацитет размер на базата, а R е коефициентът на мащабиране обикновено между 0.6 и 0.8.

Капиталовите разходи на биорафинерията за всеки регион се определят чрез уравнението:

$$Cost_{pft}^F = M_f^{Cost} CosB_{pt}, \quad \forall p \in P, \forall f \in F, \forall t \in T \quad (3.14)$$

където M_f^{Cost} е корекционният фактор в цената на биорафинериите в региона $f \in F$ според инсталираните $M_f^{Cost} \geq 1$.

2/ Модел на инвестиционните разходи на заводите за твърди отпадъци по години. TIW_t , [$\$ year^{-1}$]

Общата стойност на съоръженията за преработка на твърдите отпадъци се определя съгласно уравнението:

$$TIW_t = \sum_{w \in W} \sum_{s \in S} (Cost_{swt}^W ZW), \quad \forall t \quad (3.15)$$

където

$$Cost_{swt}^W = M_w^W CostW_{st}, \quad \forall s \in S, \forall w \in W, \forall t \in T \quad (3.16)$$

и M_w^W е корекционният фактор в цената на завода за твърди отпадъци в региона $w \in W$ според инсталираните $M_w^W \geq 1$.

3/ **Модел на общите производствени разходи на IBDS TPC_t , [$\$ year^{-1}$]**

Общите производствени разходи TPC_t се състоят от разходите за отглеждането на биомасата (слънчоглед/рапица) TPA_t , разходи за използваните WCO TPW_t , разходите за производството на биодизел (B100) ($TPB_t, TPBs_t$) производствените разходи за петролния дизел TPD_t за всеки времеви интервал $t \in T$ се определя съгласно израза:

$$TPC_t = TPA_t + TPW_t + TPB_t + TPBW_t + TPD_t, \quad \forall t \quad (3.17)$$

където компонентите на (3.17) са дефинирани според зависимостите:

$$TPA_t = \sum_{i \in I} \sum_{g \in G} (UPC_{igt} \beta_{igt} (A_{igt} + A_{igt}^F)), \quad \forall t;$$

$$TPW_t = \sum_{y \in Y} \sum_{h \in H} \sum_{f \in F} \sum_{p \in P} \sum_{l_c \in LC} (\alpha_t UPW_{yht} QIPW_{yhflcpt}), \quad \forall t;$$

$$TPB_t = \sum_{i \in I} \sum_{f \in F} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} \sum_{p \in P} (\alpha_t UPB_{ipft} QBP_{ifcbpt}), \quad \forall t;$$

$$TPBW_t = \sum_{y \in Y} \sum_{f \in F} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} \sum_{p \in P} (\alpha_t UPBW_{ypft} QBPW_{yfc bpt}), \quad \forall t;$$

$$TPD_t = \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} \sum_{d \in D} (\alpha_t UPD_{dct} QD_{dcbt}), \quad \forall t.$$

4/ **Модел на общите разходи за преработка на твърдите отпадъци. TPW_t , [$\$ year^{-1}$]**

Общите разходи за утилизацията на твърдия отпадък се изчислява чрез уравнението:

$$TPW_t = \sum_{f \in F} \sum_{w \in W} \sum_{m \in M} \sum_{s \in S} (UPW_{swt} QWS_{fwmst}) + \sum_{f \in F} (QWPLANTS_{ft} UPSW_{ft}), \quad \forall t \quad (3.18)$$

Само един от размерите $s \in S$ може да бъде избран за региона $w \in W$ (което е гарантирано чрез удовлетворяване на системата неравенства $\sum_{s \in S} ZWF_{swt} \leq 1.0 \quad \forall t, w$), то QWS_{fwmst} е „0” за всички освен за избрания размер $s \in S$. Това се осигурява чрез удовлетворяване на неравенствата $G^{MAX} ZWF_{swt} \geq QWS_{fwmst}, \quad \forall f, m, s, t$, където G^{MAX} е достатъчно голямо число.

$QWFULL_{ft}$ е общото количество твърди отпадъци [$\$ year^{-1}$], които се генерират от всяка биорафинерия $f \in F$, а $QWPLANTS_{ft}$ е общото количество твърди отпадъци, които се обработват във всеки един от заводите $f \in F$:

$$\left. \begin{aligned} QWPLANTS_{ft} &= QWFULL_{ft} - \alpha_t \sum_{s \in S} \sum_{w \in W} \sum_{m \in M} QWS_{fwmst} \\ QWFULL_{ft} &= \alpha_t \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} \sum_{p \in P} (SW_{ipt} QBP_{ifcbpt}) \end{aligned} \right\}, \quad \forall t, f \quad (3.19)$$

5/ **Модел на общите транспортни разходи. TTC_t , [$\$ year^{-1}$]**

По отношение на транспорта, доставянето на биомаса до инсталациите за преработка, както дистрибуцията и транспортирането на биодизел (B100) до

съоръженията за смесване се третираат като допълнителна услуга, предоставяна от съществуващите, действащи лица, които вече работят в рамките на индустриалната/транспортната инфраструктура. В резултат на това TTC_t се оценява по следния начин:

$$TTC_t = TTCA + TTCH_t + TTCB_t + TTCD_t + TTCW_t + TTCU_t + TTCV_t, \quad \forall t \quad (3.20)$$

където,

$$TTCA_t = \sum_{i \in I} \sum_{g \in G} \sum_{f \in F} \sum_{l \in L} (\alpha_t UT C_{igfl} Q I_{igfl_t}), \quad \forall t$$

са транспортни разходи за транспортиране на енергийни култури (слънчоглед и рапица) за производството на биодизел (B100),

$$TTCH_t = \sum_{y \in Y} \sum_{h \in H} \sum_{f \in F} \sum_{l_c \in LC} (\alpha_t UT H_{yhfl_c} Q I_{yhfl_{c,t}}), \quad \forall t$$

са транспортни разходи за транспортиране на WCO за производството на биодизел (B100),

$$TTCB_t = \sum_{b \in B} \sum_{c \in C} \sum_{f \in F} (\alpha_t UT B_{fcb} Q B_{fcb_t}), \quad \forall t$$

са транспортни разходи за транспортиране на биодизел (B100),

$$TTCD_t = \sum_{b \in B} \sum_{c \in C} \sum_{d \in D} (\alpha_t UT D_{acb} Q D_{acbt}), \quad \forall t$$

са транспортни разходи за транспортиране на петролен дизел,

$$TTCW_t = \sum_{m \in M} \sum_{w \in W} \sum_{f \in F} (\alpha_t UT W_{fwm} Q W_{fwm_t}), \quad \forall t$$

са транспортни разходи за транспортиране на твърдия отпадък,

$$TTCU_t = \sum_{e \in E} \sum_{g \in G} \sum_{u \in U} \sum_{i \in I} (\alpha_t UT U_{gue} Q U_{guet}), \quad \forall t$$

са транспортни разходи за транспортиране на събраната слама за преработка,

$$TTCV_t = \sum_{i \in I} \sum_{z \in Z} \sum_{g \in G} \sum_{v \in V} (\alpha_t UT V_{igvz} Q V_{igvzt}), \quad \forall t$$

са транспортни разходи за транспортиране на зърно за осигуряване на продоволствената сигурност, където,

$$\left. \begin{aligned} UTC_{igfl} &= IA_{il} + (IB_{il}ADG_{gfl}) \\ UTCs_{igfe} &= OAU_e + (OBU_eADG_{gfl}) \\ UTB_{fcb} &= OA_b + (OB_bADF_{fcb}) \\ UTD_{dcb} &= OAD_b + (OBD_bADD_{dcb}) \\ UTW_{fvm} &= OAW_{em} + (OBW_mADW_{fvm}) \\ UTU_{gue} &= OAU_e + (OBU_eADU_{gue}) \\ UTV_{igvz} &= OAV_{iz} + (OBV_{iz}ADV_{gvz}) \end{aligned} \right\}$$

(IA_{il}, IB_{il}) са постоянни или променливи разходи за транспортиране на биомаса от тип $i \in I$, (OAH_{yh}, OBH_{yh}) са постоянни или променливи разходи за транспортиране на WCO от тип $y \in Y$, (OA_b, OB_b) са постоянни или променливи разходи за транспортиране на биодизел (B100), OAD_b и OBD_b (OA_b, OB_b) са постоянни или променливи разходи за транспортиране на петролен дизел, OAW_{em} и OBW_m (OA_b, OB_b) са постоянни или променливи разходи за транспортиране на твърдият отпадък, OAU_e и OBU_e (OA_b, OB_b) са постоянни или променливи разходи за транспортиране на сламата, OAV_{iz} и OBV_{iz} са постоянни или променливи разходи за транспортиране на биомаса от тип $i \in I$.

Транспортните разходи за транспортиране на биомасата UTC_{igfl} са описани от **Börjesson and Gustavsson [220]**, за транспортиране с трактор, камион и влак UTB_{fcb} . Те са съставени от постоянни (IA_{il}, OA_b) и променливи разходи (IB_{il}, OB_b). Постоянните разходи включват разходите за товарене и разтоварване. Те не зависят от разстоянието за транспортиране. Променливите разходи включват разходите за гориво, разходите за поддръжка, за шофьора и т.н. Те зависят от разстоянието за транспортиране [219].

6/ Модел на таксата за въглероден данък. $TTAXB_t$, [$\$ year^{-1}$]

Много страни прилагат различни механизми за намаляване на емисиите на парникови газове, включително стимули или задължителни цели за намаляване на въглеродния отпечатък. Данъците върху въглерода и пазарите на въглеродни емисии (търговия с емисии) се признават за най-рентабилните механизми. Основната идея е да се постави ценова стойност на въглеродните емисии и да се създадат нови инвестиционни възможности за генериране на фонд за развитие на зелените технологии. Вече съществуват редица активни въглеродни пазари за емисии на парникови газове [221], [222].

Въвежданият въглероден данък се определя чрез уравнението:

$$TTAXB_t = \alpha_t TEI_t C_{CO_2}, \forall t \quad (3.21)$$

7/ Модел на разходите за правителствени стимули за производство на биодизел(B100). [$\$ year^{-1}$]

Правителствените стимули TL_t за производството на биодизел(B100) и неговото използване се определят чрез уравнението:

$$TL_t = \alpha_t \sum_{f \in F} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} (INS_{ft} QB_{fcbt}), \forall t \quad (3.22)$$

8/ **Общи разходи от продажбата на слама за други цели.** [$\$ year^{-1}$]

$$TS_t = \alpha_t \sum_{i \in I} \left(PSU_{it} \sum_{g \in G} \sum_{u \in U} \sum_{e \in E} QU_{igu\text{et}} \right), \forall t \quad (3.23)$$

9/ **Модел на общите разходи за съпътстващи продукти (глицерин и кюспе),** [$\$ year^{-1}$]

Съпътстващите продукти (кюспе при добив на биомаса и глицерол от производството на биодизел) се използват като заместител на сродни продукти [223], тъй като използването на съпътстващи продукти може ефективно да намали въздействието върху околната среда [224]. За заместване на органични торове се използваше утайка от добив на биомаса, а за производството на козметика се използва глицерол от производството на биодизел.

Цената на страничните продукти (глицерол и кюспе) се определя според израза:

$$TA_t = \sum_{i \in I} (PGL_{it} + PML_{it}) + \sum_{y \in Y} (PGLW_{yt} + PMIW_{yt}), \quad \forall t \quad (3.24)$$

където,

1. *Цена, получена от продажбата на глицерол, получен от i-тата суровина (глицерол в производството на сапун)*

$$PGL_{it} = cost_GGL_i \sum_{g \in G} (A_{igt} \beta_{igt}), \quad \forall i \in I, \forall t \in T$$

$$PGLW_{yt} = cost_GLGW_y \alpha_t \sum_{h \in H} \sum_{f \in F} \sum_{l_c \in LC} QIW_{yhf l_c t}, \quad \forall y \in Y, \forall t \in T$$

2. *Цена, получена от продажбата на кюспе, получена от i-та суровина (кюспе за храна за животни)*

$$PML_{it} = cost_MLM_i \sum_{g \in G} (A_{igt} \beta_{igt}), \quad \forall i \in I, \forall t \in T$$

$$PMIW_{yt} = cost_MLMW_y \alpha_t \sum_{h \in H} \sum_{f \in F} \sum_{l_c \in LC} QIW_{yhf l_c t}, \quad \forall y \in Y, \forall t \in T$$

10/ **Модел на цената на неизползваната WCO за производство на биодизел(B100).**

Цената на неизползваната WCO за производство на биодизел (B100), която е наказателна функция се определя съгласно уравнението:

$$TWCO_t = \sum_{y \in Y} \sum_{h \in H} UPWCO_{yht} \sum_{f \in F} \sum_{l_c \in LC} \sum_{p \in P} (PBI_{syht}^{MAX} - \alpha_t QIPW_{yhf l_c pt}) \quad (3.25)$$

C/ **Модел на социалната оценка на IBSC Job_t, [Number of Jobs/ year]**

Моделът на социалната оценка за работата на IBSC определя очаквания общ брой на създадените работни места (J_t) като резултат на действието на всички елементи на системата по време на нейната работа:

$$Job_t = NJ1_t + LT_t NJ2_t + LT_t NJ3_t, \quad \forall t \quad (3.26)$$

където, компонентите на (3.26) се определят съгласно отношенията при всеки времеви интервал $t \in T$, [*Number of Jobs/ year*]:

$NJ1_t$ -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), и се определят съгласно уравненията:

$$\left. \begin{aligned} NJ1_t &= \sum_{p \in P} \sum_{f \in F} (M_{ft}^{JobP} JobB_p Z_{pft}) + \sum_{s \in S} \sum_{w \in W} (M_{wt}^{JobW} JobW_s Z_{swt}) \\ NJ2_t &= \sum_{p \in P} \sum_{f \in F} (M_{ft}^{JobP} JobO_p Z_{pft}) + \sum_{s \in S} \sum_{w \in W} (M_{wt}^{JobW} JobO_w Z_{swt}) \\ NJ3_t &= \sum_{i \in I} \sum_{g \in G} (JobG_{ig} PBB_{igt}) \end{aligned} \right\}, \forall t \quad (3.27)$$

Уравненията (3.26 и 3.27) представляват опростен модел на критерия на социалната оценка, който беше обсъден за първи път подробно в [225]

3.2.5. Ограничения на модела.

За проектиране на SC и съставяне на модел, посредством MILP, трябва да се вземат под внимание някои ограничения. Тези ограничения са различни по характер, включващи:ограничения на баланса на всички продукти, ограничения за ограничаване на капацитета, ограничения за заемане на минимален капацитет и ограничение на удовлетвореността от търсенето. По-долу представяме линейно ограничение по отношение на всички променливи на решението.

3.2.5.1. Ограничения, свързани с капацитета на заводите.

Капацитетите на заводите са ограничени от долна и горна граница, където тези граници за всеки регион ще се определя чрез изпълнение на системата неравенства:

$$\sum_{p \in P} (PB_p^{MIN} Z_{pft}) \leq \alpha_t \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} QB_{fcbt} \leq \sum_{p \in P} (PB_p^{MAX} Z_{pft}), \quad \forall f, t \quad (3.28)$$

$$(PBS_{ip}^{MIN} Z_{pft}) \leq \left(\alpha_t \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} QBP_{ifcbpt} \right) \leq (PBS_{ip}^{MAX} Z_{pft}), \quad \forall i, f, p, t \quad (3.29)$$

$$(PBS_{yp}^{MIN} Z_{pft}) \leq \left(\alpha_t \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} QBP_{syfcbpt} \right) \leq (PBS_{yp}^{MAX} Z_{pft}), \quad \forall y, f, p, t \quad (3.30)$$

където,

$$QB_{fcbt} = \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} (QBP_{ifcbpt}) + \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} (QBP_{syfcbpt}), \quad \forall t, f, c, b.$$

3.2.5.2. Баланс на биодизел (B100), който ще бъде произведен от биомаса, налична в регионите

$$\sum_{i \in I} \sum_{g \in G} \sum_{b \in B} \sum_{p \in P} (\gamma_{ipt} QIP_{igf_{lpt}}) = \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} \sum_{p \in P} (QBP_{ifcbpt}), \forall f \in F, \forall t \in T \quad (3.31)$$

$$\sum_{y \in Y} \sum_{h \in H} \sum_{l_c \in LC} \sum_{p \in P} (\gamma_{ypt} QIP_{yhfl_{cpt}}) = \sum_{y \in Y} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} \sum_{p \in P} (QBP_{yfc_{bpt}}), \forall f \in F, \forall t \in T \quad (3.32)$$

$$\sum_{f \in F} \sum_{l \in L} \sum_{p \in P} (QIP_{igf_{lpt}}) \leq QI_{igt}^{MAX}, \quad \forall i \in I, \forall g \in G, \forall t \in T \quad (3.33)$$

$$\sum_{f \in F} \sum_{l_c \in LC} \sum_{p \in P} (QIP_{yhfl_{cpt}}) \leq QIS_{yht}^{MAX}, \quad \forall y \in Y, \forall h \in H, \forall t \in T \quad (3.34)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} \sum_{p \in P} (QIP_{ifcbpt}) + \sum_{y \in Y} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} \sum_{p \in P} (QIP_{yfc_{bpt}}) \leq QB_{ft}^{MAX} \sum_{p \in P} ZF_{pft}, \forall f \in F, \forall t \in T \quad (3.35)$$

3.2.5.3. Допустимост на потоците при работа на IBDSC.

Уравнение (3.36) гарантира допустимите стойности на потоците от зърно и слама от всеки един от регионите за тяхното производство:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} QI_{igflt} + \sum_{z \in Z} \sum_{v \in V} QV_{igvzt} &\leq QI_{igt}^{MAX} \\ \sum_{e \in E} \sum_{u \in U} QU_{igu_{et}} &\leq QIS_{igt}^{MAX} \end{aligned} \right\}, \forall t, g, i \quad (3.36)$$

Уравнение (3.37) гарантира допустимост на потоците от твърди отпадъци за местата, където те се генерират:

$$\sum_{m \in M} \sum_{w \in W} QW_{fwmt} \leq QIS_{ft}^{MAX}, \forall m, f \quad (3.37)$$

Уравнение (3.38) гарантира спазване на допустимите стойности на потоците от биодизел (B100) от всеки регион за тяхното производство:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} (QBP_{ifcbpt}) &\leq QB_{ft}^{MAX} ZF_{pft} \\ \sum_{b \in B} \sum_{c \in C} (QB_{fcbt}) &\leq QB_{ft}^{MAX} ZF_{pft} \end{aligned} \right\}, \forall t, f, p \quad (3.38)$$

Ограничение на баланса на биодизел(B100), който се произвежда от биомасата налична в регионите:

$$G^{MAX} ZF_{pft} \geq QBP_{ifcbpt}, \forall i, f, c, b, p, t \quad (3.39)$$

За уравнение (3.40), можем да напишем израза:

$$QB_{fcbt} = \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} QBP_{ifcbpt}, \quad \forall t, f, c, b \quad (3.40)$$

Уравнение (3.41) гарантира допустимите стойности на потоците от петролен дизел от всеки един от регионите за тяхното производство:

$$\sum_{b \in B} \sum_{c \in C} (QD_{acbt}) \leq QD_{dt}^{MAX}, \forall t, d \quad (3.41)$$

$$\frac{(A_{igt} + A_{igt}^F)}{\beta_{igt} \alpha_t} \geq \left(\sum_{l \in L} \sum_{f \in F} QI_{igflt} + \sum_{z \in Z} \sum_{v \in V} QV_{igvzt} \right), \forall t, g, i \quad (3.42)$$

3.2.5.4. Ограничения, гарантиращи снабдяването на регионите със слама за технически нужди.

$$PSTRAW_{iut}^{MIN} \leq \alpha_t \sum_{e \in E} \sum_{g \in G} QU_{iguget} \leq PSTRAW_{iut}^{MAX}, \quad \forall t, i, u \quad (3.43)$$

3.2.5.5. Ограничения, гарантиращи снабдяването на регионите със зърно за осигуряване на продоволствената сигурност.

$$\alpha_t \sum_{z \in Z} \sum_{g \in G} Qv_{igvzt} = PGRAIN_{ivt}, \quad \forall t, i, v \quad (3.44)$$

3.2.5.6. Ограничения за заводите за утилизация на твърдите отпадъци.

Условието гарантиращо, че общото количество твърди отпадъци генерирани от всички биорафинерии (могат да бъдат преработени в заводите изградени за тази цел), се удовлетворява с изпълнение на системата неравенства:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{w \in W} \sum_{m \in M} QW_{fwmt} &\leq \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} (SW_{ipt} QBP_{ifcbpt}) \\ \sum_{w \in W} \sum_{m \in M} \sum_{s \in S} QWS_{fwmt} &\leq \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} \sum_{p \in P} (SW_{ipt} QBP_{ifcbpt}) \end{aligned} \right\}, \forall t, f \quad (3.45)$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_{s \in S} (P_s^{MIN} ZWF_{swt}) &\leq \alpha_t \sum_{f \in F} \sum_{m \in M} QW_{fwmt} \\ \alpha_t \sum_{f \in F} \sum_{m \in M} QW_{fwmt} &\leq \sum_{s \in S} (P_s^{MAX} ZWF_{swt}) \end{aligned} \right\}, \quad \forall t, w \quad (3.46)$$

$$QW_{fwmt} \leq \sum_{s \in S} (P_s^{MAX} ZWF_{swt}), \forall t, w \quad (3.47)$$

3.2.5.7. Логически ограничения.

1/ Ограниченията гарантират, че в даден регион $g \in G$ може да се инсталира завод $p \in P$ за производство на биодизел (B100).

Ограниченията (3.48) осигуряват, възможността да бъде избран само един размер $p \in P$ за всяко съоръжение:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{p \in P} Z_{pft} &\leq 1 \\ \sum_{p \in P} ZF_{pft} &\leq 1 \end{aligned} \right\}, \forall t, f \quad (3.48)$$

2/ Ограничения гарантиращи, че в даден регион $w \in W$ ще се инсталира само една инсталация с размер $s \in S$ за оползотворяване на твърди отпадъци:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{s \in S} ZW_{swt} &\leq 1 \\ \sum_{s \in S} ZWF_{swt} &\leq 1 \end{aligned} \right\}, \forall t, w \quad (3.49)$$

Ограничението (3.48) осигурява, че може да бъде избран само един размер $s \in S$ за всеки завод за преработка на твърдите отпадъци.

3/ Ограничения, осигуряващи възможна връзка между региони, произвеждащи суровини, само избрани дейности в определен регион

$$X_{igftl} \leq \sum_{p \in P} Z_{pft}, \forall f \in F, \forall g \in G, \forall l \in L, \forall i \in I, t \in T \quad (3.50)$$

4/ Ограниченията гарантират, че петролният дизел, произведен регион $d \in D$, се транспортира от регион $d \in D$ до $c \in C$, като се използва транспорт $b \in B$ за даден интервал $t \in T$, когато към момента се произвежда петролен дизел в регион $d \in D$ през същия времеви интервал

$$DT_{dcbt} \leq PD_{dt}, \forall d \in D, \forall c \in C, \forall b \in B, \forall t \in T \quad (3.51)$$

5/ Ограничения, които гарантират, че всеки регион, произвеждащ биосуровина $i \in I$ ще е свързан с поне един завод за производство на биодизел (B100).

$$\sum_{f \in F} \sum_{i \in I} X_{igftl} \geq 1, \forall t, i, g \quad (3.52)$$

6/ Ограничения, които гарантират, че всеки завод $f \in F$ за производство на биодизел (B100) ще е свързан с поне една зона $c \in C$ за смесване и потребление.

$$\sum_{b \in B} \sum_{i \in I} Y_{fcbt} \geq 1, \forall t, f \quad (3.53)$$

7/ Ограничения, които гарантират, че всеки завод $w \in W$ за преработка на твърди отпадъци ще бъде свързан с поне един завод $f \in F$ за производство на биодизел (B100)

$$\sum_{w \in W} \sum_{m \in M} WS_{fwm} \geq 1, \forall t, f \quad (3.54)$$

8/ Ограничения гарантиращи, че твърдите отпадъци произведени от дадена биорафинерия, ще бъдат преработени само в един от заводите за утилизация:

$$\sum_{m \in M} \sum_{w \in W} WS_{fwm} = \sum_{p \in P} ZF_{pft}, \forall t, f \quad (3.55)$$

3.2.5.8. Транспортни ограничения

1/ Количеството, транспортирано между различни региони, се ограничава от горна и долна граница, като се посочва от ур. (3.56)

$$\frac{PBI_{igt}^{MIN}}{\alpha_t} \leq \sum_{f \in F} \sum_{i \in I} QI_{igftl} \leq \frac{(A_{gt}^S + A_{gt}^{Food})\beta_{igt}}{2\alpha_t}, \forall i \in I, \forall g \in G, \forall t \in T \quad (3.56)$$

2/ Ограничения, които гарантират допустимостта на дебита за биомаса и биогориво.

Ограничаване за дебита на биомасата се изразява с ограничението:

$$QI_{igt}^{MAX} X_{igflt} \geq QI_{igflt} \geq QT_{ilt}^{MIN} X_{igflt}, \forall i \in I, \forall g \in G, \forall f \in F, \forall l \in L, \forall t \in T \quad (3.57)$$

Ограничаване за дебита на биодизела се изразява с ограничението:

$$QB_{ft}^{MAX} Y_{fcbt} \geq QB_{fcbt} \geq QT_{bt}^{MIN} Y_{fcbt}, \forall f \in F, \forall c \in C, \forall b \in B, \forall t \in T \quad (3.58)$$

3.2.5.9. Ограничения за проектиране на SC.

Тези ограничения представляват материални баланси между различните възли в SC. По-долу са формулирани ограниченията между различните SC възли.

Производителност на биомасата в регионално ограничение:

$$\alpha_t \sum_{l \in L} \sum_{f \in F} QI_{igflt} \leq \beta_{igt} A_{igt}, \forall g \in G, \forall i \in I, \forall t \in T \quad (3.59)$$

3.2.5.10. Ограничения на общото въздействие върху околната среда от всички региони

$$TEIF_t \leq TEIF_t^{MAX}, \forall t \in T \quad (3.60)$$

$$TEI_t \leq TEI_t^{MAX}, \forall t \in T \quad (3.61)$$

където $TEIF_t^{MAX}$ е максимално допустимите стойности за общото въздействие върху околната среда на SC за биодизел (B100) и на SC за изкопаемите горива в регионите ($[kg CO_2 - eq d^{-1}]$)

3.2.5.11. Ограничения, свързани с обработваемите площи.

1/ Ограничения при добивите за продоволствена сигурност

Ограниченията, обяснени в този раздел, са насочени главно към избягване на отрицателното въздействие върху производството на храни. Идеята е да се избегне конкуренцията с други сектори с използване на биомаса и да се поддържа устойчивото използване на терените. В модела се въвежда ограничение, за недопускане конкуренцията между „биомаса за храни“ и „биомаса за гориво“:

$$\left. \begin{aligned} \sum_{g \in G} (\beta_{igt} A_{igt}) &\geq \sum_{g \in G} \left(\alpha_t \sum_{f \in F} \sum_{l \in L} QI_{igflt} \right) \\ \sum_{g \in G} (\beta_{igt} A_{igt}^F) &\geq QB_{it}^{Food} \end{aligned} \right\}, \forall i \in I, \forall t \in T \quad (3.62)$$

Обработваемата земя, използвана за отглеждане на суровини и за продоволствена сигурност, не трябва да надвишава наличната обработваема земя за всеки регион:

$$\sum_{i \in I} (A_{igt} + A_{igt}^F) \leq (A_{gt}^S - A_{gt}^{Food}), \forall g \in G, \forall t \in T \quad (3.63)$$

3.2.5.12. Ограничения за сеитбооборота [226]

Селекцията на културите позволява да се осигури контрол върху вредителите, да се подобри плодородието на почвата, да се запази дългосрочната продуктивност на земята и да се увеличат добивите и рентабилността при ротацията [227], [228]. Други критерии, които трябва да се вземат предвид при планирането на ротацията на културите с енергийни култури, са екологичните и икономическите условия в даден регион. Освен това, прилагането на сеитбооборота при отглеждането на реколтата е често срещана практика, която се прилага все по често, поради ползите за околната среда и способства намаляването на зависимостта от допълнителни ресурси. За да може да се осъществява сеитбооборота в даден регион, в който е заета $g \in G$ нарастваща площ на енергийни култури, се постъпва така, че следващия път същата площ да се ангажира с други култури, което да гарантира оптимална схема на сеитбооборота. Това може да бъде постигнато, ако земята A_{ig} и A_{ig}^F , са такива, че да се опишат с неравенствата.

$$(A_{igt} + A_{igt}^F)2.0 \leq (A_{gt}^S - A_{gt}^{Food}), \forall i \in I, \forall t \in T \quad (3.64)$$

3.2.5.13. Ограничения за енергийните баланси

1/ Ограничения, осигуряващи цялостния енергиен баланс в региона. Ограничаване на приложимостта на енергийния баланс:

$$EGD_t + EB_t \geq EO_t, \quad \forall t \in T \quad (3.65)$$

Енергийно еквивалентното дизелово гориво, което е необходимо за задоволяване на енергийните нужди на всички зони на клиентите, където не се използва биодизел (B100), се определя от уравнението:

$$EO_t = ENO \sum_{c \in C} YO_{tc}, \quad \forall t \in T \quad (3.65a)$$

където EO_t е годишно потребление на енергия (нефтен дизел) от всички региони ($[G/year^{-1}]$).

Енергийният еквивалент на нефтения дизел, който трябва да бъде добавен за да се балансира енергията, необходима за всички зони на клиента, се определя от уравнението:

$$EGD_t = ENO \sum_{c \in C} QEO_{tc}, \quad \forall t \in T, \quad (3.65b)$$

където EGD_t е годишната енергия, добавена към нефтеното дизелово гориво, за да се балансира необходимата енергия за всички региони ($[G/year^{-1}]$).

Енергийният еквивалент на биодизел (B100), получен за година работа, се определя от зависимостта:

$$EB_t = ENB \sum_{c \in C} QEB_{tc}, \quad \forall t \in T \quad (3.65c)$$

където EB_t е годишната енергия, получена от извлеченото биогориво (биодизел (B100)) на BSC за цялата зона на потребителите ($[G/year^{-1}]$).

Общата стойност на използваното гориво от регионите ($[\$/year]$) се решава от уравнението:

$$TBG_t = TDC_t + PO \sum_{c \in C} QEO_{tc}, \forall t \in T \quad (3.65d)$$

2/ Ограничения, осигуряващи цялостния енергиен баланс във всяка зона на клиента

Ограничение на приложимостта на енергийния баланс за всеки регион:

$$ENO QEO_{tc} + ENB QEB_{tc} \geq ENO YO_{tc}, \forall c \in C, \forall t \in T \quad (3.66)$$

3/ Ограничения, гарантиращи, че за всеки регион ще бъде осигурено в желаните пропорции гориво.

$$ENB \sum_{f \in F} \sum_{c \in C} \sum_{b \in B} (\alpha_{tf} QB_{tfc}) \geq K_{tc}^{mix} ENO \sum_{c \in C} YO_{tc}, \forall t \in T \quad (3.67)$$

$$ENB \sum_{f \in F} \sum_{b \in B} (\alpha_{tf} QB_{tfc}) \geq K_{tc}^{mix} ENO YO_{tc}, \quad \forall c \in C, \forall t \in T \quad (3.68)$$

3.2.5.14. Ограничения за общите разходи за IBDSC.

$$TDC_t^{MAX} \geq TDC_t, \forall t \in T \quad (3.69)$$

където TDC_t^{MAX} е максималната обща стойност на SC мрежа за биодизел ([\\$]).

3.2.6. Формулиране на целите на оптимизационния проблем

Съществува огромен литературен набор от изследователски дейности в сферата на проектиране и управление на SC [229]. Съществуват много на брой статии, които разглеждат проблемите на местоположението. Първоначално, оптимизацията на SC е направена с цел намаляване на разходите. В резултат на това всички разходи, оказващи влияние върху ефективността на веригата, биват едновременно взети предвид. На ред с финансовите съображения, в последно време се обръща внимание и на критериите за ефективност на системата, като се включват енергийното потребление и емисиите на парниковите газове в SC, както в модела за „*the Integrated Biomass Supply Analysis u Logistics*” (IBSAL) [230]. Особено внимание е обърнато на проблема с утилизация на твърдите растителни остатъци от фабриките за биодизел, които могат да послужат, като суровина за друг тип биогорива [231] За оценяване на цялостното представяне на дадена система, не е необходимо само да се описва как човешката дейност би повлияла върху глобалната устойчивост, нужна е всеобхватна оценка на икономическата рентабилност, опазването на околната среда и социалната устойчивост. По този начин използването на метода на многоцелева оптимизация предполага превеждане на всички устойчиви аспекти в подходящи критерии, които да могат да бъдат оптимизирани едновременно. До скоро социалната оценка често е бивала пренебрегвана. Но на този етап, освен при работата на *You F., et all.* [232], не се наблюдава активност, обединяваща цялостно идеята за устойчивото развитие чрез добавяне на подходящ социален критерий към двата предходни. Основната причина за това е, че оценката на социалните показатели често е мащабна и трудоемка задача.

Моделът включва следните цели:

3.2.6.1. Икономическа цел

Частта от целевата функция, свързана с минимизирането на икономическите разходи, включва всички оперативни разходи на SC, от закупуването на суровини от

биомаса до транспортирането на крайния продукт, както и инвестиционните разходи на биорафинериите и съоръженията за утилизация на отпадните продукти. Разходите на SC са: цената на суровината, транспортирането на суровината до съоръженията за събиране, разходите за събиране и съхранение на биомасата, разходите за транспорт до биорафинериите, разходите за преобразуване в биодизел и разходите за транспорт на крайния продукт до съоръженията за смесване. Икономическата цел представлява, свеждане до минимум на общите годишни разходи. Условието, които определят целта за разходите, съответстват на годишните оперативни разходи на веригата за доставки, са описани в следното уравнение:

$$COST = \sum_{t \in T} (LT_t TDC_t), \quad (3.70)$$

В уравнение (3.70) дефинираното сумиране представлява годишните оперативни разходи за отглеждане и събиране на биомасата, нейното транспортиране, складиране и преобразуване, складиране на биодизел и неговото транспортиране до крайните потребители.

Като целева функция, можем да използваме цената на използваното гориво (нефтен дизел и биодизел) за целия интервал от време, при условие че са удовлетворени нуждите на регионите от този енергиен носител. Това се определя от зависимостта:

$$COST_{TBG} = \sum_{t \in T} (LT_t TBG_t), \quad (3.71)$$

3.2.6.2. Екологична цел

Функцията за екологични цели съответства на минимизирането на цялостното въздействие върху околната среда, измерено чрез метода *Eco indicator 99*. Екологичният индикатор 99 е стандартен метод за оценка на глобалното въздействие на процеса, продукта и/ или дейността [233]. Този метод може да се приложи или като самостоятелен инструмент, или в комбинация с модел за оптимизация. Предложеният модел интегрира екологичния индикатор 99, чието изчисление е извършено, като се има предвид специфичните дейности, които се извършват при функционирането на разглеждания IBDS.

Кумулативното въздействие върху околната среда от работата на системата, изразено чрез количеството, еквивалент на въглероден диоксид, генерирано през целия жизнен цикъл и по време на неговата експлоатация, се изразява чрез уравнението:

$$ENV = \sum_{t \in T} (LT_t TEI_t), \quad (3.72)$$

Въздействието върху околната среда [229] се определя с метода за екологичните разходи, въведени от [234], [235] и актуализирани през 2007 и 2012г. Екологичните разходи са мярка, която изразява екологичното натоварване на продукта въз основа на това натоварване по време на жизнения цикъл: от суровините до крайното му потребление. Този индикатор представлява необходимите разходи, които трябва да бъдат направени, за да се противодейства на отрицателното въздействие на дейността, извършена върху капацитета на Земята [236]. Той измерва въздействието от гледна точка на замърсяването и изчерпването на материалните ресурси чрез разпределяне на

санкциите, като алтернатива, която би намалила неговото въздействие върху околната среда и би се нарекла устойчиво решение.

Екологичните разходи позволяват определянето на екологичното въздействие като прост индикатор, който е лесен за разбиране и се сравнява с други критерии, например икономически. Освен това, както сме подчертали [236] основните предимства на тези Екологични разходи са: (i) те са изразени като парична стойност, (ii) няма нужда да се сравнява с друг продукт (често граничат с други методи за оценка на жизнения цикъл) и (iii) изчисленията се основават на Европейските ценови равнища, а разходите се актуализират.

В нашия случай, за да определим паричният еквивалент на екологичното въздействие използваме коефициента на глобалното затопляне C_{CO_2} , използвайки уравнението:

$$Cost_{ENV} = C_{CO_2} ENV \quad (3.73)$$

където $Cost_{ENV}$, [$\$ year^{-1}$] е цената, която трябва да бъде платена за да се предотврати въздействието върху околната среда на количеството еквивалентно на въглероден диоксид, докато C_{CO_2} е коефициентът на Глобалното затопляне [$\$/kg CO_2 - eq$] (най-често използваните стойности са $0.135 \$/kg CO_2 - eq$) съгласно [229].

3.2.6.3. Социална цел.

До този момент социалната оценка често е пренебрегвана, доколкото ни е известно, с малки изключения [232]. Изследванията самостоятелно не обединяват цялостното устойчиво развитие чрез добавяне на подходящ социален критерий както двата предходни критерия, за оптимизация на SC на промишлени продукти. Основната причина е, че оценката на социалните показатели често е мащабна и трудоемка задача.

Според някои източници [229] е наложително да се определи социалната устойчивост на дадена система. Според въпросния подход, тъй като системата за присъединяване е в процес на развитие, повечето от социалните въздействия ще се сметат за постоянни, например рисковете за човешкото здраве и сигурността или обществената приемливост. В нашия случай, двата основни социални индикатора са: създаването на работни места и продоволствената сигурност. Последният оценява възможната конкуренция между храните и енергията. Някои автори [237] сочат, че е наложително използването на социален показател, тъй като той се занимава с измерване на качеството на живот (повишаване на цените на храните) и рисковете за хората (безопасността на храните).

По отношение на оценката на работните места най-важните проблеми са, да се определи границата на оценката и след това да се изчисли общият брой създадени работни места. В същност този брой не се ограничава само до броя на лицата, които пряко работят за новата дейност, но също така трябва да вземе предвид работните места, създадени или подкрепени от подизпълнители, т.е. от всички ангажирани предприятия, от гледна точка на заетост. В резултат на това, броят на създадените работни места е разделен на три категории: (i) Директни работни места (работни места, свързани с дейностите на завода), (ii) Индиректни работни места (нови служители в подизпълнители) и (iii) Индуцирани работни места (нови служители в местната икономика). Тази последна точка оценява работните места, генерирани от двете предишни категории, поради тяхното (и техните семейства) потребление в местната икономика.

За оценка на социалното въздействие на системната работа, можем да използваме коригираните коефициенти на ($JobB_p$, $JobO_p$, $JobOW_s$, $JobW_s$), които представляват индиректни работни места в социалната икономика. Тогава социалното

въздействие (по отношение на работните места) се определят съгласно зависимостта (3.74) [*Number of Jobs*]:

$$JOB = \sum_{t \in T} (LT_t Job_t) \quad (3.74)$$

3.2.7. Съставяне на оптимизационния проблем.

Процедурата за оптимизация цели намиране набора от независими непрекъснати променливи, както бинарни независими променливи, които минимизират избраната целева функция. Идентифицираните променливи на решението са:

- структура на SC мрежата, която включва: брой, размер и местоположение на биорафинериите,
- места за производство на биодизел и места за отглеждане на биомаса,
- потоци от всеки вид биомаса и биодизел между отделните региони,
- видове транспорт за доставка на биомаса и биодизел (B100),
- емисии на парникови газове за всеки етап от жизнения цикъл,
- количество транспорт за всяка транспортна връзка и режим на транспортиране,
- дистрибуционни процеси на биогоривата в зоните на смесване и търсене.

В следващия модел се разглеждат целеви функции, определящи:

➤ **Икономическа устойчивост** (*COST* или *COST_{TBG}*) (3.70, 3.71): Минимизиране на общите логистични разходи на системата за доставки, отчитащи постоянни, променливи и емисионни разходи [$\$$].

➤ **Екологична устойчивост** (*ENV* или *Cost_{ENV}*) (3.72, 3.73): Минимизиране на общото количество емисии на парникови газове, изчислено в единици на [*kg* или $\$$] еквивалент на въглероден диоксид [*kg CO₂ – eq*].

➤ **Социална устойчивост** (*JOB*) (3.74): Увеличаване на социалното въздействие на системната работа на веригата за доставки [*Number of Jobs*].

Проблемът за оптималното проектиране на IBDSC се формулира като MILP за различни целеви функции, както следва:

3.2.7.1. Енокритериални модели

При първия подход се счита, че проблемът има само една цел за оптимизиране, която обикновено представлява икономическото или екологичното измерение. Стратегическият дизайн на SC обединява две нива на планиране: решения за конфигурацията на SC за функционирането на всяка рафинерия и планиране на решения за потоците от биомаса и горива в мрежата.

1/ **Минимизиране на емисиите на парниковите газове, [*kg CO₂ – eq/day*]**

Както е посочено в раздел 3.2.6.2, екологичната цел е да се сведат до минимум общите годишни-еквивалентни емисии на парникови газове, произтичащи от експлоатацията на биодизела SC и използваните дизелови горива за енергийния баланс на регионите. Формулирането на тази цел се основава на общите емисии на парникови газове в SC и други горива, които се оценяват въз основа на LCA подход, където емисиите се добавят към всеки жизнен етап.

Задачата за определяне на оптималното разположение на съоръженията в регионите и техните параметри е формулирана както следва:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Find : } X_t[\text{Decision variables}]^T \\ \text{MINIMISE}\{ENV\} \rightarrow (\text{Eq. 3.72}) \\ \text{s. t. :}\{\text{Eq. 3.28} - \text{Eq. 3.69}\} \end{array} \right\} \quad (3.75)$$

Целевата функции (3.72) и ограниченията (3.28)–(3.69) са линейни функции по отношение на всички независими променливи.

2/ Минимизиране на годишните общи разходи, [\$/year]

Икономическата цел е да се сведат до минимум общите годишни разходи, включително общите годишни капиталови разходи, годишните експлоатационни разходи, годишните правителствени стимули и разходите за емисии на CO_2 . Задачата за определяне на оптималното разположение на съоръженията в регионите и техните параметри е формулирана както следва:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Find : } X_t[\text{Decision variables}]^T \\ \text{MINIMISE}\{COST\} \rightarrow (\text{Eq. 3.70}) \\ \text{s. t. :}\{\text{Eq. 3.28} - \text{Eq. 3.69}\} \end{array} \right\} \quad (3.76)$$

Целевата функция (3.70) и ограниченията (3.28)–(3.69) са линейни функции по отношение на всички независими променливи.

3/ Намаляване на общите разходи за гориво, използвано от регионите, [\$/year]

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Find : } X_t[\text{Decision variables}]^T \\ \text{MINIMISE}\{ENV\} \rightarrow (\text{Eq. 3.71}) \\ \text{s. t. :}\{\text{Eq. 3.28} - \text{Eq. 3.69}\} \end{array} \right\} \quad (3.77)$$

Целевата функция (3.71) и ограниченията (3.28)–(3.69) са линейни функции по отношение на всички независими променливи.

4/ Увеличаване на социалното въздействие на системната работа на SC, [Number of Jobs]

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Find : } X_t[\text{Decision variables}]^T \\ \text{MINIMISE}\{ENV\} \rightarrow (\text{Eq. 3.74}) \\ \text{s. t. :}\{\text{Eq. 3.28} - \text{Eq. 3.69}\} \end{array} \right\} \quad (3.78)$$

Целевата функция (3.74) и ограниченията (3.28)–(3.69) са линейни функции по отношение на всички независими променливи.

Проблемите 3.2.7.1 са стандартни MILP и могат да бъдат решени с помощта на стандартни MILP техники. За този цел може да бъде използван пакета *General Algebraic Modeling System* (GAMS) [239].

3.3. Изводи към трета глава

В тази глава се разглежда оптималното разполагане на биорафинериите. Предложен е MILP математичен модел основаващ се на използване на математичното програмиране за проектиране и планиране на IBDS по икономически и екологични критерии. Разработеният оптимизационен модел дава възможност за вземане на решения по отношение на инфраструктурата за производство на биодизел, включително места за производство, обеми и логистика, както по отношение на транспорта на биомасата към био-рафинерии, така и от био-рафинерии към системи за смесване и пазарите. Разработеният гъвкав оптимизационен модел е в състояние да реши широк спектър от проблеми с биогоривата, тъй като тази област се променя с бързи темпове (не само в икономически, но и в други измерения, като стратегически решения, свързани с развитието и напредъка в областта, т.е. биогорива). Всички те могат много лесно да бъдат включени в оптимизационния модел, което би довело до значителни ползи от оптимизационния подход. Една от ценните характеристики на подхода е способността за идентифициране и решаване на широк спектър в различни мащаби и нива на проблеми, като местоположение на съоръженията, избор на суровини, местоположение на съоръженията и дизайн. Освен това самият модел би могъл лесно да бъде разширен, обхващайки въпросите на стратегическото планиране, като например инвестиране или не по отношение на нови производствени съоръжения, тяхното разполагане и въвеждането на екологични и други външни фактори при изчисляването на общите разходи. Критериите за оптимизация на модела за всеки конкретен случай ще отразяват целите на заинтересованата страна и могат да включват максимална икономическа ефективност, най-добро поведение по отношение на околната среда, заетост на земята, минимални общи разходи и др. Друга характеристика на предложения подход е, че моделът не е излишно усложнен и прилагайки го, с лекота могат да бъдат решени задачи, без да е необходимо да се разработват нови кодове или методи за оптимизация. Тази характеристика е важна за потенциалното, бъдещо използване на подхода и разработването на система за подпомагане вземането на решения.

ГЛАВА 4. ПРИЛОЖЕНИЕ НА МАТЕМАТИЧНИЯ МОДЕЛ ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА УСТОЙЧИВА ИНТЕГРИРАНА РЕСУРСНО-ОСИГУРИТЕЛНА ВЕРИГА ЗА БИОДИЗЕЛ В РАМКИТЕ НА БЪЛГАРИЯ

В тази глава от дисертацията се разглежда приложение на математическия модел, описан в **Глава 3** на смесено, целочислено линейно програмиране (MILP) за оптимално проектиране и планиране на веригата за доставки на биодизел в рамките на България. Математическият модел е решен с помощта на софтуер GAMS и представлява инструмент за вземане на цялостни решения. Предложената стратегия може да бъде приложена и за други страни или региони, като се коригират необходимите данни за моделиране.

4.1. Входни данни за проектиране на интегрирана ресурсно осигурителна верига за производство на биодизел в рамките на България

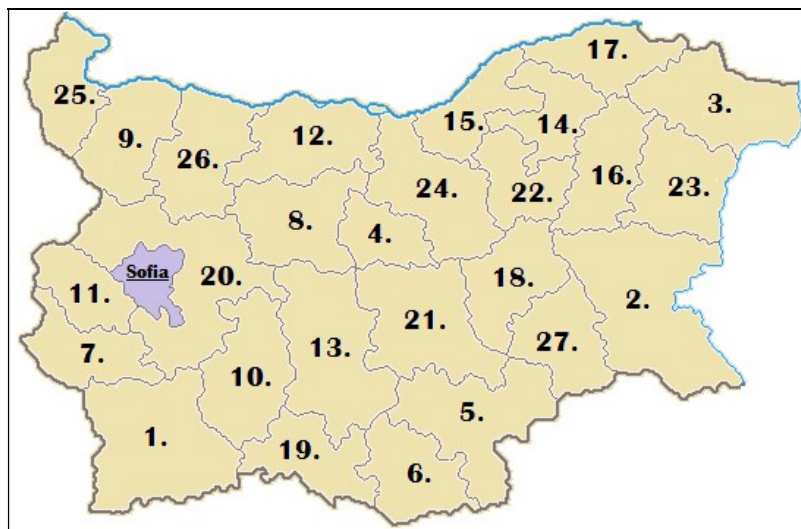
Описаният модел в **Глава 3** е приложен към казуса за производство на биодизел в Република България. В този случай се използват два основни вида ресурси от биомаса - слънчоглед и рапица за производство на биодизел от първо поколение (B100). Сценарият на търсенето, който се изследва в настоящия документ, се основава както на вътрешната цел на България за 2010 г. (5.75% от енергийното съдържание) [240], така и на целта на ЕС за 2020 г. 10% от енергийното съдържание) [241] за насърчаване на използването на биогорива в транспортния сектор.

4.1.1. Териториално разделение на България и данни за потреблението на петролен дизел от транспорта.

Данните, получени от Агенцията по геодезия, картография и кадастър към Министерството на регионалното развитие и благоустройството, показват че общата площ на Република България към 31.12.2000 г. е 111001,9 km^2 , от които 63764,8 km^2 за земеделски нужди. От тази обработваема земя използваната земеделска площ за 2011 г. е 3,162,426 *ha* [242], [243]. Основните енергийни култури за биодизел (B100), които са подходящи за отглеждане в България, са слънчоглед и рапица.

4.1.1.1. Териториално разделение на България, според наличните обработваеми площи и население по региони

В териториално отношение, България е разпределена на 27 региона (**Фиг. 4.1**) [245]. В разглеждания случай се приема, че всеки регион в България е потенциален център за отглеждане на суровини, потенциално местоположение на съоръжение за биорафинерия и зона за търсене на готова продукция. С други думи, SC за биогорива се състои от 27 зони за производство на изходни суровини, 27 потенциални места за биорафинерия, 27 зони за клиенти, 3 рафинерии за дизелово гориво и 4 зони за инсталации за преработка на твърдите отпадъци. Приемаме че експлоатационния живот на биорафинериите и инсталациите за преработка на твърдите отпадъци в настоящото проучване е 5-години, а параметърът на фиксираните разходи за рафинериите в сгради се амортизира в годишни разходи, за да бъде в съответствие с други компоненти на по веригата.



Фигура 4.1. Карта на административно-териториалното деление на България, използвана за целите на дисертацията [246]

4.1.1.2. Данни за потреблението на дизелово гориво за транспорта за периода 2016 - 2020 г.

За целите на дисертацията приемаме, че потреблението на петролно дизелово гориво за всеки регион е взето приблизително пропорционално на населението.

4.1.2. Потенциални суровини за производство на биодизел (B100) в България

Растителните масла са основната суровина за производството на биодизел (B100) и маслата се получават от семената или от плодовете на редица маслодайни култури. Най-подходящите маслодайни култури за българския климат са слънчоглед и рапица.

4.1.3. Данни за емисионния фактор за отглеждане на биомаса и добив

Емисиите на парникови газове за целия жизнен цикъл през всички фази на отглеждане на слънчогледа и рапицата включват подготовка на почвата, засяване, обработка на почвата, торене и накрая прибиране на реколтата.

4.1.4. Данни за производствените разходи за енергийни култури, произведени в България

Разходите за отглеждане на единица биомаса включват всички разходи, свързани с отглеждането на биомаса, и крайната продажна цена в региона (без да се включват транспортните разходи за доставка до биорафинериите). Разходите за отглеждане са променливи и са зависими от климата в регионите, технологията на отглеждане, вида на почвите, както и от специфичните особености на отделната био култура.

4.1.5. Потенциални местоположения на рафинерии за биодизел и нефтен дизел

Най-подходящите възможни места за биорафинерии в регионите са избрани въз основа на достъпността до транспортната инфраструктура, градоустройственото планиране и зонироването. Всичките 27 региона са избрани, като потенциални места за биорафинерии, които са разпръснати по територията България. Рафинериите за производство на петролев дизел са разположени в районите на Бургас, Русе и София.

4.1.6. Технология за производство на биодизел (B100), за целите на проучването

В нашия случай приемаме, че класическата технология за естерификация [251] ще бъде използвана за производството на биодизел (B100) от суров слънчоглед и рапица.

4.1.7. Конверсионен фактор на биомаса към биодизел (B100)

Ефективността на преобразуване на биодизела от рапица и слънчоглед (B100) варира от $389 L ton^{-1}$ до $454 L ton^{-1}$. Ние използваме ефективност на преобразуване от $422 L ton^{-1}$ в модела Aglink [254], която е средната стойност на най-ниската и най-висока ефективност на преобразуване, намерена в литературата.

4.1.8. Разходи и капацитет на биорафинериите.

Капиталовите разходи на рафинериите сами по себе си представляват фиксирани и променливи капиталови разходи. Ако избраната технология се приеме за съвършена, то променливата представлява капиталовата цена на инсталациите за конверсия на биомаса към биодизел (B100), като се взима под внимание само размера на инсталацията.

Минималният капацитет на рафинерията на всички назначени места може да бъде до $10\ 000 ton year^{-1}$ и те са подредени в дискретен ред, показан в Таблица 4.6.

Таблица 4.6.

Общи специфични инвестиционни разходи за инсталации за производство на биодизел (B100) като функция от размера на инсталацията [257], [258]

Размер на инсталацията за биодизел (B100)	Капиталови разходи на завод за биодизел (B100) $Cost_p$	Минимален капацитет на инсталацията за биодизел (B100) $P_{E_p}^{MIN}$	Максимален капацитет на инсталацията за биодизел (B100) $P_{E_p}^{MAX}$
Единица	[M\$]	[ton year ⁻¹]	
Size-1	3.800	1000	8500
Size-2	4.800	6000	19000
Size-3	7.380	8000	48000
Size-4	8.930	10000	74000

4.1.9. Производствени разходи за биодизел (B100)

Производствените разходи за единица биодизел (B100) в биорафинерия, инсталирана в даден регион, ще зависят от следните сумарни разходи: химикали и катализатори, газ, електричество, подхранваща вода, пречистване и обезвреждане на отпадъчни води, административни и оперативни разходи и пряк труд. Както е споменато в [250] средните разходи са съответно $125 \$ ton^{-1}$ за всеки регион, в който се произвежда биодизел(B100) (без да се включват разходите за суровини).

4.1.10. Данни за петролни дизелови инсталации

В настоящото изследване се разглеждат три бази в България за доставка на дизелово гориво за регионите. Две централни депа за гориво са в Регион-20 (София) и Регион-15 (Русе) и едно депо за горива е в Регион-2 (Бургас). Трите основни депа за горива се снабдяват с дизелово гориво от рафинерия "Лукойл - Бургас", както и с внос на гориво от други източници. Минималният годишен капацитет на складовете за горива е $100\ 000 ton year^{-1}$, а максималният капацитет е $1\ 200\ 000 ton year^{-1}$ за регион-20 и $900\ 000 ton year^{-1}$ за Регион-15 и Регион-2.

4.1.11. Данни за биодизел (B100) и нефтен дизел

Таблица 4.7.

Емисионен коефициент на горивото и енергиен еквивалент

Вид гориво	Емисионен коефициент	Енергиен еквивалент	Енергиен еквивалент	Средна плътност	Цена на биогоривото
Източник	[259]	[260]			[261]
Единици	[kg CO ₂ - eq ton ⁻¹]	[GJ ton ⁻¹]	[MWh ton ⁻¹]	[ton m ⁻³]	[\$ ton ⁻¹]
Нефтен дизел	3623	42.80	11.880	0.840	1192.70
Биодизел(B100)	1204	37.80	7.720	0.880	

4.1.12. Данни за транспортни разходи и емисионни фактори за биомаса и биодизел

За оценка на разходите за транспорт на суровини и горива в цялата въведена система за доставки е използвана GIS-базирана транспортна мрежа. Тази мрежа съдържа местни, селски, градски пътища и основни магистрали. Най-кратките разстояния между полетата на суровините, рафинериите и градовете за търсене са изчислени въз основа на тази мрежа. Тъй като се отчитат само производството и доставката в държавата, ние приемаме, че всички превози се извършват от трактори, камиони и железопътен транспорт за транспортиране на биомаса (слънчоглед и рапица) и за транспортиране на биодизел (B100) с камиони и ЖП-транспорт. Транспортните разходи включват три компонента: разходи за товарене / разтоварване, пътни разходи, зависими от времето, и пътни разходи, зависими от разстоянието. Разходите, зависещи от времето, включват разходите за труд и капиталови разходи за камионите, докато разстоянието, което зависи от разстоянието, включва гориво, застраховка, поддръжка и разходи за разрешителни.

4.2. Анализ на резултатите, получени за оптималния синтез на SC на примера за България, прилагайки разработения метод

Този раздел описва резултатите от описаното по-горе изследване, свързано с оптималното проектиране на ресурсно-осигурителната верига за биодизел в условията на България.

4.2.1. Производство на биомаса

Таблица 4.12. и Таблица 4.13 отразяват добивите на биомаса, за нуждите на производството на биодизел в съответните региони.

Таблица 4.12.

Добиви на биомаса, за нуждите на производството на биодизел в съответните биорафинерии при критерий: (А) Минимални общи емисии на парникови газове

Година	2016	2017	2018	2019	2020
Слънчоглед [ton/year]					
Region-5				79180.35	82160.06
Region-9	71258.53	131138.71	103358.88	205606.47	193439.19
Region-11			63915.47		
Region-13	1691.56	2881.25	38932.15	22091.25	17011.93
Region-14	500.00	500.00	500.00	500.00	500.00
Region-16				500.00	500.00
Region-18	500.00	500.00			
Region-22		500.00	500.00	500.00	500.00
Рапица [ton/year]					
Region-6			250.00	250.00	250.00
Region-8		250.00	250.00	250.00	250.00

Region-11			250.00	250.00	250.00
Region-13	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
Region-14	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
Region-18	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
Region-21				250.00	250.00
Region-22		250.00	250.00	250.00	250.00
Region-23				250.00	250.00
Region-26	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
Отпадъчни готварски масла WCO [ton/year]					
Region-1	3128.31	3441.14	3753.97	1250.00	4692.47
Region-2	4138.84	4552.72	4966.61	5380.49	6208.26
Region-3	1806.01	1986.61	2167.21	2347.81	2709.02
Region-4	1142.72	1256.99	1371.26	1485.54	1714.08
Region-5	2363.83	2600.21	2836.60	3072.98	3545.75
Region-6	1513.19	1664.51	1815.83	1967.15	2269.79
Region-7	1260.14	1386.15	1512.17	1250.00	1890.21
Region-8	1314.93	1446.42	1577.92	1709.41	1972.40
Region-9	1371.88	1509.07	1646.26	1783.44	2057.82
Region-10	2636.30	2899.93	3163.56	3427.19	3954.45
Region-11	1254.56	1380.02	1505.47	1630.93	1881.84
Region-12	2519.86	2771.85	3023.83	3275.82	3779.79
Region-13	6732.83	7406.11	8079.40	8752.68	10099.24
Region-14	1172.41	1289.65	1406.89	1524.13	1758.62
Region-15	2256.74	2482.41	2708.09	2933.76	3385.11
Region-16	1757.20	1932.92	2108.64	2284.36	2635.80
Region-17	1132.48	1245.73	1358.98	1472.22	1658.23
Region-18	1911.85	2103.04	2294.22	2485.40	2867.78
Region-20	13198.04	14517.84	15837.65	13453.94	19797.06
Region-21	3236.85	3560.54	3884.22	4207.91	4855.27
Region-22	1152.11	1267.32	1382.53	1497.74	1728.17
Region-23	4729.26	5202.19	5675.11	6148.04	7093.89
Region-24	2450.06	2695.07	2940.07	3185.08	3675.09
Region-25	912.35	1003.58	1094.82	1186.05	1368.53
Region-26	1720.07	1892.08	2064.08	2236.09	25801.05
Region-27	1238.21	1362.03	1485.85	1609.67	1857.31
Отпадъчни животински мазнини [ton/year]					
Region-1	1595.44	1720.57	1876.99	1250.00	2189.82
Region-2	2110.81	2276.36	2483.30	2690.25	2897.19
Region-3	921.07	993.31	1083.61	1173.91	1264.21
Region-4	582.79	628.50	685.63	742.77	799.90
Region-5	1205.55	1300.11	1418.30	1536.49	1654.68
Region-6	771.73	832.25	907.91	983.57	500.00
Region-7	642.67	693.08	756.08	500.00	882.10
Region-8	670.61	723.21	788.96	854.70	920.45
Region-9	699.66	754.53	823.13	891.72	960.32
Region-10	1344.51	1449.97	1581.78	1713.60	1845.41
Region-11	639.83	690.01	752.74	500.00	878.19
Region-12	1285.13	1385.92	1511.92	1637.91	1763.90
Region-13	3433.74	3703.06	4039.70	4376.34	2687.90
Region-14	597.93	644.83	703.45	762.07	820.69
Region-15	1150.94	1241.21	1354.04	1466.88	1579.72
Region-16	896.17	966.46	1054.32	1142.18	1230.04
Region-17	577.56	622.86	679.49	736.11	500.00
Region-18	975.04	1051.52	1147.11	1242.70	1338.30
Region-20	6731.00	7258.92	7918.82	8578.73	9238.63
Region-21	1650.79	1780.27	1942.11	2103.95	2265.80
Region-22	587.58	633.66	691.27	748.87	500.00
Region-23	2411.92	2601.09	2837.56	3074.02	3310.48

Region-24	1249.53	1347.53	1470.04	1592.54	1715.04
Region-25	465.30	501.79	547.41	593.03	638.65
Region-26	877.24	946.04	1032.04	1118.05	12040.49
Region-27	631.49	681.02	742.93	804.84	866.75

Таблица 4.13.

Добиви на биомаса, за нуждите на производството на биодизел в съответните биорафинерии при критерий: (Б) Минимални общи годишни разходи

Година	2016	2017	2018	2019	2020
Слънчоглед [ton/year]					
Region-10			38874.69	250.00	250.00
Region-11	34463.26	56535.72	84967.02	84804.00	250.00
Region-18	39895.19	77644.38	82359.95	84760.16	80341.59
Region-22			1821.55	46211.47	59174.54
Region-26				73694.82	147008.16
Рапица [ton/year]					
Region-10			250.00	250.00	250.00
Region-11	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
Region-12				250.00	250.00
Region-18	250.00	250.00	250.00	250.00	250.00
Region-22		250.00	250.00	250.00	250.00
Region-26					250.00
Отпадъчни готварски масла WCO [ton/year]					
Region-1	3128.31	3441.14	3753.97	4066.80	4692.47
Region-2	4138.84	4552.72	4966.61	5380.49	6208.26
Region-3	1806.01	1986.61	2167.21	2347.81	2709.02
Region-4	1142.72	1256.99	1371.26	1485.54	1714.08
Region-5	2363.83	2600.21	2836.60	3072.98	3545.75
Region-6	1513.19	1664.51	1815.83	1967.15	2269.79
Region-7	1260.14	1386.15	1512.17	1638.18	1890.21
Region-8	1314.93	1446.42	1577.92	1709.41	1972.40
Region-9	1371.88	1509.07	1646.26	1783.44	2057.82
Region-10	2636.30	2899.93	3163.56	3427.19	3954.45
Region-11	1254.56	1380.02	1505.47	1630.93	1881.84
Region-12	2519.86	2771.85	3023.83	3275.82	3779.79
Region-13	6732.83	7406.11	8079.40	8752.68	10099.24
Region-14	1172.41	1289.65	1406.89	1524.13	1758.62
Region-15	2256.74	2482.41	2708.09	2933.76	3385.11
Region-16	1757.20	1932.92	2108.64	2284.36	2635.80
Region-17	1132.48	1245.73	1358.98	1472.22	1698.72
Region-18	1911.85	2103.04	2294.22	2485.40	2867.78
Region-20	13198.04	14517.84	15837.65	17157.45	19797.06
Region-21	3236.85	3560.54	3884.22	4207.91	4855.27
Region-22	1152.11	1267.32	1382.53	1497.74	1728.17
Region-23	4729.26	5202.19	5675.11	6148.04	7093.89
Region-24	2450.06	2695.07	2940.07	3185.08	3675.09
Region-25	912.35	1003.58	1094.82	1186.05	1368.53
Region-26	1720.07	1892.08	2064.08	2236.09	25801.05
Region-27	1238.21	1362.03	1485.85	1609.67	1857.31
Отпадъчни животински мазнини [ton/year]					
Region-1	1595.44	1720.57	1876.99	2033.40	2189.82
Region-2	2110.81	2276.36	2483.30	2690.25	2897.19
Region-3	921.07	993.31	1083.61	1173.91	1264.21
Region-4	582.79	628.50	685.63	742.77	799.90
Region-5	1205.55	1300.11	1418.30	1536.49	1654.68
Region-6	771.73	832.25	907.91	983.57	1059.23

Region-7	642.67	693.08	756.08	819.09	882.10
Region-8	670.61	723.21	788.96	854.70	920.45
Region-9	699.66	754.53	823.13	891.72	960.32
Region-10	1344.51	1449.97	1581.78	1713.60	1845.41
Region-11	639.83	690.01	752.74	815.46	878.19
Region-12	1285.13	1385.92	1511.92	1637.91	1763.90
Region-13	3433.74	3703.06	4039.70	4376.34	4712.98
Region-14	597.93	644.83	703.45	762.07	820.69
Region-15	1150.94	1241.21	1354.04	1466.88	1579.72
Region-16	896.17	966.46	1054.32	1142.18	1230.04
Region-17	577.56	622.86	679.49	736.11	792.74
Region-18	975.04	1051.52	1147.11	1242.70	1338.30
Region-20	6731.00	7258.92	7918.82	8578.73	9238.63
Region-21	1650.79	1780.27	1942.11	2103.95	2265.80
Region-22	587.58	633.66	691.27	748.87	806.48
Region-23	2411.92	2601.09	2837.56	3074.02	3310.48
Region-24	1249.53	1347.53	1470.04	1592.54	1715.04
Region-25	465.30	501.79	547.41	593.03	638.65
Region-26	877.24	946.04	1032.04	1118.05	12040.49
Region-27	631.49	681.02	742.93	804.84	866.75

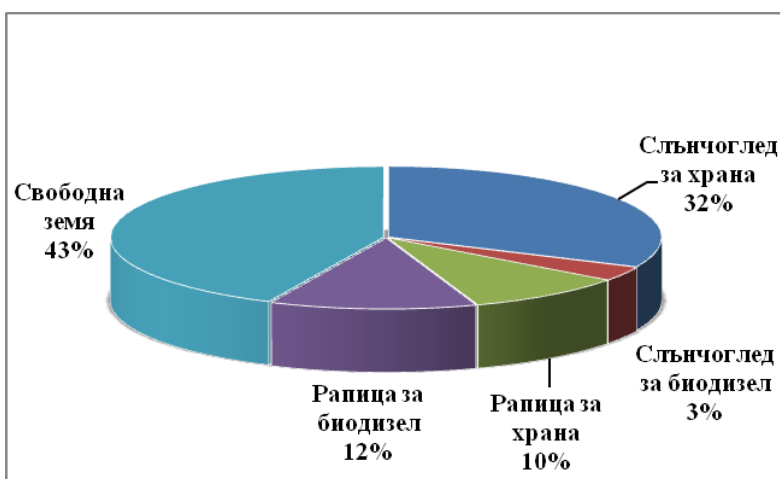
Анализирайки резултатите от оптималния синтез, може да се направи заключение че регионите ангажирани с производство на слънчоглед и рапица имат ограничена локализация. Според двата основни критерия тази локализация се изразява по следния начин:

Според критерий *„Минимални общи емисии на парникови газове“* – Производството на слънчоглед е съсредоточено в 8, а за рапица в 10 региона. Регионите, които са ангажирани с производство, едновременно и на двете суровини са 5 на брой.

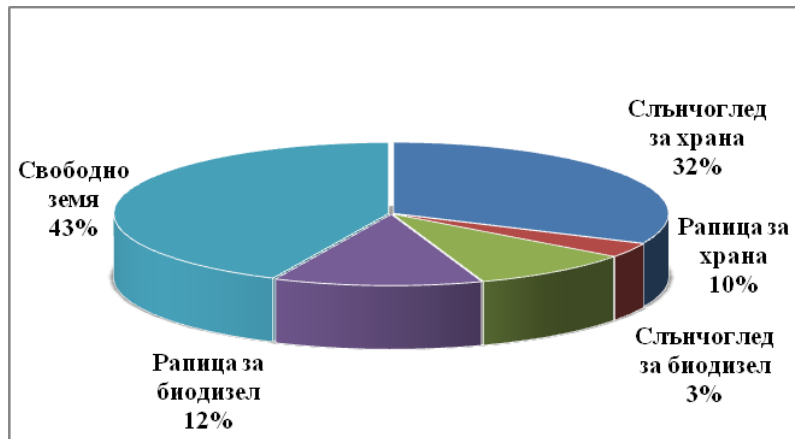
Според критерий *„Минимални общи годишни разходи“* – Производството на слънчоглед е съсредоточено в 5 а за рапица в 6 региона. Регионите, които са ангажирани с производство, едновременно и на двете суровини са 5 на брой.

Прави впечатление, относно отпадъчните животински мазнини и отпадъчните масла, че в изпълнение и на двата основни критерия участват почти всички региони.

4.2.2. Разпределение на обработваемата земя



Фигура 4.3 Разпределение на обработваемата земя засадена със слънчоглед и рапица за производство на биодизел, за продоволствена сигурност, също и незасети с тези култури терени за 2020 година, при критерий: **(А) Минимални общи емисии на парникови газове**



Фигура 4.4 Разпределение на обработваемата земя засадена със слънчоглед и рапица за производство на биодизел, за продоволствена сигурност, също и незасети с тези култури терени за 2020 година, при критерий: **(Б) Минимални общи годишни разходи**

4.2.3. Доставка на биомаса

Анализирайки резултатите от оптималния синтез на SC по критерий *(А) „Минимални общи емисии на парникови газове“*, може да се направи заключение, че оптималният транспорт на биомасата от местата за отглеждане до биорафинериите, за слънчоглед, рапица, отпадъчни мазнини и масла за изследвания период (2016 – 2020г.) е железопътният. При критерий *(Б) „Минимални общи годишни разходи“*, оптималният транспорт за суровините е предимно с помощта на трактор, като се наблюдава тенденция към затвърждаване към края на изследвания период (2020г.).

4.2.4. Доставка на биодизел и петролен дизел от заводите и складовете до крайните потребители

В дисертационната работа са отразени в таблична форма оптималните потоци на биодизел, петролев дизел, както и потоците на отпадната биомаса до крайните потребители, за всеки един при двата основни критерия, а именно *(А) Минимални общи емисии на парникови газове* и *(Б) Минимални общи годишни разходи*

4.2.5. Оптимален дизайн на системата

Таблица 4.32. и *Таблица 4.33.* отразяват оптималния размер, натовареността и местоположението на биорафинериите и инсталациите за утилизация на твърдите отпадъци, при двата основни критерия, а именно *(А) Минимални общи емисии на парникови газове* и *(Б) Минимални общи годишни разходи*

Таблица 4.32.
*Оптимален размер, натовареност и местоположение на биорафинериите и инсталациите за утилизация на твърдите отпадъци при критерий:
 (А) Минимални общи емисии на парникови газове*

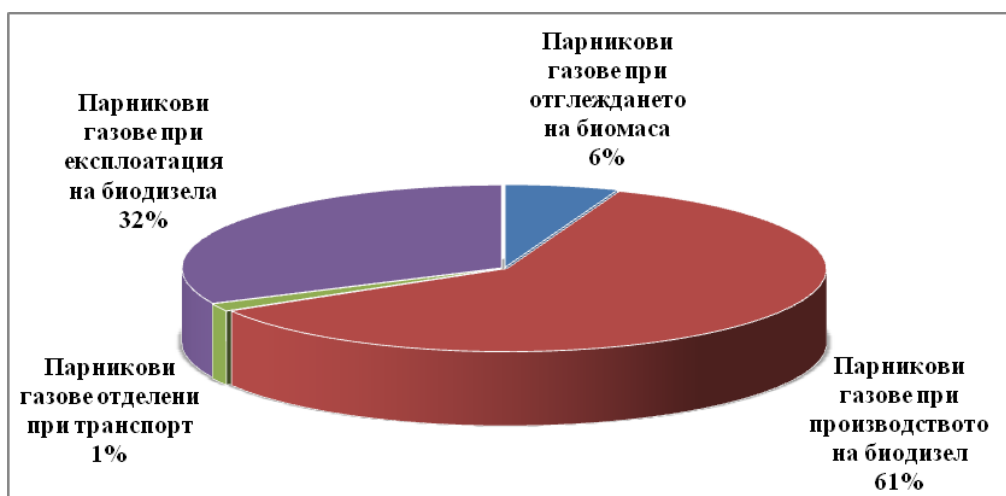
Години	2016	2017	2018	2019	2020
Пропорция биодизел/дизел	6%	7%	8%	9%	10%
РЕГИОНИ					
Оптимален размер на биорафинериите и натовареност [ton/year]					
Region-5			Size_1 7907.96	Size_1 7305.93	Size_1 8500.00
Region-10	Size_3 27707.90	Size_3 30577.38	Size_3 24101.54	Size_3 24409.93	Size_3 28700.37
Region-12		Size_3 25506.10	Size_3 15703.19	Size_3 37664.44	Size_3 39045.68
Region-14		Size_1 8002.23	Size_1 7481.96	Size_1 8083.69	Size_1 8500.00
Region-20			Size_4 45452.03	Size_4 25692.48	Size_4 35311.27
Region-21				Size_2 18225.70	Size_2 17933.16
Region-22	Size_3 23167.91	Size_3 15601.37	Size_3 18219.92	Size_3 9527.73	Size_3 10708.57
Region-23				Size_4 17579.15	Size_4 20990.37
Region-26	Size_4 48667.82	Size_4 49516.38	Size_4 36244.69	Size_4 52874.40	Size_4 71105.31
Region-27	Size_3 18981.74	Size_3 20713.33	Size_3 30569.45	Size_3 23719.49	Size_3 28364.28
Оптимален размер на инсталациите за твърди отпадъци и натовареност [ton/year]					
Region-12		Size_W1 58763.95	Size_W1 85000.00	Size_W1 85000.00	Size_W1 85000.00
Region-18			Size_W1 38420.15	Size_W1 85000.00	Size_W1 85000.00
Region-26	Size_W1 74616.52	Size_W1 77706.22	Size_W1 85000.00	Size_W1 85000.00	Size_W1 85000.00

Таблица 4.33.
*Оптимален размер, натовареност и местоположение на биорафинериите и инсталациите за утилизация на твърдите отпадъци при критерий:
 (Б) Минимални общи годишни разходи*

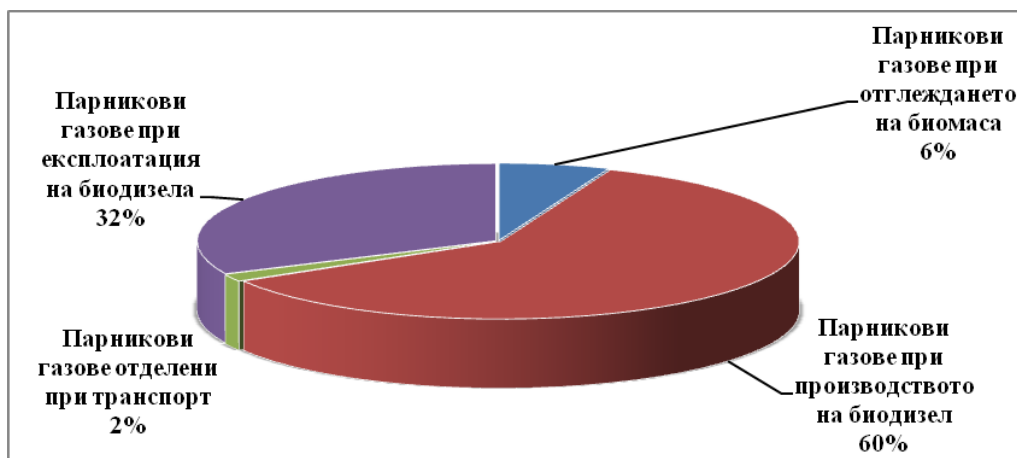
Години	2016	2017	2018	2019	2020
Пропорция биодизел/дизел	6%	7%	8%	9%	10%
РЕГИОНИ					
Оптимален размер на биорафинериите и натовареност [ton/year]					
Region-8				Size_3 40210.52	Size_3 37685.86
Region-9					Size_3 35865.99
Region-13			Size_3 35559.64	Size_3 28560.47	Size_3 32178.49
Region-16		Size_4 31857.90	Size_4 34632.79	Size_4 38235.05	Size_4 45722.29
Region-20	Size_4 70525.36	Size_4 74000.00	Size_4 72884.91	Size_4 74000.00	Size_4 70161.58
Region-27	Size_3	Size_3	Size_3	Size_3	Size_3

	48000.00	44058.89	42603.40	44076.90	47544.80
	Оптимален размер на инсталациите за твърди отпадъци и натовареност [$ton/year$]				
Region-12			Size_W1 41021.98	Size_W1 74203.72	Size_W1 63026.74
Region-14				Size_W1 46322.35	Size_W1 59259.36
Region-18	Size_W1 40018.77	Size_W1 79844.32	Size_W1 82398.17	Size_W1 84793.56	Size_W1 80383.87
Region-26	Size_W1 34597.76	Size_W1 56625.85	Size_W1 85000.00	Size_W1 84837.31	Size_W1 85000.00

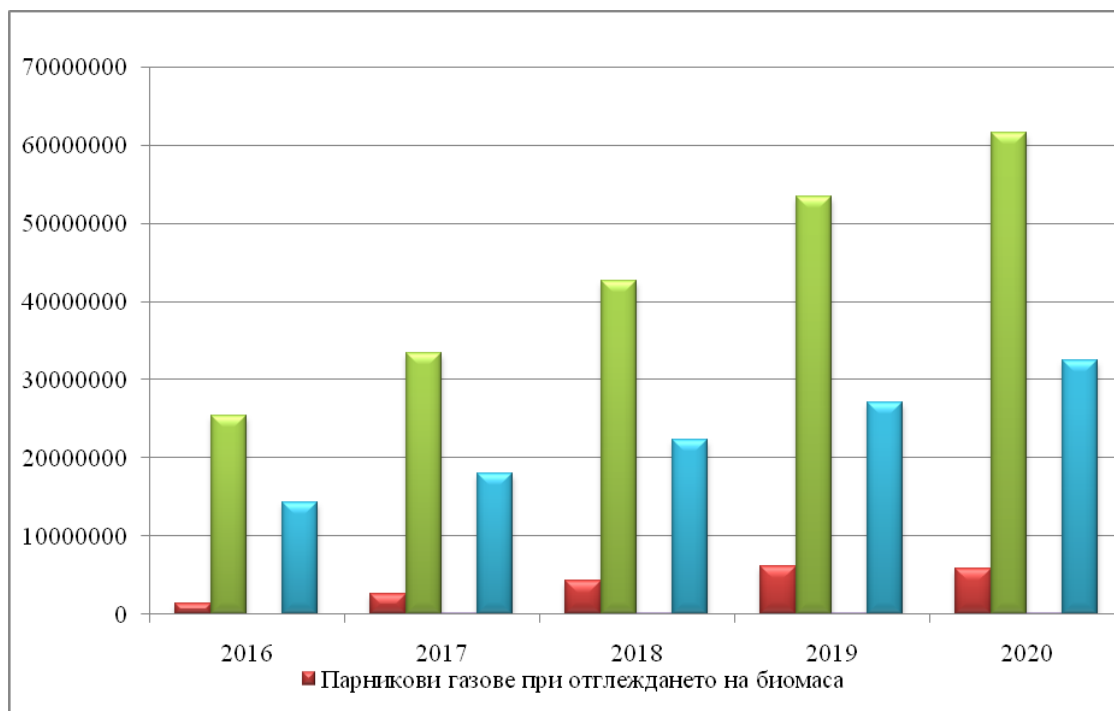
4.2.6. Разпределение на емисиите на парникови газове за етапите на жизнения цикъл при производството на биодизел.



Фигура 4.11. Разпределение на емисиите на парникови газове за етапите на жизнения цикъл на биодизел общо за периода 2016-2020г. при критерий: **(А) Минимални общи емисии на парникови газове**



Фигура 4.12. Разпределение на емисиите на парникови газове за етапите на жизнения цикъл на биодизел общо за периода 2016-2020г. при критерий: **(Б) Минимални общи годишни разходи**

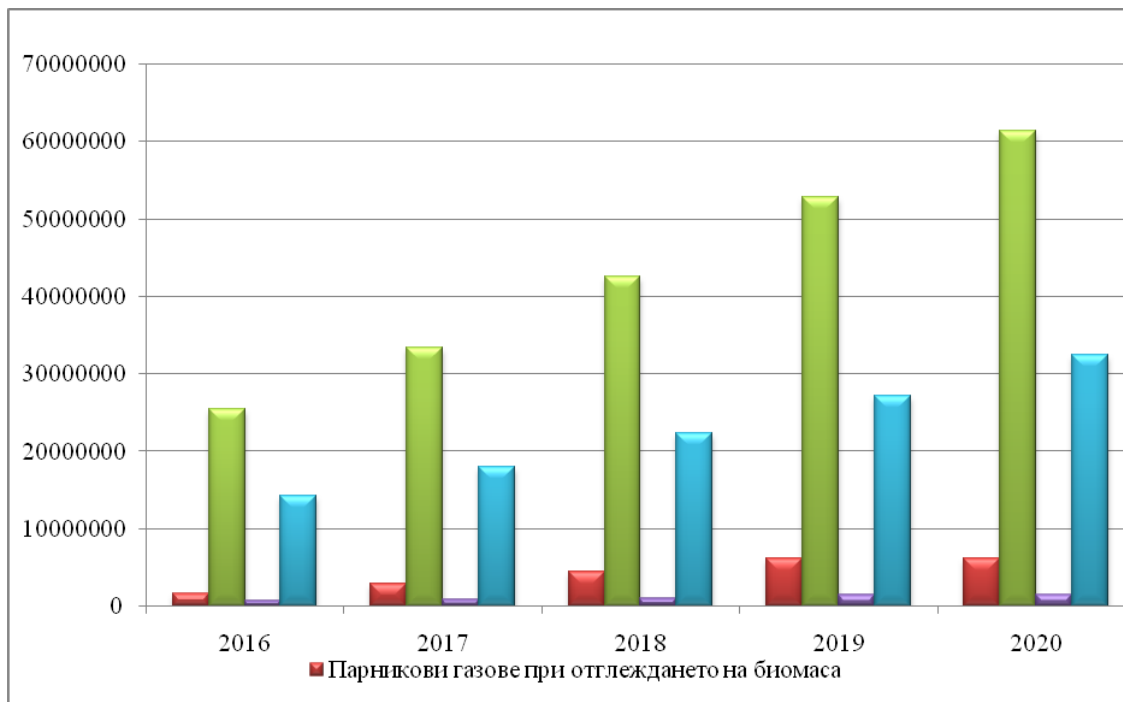


Фигура 4.13. Разпределение на емисиите на парникови газове за етапите на жизнения цикъл за цялата система за производство и разпределение на биодизел при критерий: **(А) Минимални общи емисии на парникови газове**

Таблица 4.35.

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**

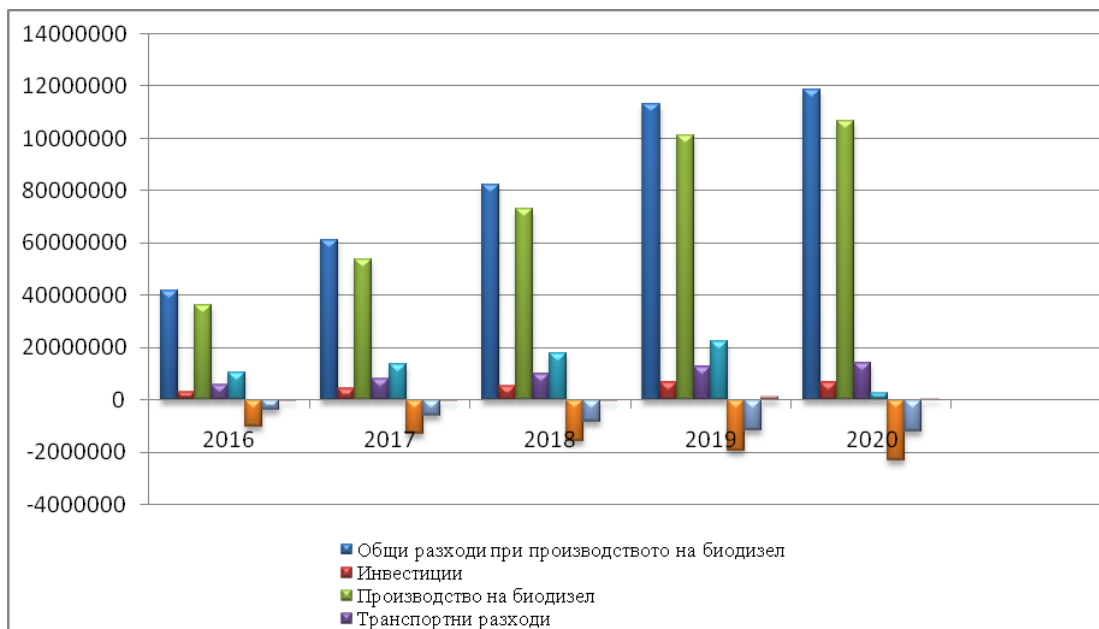
Години	2016	2017	2018	2019	2020
Пропорция биодизел/дизел	6%	7%	8%	9%	10%
Емисии на парникови газове за:	<i>(kgCO₂ – eq./year) 10⁶</i>				
Отглеждане на биомасата	1439.27	1444.06	2023.58	1861.43	1863.15
Производство на биодизел	254.30	334.31	425.91	527.58	613.05
Транспорт на биодизела и биомасата	6.89	8.35	9.59	14.50	15.55
Използване на биодизела	142.70	180.49	223.56	271.00	324.07
Транспорт на твърди растителни остатъци	255.87	253.52	281.45	261.70	260.93
Транспорт на твърди отпадъци	1.89	3.48	4.56	7.31	6.34
Утилизация на твърдите отпадъците	0.21	0.38	0.57	0.80	0.79
ОБЩО ЕМИСИИ ЗА ЖИЗНЕНИЯ ЦИКЪЛ	2101.13	2224.59	2969.22	2944.32	3083.88



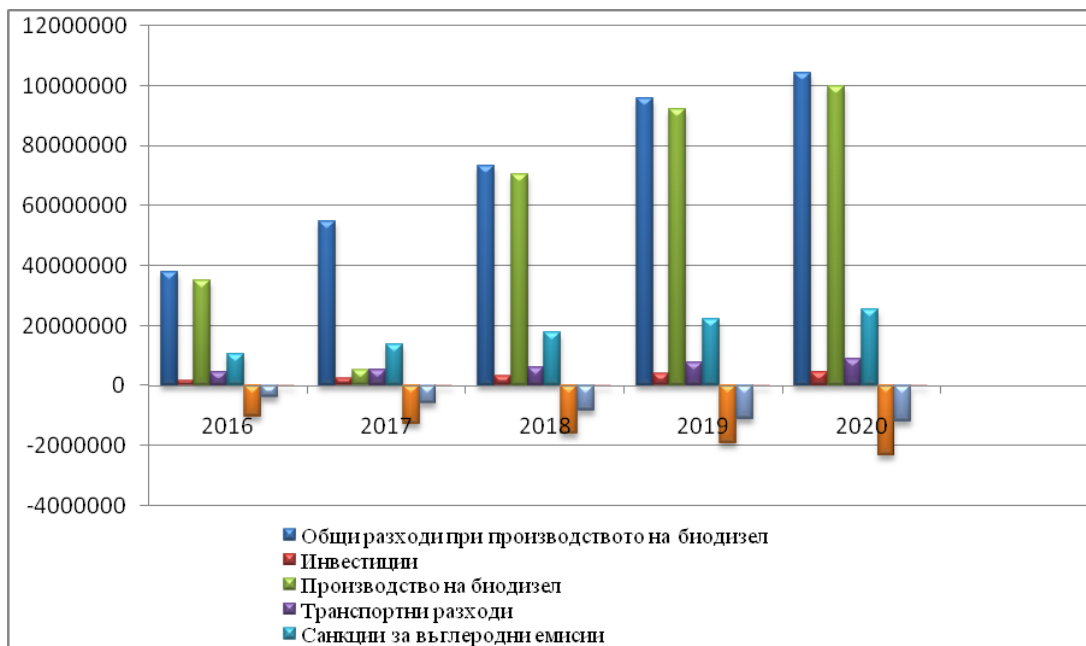
Фигура 4.14. Разпределение на емисиите на парникови газове за етапите на жизнения цикъл за цялата система за производство и разпределение на биодизел при критерий: **(Б) Минимални общи годишни разходи**

От **Фигура 4.13.** и **Фигура 4.14.**, може да се направи извод, че като цяло най-високи стойности на емисиите от парникови газове се регистрират в процесите свързани със същинското производство на биодизел. Следват ги емисиите, отделени при неговата експлоатация, както и емисиите при отглеждане на биомасата, като суровина за производство на биодизел. Прави впечатление, че най-ниски нива на отделените емисии парникови газове и при двата критерия се отчитат при транспорта на суровина и продукцията. 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.

4.2.7. Структура на разходите на SC за биодизел



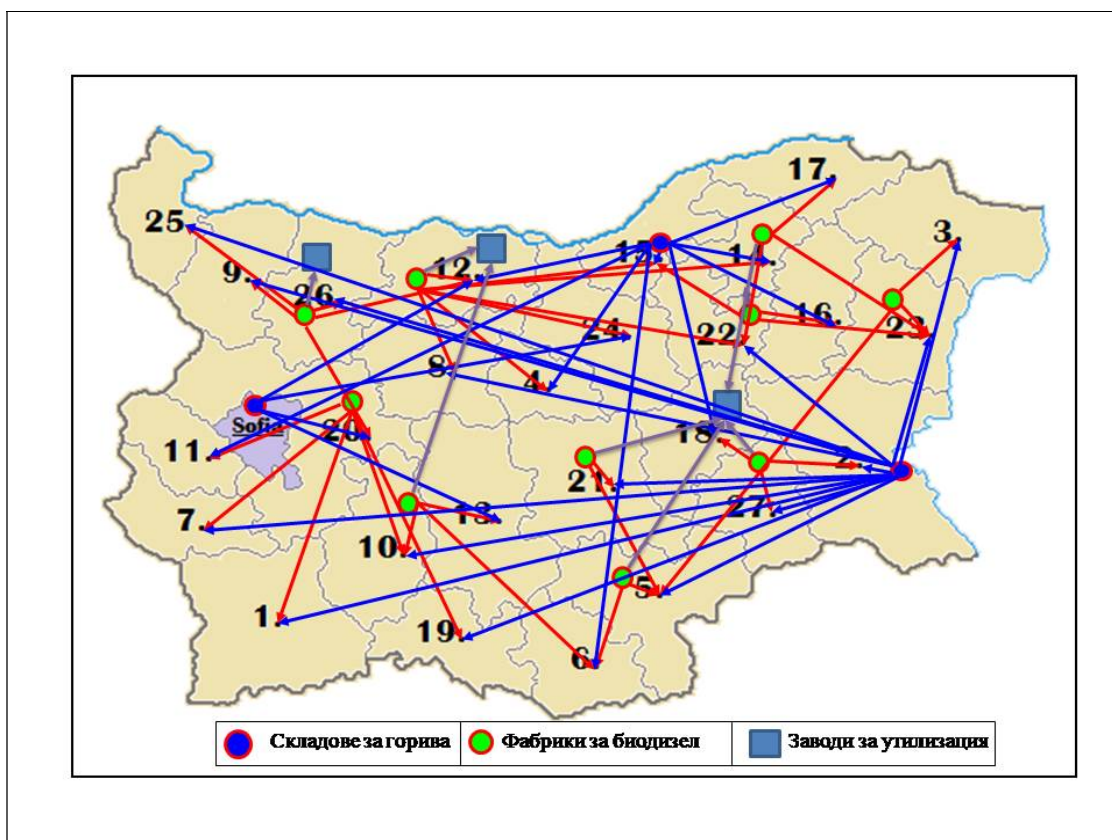
Фигура 4.15. Структура на разходите на SC за биодизел (B100) при критерий: (А) Минимални общи емисии на парникови газове



Фигура 4.16. Структура на разходите на SC за биодизел (B100) при критерий: (Б) Минимални общи годишни разходи

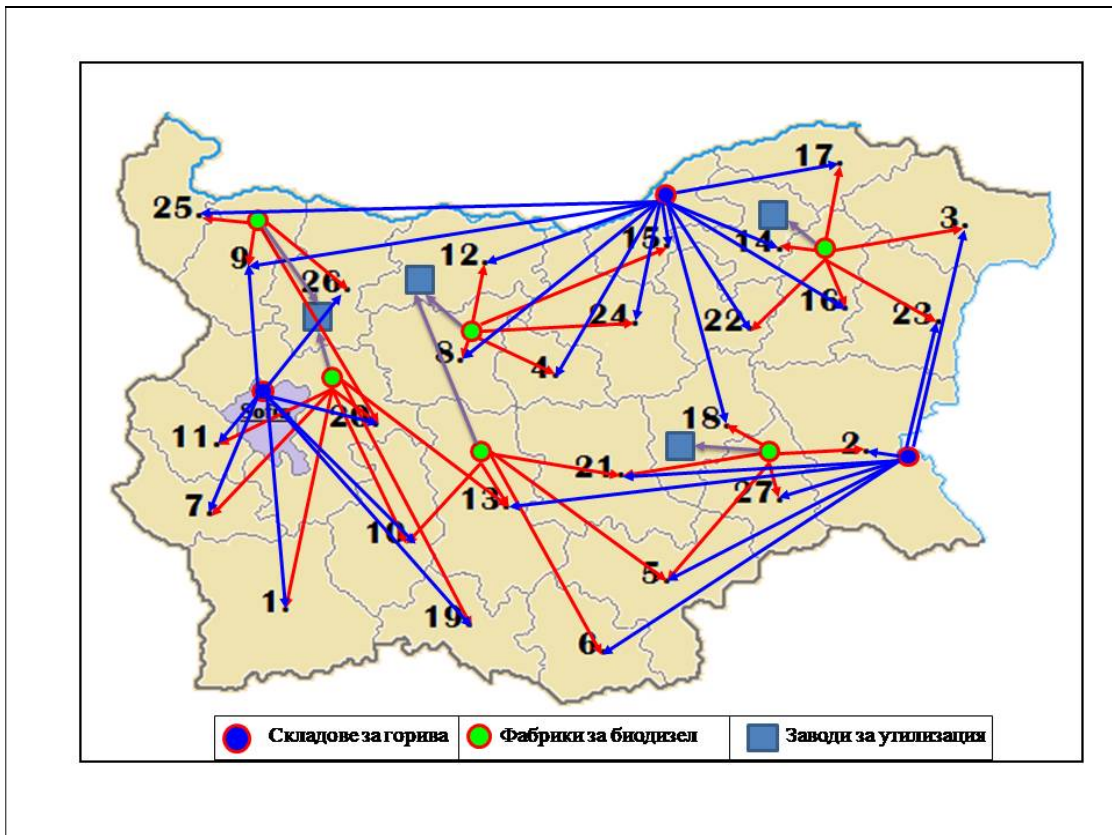
4.2.8. Географско разположение на заводите за производството на биодизел и инсталациите за утилизация на твърдите отпадъци и логистика на потоците

Според оптималната конфигурация на ресурсно-осигурителната верига при критерий (А) **Минимални общи емисии на парникови газове** са необходими десет завода за 2020 година, разположени в Регион 5 (Хасково), Регион 10 (Пазарджик), Регион 12 (Плевен), Регион 14 (Разград), Регион 20 (София), Регион 21 (Ст. Загора), Регион 22 (Търговище), Регион 23 (Варна), Регион 26 (Враца) и Регион 27 (Ямбол) докато при използване на критерий (Б) **Минимални общи годишни разходи** броят на заводите вече са шест за 2020 година, разположени в регион Регион 8 (Ловеч), Регион 9 (Монтана), Регион 13 (Пловдив), Регион 16 (Шумен), Регион 20 (София), Регион 27 (Ямбол) На **Фигура 4.17.** и **Фигура 4.18** е показана структурата на оптималната SC и логистиката по отношение на биодизела, петролният дизел и твърдите отпадъци, а на **Фигура 4.19.** и **Фигура 4.20** структурата и логистиката по отношение на използваните изходни суровини използвани за производството на биодизела.



Фигура 4.17. Оптимална структура на SC за биодизел и логистични връзки по отношение на доставката до крайните потребители на биодизела и петролният дизел, както и логистиката на твърдите отпадъци до заводите за утилизация за 2020 година при критерий:

(А) **Минимални общи емисии на парникови газове**



Фигура 4.18. Оптимална структура на SC за биодизел и логистични връзки по отношение на доставката до крайните потребители на биодизела и петролния дизел, както и логистиката на твърдите отпадъци до заводите за утилизиция за 2020 година при критерий:

Б) Минимални общи годишни разходи

4.2.9. Обобщени изчислителни резултати

Таблица 4.40. и Таблица 4.41. отразяват изчислителните резултати в обобщен вид, при двата основни критерия, а именно (А) Минимални общи емисии на парникови газове и (Б) Минимални общи годишни разходи

Таблица 4.40.

Обобщение на изчислителните резултати при критерий:
(А) Минимални общи емисии на парникови газове

Години	2016	2017	2018	2019	2020
Съотношение биодизел/дизел	6%	7%	8%	9%	10%
Стойност на целевата функция					
(А) -Минимални общи емисии на парникови газове) ($kg CO_2 - eq./day$)					
11960007897.41					
Стойност на целевата функция					
(b) -Минимални годишни разходи ($M\$$)					
1318.237					
Стойност на целевата функция					
(c) –Общ брой работна места за периода ($Jobs/year$)					
2670.00					
Общи разходи за работа на SC ($M\$/year$)	188.522	210.435	294.457	309.574	315.249
Общо разходи за производство на биодизел ($M\$/year$)	415.982	60.884	82.355	112.845	118.489
Общи емисии на парникови газове ($tonCO_2 - eq./year$) 10^6	1834.796	1957.235	2682.917	2676.472	2808.587
Общ брой работна места за периода ($Jobs/year$)	620	480	570	590	410
Общи количества на произведените биодизел и дизел за година ($ton/year$)					
Биодизел от суровини първо поколение	27738	50732	77479	115165	109872
Биодизел от суровини второ поколение	90786	99184	108201	109917	159286
Биодизел общо	118525	149916	185680	225082	269159
Цена за производство на тон биодизел ($\\$/ton$)	350.96	406.12	443.53	501.35	440.22
Нефтен дизел	1945321	2086596	2237010	2384211	2537784
Разпределение на обработваемата земя (ha)					
Земя за отглеждане на слънчоглед и рапица за производство на биодизел	19403	35493	54211	80587	76881
Земя за отглеждане на слънчоглед и рапица за хранителни цели	1464199	1493331	2002839	1897456	1897456
Свободна земя	1997387	1952166	1423940	1502946	1506652

Таблица 4.41.
Обобщение на изчислителните резултати при критерий:
(Б) Минимални годишни разходи

Години	2016	2017	2018	2019	2020
Съотношение биодизел/дизел	6%	7%	8%	9%	10%
Стойност на целевата функция (А) -Минимални общи емисии на парникови газове) ($kg CO_2 - eq./day$) 13323159067.04					
Стойност на целевата функция (b) -Минимални годишни разходи (M\$) 1054.008					
Стойност на целевата функция (c) –Общ брой работна места за периода ($Jobs/year$) 1880					
Общи разходи за работа на SC (M\$/year)	143.011	162.518	240.838	249.525	258.115
Общо разходи за производство на биодизел (M\$/year)	37.884	54.603	73.411	95.662	104.277
Общи емисии на парникови газове ($tonCO_2 - eq./year$) ^{10⁶}	2101.136	2224.594	2969.221	2944.325	3083.884
Общ брой работна места за периода ($Jobs/year$)	440	260	370	420	390.
Общи количества на произведените биодизел и дизел за година ($ton/year$)					
Биодизел от суровини първо поколение	27738	50732	77479	107865	106940
Биодизел от суровини второ поколение	90786	99184	108201	117217	162218
Биодизел общо	118525	149916	185680	225082	269159
Цена за производство на тон биодизел (\$/ton)	319.63	364.22	395.36	425.01	387.42
Нефтен дизел	1945321	2086596	2237010	2384211	2537784
Разпределение на обработваемата земя (ha)					
Земя за отглеждане на слънчоглед и рапица за производство на биодизел	19411	35505	54227	75496	74845
Земя за отглеждане на слънчоглед и рапица за хранителни цели	1464199	1493331	2002839	1897456	1897456
Свободна земя	1997379	1952153	1423924	1508037	1508688

Решението, получено в случай на оптимален синтез на SC, използвайки критерия (А) **Минимални общи емисии на парникови газове** и използвайки критериите (Б) **Минимални годишни разходи** показва, че емисиите на парникови газове са с 6,6% по-ниска стойност при критерий (А), отколкото при критерий (Б), докато цената на биодизела е с 14% по-висока при критерий (А). Това се дължи на увеличените капиталови и оперативни разходи в случай на критерий (А). В случай на проектиране на SC чрез използване на минимални емисии на парникови газове като целева функция, най-добрите параметри се получават, ако използваният биоресурс за българските условия е слънчоглед, рапица, животински мазнини и отпадни масла.

4.3. Заключение към четвърта глава

Основните изводи от настоящата глава са, че 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 в периода 2016-2020 г. Подходът, предложен в дисертацията, може да се приложи в различни географски региони, които имат капацитет да произвеждат различни биоресурси. Моделът може също да вземе предвид промяната на политическите стандарти и промяната на технологиите за производство на биодизел в рамките на по-дълги периоди на планиране.

Резултатите от анализа дават възможност да се направят следните заключения:

1. Наличната земеделска земя в България дава възможност за производство на достатъчно количество биологична суровина за производство на необходимото количество биодизел (B100) с цел задоволяване на българските нужди и достигане на необходимата квота от 10 % за течно биогориво към 2020 г.
2. Оптималната площ, необходима за отглеждане на слънчоглед и рапица, е концентрирана в малък брой региони на страната, избрани независимо от целевите критерии за оптимален синтез на SC.
3. Оптималната смес от биосуровини първо поколение, използвайки подхода „Минимални общи годишни разходи“ за синтез на SC, необходим през 2020г., изисква 14% от земеделската земя да се използва за отглеждане на слънчоглед и 2% да се използва за отглеждане на рапица. Използването на критерия " Минимални общи емисии на парникови газове " изисква 12% от земеделската земя да се използва за отглеждане на рапица и 3% за отглеждане на слънчоглед. И при двата критерия използването на биосуровини второ поколение (отпадъчните готварски масла и животински мазнини) се използват като основна суровина за достигане на изискванията от необходимата квота от 10 % за биодизел към 2020 г.
4. Важно заключение за логистиката е, че железопътния е оптимален вид транспорт, който трябва да се използва както за биоресурси (слънчоглед, рапица, животински мазнини и отпадни масла), така и за горива (биодизел (B100) и петролен дизел).
5. Средната цена на биодизел (B100) за периода (2016-2020 г.), използващ критерия „Минимални общи годишни разходи“, е $378 \$ t^{-1}$, докато при критерия „ Минимални общи емисии на парникови газове “ при същите обстоятелства дава цена от $428 \$ t^{-1}$, т.е. с 14% по-висока.
6. Използването на критерия „Минимални общи емисии на парникови газове“ показва, че емисиите на парникови газове имат 6,6% по-ниска стойност в сравнение и използването на критерия „Минимални общи годишни разходи“, докато цената на биодизела е с 14% по-висока.
7. Прогнозната стойност на капиталовите инвестиции за целия период (2016-2020 г.) е 96.779 млн. Долара за „Минимални общи годишни разходи“ и 127.257 млн. Долара за „ Минимални общи емисии на парникови газове “, използвайки същите входни данни.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основните приноси, постигнати в резултат от изследванията, представени в дисертационния труд, могат да бъдат формулирани както следва:

Научни приноси

1. Предложен е оптимален подход за изграждане и функциониране на интегрирана ресурсно-осигурителната верига при производството на биодизел, като са съобразени, както икономическата ефективност, така и общото въздействие върху околната среда за целия жизнен цикъл.
2. Предложен е метод за оптимален синтез на интегрирани ресурсно-осигурителни вериги при производството и разпространението, както на биосуровини от първо и второ поколение, така и на продукцията за биодизел. Акцентирано е върху оптимума между икономическия, екологичния и социалния аспекти.

Научно-приложни приноси

1. Предложена е методика, включваща използване на програмния пакет GAMS за разработване и решаване на математичните модели при прилагане на предложените методи, отчитайки съвременните тенденции.
2. Разработен е алгоритъм за прилагане на математичния модел, целящ оптимално разпределение на всички ресурси при производството на биодизел, съобразен с критерий „Минимални годишни разходи“, отнасящ се до реализацията и експлоатация на ресурсно-осигурителната верига.
3. Разработен е алгоритъм за прилагане на математичния модел, целящ оптимално разпределение на всички ресурси при производството на биодизел, съобразен с критерий „Минимални емисии парникови газове“, отнасящ се до реализацията и експлоатация на ресурсно-осигурителната верига.
4. Използван е разработения програмен пакет в ИИХ, като е адаптиран за целите на оптималното проектиране като са определени оптималните транспортни потоци във времето, оптималните места на разполагане на биорафинериите и техните размери, а също така и оптималното разпределение на наличната обработваема земя за суровинна обеспеченост на биорафинериите и за задоволяване продоволствените нужди на населението.

Приложни приноси:

1. Разработена е методика за решаване на така формулираните оптимизационни задачи, като се предлага изчислителен алгоритъм с използване на програмна среда GAMS за целите на математичното програмиране.
2. Изградена е оптимална система за добив на суровини, производство на биодизел, центрове за смесване и утилизация, както и транспортните връзки по между им, за нуждите на Република България.

Публикувани статии и доклади в пълен текст с редактор и издател

1. **Ю. Джелил, Д. Николова, Е. Ганев, Б. Иванов, Д. Добруджалиев**, Екологичните ресурсно-осигурителни вериги - надежден източник на „зелена енергия“, *СБОРНИК ДОКЛАДИ на научни трудове на Русенски Университет „Ангел Кънчев“*, (2015), том 54, серия 10.1.
2. **Евгений Ганев, Юнзиле Джелил, Драгомир Добруджалиев, Боян Иванов**, ”Системен анализ и дизайн на оптимални ресурсно-осигурителни вериги за биогорива”, *СБОРНИК ДОКЛАДИ на научни трудове на Русенски Университет „Ангел Кънчев“*, (2016), том 55, серия 10.1., 114-116.
3. **Evgeniy Ganey, Boyan Ivanov, Dragomir Dobrudzhaliev, Yunzile Dzhelil**. “Possibilites for technology to produce biodiesel from waste oils”, *СБОРНИК ДОКЛАДИ на научни трудове на Русенски Университет „Ангел Кънчев“*, (2017), том 56, серия 10.1., 21-25
4. **D. Nikolova, E. Ganey, G. Rusev, D. Dobrudzhaliev**, “Information technologies in supply chain design and management”, *Сборник доклади – XXVI Международен симпозиум –УПРАВЛЕНИЕ НА ЕНЕРГИЙНИ, ИНДУСТРИАЛНИ И ЕКОЛОГИЧНИ СИСТЕМИ*, (2018), 59-62
5. **E. I. Ganey, B. B. Ivanov, D. G. Dobrudzhaliev, Y. R. Dzhelil, D. Nikolova**, “Adopting environmental transportation practice in biodiesel production as key factor for sustainable development a Bulgarian case study”, *Bulgarian Chemical Communications*, (2018), Volume 50, Special Issue K, 106–111.
6. **Evgeniy Ganey, Boyan Ivanov, Dragomir Dobrudzhaliev, Yunzile Dzhelil**, “Strategic design of integrated supply chains for production and distribution of bioethanol”, *СБОРНИК ДОКЛАДИ на научни трудове на Русенски Университет „Ангел Кънчев“*, (2017), том 57, 21-25.
7. **Evgeniy Ganey, Boyan Ivanov**, „Optimal location of biodiesel refineries using waste oils and fats as a raw material”, *SCIENTIFIC WORKS OF UNIVERSITY OF FOOD TECHNOLOGIES*, (2019), VOLUME 66 ISSUE 1 **В ПРОЦЕС НА ПУБЛИКУВАНЕ**
8. **Evgeniy Ganey, Yunzile Dzhelil, Boyan Ivanov, Dragomir Dobrudzhaliev**, “Muliparametric optimization for the selection and implementation of technological solutions for the production of biodiesel from waste oil-contacting materials”, *Proceedings of ICTTE 2019 ISSN 1314-9474*, **В ПРОЦЕС НА ПУБЛИКУВАНЕ**

II. Изнесени доклади на международни научни форуми

- 1. Международна научна конференция 2016, Русенски Университет „Ангел Кънчев“, Филиал – Разград, 04.11.-05.11.2016г.**
Доклад на тема: „Системен анализ и дизайн на оптимални ресурсно-осигурителни вериги за биогорива”
Автори: Евгений Ганев, Юнзиле Джелил, Драгомир Добруджалиев
- 2. Международна научна конференция 2017, Русенски Университет „Ангел Кънчев“, Филиал – Разград, 03.11.-04.11.2017г.**
Доклад на тема: “Possibilites for technology to produce biodisel from waste oils”
Автори: Evgeniy Ganey, Boyan Ivanov, Dragomir Dobrudzhaliev, Yunzile Dzhelil.
- 3. XXVI Международен симпозиум –УПРАВЛЕНИЕ НА ЕНЕРГИЙНИ, ИНДУСТРИАЛНИ И ЕКОЛОГИЧНИ СИСТЕМИ - Баня, 10-11 Май 2018**
Доклад на тема: “Information technologies in supply chain design and management”
Автори: D. Nikolova, E. Ganey, G. Rusev, D. Dobrudzhaliev
- 4. INTERNATIONAL SYMPOSIUM – Power end Chemical Engineering, Sofia, 29.06 – 02.07, 2018**
Доклад на тема: “Adopting environmental transportation practice in biodiesel production as key factor for sustainable development a Bulgarian case study”
Автори: E. I. Ganey, B. B. Ivanov, D. G. Dobrudzhaliev, Y. R. Dzhelil, D. Nikolova
- 5. 57-ма Международна научна конференция 2018, Русенски Университет „Ангел Кънчев“, Филиал – Разград, 02.11.-03.11.2018г.**
Доклад на тема: “Strategic design of integrated supply chains for production and distribution of bioethanol”
Автори: Evgeniy Ganey, Boyan Ivanov, Dragomir Dobrudzhaliev, Yunzile Dzhelil.
- 6. 66-ТА НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ С МЕЖДУНАРОДНО УЧАСТИЕ „ХРАНИТЕЛНА НАУКА, ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ - 2019”, 11 - 12 Октомври 2019г, Пловдив.**
Доклад на тема: „Optimal location of biodiesel refineries using waste oils and fats as a raw material”
Автори: Evgeniy Ganey, Boyan Ivanov
- 7. International Conference on Technics, Technologies and Education Trakia University of Stara Zagora, Faculty of Technics and Technologies Yambol, Bulgaria, October 16-18 2019**
Доклад на тема: “Muliparametric optimization for the selection and implementation of technological solutions for the production of biodiesel from waste oil-contacting materials”
Автори: Evgeniy Ganey, Yunzile Dzhelil, Boyan Ivanov, Dragomir Dobrudzhaliev

Изнесени доклади на национални научни форуми

8. 25 Jahre Deutschsprachiger Studiengang “Chemische Verfahrenstechnik” - für eine saubere Welt, Sofia 2016. ХТМУ- София. **“Reduzierung und Verwertung von Abfällen und Schadstoffen bei Produktion und Verwendung von Biokraftstoffen“**,
Автори: Desislava Nikolova, **Evgeniy Ganey**, Dragomir Dobrudzhaliev

9. 30-години Институт по инженерна химия, Юбилейна младежка научна сесия „Младите и химията“, 08.11.2016г., гр. София. **„Критичен анализ на съвременните технологии за производство на биоетанол“**, подготовка и техническо оформление на постера от 01.10.2016 до 08.11.2016г.
Автори: **Евг. Ганев**.

ЛИТЕРАТУРА

1. **C.L. Martins, M.V. Pato**, Supply chain sustainability: a tertiary literature review, *Journal of Cleaner Production* (2019) *PII: S0959-6526(19)30959-X*
2. **Iddrisu Awudu, Jun Zhang**, Uncertainties and sustainability concepts in biofuel supply chain management: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (2012) 1359 – 1368
6. **Daniel J. Garcia, Fengqi You**, Supply chain design and optimization: Challenges and opportunities, *Computers & Chemical Engineering, Volume 81, 4 October (2015)* 153-170
26. **Iakovou E, Karagiannidis A, Vlachos D, Toka A, Malamakis A**. Waste biomass-to-energy supply chain management: a critical synthesis. *Waste Management* (2010) 30: 1860–70.
31. **Brennan L, Owende P**. Biofuels from microalgae — a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2010) 14:557–77.
36. **Hamelinck CN, Faaij APC**. Future prospects for production of biofuel and hydrogen from biomass. *Journal of Power Sources* (2005) 111:1–22.
39. **Sabri EH, Beamon BM**. A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design. *Omega International Journal of Management Science* (2000) 28:581–98.
43. **Amiguna B, Kaviti MJ, Stafford W**. Biofuels and sustainability in Africa. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2010) 15:1360–72.
45. **Duku MH, Gu S, Hagan EB**. A comprehensive review of biomass resources and biofuel potential in Ghana. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (2010) 15:404–15.
46. **Tan RR, Aviso KB, Barilea IU, Culaba AB, Cruz Jr JB**. A fuzzy multi-regional input–output optimization model for biomass production and trade under resource and footprint constraints. *Applied Energy* (2011) 90:154–60.
48. **Inderwildi OR, King DA**. Quo Vadis biofuels. *Energy & Environmental Science* (2009) 2:343, doi:10.1039/b822951c.
54. **Hamid Ghaderi, Mir Saman Pishvaei, Alireza Moini**, Biomass supply chain network design: An optimization-oriented review and analysis, *Industrial Crops and Products* 94 (2016) 972–1000
64. **Vlachos, D., Iakovou, E., Karagiannidis, A., Toka, A.**, A strategic supply chain management model for waste biomass networks. *3rd International Conference on Manufacturing Engineering* (2008) 797–804
- 136 **Gui M. M., Lee K. T., Bhatia S.**, Feasibility of edible oil vs. non-edible oil vs. Waste edible oil as biodiesel feedstock. *Energy*, 33, (2008) 1646-53.
- 137 **Kansedo J, Lee K. T. , Bhatia S.**, Cerbera odollam (sea mango) oil as a promising non-edible feedstock for biodiesel production. *Fuel*, 88, (2009), 1148-50.
- 138 **Patil P. D., Deng S.**, Optimization of biodiesel production from edible and nonedible vegetable oils., *Fuel*, 88, (2009), 1302-6.

- 144 **Virost M, Tomao V, Ginies C, Visinoni F, Chemat F.**, Green procedure with a green solvent for fats and oils' determination Microwave-integrated Soxhlet using limonene followed by microwave Clevenger distillation., *J Chromatogr A*, (2008), 147-52.
- 149 **Balat M., Balat H.**, Progress in biodiesel processing, *Applied Energy*, 87, (2010), 1815-1835.
- 150 **Salvi B.L., Panwar N.L.**, Biodiesel resources and production technologies - A review, *Energy Conversion and Management* 63, (2012), 138-148.
- 151 **Knothe G., Van Gerpen J.H., Krahl J.**, The Biodiesel Handbook, *AOCS Press, Champaign, IL*, 2005.
- 152 **Maher KD, Bressler DC.**, Pyrolysis of triglyceride materials for the production of renewable fuels and chemicals., *Bioresour Technol* (2007), 98:2351-68.
- 153 **Committee for Standardization.**, Automotive fuels—fatty acid FAME (FAME) for diesel engines - requirements and test methods. *European Committee for Standardization, Brussels*, 2003.
- 154 **Abbaszaadeh, A., Ghobadian, B., Omidkhah M.R., Najafi, G.**, Current biodiesel production technologies: a comparative-review., *Energy Convers Manage*, 63, (2012), 138-148.
- 157 **Zabeti M., Daud W. M. A. W., Aurora M. K.**, Activity of solid catalysts for biodiesel production: a review, *Fuel Proc. Technol.*, 90, (2009), 770-777.
- 159 **Fukuda H, Kondo A, Noda H.**, Biodiesel fuel production by transesterification of oils., *J Biosci Bioeng*, (2001) 92, 405-16.
- 161 **Googin J.M., Compere, A.L., Griffith, W.L.**, Technical considerations in choosing alcohol fuels for less-developed countries. *Energy Res.*, (1983), 3, 173-186.
- 164 **Ambarish Datta, Bijan Kumar Mandal**, A comprehensive review of biodiesel as an alternative fuel for compression ignition engine, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, (2016), 799-821
- 186 **Kartika I.A., Pontalier P.Y., Rigal L.**, Oil extraction of oleic sunflower seeds by twin screw extruder: influence of screw configuration and operating conditions. *Ind Crops Products*, 22, (2005), 207-222.
- 187 Nash A.M., Frankel E.N., Limited Extraction of Soybeans with Hexane., *JAACS*, 63, (1986), 244-246.
- 194 **Verman P., Sharma M.**, Review of process parameters for biodiesel production from different feedstocks, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 62, (2016), 1063-1071.
- 195 **Canakci M., Van Gerpen J.**, Biodiesel Biodiesel Production via Acid Catalysis., *ASAE*, 42 (5), (1999), 1203-1210.
- 202 **Nye M.J., Williamson T.W., Deshpande S., Schrader J.H., Snively W.H., Yurkewich T.P., et al.**, Conversion of used frying oil to diesel fuel by transesterification: preliminary tests. *J Am Oil*
- 208 **Lapuerta M, Fernandez J.R., de Mora E.F.**, Correlation for the estimation of the cetane number of biodiesel fuels and implications on the iodine number., *Energy Policy*, 37, (2009), 4337-44.

- 215 **IPCC.** *IPCC* fourth assessment report. Intergovernmental panel on climate change (IPCC), (2007).
- 216 **Zamboni A., Bezzo F., Shah N,** Spatially explicit static model for the strategic design of future bioethanol production systems, 2. Multi-objective environmental optimization. *Energy and Fuels*, (2009), 23, 5134–5143.
- 218 **Zamboni A., Richard J., Jeremy W., Fabrizio B., Shah N** Biofuels carbon footprints: Whole-systems optimisation for GHG emissions reduction, *Bioresource Technology* 102, ., (2011), 7457–7465.
- 219 **Elisabeth W., Sylvain L., Erik D., Georg K.,** Optimal localisation of biofuel production on a European scale, *Energy* 41, (2012), 462-472.
- 220 **Börjesson P., Gustavsson L.,** Regional Production and Utilization of Biomass in Sweden. *Energy* 21, (1996), 747-764.
- 221 **Peace J., Juliani T.,** The coming carbon market and its impact on the American economy., *Policy and Society*, 27, (2009), 305-316.
- 222 **Johnson E., Heinen R.,** Carbon trading: time for industry involvement. *Environment International.*, 30, (2004), 279-288.
- 223 **Sai Liang, Ming Xu, Tianzhu Zhang,** (2013), Life cycle assessment of biodiesel production in China, *Bioresource Technology*, 129, (2013), 72–77.
- 224 **Hansen S., Olsen S., Ujang Z.,** Greenhouse gas reductions through enhanced use of residues in the life cycle of Malaysian palm oil derived biodiesel, *Bioresource Technology*, 104, (2012), 358–366.
- 225 **Osmani A., Zhang J.,** Multi-period stochastic optimization of a sustainable multi-feedstock second generation bioethanol supply chain – A logistic case study in Midwestern United States, *Land Use Policy* 61, (2017), 420–450.
- 226 **Boyan Ivanov, Boryana Dimitrova, Dragomir Dobrudzhaliiev,** Optimal design and planning of biodiesel supply chain considering crop rotation model. Part 1. Mathematical model formulation of the problem, *Bulgarian Chemical Communications*, (2014), Vol.46, No. 2, 294-305.
- 227 **Mattsson B., Cederberg C., Blix L.,** Agricultural land use in life cycle assessment (LCA): case studies of three vegetable oil crops. *Journal of Cleaner Production*; 8(4), (2000), 283 292.
- 228 **Walter Z., Andrea M.,** Energy crops in rotation. A review, *Biomass and bioenergy*, 35, (2011), 12-25.
- 229 **Miret C., Chazara P., Montastruc L., Negny S., Domenech S.,** Design of bioethanol green supply chain: Comparison between first and second generation biomass concerning economic, environmental and social criteria., *Computers and Chemical Engineering* 85, (2016), 16–35.
- 232 **You F., Tao L., Graziani D.J., Snyder S.W.,** Optimal design of sustainable cellulosic biofuel supply chains: multiobjective optimization coupled with life cycle assessment and Input / output analysis. *AIChE J* 58 (4), (2012), 1157-1180.
- 233 https://www.pre-sustainability.com/download/EI99_annexe_v3.pdf, (accessed 29.03.16.).

- 234 **Vogtländer J.G., Bijma A.**, The ‘virtual pollution costs ‘99’, a single LCA-based indicator for emissions. *Int J Life Cycl Assess* 5, (2000), 113–124.
- 235 **Vogtländer J.G., Brezet H.C., Hendriks C.F.**, The Virtual Eco-costs ‘99, a single LCA-based indicator for sustainability and the Eco-costs/Value Ratio (EVR) model for economic allocation. *Int J Life Cycl Assess* 6, (2001), 157–166.
- 236 **Cucek L., Drobez R., Pahor B., Kravanja Z.**, Sustainable synthesis of biogas processes using a novel concept of eco-profit. *Comput Chem Eng* 42, (2012), 87–100.
- 237 **Cucek L., Klemes J.J., Kravanja Z.**, A review of footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. *J Clean Prod* 34, (2012), 9–20.
- 238 **Kettani O., Aouni B., Martel J.**, The double role of the weight factor in the goal programming model. *Computers & Operations Research* 31, (2004), 1833-1845.
- 239 **McCarl B., Meeraus A., Eijk P., Bussieck M., Dirkse S., Steacy P.**, McCarl Expanded GAMS user Guide Version 22.9., (2008), GAMS Development Corporation.
- 240 **F. You and B. Wang**, “Life Cycle Optimisation of Biomass-to-Liquids Supply Chains with Distributed-Centralized Processing Networks,” *Industrial Engineering & Chemical Research*, (2011), Vol. 50 (17), pp. 10102-10127.
- 241 **Dir 2009/28/EC, Directive 2009/28/EC of the European** Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing *Directives 2001/77/EC*.
- 242 REPUBLIC OF BULGARIA National statistical institute.
Available: <http://www.nsi.bg>, 2015.
- 243 Digital Library of National Statistical Institute-Online Catalogue.
Available: http://statlib.nsi.bg:8181/FullT/FulltOpen/SRB_7_5_2012_2013.pdf, 2014.
- 245 **B. Ivanov, B. Dimitrova and D. Dobrudzhaliyev**, “Optimal design and planning of biodiesel supply chain considering crop rotation model. Part 2. Location of biodiesel production plants on the Bulgarian scale,” *Bulgarian Chemical Communications* (2014), Vol. 46 (2), pp. 306 – 319,.
- 246 Wikimedia Commons, Available:
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bulgaria_administrative_divisions, 2015.
- 250 Available: http://www.biofuels.apec.org/pdfs/ewg_2010_biofuel-production-cost.pdf.
- 251 International resource costs of biodiesel and bioethanol.
Available: <http://www.neema.ufc.br/Etanol17.pdf>, 2014.
- 254 Open Access version via Utrecht University Repository. Available:
<http://dspace.library.uu.nl/bitstream/handle/1874/20687/NWS-E-2005-141.pdf?sequence=1>, 2014.
- 259 International Energy Agency, Available: <http://www.iea.org/stats/unit.asp>, 2014.
- 260 World of electric vehicles.
Available: http://www.evworld.com/library/energy_numbers.pdf, 2014.
- 261 Експертен клуб за икономика и политика.
Available: <http://ekipbg.com/2012/05/25/gpricesbg/>, 2015.