



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ
СТОПАНСКИ ФАКУЛТЕТ
КАТЕДРА "ИКОНОМИКА, ИНДУСТРИАЛЕН ИНЖЕНЕРИНГ И МЕНИДЖМЪНТ"



Александър Стоянов Стоянов

**ИЗСЛЕДВАНЕ НА УСТОЙЧИВИ БИЗНЕС МОДЕЛИ НА ПРОИЗВОДСТВЕНИ
ПРЕДПРИЯТИЯ И ПОДХОД ЗА ТЯХНОТО ИНТЕГРИРАНЕ ВЪВ ВЕРИГИТЕ НА
ДОСТАВКИТЕ ИМ В КОНТЕКСТА НА ЕВРОПЕЙСКИЯ ЗЕЛЕН ПАКЕТ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертационен труд
за присъждане на образователната и научна степен „ДОКТОР“

Област на висше образование: 3. Социални, стопански и правни науки
Професионално направление: 3.7 Администрация и управление
Научна специалност: „Организация и управление на производството“

Научни ръководители:

Проф. д-р инж. Огнян Димитров Андреев

Доц. д-р инж. Наталия Венкова Колева

Рецензенти:

Проф. д-р Матилда Иванова Александрова-Бошнакова

Доц. д-р Гергана Христова Христова

София, 2025 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на заседание на катедрения съвет на катедра „Икономика, индустриален инженеринг и мениджмънт“ на Стопански факултет при Технически университет — София, състояло се на 06.01.2025 г.

Дисертационният труд е в обем 157 печатни страници и се състои от: въведение, четири глави, приноси на дисертационния труд, списък на публикации по дисертационния труд и списък на използваната литература от 89 източника, от които 14 са интернет източници. Всички източници са на английски език. В текста са включени 7 фигури и 40 таблици. Номерацията на фигурите и таблиците отразени в автореферата, съответства на тази от дисертацията. Към дисертационния труд са представени 6 приложения.

Теоретичните и експерименталните изследвания по дисертационния труд са проведени в „Димитров“ ООД.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 10.06.2025 г. от 15:00 ч. в зала на БИЦ на Технически университет — София, бул. „Климент Охридски“ 8.

Материалите по защитата са на разположение на интересувалите се в канцеларията на Стопанския факултет, стая 3235, блок III на Технически университет — София, бул. „Климент Охридски“ 8.

Автор: Александър Стоянов Стоянов

Тема: „Изследване на устойчиви бизнес модели на производствени предприятия и подход за тяхното интегриране във веригите на доставките им в контекста на Европейския зелен пакет“

Тираж: 30 Броя

Печатна база на Технически университет-София

АНОТАЦИЯ

Обектът на изследване в дисертационния труд са веригите на доставки на производствените предприятия в контекста на тяхната адаптация към принципите за устойчиво развитие.

Предметът на изследването: проблемите свързани с адаптирането и трансформацията на съществуващите бизнес модели за управление на веригите на доставките, така че да отговарят на изискванията на Европейския зелен пакет за устойчивост и климатична неутралност.

На основата на аналитичен преглед на литературата по разглеждания проблем са изучени съществуващите практики и са идентифицирани ключовите предизвикателства и възможности за интегриране на устойчиви подходи в практиката на производствените предприятия.

Цел на дисертационния труд

На основата на научните постижения в областта да бъдат доразвити някои от съществуващите и разработени нови теоретико-приложни постановки за анализ и оценка на устойчивостта на бизнес моделите в производствените предприятия, на основата на което да се разработи методически инструментариум за тяхното ефективно интегриране във веригите за доставки в контекста на Европейския зелен пакет.

Задачи на дисертационния труд са:

С оглед изпълнението на дефинираната цел на дисертационния труд е необходимо да бъдат изпълнени следните основни задачи:

- (1) Извършване на литературен анализ по проблемите на устойчивостта и определяне на ключовите елементи и принципи, които описват прилаганите в практиката на производствените предприятия устойчиви бизнес модели.
- (2) Анализ и оценка на въздействието на устойчивите бизнес модели върху изпълнението на целите на Европейския зелен договор, включително измерване на въглеродни емисии, енергийна ефективност и други съответни показатели;
- (3) Разработване на методически инструментариум за интегриране на устойчивите бизнес модели във веригите за доставки, с акцент върху ефективността и намаляване на емисиите;
- (4) Апробиране на предложения в дисертационния труд методически инструментариум и оценка на получените резултати.

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

АКТУАЛНОСТ

През последните десетилетия устойчивото развитие се утвърди като основна цел на глобалните икономически, социални и екологични политики. Промените в климата, изчерпването на природните ресурси и нарастващият натиск от страна на потребителите и законодателите създават нови предизвикателства и възможности пред бизнеса. За производствените предприятия това означава не просто адаптация към новите изисквания, но и активна трансформация на техните бизнес модели и управленски практики. В този контекст Европейският зелен договор (ЕЗД) се очертава като стратегическа рамка за постигане на климатична неутралност до 2050 г. Също така, ЕЗД предоставя ясни насоки и

механизми за насърчаване на устойчивостта във всички сектори на икономиката, като поставя акцент върху декарбонизацията, кръговата икономика, възобновяемите енергийни източници и социалната справедливост. Всичко това предполага и налага използването на иновативни подходи за проектиране, повторна употреба, рециклиране и развитие на устойчиви вериги за доставка.

НАУЧНА ЗНАЧИМОСТ И НОВОСТ

В дисертацията е предложен динамичен хибриден подход, който се основава на интеграцията на компонентите: системна динамика, анализ на жизнения цикъл и многокри- териален анализ, които го превръщат в ефективен инструмент даващ възможност да се достигне до създаването на холистична картина на устойчивостта. Това е така, защото фокуса на вниманието е поставен върху разбирането на автора, че устойчивостта на бизнес моделите не може да бъде разглеждана като статична характеристика и взаимодействието между различните участници във веригите на доставки, променящите се регулаторни рамки и пазарна динамика изискват провеждането на непрекъснат мониторинг, адаптация и оптимизация. Разработен е, също така, методически инструментариум за интегриране на устойчиви бизнес модели във веригите на доставки., с помоща на който организациите подобряват своята оперативната ефективност и редуцират нивата на вредното въздействие върху околната среда, като резултат от дейността им в т.ч. намаляване на въглеродните емисии, подобряване на енергийната ефективност, повишване на ефективността на управлението и използването на ресурсите

ПРАКТИЧЕСКА ПРИЛОЖИМОСТ

С помощта на разработения е методически инструментариум за интегриране на устойчиви бизнес модели във веригите на доставки организациите подобряват своята оперативната ефективност и редуцират нивата на вредното въздействие върху околната среда, като резултат от дейността им в т.ч. намаляване на въглеродните емисии, подобряване на енергийната ефективност, повишване на ефективността на управлението и използването на ресурсите. Емпиричното валидиране на методическите разработки в дисертацията потвърждават практическата ѝ приложимост.

РЕАЛИЗАЦИЯ НА РАЗРАБОТКАТА

Методическите разработки са подложени на емпирично валидиране в организация, която среща същите предизвикателства при постигане на целите за устойчивост, каквото и останалите видове организации, които са част от изследването. При осъществяването на емпиричното валидиране взеха участие специалисти от организацията и подходът е одобрен като съответстващ на политиката за устойчивост на „Димитров“ ООД.

ОДОБРЯВАНЕ НА РАЗРАБОТКАТА

Дисертационният труд е докладван и обсъждан в отделните му части и в завършен вид на заседания на катедрен съвет на катедра „Икономика, индустриален инженеринг и мениджмънт“ на Стопански факултет на Техническия университет — София.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИЯТА

Във връзка с дисертационния труд са направени 5 публикации, от които 2 самостоятелни и 3 в съавторство с научните ръководители.

СТРУКТУРА И ОБЕМ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Дисертационният труд е в обем 157 печатни страници и се състои от: въведение, четири глави, приноси на дисертационния труд, списък на публикации по дисертационния труд и списък на използваната литература от 89 източника. В текста са включени 7 фигури

и 40 таблици. Номерацията на фигурите и таблиците отразени в автореферата, съответства на тази от дисертацията. Към дисертационния труд са представени 6 приложения.

II. КРАТКО ИЗЛОЖЕНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ПЪРВА ГЛАВА: АНАЛИТИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА СЪСТОЯНИЕТО НА РАЗГЛЕЖДЕНИЯ ПРОБЛЕМ

Глава първа от дисертационния труд предоставя теоретична рамка за разбиране на сложността на прехода към устойчиви бизнес модели. В този контекст е проведен аналитичен литературен преглед на съществуващото състояние на изследвания проблем, като са изучени концепции, регулаторни рамки и практически подходи, свързани с устойчивите бизнес модели и тяхното интегриране във веригите за доставки, в т.ч.:

- Европейският зелен договор - Европейският зелен договор (EGD) е рамка за постигане на климатична неутралност до 2050 г., която поставя акцент върху декарбонизацията и енергийната ефективност. Производствените предприятия играят ключова роля, като приемат устойчиви практики като използване на рециклирани материали, възобновяеми енергийни източници и кръгови подходи.

- Устойчиви бизнес модели в контекста на европейските закони, като е поставен фокуса на внимание върху: (-) Определение и ключови характеристики на устойчивите бизнес модели, които са описани като интеграция на екологични и социално отговорни практики, които отговарят на изискванията на Европейските директиви (SDD и CSRD); (-) Директивата за надлежна проверка на устойчивостта (SDD), която поставя изисквания за оценка, предотвратяване и отчитане на въздействия върху околната среда и човешките права във всички аспекти на веригите за доставки; (-) Директивата за корпоративно отчитане на устойчивостта (CSRD), която включва стандартизирано отчитане на устойчивостта, обхващащо области като бизнес стратегии, политики и въздействие върху околната среда.

- Анализ на ключови индустрии в т. ч.: 1/ *Текстилна промишленост*: Секторът е анализиран в контекста на кръговата икономика, където рециклирането и използването на устойчиви материали са определени като водещи подходи, като е обобщено, че основните предизвикателства включват проследяване на веригите за доставки и намаляване на въглеродния отпечатък; 2/ *Производство на батерии*: Акцент е поставен върху рециклирането на редки метали (литий, кобалт) и намаляването на въглеродния отпечатък на батериите през целия им жизнен цикъл и 3/ *Възобновяеми енергийни източници*: Производството на компоненти за вятърни турбини и фотоволтаични панели е анализирано в контекста на минимизиране на екологичния отпечатък.

В резултат от критичния анализ, извършен в първа глава, са направени следните по-важни **изводи**:

- 1) Необходими са мерки, които да допринесат за въвеждането в съответствие с новите изисквания, разгледани в литературния анализ, свързани с опазване на околната среда на веригите за доставки;
- 2) Необходимо е организациите в посочените индустрии да насочат усилията си към общи мерки, които да влияят на веригите им за доставки, а не само на отделните организации;
- 3) Директивата за надлежна проверка на устойчивостта (SDD) и Директивата за докладване на корпоративна устойчивост (CSRD) създават основа за корпоративно поведение, свързано с правата на човека и околната среда. Новите регулации изискват

прозрачност, устойчивост в производствените вериги и оценка на жизнения цикъл на продуктите, но са нужни и допълнителни инструменти за вземане на решения на ниво организация, верига за доставки и регулатори.

- 4) В литературата се разглеждат различни фактори, оказващи влияние върху организациите в контекста на опазване на околната среда, но не и инструментите за постигане на тази цел, предвид нуждата от откриване на точните места във веригите за доставки, които влияят на показателите за екологосъобразност и оказване на влияние и съобразяване с целите вериги на доставки от гледна точка на конкретни възможности за постигане на устойчивост чрез интегриране на устойчиви практики.

На основата на прегледа на литературата авторът е избрал четири производства, като типопредставители. Изборът на *текстилната промишленост, производството на батерии и компонентите за възобновяема енергия (ВЕИ)* като типопредставители на изследване се основава на тяхната европейска и глобална икономическа значимост, значителен екологичен отпечатък и потенциал за устойчивост. Тези сектори представляват ключови аспекти на веригите за доставки:

- текстилът е пример за потребителски стоки,
- батериите са критични за електромобилността и енергийното съхранение,
- ВЕИ технологиите са от съществено значение за енергийния преход.

Всеки от тях предлага възможности за иновации и устойчиви бизнес модели, което е от ключово значение за постигане на целите на Европейския зелен договор и прехода към нисковъглеродно бъдеще.

ГЛАВА ВТОРА: ФОРМУЛИРАНЕ НА ТЕОРЕТИЧНАТА ОЦЕНКА НА УСТОЙЧИВОСТТА НА ИЗСЛЕДВАНИТЕ БИЗНЕС МОДЕЛИ

Глава втора е посветена на формулирането на теоретична основа за оценка на устойчивостта на изследваните бизнес модели. Предвид на това тук на основата на анализ на съществуващи концепции и подходи са идентифицирани основните критерии както и ограничения за устойчивост, които са съотнесени и обвързани с динамиката на веригите за доставки в контекста на Европейския зелен пакет.

В параграфите от 1 до 5 авторът извежда ограниченията за производствените практики в контекста на основните европейски директиви и стратегии, като основния акцент се поставя върху производствата на ветрогенератори, батерии, текстил и слънчева енергия.

Във втора глава е формулирана теоретична основа за оценка на устойчивостта на изследваните производства като типопредставители. Предложен е динамичен хибриден подход и алгоритъм за прилагане на подхода. Така например от:

- *Директивата на ЕС за докладване на корпоративна устойчивост (CSRD, DIRECTIVE (EU) 2022/2464)* са установени технически критерии за оценка на екологичната устойчивост на икономически дейности, като са обхванати производства като фотоволтаици, ветрогенератори, батерии и текстил, и са определени ограниченията за емисиите, рециклираните материали и вредното въздействие върху околната среда.

- *Стратегия на ЕС за слънчева енергия (EU Solar Energy Strategy)*, която е фокусирана върху инсталации за слънчева енергия, интегриране в мрежата и развитие на кръгова икономика е направено обобщение на ключовите мерки свързани с намаляване на вредните материали, рециклиране на панели и подобряване на инфраструктурата за съхранение на енергия.

- *Делегиран регламент (ЕС) 2021/2139* са изведени технически критерии за екологична устойчивост на текстилното производство.

- *Стратегия на ЕС за устойчив и кръгъл текстил* са изведени изисквания технически критерии за екологична устойчивост на текстилното производство

- *Регламент (ЕС) 2020/852 и други регулаторни рамки* са изведени общи критерии за недопускане на вреди върху околната среда, като биоразнообразие, водни ресурси и здраве.

В параграф 6 е направено изследване на характеристиките на жизнения цикъл на продуктите за избраните индустрии-типопредставители.

В параграф 7 авторът е предложил практики, които той счита, че имат потенциал да повишат устойчивостта както на отделните организации, така и на веригите за доставки, в които те функционират. Изборът на предложените практики се основава на изследване на техния ефект върху устойчивостта и са съобразени с веригите на доставки и етапите, през които преминават продуктите в своя жизнен цикъл.

В параграф 8 авторът е избрал инструмент за оценка на жизнения цикъл на продуктите, като е предложил да адаптира идеята заложена в концепцията „Life Cycle Assessment - LCA”, която е свързана с анализ на въздействията на бизнес моделите върху околната среда.

В параграфите от 9 до 12 са изучени примери на устойчиви практики от различни индустрии, който са послужили като бенчмарк на предложеният от автора динамичен хибриден подход.

В параграф 13 е предложил интегрирането на модел за многокритериален анализ („Multi-Criteria Decision Analysis”/MCDA) и модел на претеглената сума („Weighted Sum Model”/WSM). При прилагането на посочените модели авторът е предложил също така да бъдат присъдени теглови коефициенти на използваните индикатори за устойчивост, за да се определи съотношението между отделните фактори на влияние при последващо вземане на решения и полученият резултат е коефициент на приложимост.

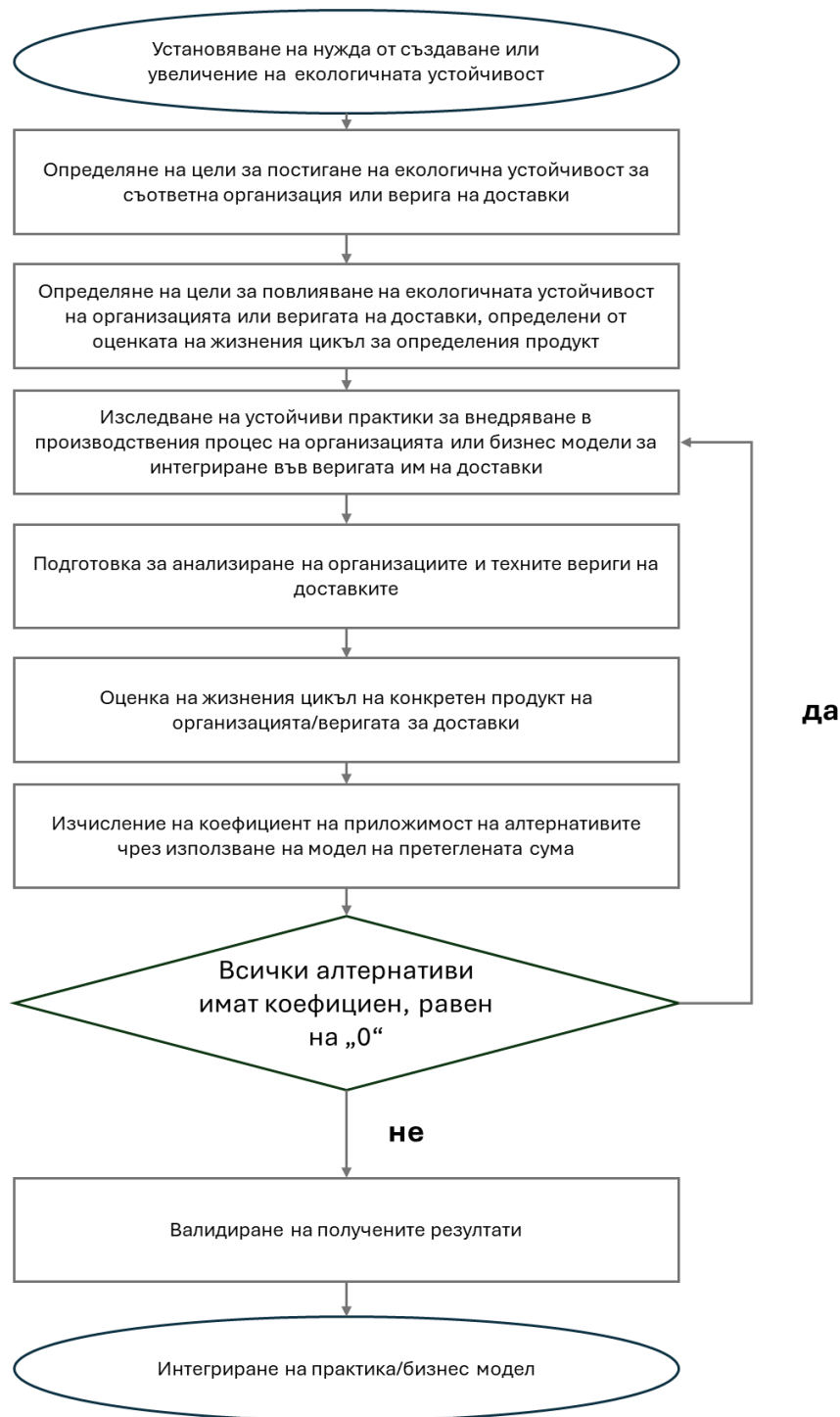
В параграф 14, на основата на извършената теоретична оценка на устойчивостта, е предложен ДИНАМИЧЕН ХИБРИДЕН ПОДХОД за интегриране на устойчиви практики и бизнес модели във веригите на доставките.

В основата на предложения в дисертационния труд подход е поставено разбирането на автора, че устойчивостта на бизнес моделите не може да бъде разглеждана като статична характеристика. Взаимодействието между различните участници във веригите на доставки, променящите се регулаторни рамки и пазарната динамика изискват провеждането на непрекъснат мониторинг, адаптация и оптимизация. Предвид това подхода се основава на три основни компонента:

(1) **Системна динамика** – този компонент на практика моделира взаимодействията между участниците във веригите на доставките и дава възможност да се анализира как промените в един елемент се отразяват на останалите;

(2) **Анализ на жизнения цикъл** – този компонент представлява един систематичен преглед на екологичните въздействия на продуктите и процесите във веригите на доставките. Тук могат да се анализират всички етапи от жизнения цикъл – от добива на суровини, през производството, транспортирането и употребта до крайната фаза – изхвърляне на продукта и излизане от употреба;

(3) **Многокритериална оценка** – този компонент дава възможност да се интегрират резултатите от системната динамика и анализа на жизнения цикъл /LCA/, за да се подпомогне процеса на вземане на решения за интегриране на подходящата устойчива практика.



Фигура 2 Алгоритъм на подхода за интегриране на устойчиви практики

Началната стъпка на алгоритъма (фигура 2) е установяването на необходимостта от подобряване на екологичната устойчивост и поставяне на цели, съобразени с нуждите на организацията. Следва извършване на анализ на жизнения цикъл на конкретен продукт или процес, за да се идентифицират подходящи устойчиви практики за внедряване. Следващият етап включва оценка на алтернативните подходи чрез модел на претеглената сума, което позволява изчисляване на коефициенти на приложимост. Ако всички или някои

алтернативи имат коефициент равен на "0", това индикира, че нито една от предложените практики не е приложима в текущия контекст. В този случай е необходимо повторно разглеждане на целите или алтернативите, за да се идентифицират по-подходящи решения. Процесът завършва с валидиране на резултатите и интегриране на избраните устойчиви практики в бизнес модела или веригата на доставки. Този подход осигурява систематична, динамична и аналитична рамка, която гарантира, че внедрените решения са оптимални и ефективни спрямо нуждите на организацията и екологичните цели.

ГЛАВА ТРЕТА: МЕТОДИЧЕСКА ПОСЛЕДОВАТЕЛНОСТ ПРИ ОПРЕДЕЛЯНЕ НА УСЛОВИЯТА И РЕЗУЛТАТИТЕ ПРИ ИНТЕГРИРАНЕ НА УСТОЙЧИВИ ПРАКТИКИ ВЪВ ВЕРИГИ НА ДОСТАВКИТЕ

В глава трета е представена методическа последователност при определяне на условията и резултатите при интегриране на устойчиви практики във веригите на доставки.

3.1. Общи положения

На основата на проведените критични анализи се установиха пропуски в научните изследвания и липсата на еднозначен отговор на въпроса „*Как устойчивите бизнес модели на производствените предприятия могат да се интегрират в различните вериги на доставките?*” Предвид на това предложената методическа последователност и интегрираният динамичен хибриден подход осигуряват многомерна перспектива, която поставя акцент върху основните показатели за устойчивостта на веригите на доставки, които да се използват при анализирането и вземането на управленски решения за повишаване на устойчивостта.

3.2. Основни стъпки на методиката

3.2.1 Обосновка на избора на отрасли

Както вече беше посочено, подбрани са индустрии-типопредставители за изследване, както и по един продукт във всяка от тях: тениски, батерии и фотоволтаични панели и ветрогенератори. Тези индустрии са умишлено избрани поради присъщото им разнообразие и възможностите за анализиране на прилики при техните входящи и изходящи логистични процеси. Това дава възможност да се демонстрира многомерността на методическия инструментариум.

3.2.2 Подготовка за анализиране на организациите и веригите им за доставки

За да се осигури цялостно разбиране, е възприет подход със смесени методи за осигуряване на необходимите данни и информация за изследването. За целите на емпиричното изследване данните и информацията авторът предлага да се събират чрез провеждане на интервюта и анкети (Приложение 5), които са изпратени до респондентите включени в изследването. Следва да се отбележи, че набирът на данни зависи от задълбочени интервюта с ключови заинтересовани страни, установени в избраните индустрии. По отношение на анкетното проучване авторът е предложил анкетна карта, която обхваща широк спектър от въпроси, събиращи данни и информация от организациите, които са подбрани от производствата на тениски, батерии и фотоволтаични панели и ветрогенератори. Стремешът е да се създаде цялостен подход за изследване на разпространението и възприеманата ефикасност при устойчивите практики.

3.2.3 Оценка на жизнения цикъл на продукта (Life Cycle Assessment - LCA)

Оценката на жизнения цикъл е систематичен процес, използван за оценка на въздействията върху околната среда, свързани с всички етапи от живота на продукта, от извличането на суровини до изхвърлянето им или връщането им обратно във веригата на доставки. Общият процес остава последователен за различните продукти, но специфичните входни данни и факторите на въздействие варират в зависимост от продукта и неговия жизнен цикъл.

Общата последователност от стъпки за провеждане на анализа са както следва:

3.2.3.1 Стъпка 1: Дефиниране на обхвата изследването (тениски, батерии, ветрогенератори и фотоволтаични панели):

3.2.3.2. Стъпка 2: Дефиниране на модела на жизнения цикъл

3.2.3.3. Стъпка 3: Анализ на ресурсите (Life Cycle Inventory - LCI)

3.2.3.4. Стъпка 4: Дефиниране на индикатори (критерии за оценка)

3.2.4. Анализ на възможностите за интегриране на устойчиви бизнес модели на производствени предприятия

С помощта на модела на претеглената сума се прави и анализ на възможностите за интегриране на устойчиви бизнес модели на производствени предприятия, като се вземат предвид различните променливи в различните вериги на доставки. Използва зависимостта:

$$WSM = \sum_{i=1}^n (w_i \cdot a_i) \quad (3.1)$$

където:

WSM е претеглената сума на резултата за дадена алтернатива.

w_i е теглото за критерий i (където n е общият брой критерии).

a_i е резултатът за алтернатива a по критерий i .

n е броят на критериите.

3.2.5. Определяне на параметри за изчисляване на ефекта от внедряването на производствените практики

Определени са количествени и качествени показатели, като въглероден отпечатък, енергийна ефективност, рециклируемост, екотоксичност и други. Те служат като основа за оценка на бизнес моделите и практиките.

За да се създадат отделни изчисления за всеки етап от жизнения цикъл на продукта авторът предлага да се следва същият мултифакторен подход, използван в оригиналната зависимост, но с персонализирани индикаторите за всеки етап: Производство, Използване, Рециклиране/Изхвърляне и Интеграция/Дистрибуция. За целите на емпиричното изследване за данните и информацията авторът предлага да се събират чрез провеждане на интервюта и анкети (Приложение 5), които са изпратени до респондентите включени в изследването. Всеки етап има свой набор от релевантни индикатори, но двоичните фактори „Ниво на технологична готовност (TRL)“ и „Рециклируемост след внедряване“ са запазени, когато е уместно.

1) Обяснение на зависимостта и индикаторите:

- w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 – Тегла на всеки индикатор (зависимост от това колко важен е всеки аспект за конкретната верига на доставки). Теглата се определят в зависимост от

значимостта на различните фактори в конкретната индустрия. Тегловите стойности са съставени на база съображение със стратегическите цели на организациите за постигане на устойчивост и експертна оценка.

- **I1, I2, I3, I4, I5** – Индикатори (в стойности от 0 до 1) за процентното подобрене на практиките.

- **I6** – Бинарен индикатор (0 или 1), който определя дали практиката е приложима/интегрируема. Ако е приложима, стойността е 1; ако не, стойността е 0.

- **I7** – Бинарен индикатор (0 или 1), който определя дали практиката е преминала **TRL 5** (Technology Readiness Level 5) – минимално ниво на технологична готовност. Стойността е 1, ако е преминала TRL 5, и 0, ако не е преминала съответното ниво на технологична готовност.

2) Обяснение на индикаторите:

1. **I1: Ефективност на ресурсите** – Определя процентното намаление на използваните суровини. Ако практиката спестява суровини, стойността ѝ е между 0 и 1, като се базира на процентното намаление. Например, ако суровините се намаляват с 50%, тогава $I1=0.5$.

2. **I2: Енергийна ефективност** – Показва процентното намаление на енергийното потребление в производствения процес. Ако енергийната ефективност се подобрява с 30%, тогава $I2=0.3$.

3. **I3: Намаляване на отпадъците** – Оценява каква част от отпадъците се намалява при внедряването на практиката. Например, ако отпадъците се намаляват с 40%, тогава $I3=0.4$.

4. **I4: Удължаване на жизнения цикъл на продукта** – Процентното удължаване на жизнения цикъл на продукта. Ако практиката удължава живота на продукта с 20%, тогава $I4=0.2$.

5. **I5: Мащабируемост** – Процентът на лекота за мащабиране на практиката в големи производствени процеси. Например, ако практиката може да се приложи в 90% от производствата, тогава $I5=0.9$.

3) Допълнителни бинарни индикатори:

1. **I8: Рециклируемост след внедряване** – Определя дали материалите, използвани в практиката, са лесни за рециклиране след употребата на продукта. Стойността е 1, ако материалите са рециклируеми, и 0, ако не са.

2. **I6: Интеграция** – Бинарен индикатор, който приема стойност 1, ако практиката може да се интегрира във веригата на доставки или конкретно производство, или 0, ако не може.

3. **I7: TRL** – Бинарен индикатор, който определя дали практиката е преминала **TRL** (Technology Readiness Level). Стойността е 1, ако технологията е преминала TRL, и 0, ако не.

3.2.6. Оценка на получените резултати

Представена е методика за валидиране на резултатите чрез обратна връзка от организации и експерти. Определени са критерии за оценка на приложимостта на устойчивите практики, като се прави степенуване на получените резултати.

Таблица 1 Оценка на получените коефициенти на приложимост

Резултати от изчисленията (коефициенти)	Степен на приложимост	Обяснение за степенуването
0.8 – 1.0	Силно приложима	Висок потенциал за намаляване на въздействието върху околната среда, висока енергийна ефективност, лесна интеграция.
0.5 – 0.79	Умерено приложима	Значителни ползи, но изискват определени условия за постигане на пълна ефективност.
0.3 – 0.49	Умерено приложима (условна)	Ползи са ограничени или специфични за определени сценарии, но може да бъде полезна в определени контексти.
0.1 – 0.29	Неприложима (условна)	Минимални ползи; може да е приложима само в специални случаи с адаптации.
0.0 – 0.09	Неприложима	Липса на значими ползи; не е рационално да се интегрира в настоящия контекст.

3.2.7. Етични съображения при провеждане на изследването

Основно в това изследване е стриктното спазване на етичните стандарти. Информираното съгласие на участниците за интервюта и проучвания осигурява основа на уважение. Поверителността и анонимността на организациите и експертите са спазени и ще бъдат разкривани само при официално съгласие.

3.2.8. Ограничения на предложения модел

Предложеният модел за изчисление на ефективността при интегриране на устойчиви практики във вериги за доставки следва да се използва само в контекста на екологичната устойчивост. Моделът може да се използва и за други продукти и вериги за доставки, но отново в същия контекст. При модификация на индикаторите може да се добавят външни фактори, отразяващи икономическа и социална устойчивост, както и технологичен напредък, но основната силна страна при разработения модел на изчисления е екологичната устойчивост в контекста на Европейския зелен пакет на ЕС. Може да се използва и за организации извън ЕС, които оперират на европейския пазар и спазват законовата рамка на ЕС в контекста на целите за устойчиво развитие.

Основни резултати от работата в Глава трета

На основата на теоретичните постановки от Глава втора, в настоящата глава е предложена „Методическа последователност при определяне на условията и резултатите при интегриране на устойчиви практики във вериги на доставките”, която включва следните по-важни моменти:

- 1) Определени са параметри за намаляване на ресурсите и увеличаване на енергийната ефективност. Методиката предлага възможности за намаляване на използваните суровини и енергия, което намалява екологичния отпечатък на производството и подкрепя устойчивостта на веригите за доставки;
- 2) Авторът е разработил анкетна карта и структура на интервю, насочени към ключови заинтересовани страни. Те обхващат широк спектър от въпроси, свързани с устойчивите

практики, предизвикателствата и възможностите за интеграция на бизнес модели. Подкрепени са от анализ на вторични данни, бази данни и научна литература;

3) Въведена е методика за LCA като основен инструмент за измерване на екологичната устойчивост на бизнес моделите и производствените практики. Разгледани са различни системни граници (от „люлка до гроб“, „люлка до врата“ и др.), специфични за текстилната индустрия, батериите и ВЕИ компонентите. Определени са показатели като въглероден отпечатък, консумация на енергия и вода, рециклируемост и други;

4) Представен е WSM като инструмент за многокритериален анализ. Моделът позволява сравнение на различни сценарии за интеграция на устойчиви бизнес практики в нови вериги на доставки, като се вземат предвид икономически, екологични и технологични фактори;

5) Авторът е определил индикатори за оценка на устойчивостта: Определени са количествени и качествени индикатори за всеки сектор, включително енергийна ефективност, рециклируемост, въздействие върху екосистемите и други. Индикаторите служат като основа за оценка на ефективността на бизнес моделите при трансфер в нови вериги;

6) Дадени са предложения за провеждане на интервюта с организациите в конкретен момент от изпълнение на методиката. Резултатите от LCA и WSM се валидират чрез обратна връзка от организациите, за да се потвърди приложимостта на методиката в реални условия;

7) Авторът е определил параметри за оценка на степента на приложимост за получените коефициенти;

8) Авторът е определил ограничения на модела: Уточнени са ограниченията на модела, включително зависимостта от налични данни, променливите регулаторни изисквания и трудностите при обхващане на множество социални и икономически фактори. Моделът е пригоден основно за анализ на екологична устойчивост в рамките на Европейския зелен договор.

ГЛАВА ЧЕТВЪРТА: ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ПРОВЕРКА НА МЕТОДИЧЕСКИЯ ИНСТРУМЕНТАРИУМ

4.1. Общи положения

Четвъртата глава на дисертацията е посветена на експерименталната проверка на разработения методически инструментариум за интегриране на устойчиви практики във веригите за доставки. Проведените експерименти и анализи демонстрират приложимостта на предложените методически разработки в различни индустриални контексти. За експерименталната проверка е използван софтуерът “OpenLCA” за моделиране на веригите на доставки и за изчисление на въздействието върху компонентите на околната среда. В приложения 1, 2, 3 и 4 от дисертационния труд са представени създадените модели на веригите за доставки, в които функционират обектите на изследване.

4.2. Определяне на най-ефективно решение или комбинация от решения за увеличаване на екологичната устойчивост на веригите за доставки

4.2.1. Дефиниране на условията, при които е осъществена експерименталната проверка

Експерименталната проверка е извършена чрез събиране на данни от четирите

избрани типопредставителя, като е анализирана устойчивостта на техните вериги за доставки. Използван е софтуерът OpenLCA 2.0 с бази данни за допълване на липсващата информация за жизнения цикъл на продуктите. Оценката обхваща разнообразието в транспортните методи, спецификите на производствените процеси, енергийните източници, географската и организационна променливост, устойчивите практики и управлението на отпадъците. Анализът по метода „от люлка до гроб“ измерва въздействията върху околната среда и възможностите за интеграция на устойчиви бизнес модели. Данните са събрани от европейски и международни организации, като е гарантирана конфиденциалността на предоставената информация.

4.2.2. Изследване на особености на средата, в която функционират организациите

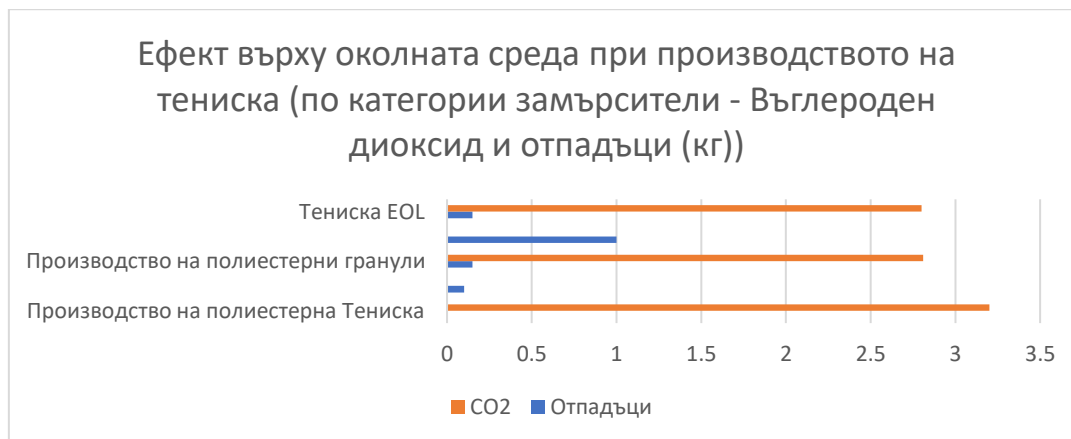
Въпросникът (Приложение 5 от дисертационния труд) е структуриран така, че да обхваща ключовите аспекти на производствените процеси, логистиката, екологичните фактори и устойчивите практики в различни индустрии, като осигурява детайлна информация за жизнения цикъл на продуктите и възможностите за подобряване на устойчивостта в производствените организации.

4.3. Приложно експериментирание на методическия инструментариум

4.3.1. Анализ на жизнения цикъл на избраните продукти

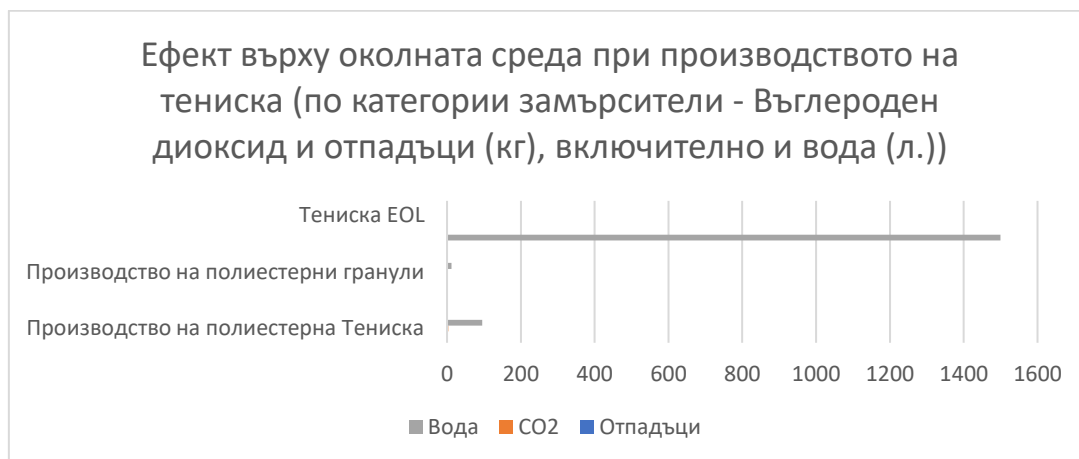
4.3.1.1. Анализ на жизнения цикъл на тениска

На фиг. 3 е показано въздействието върху околната среда по процеси и потоци за производството на тениска. Различните потоци, като отпадъчни води, въглероден двуокис, микропластмаса и други, са представени с отделни цветове, за да се вижда ясно кой процес има най-голямо въздействие.



Фигура 3. Ефект върху околната среда при производството на тениска по категории замърсители - Въглероден диоксид и отпадъци (кг)

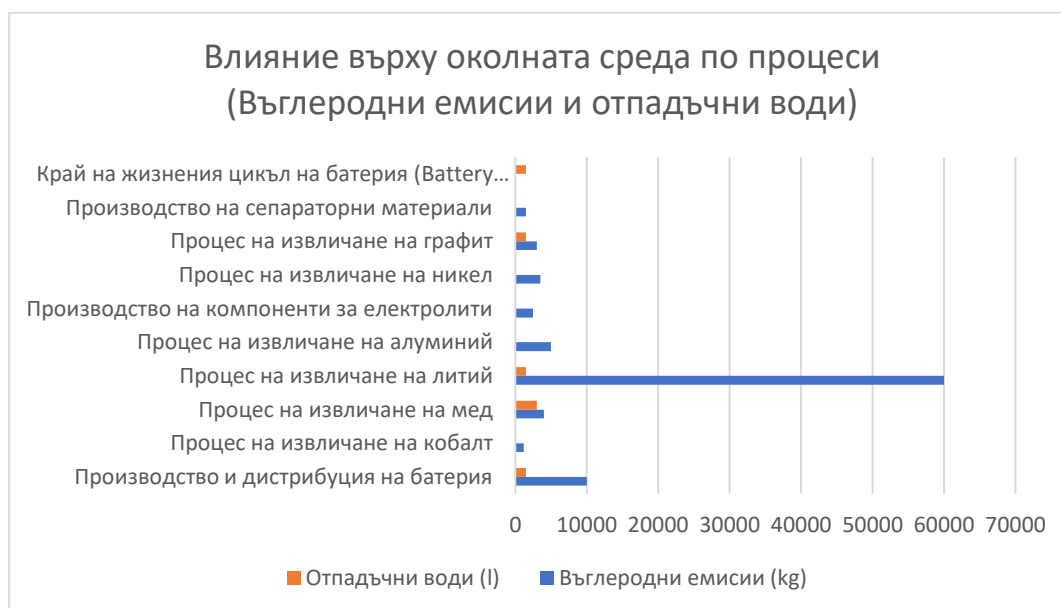
Когато се добави и влиянието върху водните ресурси (фигура 4) се оказва, че при фазата на използване се оказва най-голямо влияние, по отношение на водните ресурси. Предвид това, че фазата на използване трудно може да бъде повлияна – ще се вземе като определяща избора за обект на влияние чрез устойчивите производствени практики горната таблица, която не включва водните ресурси.



Фигура 4 Ефект върху околната среда при производството на тениска (по категории замърсители - Въглероден диоксид и отпадъци (кг), включително и вода (л.))

4.3.1.2. Анализ на жизнения цикъл на батерии

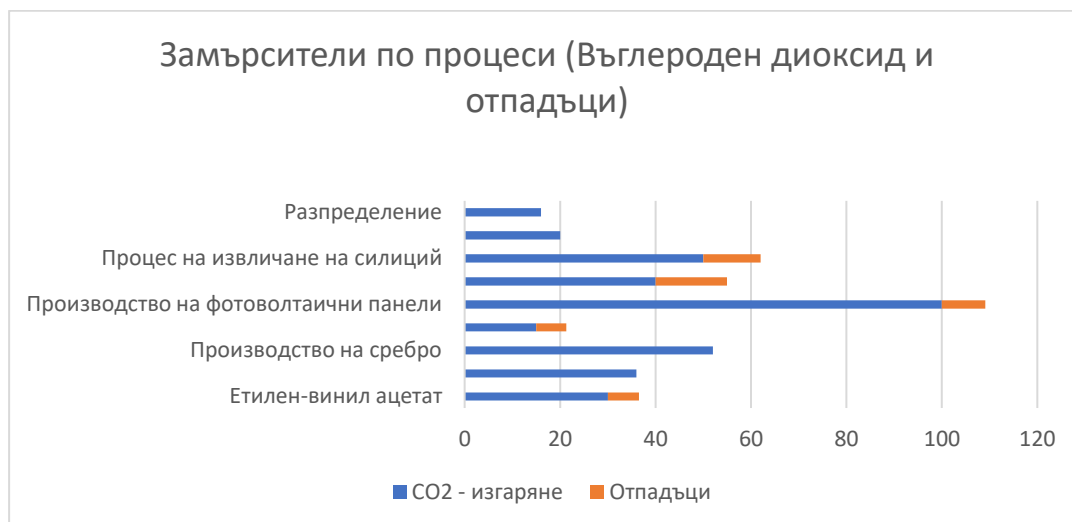
Диаграмата представена на фиг. 5 илюстрира въздействието върху околната среда на различни процеси по отношение на емисии на CO₂ и генериране на отпадъчни води. Най-замърсяващият процес по отношение на емисиите на CO₂ е процесът на извличане на литий, който отделя 60 000 kg CO₂, следван от производството и дистрибуцията на батерии с 10 000 kg. По отношение на отпадъчните води, Copper Extraction Process произвежда най-голямо количество, с 3000 литра.



Фигура 5 Влияние върху околната среда по процеси (Въглеродни емисии и отпадъчни води)

4.3.1.3. Анализ на жизнения цикъл на фотоволтаични панели

Графиката показана на фиг. 6 показва общото влияние върху околната среда за всяка фаза при жизнения цикъл на фотоволтаични панели. Най-голямо въздействие има **Производство на фотоволтаични панели** с 109.1 кг.



Фигура 6 Замърсители по процеси (Въглероден диоксид и отпадъци)

4.3.1.4. Анализ на жизнения цикъл на ветрогенератори

Най-замърсяващият процес при производството на ветрогенератори е **Процесът на производство на генератора**, който има най-голямо въздействие с общо 55 000 кг емисии. Това се вижда и от графиката, където този процес има най-висока стойност.



Фигура 7 Въздействие върху околната среда чрез процес при производство на вятърни турбини

4.3.2. Изчисляване на ефекта от внедряването на производствените практики

4.3.2.1. Тениска (химическо и механично рециклиране)¹

1) Идентификация на индикаторите и стойностите

I1: Ефективност на ресурсите

Химическо рециклиране: Постигнато е 100% намаление на използваните суровини.

¹ (Индикаторите от I1 до I5 са консултирани с представители на организацията, дала първичните данни за количествата ресурси и се базират на експертно мнение на вътрешните ѝ експерти.)

Механично рециклиране: Постигнато е 90% намаление на използваните суровини.
Заклучение: Химическото рециклиране има по-висока ефективност на ресурсите.

I2: Енергийна ефективност

Данни липсват за двата метода.

Заклучение: Не може да се направи сравнение без налични данни.

I3: Намаляване на отпадъците

Химическо рециклиране: 100% намаление на отпадъците.

Механично рециклиране: 85% намаление на отпадъците.

Заклучение: Химическото рециклиране е по-ефективно в намаляването на отпадъците.

I4: Удължаване на жизнения цикъл на продукта

И при двата метода е постигнато 100% удължаване.

Заклучение: Равностойни са по този показател.

I5: Мащабируемост

Химическо рециклиране: 40% мащабируемост.

Механично рециклиране: 60% мащабируемост.

Заклучение: Механичното рециклиране е по-лесно за мащабиране.

I6: Интеграция

И двата метода могат да се интегрират във веригата на доставки (стойност

I7: TRL 5

И двата метода са преминали TRL 5 (стойност 1).

I8: Рециклируемост след внедряване

И двата метода използват материали, които са рециклируеми след употреба (стойност 1).

2) Изчисляване на общ резултат

За да се направи количествено сравнение, може да се изчисли общ резултат за всеки метод, като сумираме стойностите на индикаторите и вземем предвид бинарните индикатори чрез умножение.

3) Зависимост за изчисление:

$$\text{Общ резултат} = [(I1 \times \text{тежест}I1) + (I3 \times \text{тежест}I3) + (I5 \times \text{тежест}I5)] \times I6 \times I7 \times I8$$

4) Изчисления за всяка практика:

Химическо рециклиране:

Претеглени стойности на индикаторите:

$$I1_{\text{претеглено}} = 1.0 \times 0.4 = 0.4$$

$$I3_{\text{претеглено}} = 1.0 \times 0.3 = 0.3$$

$$I5_{\text{претеглено}} = 0.4 \times 0.2 = 0.08$$

Сума на претеглените индикатори:

$$\text{Сума}_{\text{химически}} = 0.4 + 0.3 + 0.08 = 0.78$$

Приложение на бинарните индикатори:

$$\text{Общ резултат}_{\text{химически}} = 0.78 \times 1 \times 1 \times 1 = 0.78$$

Механично рециклиране:

Претеглени стойности на индикаторите:

$$I1_{\text{претеглено}} = 0.9 \times 0.4 = 0.36$$

$$I3_{\text{претеглено}} = 0.85 \times 0.3 = 0.255$$

$$I5_{\text{претеглено}} = 0.6 \times 0.2 = 0.12$$

Сума на претеглените индикатори:

$$\text{Сума}_{\text{механически}} = 0.36 + 0.255 + 0.12 = 0.735$$

Приложение на бинарните индикатори:

$$\text{Общ резултат}_{\text{механически}} = 0.735 \times 1 \times 1 \times 1 = 0.735$$

5) Интерпретация на резултатите

- **Химическо рециклиране** има общ резултат от **0.78**.
- **Механично рециклиране** има общ резултат от **0.735**.

Заклучение: След включване на тежестите на индикаторите и изключване на I2 и I4, химическото рециклиране показва по-висок общ резултат в сравнение с механичното рециклиране.

4.3.2.2. Тениска (производство на изолация)

За да се изчисли резултата за варианта за превръщането на тениска в изолация, се използват дадените индикатори с техните стойности и тежести. Зависимостта за общия резултат може да се изрази по следния начин:

$$\text{Общ резултат} = I1 \times W1 + I2 \times W2 + I4 \times W4 + I5 \times W5 + I6 \times W6 + I7 \times W7 + I8 \times W8$$

където:

$$I1 = 0.8 \text{ с тежест } W1 = 0.4$$

$$I2 = 1.0 \text{ с тежест } W2 = 0.1$$

$$I4 = 1.0 \text{ с тежест } W4 = 0.3$$

$$I5 = 0.3 \text{ с тежест } W5 = 0.2$$

$$I6 = 1$$

$$I7 = 1$$

$$I8 = 1$$

Следователно, зависимостта за този конкретен случай става:

$$\text{Общ резултат} = (0.8 \times 0.4) + (1.0 \times 0.1) + (1.0 \times 0.3) + (0.3 \times 0.2)$$

Изчисляваме стойностите:

$$\text{Общ резултат} = 0.32 + 0.1 + 0.3 + 0.06 = 0.78$$

Общият резултат за превръщането на тениска в изолация е с коефициент на приложимост - 0.78. (Trajković, 2016)

4.3.2.3. Батерии (преизползване)

Ще използвам следните данни за изчислението:

Тегла:

$$w_4 = 1 \text{ (100\% тежест на индикатор } I_4\text{)}$$

Индикатори:

$$I_4 = 0.5 \text{ (удължаване на живота на продукта с 50\%)}$$

(Lluc Canals Casals)

Зависимостта за изчисление е:

$$\text{Общ резултат} = (w_4 \times I_4) \times I_6 \times I_7 \times I_8$$

Стъпки за изчисление:

1) Изчисляване на претегления индикатор:

$$w_4 \times I_4 = 1 \times 0.5 = 0.5$$

2) Приложение на бинарните индикатори I6,I7,I8:

За да завърша изчислението, ми трябва стойностите на бинарните индикатори:

$$I_6 \text{ (Интеграция): } 1$$

$$I_7 \text{ (TRL5): } 1$$

$$I_8 \text{ (Рециклируемост след внедряване): } 1$$

3) Определяне на индикатори:

$$I_4 = 0.5 \text{ (Удължаване на живота на продукта с 50\%)}$$

$$I_6 = 1 \text{ (Интеграция е възможна)}$$

$$I_7 = 1 \text{ (Технологията е преминала TRL5)}$$

$$I_8 = 1 \text{ (Материалите са рециклируеми след внедряване)}$$

4) Зависимост за изчисление:

$$\text{Общ резултат} = (w_4 \times I_4) \times I_6 \times I_7 \times I_8$$

5) Стъпки за изчисление:

1. Изчисляване на претегления индикатор:

Теглото w_4 и стойността на индикатора I_4 са нулеви стойности, претегленият индикатор:

$$\text{Претеглен индикатор} = w_4 \times I_4 = 1 \times 0.5 = 0.5$$

Прилагане на бинарните индикатори I6,I7,I8 :

$$\text{Общ резултат} = 0.5 \times I_6 \times I_7 \times I_8 = 0.5 \times 1 \times 1 \times 1 = 0.5$$

Краен резултат:

Общ резултат = 0.5

6) Интерпретация на резултата:

Коефициент на приложимост **0.5** означава, че практиката има значителен положителен ефект върху удължаването на жизнения цикъл на продукта.

Бинарните индикатори I6,I7,I8 са със стойност **1**, което потвърждава, че:

Интеграцията във веригата на доставки е възможна.

Технологията е **преминала TRL 5**, което означава, че е на ниво за реално внедряване.

Материалите са рециклируеми след внедряването, допринасяйки за устойчивостта.

4.3.2.4. Батерии (рециклиране)

1) Определяне на теглата и зависимостта:

$$w1 = 30\%$$

$$w2 = 30\%$$

$$w3 = 10\%$$

w4 не се включва в изчислението.

$$w5 = 30\%$$

Зависимостта за изчисление на общия резултат за устойчивост е:

$$\text{Общ резултат} = (w1 \times I1 + w2 \times I2 + w3 \times I3 + w4 \times I4 + w5 \times I5) \times I6 \times I7 \times I8$$

2) Присвояване на стойности на индикаторите:

• I1 (Ефективност на ресурсите):

От текста: Производството на нови батерии от първични материали консумира почти три пъти повече материали от рециклирането.

Изчисление:

$$\text{Процентно намаление} = \left(1 - \frac{1}{3}\right) = 0.6667$$

$$\text{Така, } I1 = 0.6667$$

I2 (Енергийна ефективност):

От текста: Ново производство консумира около 36 MJ/kg, което е 9 пъти повече енергия от рециклирането.

Енергия при рециклиране:

$$\text{Енергия при рециклиране} = \frac{36 \text{ MJ/kg}}{9} = 4 \text{ MJ/kg}$$

Процентно намаление на енергията:

$$\text{Процентно намаление} = \left(\frac{36 - 4}{36} \right) = 0.8889$$

$$\text{Така, } I2 = 0.8889$$

- **I3 (Намаляване на отпадъците):**

От текста: Емисии на парникови газове (GHG) намаляват от 4.8 kg/kg до 2.4 kg/kg при рециклиране.

Процентно намаление:

$$\text{Процентно намаление} = \left(\frac{4.8 - 2.4}{4.8} \right) = 0.5$$

$$\text{Така, } I3 = 0.5$$

(Lluc Canals Casals)

- **I4 (Удължаване на жизнения цикъл на продукта):**

Няма предоставени данни за удължаване на жизнения цикъл. Приемаме $I4=0$.

- **I5 (Мащабируемост):**

Приемаме, че практиката е силно мащабируема. Така, $I5=0.9$

- **Бинарни индикатори:**

Според указанията, всички бинарни индикатори са 1.

$I6=1$ (Интеграция)

$I7=1$ (TRL 5)

$I8=1$ (Рециклируемост след внедряване)

Изчисляваме сумата от претеглените индикатори:

$$\begin{aligned} \text{Сума} &= (w1 \times I1) + (w2 \times I2) + (w3 \times I3) + (w5 \times I5) \\ &= (0.3 \times 0.6667) + (0.3 \times 0.8889) + (0.1 \times 0.5) + (0.3 \times 0.9) \\ &= 0.2000 + 0.2667 + 0.05 + 0.27 = 0.7867 \end{aligned}$$

Прилагаме бинарните индикатори:

$$\text{Общ резултат} = \text{Сума} \times I6 \times I7 \times I8 = 0.7867 \times 1 \times 1 \times 1 = 0.7867$$

Заклучение:

Резултатът за устойчивост при рециклиране на батерии, след актуализираните тегла и без включване на $I4$ и $I9$, е коефициент на приложимост - **0.7867**, като това показва, че рециклирането на батерии значително подобрява устойчивостта в сравнение с производството на нови батерии от първични материали.

4.3.2.5. Фотоволтаични панели (рециклиране)

1) Метод 1: Стандартен процес на рециклиране (Baseline Process), който е типичен за рециклиране на фотоволтаични панели в Европа.

2)Метод 2: Процес с висока ефективност (FRELП), който включва напреднали технологии за рециклиране, включително отделяне на високоценни материали като сребро и силиций. (Ardenre F, 2019)

3) Зависимост за изчисление:

$$F = w1 \cdot I1 + w2 \cdot I2 + w3 \cdot I3 + w6 \cdot I6 + w7 \cdot I7$$

Забележка: Не включваме индикатори за I4 и I5, както беше указано.

4) Определяне на теглови коефициенти: $w1=0.4$; $w2=0.2$; $w3=0.2$; $w6=0.1$; $w7=0.1$

5) Индикатори за процеса FRELП: $I1=0.9$; $I2=0.3$; $I3=0.85$; $I6=1$; $I7=1$

6) Индикатори за базовия (Baseline) процес: $I1=0.3$; $I2=0.7$; $I3=0.2$; $I6=1$; $I7=1$

7) Пресмятане на оценките:

За FRELП:

$$F = (0.4 \cdot 0.9) + (0.2 \cdot 0.3) + (0.2 \cdot 0.85) + (0.1 \cdot 1) + (0.1 \cdot 1) \\ = 0.36 + 0.06 + 0.17 + 0.1 + 0.1 = 0.79$$

За базовия процес:

$$F = (0.4 \cdot 0.3) + (0.2 \cdot 0.7) + (0.2 \cdot 0.2) + (0.1 \cdot 1) + (0.1 \cdot 1) \\ = 0.12 + 0.14 + 0.04 + 0.1 + 0.1 = 0.50$$

Така резултатите са:

FRELП процес: коефициент на приложимост - 0.79

Базов процес: коефициент на приложимост - 0.50

Това показва по-висока обща ефективност за процеса FRELП спрямо базовия процес.

4.3.2.6. Ветрогенератори (сравнение между химическо рециклиране, пиролиза, механично рециклиране, инсинерация)

Направено е средно сритметично на стойностите за вторият индикатор и е направено процентно съотношение, като при изчислението е взет остатъкът до 100 процента, тъй като не се произвежда енергия, а тук става въпрос за консумация.

Данните са взети от научна статия „Технология за рециклиране на композитни материали — най-модерно и устойчиво развитие за 2020 г.“ (Krauklis, 2021)

1) Преобразуване на стойностите на Индикатор 2 (I2):

Химическо рециклиране: 34.46% → $I2 = 0.3446$

Пиролиза: 68.40% → $I2 = 0.6840$

Механично рециклиране: 97.13% → $I2 = 0.9713$

Инсинерация: 0% → $I2 = 0.0$

2) Стойносьи на Индикатор 3 (I3):

Химическо рециклиране

Химическото рециклиране има най-висока енергийна консумация (21–91 MJ/kg) и е по-сложно и скъпо, но позволява повторна употреба както на влакната, така и на матрицата. Това води до значително намаляване на отпадъците.

- **I3 (Намаляване на отпадъците):** Тъй като се възстановяват и двете основни съставки, можем да приемем, че отпадъците се намаляват с около **70%**.
- **Стойност на I3: 0.7**

Пиролиза

Пиролизата е широко използван метод (24–30 MJ/kg), който възстановява предимно влакната, докато матрицата често се губи. Това води до умерено намаляване на отпадъците.

- **I3 (Намаляване на отпадъците):** Отпадъците се намаляват с около **60%** поради възстановяване на ценните влакна.
- **Стойност на I3: 0.6**

Механично рециклиране

Механичното рециклиране има най-ниска енергийна консумация (0.1–4.8 MJ/kg) и е най-евтино. Въпреки че материалът губи някои от свойствата си, почти целият материал се рециклира.

- **I3 (Намаляване на отпадъците):** Отпадъците се намаляват с около **80%**, тъй като почти целият материал се използва повторно.
- **Стойност на I3: 0.8**

Инсинерация

Инсинерацията изгаря материалите, като не позволява възстановяване на влакна или матрица. Въпреки това намалява обема на отпадъците.

- **I3 (Намаляване на отпадъците):** Отпадъците се намаляват с около **20%** поради намаляване на обема, но материалите се губят.
- **Стойност на I3: 0.2**

Химическо рециклиране: I3 = 0.7

Пиролиза: I3 = 0.6

Механично рециклиране: I3 = 0.8

Инсинерация: I3 = 0.2

3) Тегла на индикаторите:

w2 (за I2): 0.4

w3 (за I3): 0.6

4) Индикатори I6, I7 и I8:

За химическо рециклиране, пиролиза и механично рециклиране:

I6 (Интеграция): 1

I7 (TRL 5): 1

I8 (Рециклируемост след внедряване): 1

За инсинерация:

I6 (Интеграция): 1

I7 (TRL 5): 1

I8 (Рециклируемост след внедряване): 0

Изчисляване на общия резултат за всяка технология:

Зависимост:

$$\text{Общ резултат} = (w2 \times I2) + (w3 \times I3)$$

Химическо рециклиране

$$\text{Общ резултат} = (0.4 \times 0.3446) + (0.6 \times 0.7) = 0.13784 + 0.42 = 0.55784$$

Пиролиза

$$\text{Общ резултат} = (0.4 \times 0.6840) + (0.6 \times 0.6) = 0.2736 + 0.36 = 0.6336$$

Механично рециклиране

$$\text{Общ резултат} = (0.4 \times 0.9713) + (0.6 \times 0.8) = 0.38852 + 0.48 = 0.86852$$

Инсинерация

$$\text{Общ резултат} = (0.4 \times 0.0) + (0.6 \times 0.2) = 0.0 + 0.12 = 0.12, \text{ но тъй като } I8 = 0, \text{ изчисленията са само при условие, че отпадъчният материал може да се рециклира и използва при друга, щадяща околната среда дейност.}$$

Анализ на резултатите:

- **Механично рециклиране** има най-висок коефициент на приложимост - **0.86852**, което го прави най-предпочитаната технология според тези индикатори и тегла.
- **Пиролиза** е на второ място с коефициент на приложимост - **0.6336**, показвайки добра енергийна ефективност и намаляване на отпадъците.
- **Химическо рециклиране** е на трето място с коефициент на приложимост - **0.55784**; въпреки че намалява значително отпадъците, има по-ниска енергийна ефективност.
- **Инсинерация** има най-нисък коефициент на приложимост - **0.12**, което показва, че е най-малко ефективната и устойчива опция.

5) Заключение:

- **Механичното рециклиране** е най-ефективната технология по отношение на енергийна ефективност (I2) и намаляване на отпадъците (I3), с най-висок общ резултат.
- **Пиролизата** също е добра опция, особено когато се търси баланс между енергийна ефективност и възстановяване на влакна.
- **Химическото рециклиране** предлага значително намаляване на отпадъците, но е по-малко енергийно ефективно.
- **Инсинерацията** не е препоръчителна, тъй като има нисък общ резултат и не допринася за устойчивостта.

4.3.2.7. Ветрогенератори (Редизайн)

Определяне на теглата (w1 до w5):

В случая на редизайн са взети данни от експертно мнение от организацията, предоставила първичните данни за анализа на жизнения цикъл на вятърната турбина.

w1 (Ефективност на ресурсите) = 0.3

w2 (Енергийна ефективност) = 0

w3 (Намаляване на отпадъците) = 0.3

w4 (Удължаване на жизнения цикъл на продукта) = 0.3

w5 (Мащабируемост) = 0.1

Извличане на стойности за индикаторите (I1 до I5):

I1: Ефективност на ресурсите

Анализ: Проектът Windcatcher заменя традиционните големи турбини с множество по-малки турбини. Това може да доведе до по-ефективно използване на материалите и ресурсите.

Стойност: Няма точни данни, но се приема значително подобрение.

I1 = 1 (100% подобрение)

I2: Енергийна ефективност

Анализ: В проекта се твърди, че ще "удвои енергийния добив" и че малките турбини могат да уловят 2.5 пъти повече енергия на квадратен метър вятър.

Стойност: Това показва значително подобрение в енергийната ефективност.

I2 = 1.0 (100% подобрение)

I3: Намаляване на отпадъците

Анализ: Няма конкретна информация за намаляване на отпадъците в производствения процес или при изхвърляне. Но по експертна оценка може да се приеме, че има значително намаляване на отпадъците поради възможността за използване на различни рециклируеми материали поради по-малкия размер на лопатките на турбините.

Стойност: Значително намаляване на отпадъците.

I3 = 1 (100% намаляване)

I4: Удължаване на жизнения цикъл на продукта

Анализ: Турбините са "проектирани да издържат на тежки условия в открито море", което може да означава по-дълъг живот. Предвид условията при офшорните инсталации и липсата на информация за използваните материали, може да се приеме, че има известно удължаване на жизнения цикъл на обекта на изследване.

Стойност: Умерено удължаване на жизнения цикъл.

I4 = 0.2 (20% удължаване)

I5: Машабируемост

Анализ: Системата е модулна и може да се мащабира в зависимост от енергийните нужди. Компанията планира единици с капацитет до 126 MW, но в момента е изследван вариант до 40 MW, в сравнение с 5 MW на турбината, чийто жизнен цикъл е изследван. Въпреки това се дава експертна оценка с 20% по-малко, защото мащабируемостта зависи и от други фактори, различни от възможностите на технологията.

Стойност: Висока степен на мащабируемост.

I5 = 0.8 (80% мащабируемост)

Бинарни индикатори:

I6 (Интеграция): 1 (Практиката може да се интегрира във веригата на доставки)

I7 (TRL 5): 0 (Технологията не е преминала ниво на технологична готовност 5)

I8 (Рециклируемост след внедряване): 1 (Материалите са рециклируеми след употреба)

Изчисление по зависимостта:

Зависимост:

$$\text{Резултат} = (w1 \times I1 + w2 \times I2 + w3 \times I3 + w4 \times I4 + w5 \times I5) \times I6 \times I7 \times I8$$

Замяна на стойностите:

1. Изчисляване на претегления сбор:

$$\begin{aligned} \text{Претеглена сума} &= (0.3 \times 1) + (0 \times 1.0) + (0.3 \times 1) + (0.3 \times 0.2) + (0.1 \times 0.8) \\ &= 0.3 + 0 + 0.3 + 0.06 + 0.08 = 0.74 \end{aligned}$$

2. Прилагане на бинарните индикатори:

$$\text{Резултат} = 0.74 \times I6 \times I7 \times I8 = 0.74 \times 1 \times 0 \times 1 = 0$$

Резултат и обяснение:

- **Краен резултат:** коефициент на приложимост - **0**
- **Обяснение:** Тъй като **I7 = 0** (технологията не е преминала TRL 5), целият резултат става нула поради умножение с нула.
- Това показва, че въпреки високите стойности на индикаторите, технологията все още не е достатъчно зряла за внедряване според изискванията на зависимостта.

Заклучение:

Проектът Windcatcher има значителен потенциал по отношение на ефективност на ресурсите, намаляване на отпадъците и мащабируемост. Въпреки това, тъй като технологията все още не е достигнала необходимото ниво на технологична готовност (TRL 5), тя не може да бъде оценена положително по настоящата зависимост.

Забележка: След като технологията премине TRL 5 (**I7 = 1**), резултатът би бил:
 $0.74 \times 1 \times 1 \times 1 =$ коефициент на приложимост 0.74

4.3.3. Допълнителна възможност за изчисление с зависимостта за мултикритериален анализ

Зависимостта дава възможност за различни начини на изследване на подобрението. Пример за такъв начин е добавянето на специфичен индикатор, при който се прави сравнение между състоянието във веригата на доставки преди и след прилагането на определена практика. Така може да се получи коефициент, който да се използва при обобщената оценка след прилагането на зависимостта.

- **I1: Енергийна ефективност** – Колко енергийно ефективен е продуктът по време на използване.

$$I_1 = \left(\frac{\text{Спестена енергия (kWh/година)}}{\text{Първоначална енергийна консумация (kWh/година)}} \right)$$

- **I2: Живот на продукта** – Удължаване на оперативния живот на продукта.

$$I_2 = \frac{\text{Удължен оперативен живот (години)}}{\text{Първоначален оперативен живот (години)}}$$

- **I3: Честота на поддръжка** – Намаляване на нуждата от поддръжка или ремонт.

$$I_3 = \frac{\text{Намаление на честотата на поддръжка (събития/година)}}{\text{Първоначална честота на поддръжка (събития/година)}}$$

4.4. Основни резултати от експерименталната проверка на методическия инструментариум

Чрез използването на методиката се представят подробни изчисления и сравнения в четири ключови индустрии: текстил, батерии, фотоволтаични панели и ветрогенератори, като се основният фокус е върху устойчивостта и процесите на рециклиране като основен начин за преобразуване на веществените ресурси във форма, подходяща за преизползване и намаляване на нуждата от енергийни ресурси, като респективно се намалява влиянието върху околната среда.

Текстилна промишленост: Анализът показва, че преобразуването на текстилни отпадъци в изолационни материали води коефициент на приложимост - 0,78 въз основа на фактори като повторна употреба на материала и ефективност на рециклиране. Това предполага умерено устойчив процес, но подчертава възможностите за подобряване на жизнения цикъл на рециклиране.

Производство на батерии: Изчисленията за рециклиране на батерии показват значително подобрение в устойчивостта с коефициент на приложимост - 0.78. Това показва, че рециклирането на батерии, в сравнение с производството на нови от суровини, може значително да подобри устойчивостта, особено поради възстановяването на критични материали.

Фотоволтаични панели: Проучването оценява два процеса на рециклиране – стандартен базов и усъвършенстван високоефективен процес (FRELП). Усъвършенстваният процес постигна коефициент на приложимост - 0,79, значително по-висок от базовия коефициент на приложимост - 0,50. Това показва, че усъвършенстваните технологии за рециклиране, които позволяват възстановяването на ценни материали като сребро и силиций, са от решаващо значение за повишаване на устойчивостта на фотоволтаични панелите.

Ветрогенератори: Бяха сравнени различни методи за рециклиране на компоненти на ветрогенератори, като химическо рециклиране, пиролиза и механично рециклиране.

Механичното рециклиране е най-ефективно, с коефициент на приложимост - 0,87, докато изгарянето е най-малко ефективно, с коефициент на приложимост - 0,12. Това подчертава значението на избора на най-ефективните процеси за рециклиране за подобряване на цялостната устойчивост в сектора на вятърната енергия.

Тези резултати подчертават различните степени на подобрене на устойчивостта в различните индустрии, като усъвършенстваните техники за рециклиране играят решаваща роля за намаляване на въздействието върху околната среда.

Таблица 2 Обобщение на резултатите от направения анализ

Технология	Коеф. на приложимост	Обяснение
Тениска (химическо рециклиране)	0,78	По-висока ефективност на ресурсите и намаляване на отпадъците чрез химическо рециклиране.
Тениска (механично рециклиране)	0,73	Умерена ефективност при намаляване на суровини и отпадъци чрез механично рециклиране.
Тениска (производство на изолация)	0,78	Преобразуване на тениски в изолация с висок коефициент на устойчивост.
Батерии (преизползване)	0,5	Положителен ефект върху удължаването на жизнения цикъл на батерии.
Батерии (рециклиране)	0,78	Значително намаление на ресурсна и енергийна консумация чрез рециклиране на батерии.
Фотоволтаични панели (базов процес)	0,5	Стандартен процес на рециклиране на фотоволтаични панели в Европа.
Фотоволтаични панели (усъвършенстван процес - FRELP)	0,79	Усъвършенстван процес за рециклиране на фотоволтаични панели, възстановяващ ценни материали.
Ветрогенератори (химическо рециклиране)	0,56	Химическо рециклиране на ветрогенератори с умерена устойчивост.
Ветрогенератори (пиролиза)	0,63	Пиролиза с балансирана ефективност и намаляване на отпадъци.
Ветрогенератори (механично рециклиране)	0,87	Механично рециклиране на ветрогенератори с най-висока устойчивост.
Ветрогенератори (инсинерация)	0,12	Инсинерация с ниска устойчивост и ефективност.
Ветрогенератори (редизайн - Windcatcher)	0	Висок потенциал, но недостатъчно зряла технология за внедряване (TRL 5 не е преминато).

ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

I. Научно-приложни приноси

1) На основата на проучване и анализ на съществуващите теоретични постановки са изведени **научни обобщения относно интегрирането на устойчивите бизнес практики във веригите на доставки в контекста на Европейската зелена сделка** и приноса на технологичните иновации (в т. ч. възобновяема енергия, ресурсна ефективност, техники за рециклиране) за изграждане на устойчиви бизнес модели.

2) **Разработен е методически инструментариум за интегриране на устойчиви бизнес модели във веригите на доставки**, с помощта на който организациите подобряват своята оперативната ефективност и редуцират нивата на вредното въздействие върху околната среда, като резултат от дейността им в т.ч. намаляване на въглеродните емисии, подобряване на енергийната ефективност, повишване на ефективността на управлението и използването на ресурсите.

3) Предложен е **динамичен хибриден подход**, основан на интеграцията на компонентите – системна динамика, анализ на жизнения цикъл и многокритериален анализ, които го превръщат в ефективен инструмент даващ възможност да се достигне до създаването на холистична картина на устойчивостта.

II. Приложни приноси

4) Разработения методически инструментариум подпомага **организациите ефективно да привеждат своите бизнес практики в съответствие с целите за устойчивост и Европейската зелена сделка**.

5) Приложимостта на методическите разработки е потвърдена, чрез **емпирично валидиране**, резултатите от което подпомагат организациите да оценят текущата ситуация и да предприемат действия за внедряването на по-устойчиви практики в дейността си.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

- 1) Stoyanov, A., (2024). "Integration of Remote Ecological Monitoring Technologies in Sustainable Business Practices for 3 Industries supply chains". In *2024 59th International Scientific Conference on Information, Communication and Energy Systems and Technologies (ICEST)* (pp. 1-4). IEEE. (SCOPUS)
- 2) Stoyanov, A. & Koleva, N., (2024). "Analysis of Sustainable Technologies for Resource Management in Supply Chains. Proceeding in 16th International Scientific Conference "e-Governance & e-Communications"/EGEC, 23 - 27 June 2024, Sozopol, Bulgaria. (под печат)
- 3) Стоянов, А., (2023). "Анализ на възможностите и предизвикателствата за внедряване на устойчиви практики във веригите на доставки на текстилната индустрия". Сборник доклади от XXI Международна научна конференция „Мениджмънт и инженеринг’23”, 25-29 юни, Созопол, България, (стр. 56–61).
- 4) Стоянов, А. & Колева, Н., (2022). „Анализ на широкоразпространени методи за производство на графен и анализ на ползите при неговата употреба в различни материални ресурси и продукти, XX Международна научна конференция „Мениджмънт и инженеринг’22” (стр. 73–77), ISSN 1314-6327 Созопол, 26-28 юни 2022 г.

Стоянов, А. & Андреев, О., (2022). „Анализ на приложимостта на различни технологии за рециклиране на полимери чрез процеса пиролиза и комбинацията им с технологии за постигане на минимален ефект върху околната среда”. Сборник доклади от XIV-та Международна научна конференция „Е-Управление и е-Комуникации” Созопол, България, стр. 181-188.

STUDY OF SUSTAINABLE BUSINESS MODELS OF MANUFACTURING ENTERPRISES AND AN APPROACH FOR THEIR INTEGRATION INTO SUPPLY CHAINS IN THE CONTEXT OF THE EUROPEAN GREEN DEAL

ABSTRACT

The ***object of study*** of the dissertation is the supply chains of manufacturing enterprises in the context of their adaptation to the principles of sustainable development.

The ***subject of the study*** is the challenges related to the adaptation and transformation of existing business models for supply chain management to meet the requirements of the European Green Deal for sustainability and climate neutrality.

Based on an analytical review of the literature on the examined issue, existing practices have been studied, and key challenges and opportunities for integrating sustainable approaches into the practices of manufacturing enterprises have been identified.

Goal of the Dissertation: Based on scientific achievements in the field, the dissertation aims to further develop some existing and propose new theoretical and applied frameworks for the analysis and evaluation of the sustainability of business models in manufacturing enterprises. This serves as a foundation for creating a methodological toolkit for their effective integration into supply chains in the context of the European Green Deal.

To achieve the defined goal of the dissertation, the following ***main tasks*** need to be fulfilled:

- 1) Conducting a literature review on sustainability issues to identify the key elements and principles describing sustainable business models applied in the practices of manufacturing enterprises.
- 2) Analyzing and assessing the impact of sustainable business models on achieving the goals of the European Green Deal, including measuring carbon emissions, energy efficiency, and other relevant indicators.
- 3) Developing a methodological toolkit for integrating sustainable business models into supply chains, with a focus on efficiency and emission reduction.
- 4) Testing the proposed methodological toolkit presented in the dissertation and evaluating the results obtained.