



АГРАРЕН УНИВЕРСИТЕТ-ПЛОВДИВ

ФАКУЛТЕТ ИКОНОМИКА

Светослав Лавчиев

**УСТОЙЧИВО ПРОИЗВОДСТВО НА ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЯ
ОТ ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация за придобиване на научна и образователна степен „доктор“

професионално направление **3.8. ИКОНОМИКА**

научна специалност “ **Икономика и управление (селско стопанство)**”

Научен ръководител: проф. д-р Димо Атанасов

Пловдив, 2026

Дисертационният труд е рецензиран и внесен за защита на заседание на Катедрения съвет на катедра „Икономика“, Факултет Икономика при Аграрен университет – Пловдив.

Данни за дисертацията:

- Обем – 263 страници
- Брой фигури – 32
- Брой таблици – 55
- Брой използвани източници – 327
- Брой публикации на докторанта – 3

Защитата ще се състои на 12.06.2026 г. от 11:00 ч. в зала 322 на Агрономическия факултет, на открито заседание на научното жури в състав:

проф. д-р Иван Димитров Пенев
доц. д-р Росица Петрова Белухова
проф. д-р Тони Богданова Михова
доц. д-р Георги Димов Георгиев
доц. д-р Георги Алексиев Георгиев

Материалите, свързани със защитата, са достъпни на интернет страницата на Аграрен университет – Пловдив: www.au-plovdiv.bg, както и в библиотеката на Аграрен университет – Пловдив, ул. „Менделеев“ №12.

Съдържание

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИЯТА	5
1. Актуалност на темата.....	5
2. Цел, обект и предмет и задачи на изследването.....	5
3. Методи на изследване.....	6
II. ОСНОВНА СТРУКТУРА И СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИЯТА	7
ПЪРВА ГЛАВА: ЕНЕРГИЙНИ РЕСУРСИ – КЛАСИФИКАЦИЯ, ОСОБЕНОСТИ, ТЕХНОЛОГИЧЕН И ИНСТИТУЦИОНАЛЕН ПОТЕНЦИАЛ ЗА УСТОЙЧИВА ЕКСПЛОАТАЦИЯ	7
1.1. Същност и значение на енергията за икономическото развитие.....	7
1.2. Класификация на енергийните източници и тяхното значение.....	8
1.3. Външни ефекти и ограничения на традиционния енергиен модел.....	8
1.4. Концепцията за устойчиво развитие и енергийния преход.....	9
1.5. Европейска и национална рамка за развитие на възобновяемата енергия.....	9
1.6. Роля на фотоволтаичните системи в устойчивия енергиен преход.....	11
1.7. Предизвикателства при внедряването на фотоволтаични проекти.....	11
ВТОРА ГЛАВА: МЕТОДИЧЕСКИ ИНСТРУМЕНТАРИУМ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА УСТОЙЧИВОСТТА НА ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ	13
2.1. Анализ на документи.....	13
2.2. Анализ на случай.....	14
2.3. Неструктурирани и дълбочинни интервюта.....	15
2.4. Оценка на инвестиционни проекти.....	16
2.5. Показатели за финансова рентабилност.....	16
ТРЕТА ГЛАВА: ИНВЕСТИЦИИ ВЪВ ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ. АНАЛИЗ НА УСТОЙЧИВОСТТА ИМ В БЪЛГАРИЯ	17
3.1. Роля и значение на възобновяемата енергия в енергийния микс на ЕС и България.....	17
3.2. Състояние на сектора за производство на енергия от фотоволтаични системи в България.....	20
3.3. Емпиричен анализ на фотоволтаични проекти.....	23
ЧЕТВЪРТА ГЛАВА: ПЕРСПЕКТИВИ ПРЕД РАЗВИТИЕТО НА СОЛАРНАТА ЕНЕРГИЯ	25
4.1. Стратегически контекст и роля на фотоволтаичните системи.....	25
4.2. Концептуални модели за устойчиво развитие на фотоволтаичните системи.....	26
4.3. Децентрализирани модели и иновации.....	27

4.4. Институционални прогнози за развитието на възобновяемата енергия в ЕС и България	30
III. ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ	32
IV. ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИЯТА	40
V. ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	42

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Актуалност на темата

Енергията представлява стратегически ресурс с ключово значение за икономическото развитие, индустриализацията и повишаването на жизнения стандарт. В условията на нарастващо глобално потребление, изчерпаемост на изкопаемите горива и задълбочаващи се екологични проблеми, въпросът за устойчивото управление на енергийните ресурси придобива особена значимост. Съвременните икономики са изправени пред необходимостта от преход към нисковъглероден модел на развитие, който да гарантира едновременно икономическа ефективност, енергийна сигурност и опазване на околната среда.

Негативните последици от традиционния енергиен модел, включително климатичните промени, замърсяването и загубата на биоразнообразие, изискват внедряване на устойчиви решения, базирани на възобновяеми енергийни източници. В този контекст фотоволтаичните технологии се утвърждават като едно от най-перспективните направления за производство на чиста енергия. Те съчетават екологични предимства, технологична гъвкавост и възможности за децентрализирано производство.

Актуалността на изследването се обуславя и от европейските и националните политики, насочени към декарбонизация на енергийния сектор, включително Европейската зелена сделка и свързаните стратегически документи. За България, като страна с благоприятни природни условия за развитие на слънчева енергия, въпросът за ефективното и устойчиво внедряване на фотоволтаични системи е от особено значение.

2. Цел, обект и предмет и задачи на изследването

В светлината на глобалния преход към нисковъглеродни енергийни системи, критичният анализ на потенциала на фотоволтаичните технологии като ключов елемент в устойчивата трансформация на енергийния сектор е от решаващото значение. В тази връзка, настоящото изследване е мотивирано от множество фактори: нестабилността и прогнозираното изчерпване на конвенционалните енергийни носители; амбициозните климатични цели на Европейския съюз по Зелената сделка; и нарастващото обществено търсене на независими, чисти и сигурни енергийни източници.

Целта на изследването е да се оцени устойчивостта на производството на фотоволтаична енергия в България чрез анализ на технологични, икономически и

институционални фактори, които влияят върху разработването, внедряването и експлоатацията на фотоволтаичните системи.

Обект на изследването е процесът на устойчиво производство на енергия чрез фотоволтаични системи в контекста на българския и европейския енергиен преход

Предметът на изследването обхваща технологичните, институционалните и икономическите измерения, които определят осъществимостта и дългосрочната устойчивост на внедряването на фотоволтаични системи.

Изследователската теза се основава на разбирането, че фотоволтаичните системи представляват ключов елемент за устойчивия енергиен преход в България, като тяхната дългосрочна ефективност и приложимост се определят от взаимодействието между технологични, икономически и институционални фактори.

За реализирането на поставената цел, изследването преминава през изпълнението **на следните задачи:**

1. Изграждане на теоретична рамка на проучването чрез преглед на съществуващата литература за възобновяема енергия и критичен анализ на концептуалните подходи към устойчивото използване на енергия;
2. Синтез на европейските стратегии за климата и енергетиката, особено тези по Европейската зелена сделка, и техните последици за декарбонизацията на национално ниво;
3. Представяне на методическа рамка на изследването, насочена към изследване на ефективността от внедряване на соларни проекти
4. Проследяване на тенденциите на европейския и българския енергиен сектор: текущо технологично състояние, производствен капацитет, пазарна структура и предизвикателства;
5. Оценка на различните видове слънчеви паркове по отношение на ефективност и въздействие
6. Извеждане на устойчиви модели за производство на енергия от фотоволтаични централи в България.
7. Формулиране на изводи и препоръки относно подобряване на възможностите за развитие на слънчева енергия в България

3. Методи на изследване

Методическата рамка на изследването се основава на интегриран изследователски подход, съчетаващ качествени и количествени методи на анализ, което позволява

комплексно изследване на устойчивостта на фотоволтаичните системи. В рамките на теоретичния анализ е приложен методът на документалния анализ, чрез който се изследват нормативната, стратегическата и институционалната рамка на енергийния сектор на европейско и национално ниво. Това включва анализ на политики, директиви и стратегически документи, свързани с прехода към възобновяема енергия.

За емпиричното изследване е използван методът „анализ на случай“, който позволява задълбочено разглеждане на конкретни фотоволтаични проекти и оценка на тяхната ефективност и приложимост в реални условия. Допълнително са проведени неструктурирани и дълбочинни интервюта с експерти от сектора, чрез които се извлича качествена информация относно ключовите фактори, влияещи върху развитието и устойчивостта на фотоволтаичните системи.

Оценката на икономическата ефективност се базира на прилагането на методи за инвестиционен анализ, включително анализ на паричните потоци, изчисляване на показатели за финансова рентабилност и използване на сценарийно моделиране за прогнозиране на различни варианти на развитие. Тези методи позволяват да се оцени възвръщаемостта и риска при различни инвестиционни решения.

В допълнение е приложен системен и сравнителен анализ, чрез които се идентифицират основните тенденции, зависимости и взаимовръзки в развитието на фотоволтаичните системи в България и Европейския съюз. Този подход осигурява възможност за обобщаване на резултатите и формулиране на обосновани изводи и препоръки относно устойчивото развитие на сектора.

II. ОСНОВНА СТРУКТУРА И СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

ПЪРВА ГЛАВА: ЕНЕРГИЙНИ РЕСУРСИ – КЛАСИФИКАЦИЯ, ОСОБЕНОСТИ, ТЕХНОЛОГИЧЕН И ИНСТИТУЦИОНАЛЕН ПОТЕНЦИАЛ ЗА УСТОЙЧИВА ЕКСПЛОАТАЦИЯ

1.1. Същност и значение на енергията за икономическото развитие

Енергията представлява фундаментален фактор за развитието на съвременните икономики и обществото като цяло. Тя е в основата на всички производствени процеси, технологични иновации и социално-икономически трансформации. В исторически план развитието на човешката цивилизация е неразривно свързано с откриването, усвояването

и ефективното използване на различни енергийни източници – от биомасата и водната енергия до изкопаемите горива и съвременните възобновяеми технологии.

Индустриалната революция бележи ключов момент, в който използването на въглища и по-късно нефт и природен газ създава предпоставки за ускорено икономическо развитие, урбанизация и технологичен напредък. Този процес води до създаване на съвременните индустриални системи, но също така поставя основите на значителна зависимост от ограничени природни ресурси.

В съвременните условия енергията не се разглежда само като производствен фактор, а като стратегически ресурс, който оказва влияние върху икономическата сигурност, конкурентоспособността и геополитическата стабилност. Енергийната зависимост, ценовите колебания и достъпът до ресурси се превръщат в ключови предизвикателства за държавите и икономическите системи.

1.2. Класификация на енергийните източници и тяхното значение

Енергийните източници традиционно се класифицират на възобновяеми и невъзобновяеми. Невъзобновяемите източници, включително въглища, нефт и природен газ, се характеризират с ограничени запаси и значително въздействие върху околната среда. Тяхното използване е свързано с високи нива на емисии на парникови газове, замърсяване и деградация на природните ресурси.

От друга страна, възобновяемите енергийни източници, като слънчева, вятърна, водна, геотермална и биомаса, се характеризират с практически неизчерпаем потенциал и по-ниско екологично въздействие. Те играят все по-важна роля в енергийния микс на съвременните икономики, като допринасят за намаляване на въглеродния отпечатък и повишаване на енергийната независимост.

Сред възобновяемите източници особено място заема слънчевата енергия, която се отличава с широк географски обхват, технологична гъвкавост и възможност за децентрализирано производство. Развитието на фотоволтаичните технологии позволява преобразуването на слънчевата радиация в електроенергия, което ги прави ключов елемент в енергийния преход.

1.3. Външни ефекти и ограничения на традиционния енергиен модел

Традиционният енергиен модел, основан на използването на изкопаеми горива, е свързан със значителни външни ефекти, които оказват негативно влияние върху

околната среда и обществото. Сред най-съществените от тях са климатичните промени, замърсяването на въздуха, водите и почвите, както и загубата на биоразнообразие.

Изгарянето на изкопаеми горива води до отделяне на значителни количества въглероден диоксид и други парникови газове, които допринасят за глобалното затопляне. Това от своя страна води до промени в климатичните условия, увеличаване на честотата на екстремни природни явления и негативни последици за селското стопанство, водните ресурси и човешкото здраве.

Освен екологичните ефекти, традиционният енергиен модел създава и икономически рискове, свързани с нестабилността на цените на енергийните ресурси, геополитическите конфликти и зависимостта от внос на енергия. Това налага необходимостта от трансформация на енергийните системи към по-устойчиви и диверсифицирани модели.

1.4. Концепцията за устойчиво развитие и енергийния преход

Концепцията за устойчиво развитие се утвърждава като водеща парадигма в съвременната икономика и политика. Тя предполага постигане на баланс между икономически растеж, социална справедливост и опазване на околната среда. В енергийния сектор това означава преход към системи, които осигуряват надеждно и достъпно енергоснабдяване при минимално въздействие върху природата.

Енергийният преход включва процес на декарбонизация, повишаване на енергийната ефективност и увеличаване на дела на възобновяемите енергийни източници. В този контекст фотоволтаичните технологии се разглеждат като един от най-ефективните инструменти за постигане на устойчиво развитие.

Те позволяват намаляване на емисиите, създаване на нови икономически възможности и стимулиране на иновациите. В същото време тяхното внедряване изисква съобразяване с редица фактори, включително технологични ограничения, икономическа ефективност и институционална подкрепа.

1.5. Европейска и национална рамка за развитие на възобновяемата енергия

Политиките на Европейския съюз играят ключова роля за насърчаване на възобновяемата енергия и устойчивото развитие.

Европейската зелена сделка, пакетът „Fit for 55“ и директивите за възобновяема енергия задават амбициозни цели за намаляване на емисиите на парникови газове и увеличаване на дела на чистата енергия.

Таблица 1: Политики и инициативи, подкрепящи възобновяемата енергия

Политика/ Инициатива	Обхват	Основни цели	Механизми	Въздействие върху ВЕИ
Цел за устойчиво развитие 7 (SDG 7)	Глобална (ООН)	Универсален достъп до енергия до 2030 г.	Цели, национално планиране	Насърчава чиста енергия
Парижко споразумение	Глобално (РКООНИК)	Ограничаване на глобалното затопляне под 2°C	Национално определени приноси (NDCs), механизми за преглед	Насърчава национални ангажименти за ВЕИ
IRENA (Международна агенция за възобновяема енергия)	Глобална	Напредък в глобалното развитие на ВЕИ	Политическа подкрепа, сътрудничество	Център за знания и сътрудничество
CEM (Clean Energy Ministerial)	Глобална	Насърчаване на чиста енергия	Платформи за сътрудничество	Подпомага добри практики и иновации
RE100	Корпоративна	100% електричество от възобновяеми източници	Доброволни ангажименти	Увеличава търсенето на ВЕИ от частния сектор
GBEP (Глобално партньорство за биоенергия)	Глобална	Устойчива биоенергия	Изграждане на капацитет, насоки	Подпомага биоенергията в страни с ниски доходи
Европейски зелен пакт (European Green Deal)	ЕС	Климатична неутралност до 2050 г.	Инвестиции, законодателни реформи	Ускорява разширяването на ВЕИ в целия ЕС
Fit for 55	ЕС	Намаление на емисиите с 55% до 2030 г.	Директива RED III, регулаторни актуализации	Национални цели
RED III (Директива за ВЕИ)	ЕС	42.5% дял на ВЕИ до 2030 г.	Задължителни цели	Насърчава растеж на ВЕИ по сектори
EU ETS (Система за търговия с емисии)	ЕС	Ценообразуване на въглеродните емисии	Система „cap-and-trade“	Прави изкопаемите горива по-малко конкурентоспособни

Източник: Собствено проучване на база нормативни документи

Тези политики създават рамка за трансформация на националните енергийни системи и стимулират инвестициите в нови технологии. България, като част от ЕС, следва тези приоритети чрез разработване на национални стратегии и планове, включително Интегрирания национален план в областта на енергетиката и климата

Въпреки наличието на благоприятни природни условия за развитие на слънчева енергия, страната все още изостава в сравнение с други държави членки по отношение на внедряването на възобновяеми технологии. Основните предизвикателства са свързани с административни бариери, ограничен капацитет на електроенергийната мрежа и необходимост от инвестиции в инфраструктура.

1.6. Роля на фотоволтаичните системи в устойчивия енергиен преход

Фотоволтаичните системи се утвърждават като ключов елемент в процеса на енергийна трансформация. Те предлагат редица предимства, включително ниски експлоатационни разходи, възможност за мащабиране и интеграция в различни икономически сектори.

Същевременно, тяхната устойчивост зависи от редица фактори, включително ефективността на технологиите, достъпа до финансиране, регулаторната среда и общественото приемане. Важно значение имат и въпросите, свързани с жизнения цикъл на фотоволтаичните панели, тяхното производство и рециклиране.

В този контекст е необходимо прилагането на интегриран подход, който да отчита както икономическите ползи, така и екологичните и социалните последици от внедряването на тези технологии.

1.7. Предизвикателства при внедряването на фотоволтаични проекти

Наред с безспорните си предимства, внедряването на фотоволтаични проекти е съпроводено от комплекс от социални, технически, икономически, екологични и институционални предизвикателства. Един от най-дискутираните проблеми е т.нар. „зелено заграбване“, което се изразява в присвояване на земя и ресурси за екологични цели без достатъчно отчитане на местните права, поминък и съгласие (Fairhead et al., 2012). В контекста на ВЕИ това се проявява при изграждане на соларни паркове върху земеделски земи или общи територии, което може да доведе до социални конфликти, особено при липса на прозрачни консултации и справедливо разпределение на ползите (Corson & MacDonald, 2012; Scheidel & Sorman, 2012; Scheidel et al., 2020). Дори в ЕС

нарастват опасенията за конкуренция между енергийно производство, земеделие и опазване на биоразнообразието (IEA, 2024; IRENA, 2022).

Съществена група проблеми са свързани със съхранението, гъвкавостта и системната интеграция. Поради променливия характер на слънчевата енергия, високото проникване на фотоволтаици може да предизвика колебания в напрежението, нестабилност на честотата и претоварване на мрежата, особено в разпределителните системи (Lund et al., 2015; IEA, 2023). Въпреки че батериите и помпено-акумулиращите ВЕЦ се разглеждат като основни решения, те са ограничени от високи капиталови разходи, ресурсна зависимост, екологични рискове и географски фактори (Zakeri & Syri, 2015; Vidal et al., 2013; Harper et al., 2019; IRENA, 2022). Не по-малко важни са веригите за доставки и зависимостта от критични минерали, тъй като производството на PV технологии е силно концентрирано, особено в Китай, което повишава геополитическия и ресурсния риск (IEA, 2022; IRENA, 2023; ЕС, 2023).

Фотоволтаичните системи поставят и екологични предизвикателства по целия жизнен цикъл. Макар при експлоатация да имат ниски емисии, производството им е енергоемко и зависи от суровини, чийто добив е свързан със загуба на местообитания, замърсяване и висока ресурсоемкост (Peng et al., 2013; Green et al., 2021; UNEP, 2020). При някои технологии съществуват рискове, свързани с опасни вещества, а нарастващият обем на излезли от употреба панели изисква развитие на ефективни системи за рециклиране и разширена отговорност на производителя (Fthenakis & Kim, 2011; IRENA, 2016; Xu et al., 2018). Допълнително възникват и икономически предизвикателства, сред които особено важна е канибализацията на цените – намаляване на пазарната стойност на слънчевата електроенергия с увеличаване на нейния дял в енергийния микс (Hirth, 2013; Cludius et al., 2014; Zhou et al., 2022). Това създава несигурност в приходите и затруднява възвръщаемостта на инвестициите, особено при отсъствие на механизми като PPA, CfD или съхранение (Aurora Energy Research, 2021; IEA, 2023).

На институционално равнище сериозни пречки са законодателните и разрешителните режими. Въпреки европейската нормативна рамка, транспонирането ѝ на национално ниво често е неравномерно, а в България административните процедури, припокриването между екологично, строително и енергийно законодателство, както и проблемите с присъединяването към мрежата, забавят проектите и подкопават доверието на инвеститорите (ЕС, 2022; Petrova, Tsvetkova, 2023; SolarPower Europe, 2022; BNEF, 2023). Към това се добавят финансовите предизвикателства, свързани с високите

първоначални разходи, сложното разпределение на риска и неравния достъп до капитал, особено за по-малки участници, общини и енергийни общности (IRENA, 2022; IEA, 2023; Bauwens et al., 2022; Carley & Konisky, 2020). Накрая, нарастващата дигитализация на PV системите поражда и рискове за киберсигурността, свързани с уязвимости в инвертори, SCADA системи, IoT устройства и вериги за доставки, което налага въвеждане на по-строги стандарти, механизми за докладване на инциденти и изграждане на капацитет за защита на енергийната инфраструктура (Liu et al., 2021; Khalid et al., 2022; ENISA, 2022; NIST, 2020; SolarPower Europe, 2022).

ВТОРА ГЛАВА: МЕТОДИЧЕСКИ ИНСТРУМЕНТАРИУМ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ И АНАЛИЗ НА УСТОЙЧИВОСТТА НА ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ

Втора глава на дисертационния труд е посветена на методическия инструментариум, използван за изследване на устойчивото производство на електроенергия от фотоволтаични системи. Методическата рамка е изградена върху интегриран изследователски подход, който съчетава качествени и количествени методи на анализ, позволяващи едновременно изследване на макроикономическите, институционалните и проектно-приложните аспекти на развитието на фотоволтаичните технологии. Този подход осигурява възможност да се проследят движещите сили, бариерите и ефектите от внедряването на фотоволтаични системи както на равнище политики и регулации, така и на равнище конкретни инвестиционни решения.

2.1. Анализ на документи

Първият основен метод, приложен в изследването, е анализът на документи. Той се дефинира като качествена изследователска техника за систематичен преглед и интерпретация на документи с цел извличане на смисъл, развитие на разбиране и формиране на емпирично знание (Bowen, 2009). В контекста на устойчивото производство на фотоволтаична енергия този метод е особено ценен, тъй като позволява да се изследва политическата, регулаторната и стратегическата среда, която формира възможностите за внедряване и развитие на фотоволтаичните системи в Европейския съюз и България.

В дисертационния труд анализът на документи обхваща законодателни текстове на ЕС, национални планове за енергетика и климат, стратегически документи на Европейската комисия, както и доклади на международни организации като IRENA, IEA и SolarPower Europe. Чрез тях се проследяват измененията в политиките, стратегическите

приоритети и моделите на подпомагане на възобновяемата енергия. Bowen (2009) подчертава, че документалният анализ позволява да се установяват тенденции, промени във времето и тематични взаимосвързки, което е от съществено значение при изследването на дългосрочни цели като климатична неутралност и декарбонизация.

В сферата на енергийните преходи този подход е използван и от Sovacool (2014), както и от Geels et al. (2016), които показват, че анализът на документи има силен потенциал за разкриване на рамките, чрез които устойчивостта се разбира, дефинира и прилага в практиката. По този начин документалният анализ служи като основа за изграждане на макрорамката на изследването и за свързване на политическите решения с последващия анализ на конкретни проекти и инвестиции.

2.2. Анализ на случай

Вторият основен методически подход е анализът на случай, който е широко признат като подходящ за задълбочено изследване на реални явления в техния конкретен контекст. Според Zainal (2007), този метод позволява детайлно разглеждане на данните в рамките на ясно определена контекстуална граница, което е особено полезно при сложни явления, каквото е развитието на фотоволтаичните системи. За разлика от количествените изследвания, които търсят широта и обобщаемост, анализът на случай се стреми към дълбочина, контекстуално разбиране и интерпретация на взаимосвързките между различни фактори.

Krusenvik (2016) отбелязва, че този метод е особено подходящ за изследване на малък брой единици в широк диапазон от променливи, което го прави приложим при оценка на конкретни инвестиционни проекти, модели за самопотребление, продажба на електроенергия или хибридни решения. Според Baxter and Jack (2008), основното предимство на този подход е, че позволява интегриране на контекстуалните условия, които често са решаващи за правилното разбиране на изследвания феномен. Това е от особено значение при фотоволтаичните проекти, където пазарната среда, достъпът до мрежата, местоположението, инвестиционните разходи и регулаторната рамка силно влияят върху крайния резултат.

В дисертационния труд са използвани няколко казуса, които позволяват да се проследи приложимостта на различни инвестиционни модели за фотоволтаични системи. Методологично този подход следва логиката на Yin (2002; 2004), според когото изследванията на случай могат да бъдат както единични, така и множествени, като последните дават възможност за сравнение, логика на репликация и по-широка

аналитична валидност. Използването на множество източници на данни в рамките на казуса – документи, финансови показатели, интервюта и технически параметри, допълнително повишава надеждността на анализа (Tasci et al., 2020). Въпреки ограниченията на метода, свързани с по-ниска степен на обобщаемост и възможност за интерпретативна пристрастност, Flyvbjerg (2006) подчертава, че при достатъчна методическа строгост анализът на случай остава изключително ценен инструмент за генериране на теоретично и практическо знание.

2.3. Неструктурирани и дълбочинни интервюта

Третият компонент на методическата рамка е използването на неструктурирани и дълбочинни интервюта като качествени изследователски техники, чрез които се извличат експертни знания, гледни точки и оценки на заинтересованите страни. Тези методи са особено подходящи за проучвателни и интерпретативни изследвания в области, характеризиращи се с висока динамика, множество участници и сложни взаимодействия, каквато е възобновяемата енергия.

Неструктурираните интервюта се характеризират с отворен формат и липса на строго фиксиран въпросник, което позволява по-свободно протичане на разговора и появата на неочаквани, но значими теми (Fontana & Frey, 2005). В дисертационния труд този метод е насочен към инвеститори, разработчици на проекти, оператори на мрежи и представители на местни общности с цел да се разкрият техните възприятия относно регулаторната среда, административните пречки, социалното приемане и институционалните ограничения. Kvale (2007) подчертава, че неструктурираните интервюта са особено подходящи за изследване на „живия свят“ на участниците и за съвместно конструиране на смисъл, а не само за проверка на предварително дефинирани хипотези.

Дълбочинните интервюта, от своя страна, са по-систематизирана форма на качествено събиране на данни, насочена към извличане на подробни разкази, оценки и интерпретации (Boyse & Neale, 2006). В рамките на изследването те са организирани около няколко ключови тематични области: силни и слаби страни на съществуващите политики, икономическа и техническа осъществимост на инвестициите, социални и екологични ефекти, както и ролята на иновациите, дигитализацията и интеграцията към мрежата. Според Patton (2002), този метод е особено ефективен за разбиране на начина, по който ключовите участници преживяват и влияят върху разглежданите процеси. Съчетаването на неструктурирани и дълбочинни интервюта позволява баланс между

аналитична насоченост и свобода на отговора, което повишава интерпретативната валидност на изследването (Mason, 2002).

2.4. Оценка на инвестиционни проекти

Съществено място във втора глава заема оценката на инвестиционните проекти, тъй като устойчивостта на фотоволтаичните системи не може да бъде разглеждана само от гледна точка на екологичните и политическите аспекти, а изисква и оценка на тяхната икономическа и финансова жизнеспособност. В тази връзка е разработена рамка за многокритериална инвестиционна оценка, която интегрира финансови, технически, екологични и социални измерения.

2.5. Показатели за финансова рентабилност

За оценка на икономическата ефективност в дисертационния труд са разгледани както статични, така и динамични методи. Сред статичните показатели се включват срокът на откупуване и счетоводната норма на възвръщаемост. Тези методи са по-лесни за изчисление и разбиране и могат да бъдат полезни за формиране на първоначална оценка, особено когато възложителят не разполага със специализирани познания в инвестиционния анализ. Техните слабости обаче са ясно очертани – те не отчитат времевата стойност на парите и често пренебрегват разпределението на паричните потоци във времето (Boardman et al., 2014).

Поради това основният акцент е поставен върху динамичните методи, които отчитат времевата стойност на парите и дават по-надеждна оценка за дългосрочната ефективност на проекта. Най-съществено значение имат нетната настояща стойност (NPV) и вътрешната норма на възвръщаемост (IRR). NPV се разглежда като предпочитан метод, тъй като измерва абсолютното увеличение на стойността за инвеститора и отчита паричните потоци през целия жизнен цикъл на проекта (Damodaran, 2012; Brealey, Myers, & Allen, 2020). IRR, от своя страна, е ценен с това, че представя рентабилността в относително изражение, но може да доведе до проблеми при нетрадиционни парични потоци или при сравнение на взаимно изключващи се проекти с различен мащаб (Ross et al., 2019).

Втора глава изгражда методологичната основа на изследването, като комбинира документален анализ, анализ на случай, интервюта и инвестиционна оценка в единна аналитична рамка. Този интегриран подход позволява да се изследват едновременно политическата и регулаторната среда, институционалните механизми, мненията на

заинтересованите страни и икономическата жизнеспособност на конкретни фотоволтаични проекти. Именно чрез тази методическа основа се създават предпоставки за надеждно емпирично изследване на устойчивостта на фотоволтаичните системи и за формулиране на научно обосновани изводи и препоръки.

ТРЕТА ГЛАВА: ИНВЕСТИЦИИ ВЪВ ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ. АНАЛИЗ НА УСТОЙЧИВОСТТА ИМ В БЪЛГАРИЯ

Трета глава има за цел да извърши емпирична проверка на формулираната изследователска теза чрез анализ на инвестиционни проекти, пазарни тенденции и финансови показатели, характеризиращи развитието на фотоволтаичните системи в България. Тя представя емпиричната рамка на изследването чрез анализ на четири реални фотоволтаични проекта, обхващащи различни мащаби и бизнес модели – от системи за собствено потребление до централи, ориентирани към продажба на електроенергия. Чрез прилагане на инвестиционен анализ и сценарийно моделиране се оценява тяхната икономическа ефективност, като резултатите показват, че фотоволтаичните инвестиции са икономически жизнеспособни и притежават значителен потенциал за устойчиво развитие. Анализът подчертава същественото значение на мащаба, пазарната среда и управлението на риска за постигане на дългосрочна ефективност, като потвърждава изследователската теза за ключовата роля на фотоволтаичните системи в устойчивия енергиен преход в България.

3.1. Роля и значение на възобновяемата енергия в енергийния микс на ЕС и България

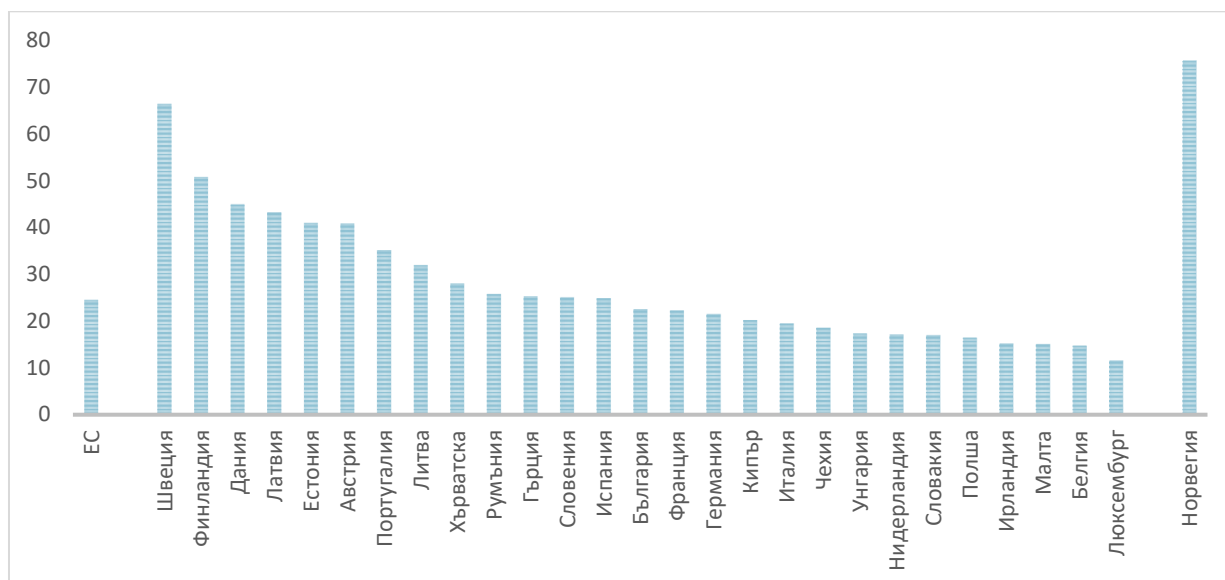
В условията на ускорен енергиен преход и засилени политики за декарбонизация, ВЕИ се утвърждават като ключов инструмент за постигане на енергийна сигурност, намаляване на зависимостта от изкопаеми горива и ограничаване на емисиите на парникови газове.

Сред тях фотоволтаичните технологии заемат водещо място поради своята технологична зрялост, бързо намаляващи разходи и широки възможности за приложение както в индустриален, така и в децентрализиран мащаб.

Швеция е на първо място сред страните от ЕС, като през 2023 г. две трети (66,4%) от brutното ѝ крайно потребление на енергия идват от възобновяеми източници. Швеция основно разчита на твърди биогорива, водна и вятърна енергия. На второ място е Финландия с 50,8%, също използваща основно твърди биогорива, вятърна и водна

енергия, а трета е Дания с 44,9%, като по-голямата част от възобновяемата ѝ енергия идва от твърди биогорива и вятър. Най-ниски дялове на възобновяема енергия са отчетени в Люксембург (11,6%), Белгия (14,7%) и Малта (15,1%).

Фигура 1: Дял на енергията от възобновяеми източници в общото потребление, 2023 (%)



Източник: Евростат

България е около средните за ЕС нива, като леко ги надвишава и бележи ръст през последните две години.

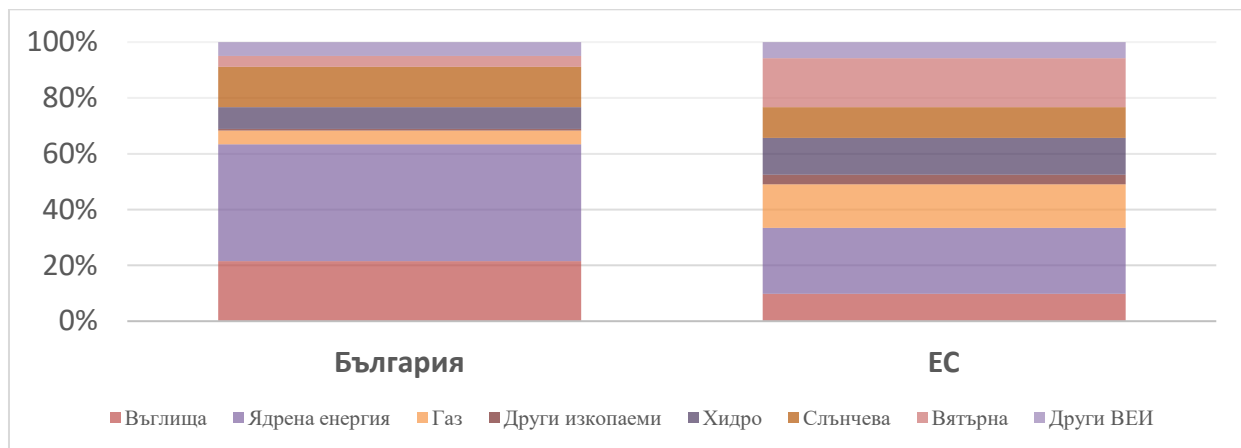
Държавите с най-голям ръст в изследвания индикатор за последните десет години са Швеция, следвана от Кипър и Естония. В Унгария за периода 2013-2023 почти няма измерение в дела на възобновяемата енергия, като нисък е ръстът в показатели и в Румъния и България.

България е една от държавите, за които преходът към зелена енергия е предизвикателство. Последните години се наблюдава съществен ръст в делът на вятърна и слънчева енергия, но страната тръгва от ниска база.

Данните показват изменение в енергийния микс в България. За последните десет години невъзобновяемите източници започват да бъдат измествани от възобновяеми. Въпреки това в страната зависимостта от изкопаеми горива е изключително голяма. Впечатление прави, че над 80% от горивните източници на електроенергия се формират от въглищата, които са сочени за един от най-големите замърсители на атмосферния въздух.

В контекста на производството на електрическа енергия от въглища, те формират около 10% от общия енергиен микс на Европейския съюз, докато България показва по-голяма зависимост от тях. Природния газ формира 16% от електрическото производство в ЕС и само 5% в България.

Фигура 2: Енергиен микс на България и ЕС, 2024 (%)



Източник: Ember

Следователно, ЕС демонстрира по-разнообразна и балансирана употреба на въглища, докато енергийният микс на България остава силно доминиран от въглища.

Ядрената енергия има централно значение в производство на електрическа енергия както в ЕС, така и в България. Въпреки това, нейното значение е значително по-голямо в българския контекст.

Хидроелектрическата енергия допринася с 13% за производството на електрическа енергия в ЕС, спрямо 8% в България, което отразява сравнително по-нисък капацитет на използване на хидроелектрически ресурси в страната. Слънчевата енергия формира 11% от микса на ЕС и 14% в България, като леко надвишава средното ниво за ЕС.

Вятърната енергия, която формира 18% от производството на електрическа енергия в ЕС, представлява само 4% в България. Тази значителна разлика показва неизползван потенциал за вятърна енергия в България. Други възобновяеми източници, като биомаса и геотермална енергия, съдържат 5,8% от енергийния микс на ЕС и 4,9% в България, като се наблюдава незначителна разлика.

В обобщение, България има по-високи относителни нива на въглища, ядрена енергия и слънчева енергия в сравнение със средното за ЕС. В същото време, ЕС

представя значително по-високи дялове на газ, вятър, хидроелектрическа енергия и други възобновяеми източници. Тези разлики подчертават структурните различия в енергийния микс на България и ЕС, с важни последици за бъдещите стратегии за енергийно диверсифициране и устойчивост.

Енергийният микс на България е доминиран от въглища и ядрена енергия. Слънчевата енергия се представя сравнително добре, но вятърната и хидроелектрическата енергия са слабо развити. България показва по-малко разнообразие в енергийната си структура и значителен потенциал за развитие на чисти технологии като вятърната и хидроелектрическата енергия в сравнение с ЕС-27.

3.2. Състояние на сектора за производство на енергия от фотоволтаични системи в България

България има висок потенциал за слънчево облъчване, особено в южната част на страната. Страната започна разширяването на възобновяемата енергия през 2007 г., като по-голямата част от нея беше водноелектрическа енергия. Инсталацията за слънчева енергия стартира през 2009 г. и достигна общо 100 мегавата (MW) през 2011 г., оттогава обаче по-новите инсталации са спрени с инсталирани само около 12 MW между 2013 и 2014 г. и капацитетът не се е увеличил много до 2020 г.

По данни на Хидрологията и метеорологията към Българската академия на науките (БАН) слънчевия енергиен потенциал на страната е около 12 995 милиона метрични тона нефтен еквивалент. Изчислено е, че страната никога не е използвала слънчевия капацитет до пълния му потенциал. Очаква се такъв висок потенциал да предостави на компаниите за слънчева енергия значителна възможност да се възползват от този пазар в бъдеще. Недостатъкът са по-високите разходи за инсталиране, които пречат на компаниите да навлязат на пазара. За да преодолее тази бариера, правителството актуализира своята политика за насърчаване на инвестициите.

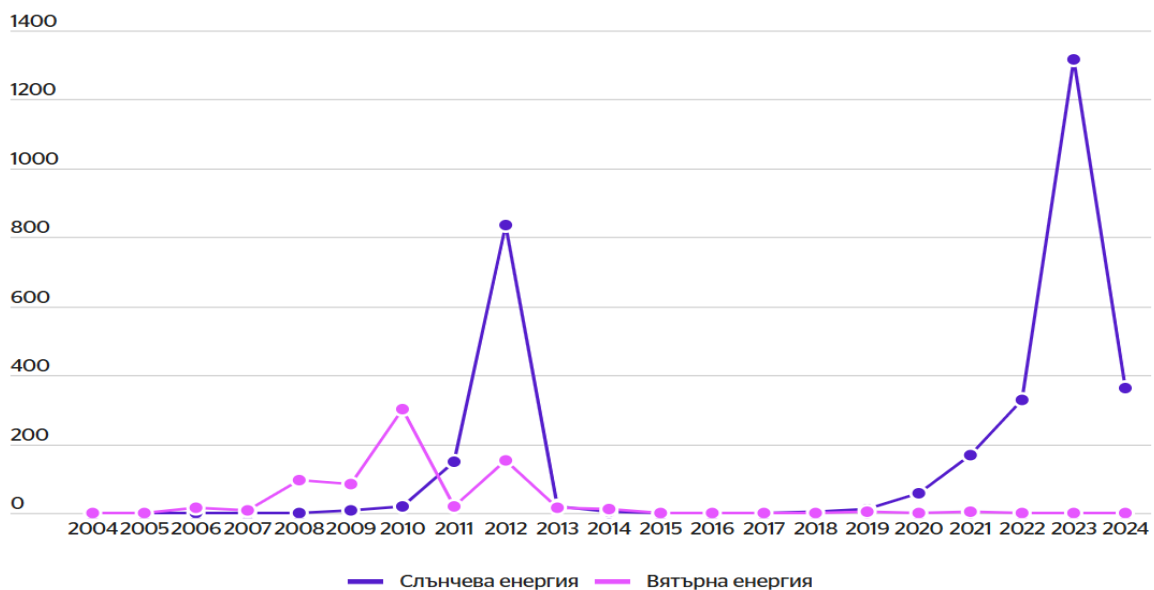
Данните за въведените мощности от слънчева и вятърна енергия показват разнопосочни тенденции.

Наблюдават се ясно изразени фази на растеж, стагнация и възраждане, които са тясно свързани с политиката, икономическите стимули и технологичната зрялост.

Разгръщането на слънчевата енергия в България може да бъде разделена на три етапа: (1) Начална фаза (2004–2010 г.): Този период се характеризира с минимално добавяне на капацитет. Бавното усвояване може да се обясни с високи инвестиционни разходи, ограничено технологично разпространение и липсата на целенасочени

национални схеми за подкрепа; (2) Втори етап (2011–2012 г.): Рязко увеличение се наблюдава през 2012 г., когато инсталираната мощност достигна приблизително 800 MW. Този скок съвпадна с въвеждането на преференциалните тарифи за производство и привеждането в съответствие с целите на Европейския съюз (ЕС) за възобновяема енергия (ЕС, 2010 г.); (3) Трети етап (2013–2024): След отмяната на субсидиите и регулаторните промени през 2013 г., слънчевите инсталации намаляха драстично и броят им остана нисък до 2020 г. От 2021 г. нататък обаче започна втора вълна на растеж, достигайки връх през 2023 г. с над 1300 MW нови мощности. Това възраждане е в съответствие със Зелената сделка на ЕС и увеличената наличност на нискобюджетни фотоволтаични (PV) технологии (IEA, 2023 г.). Промяната отразява стратегическия завой на България към слънчевата енергия като доминиращ стълб в усилията ѝ за декарбонизация.

Фигура 3 : Въведени нови ВЕИ мощности по години



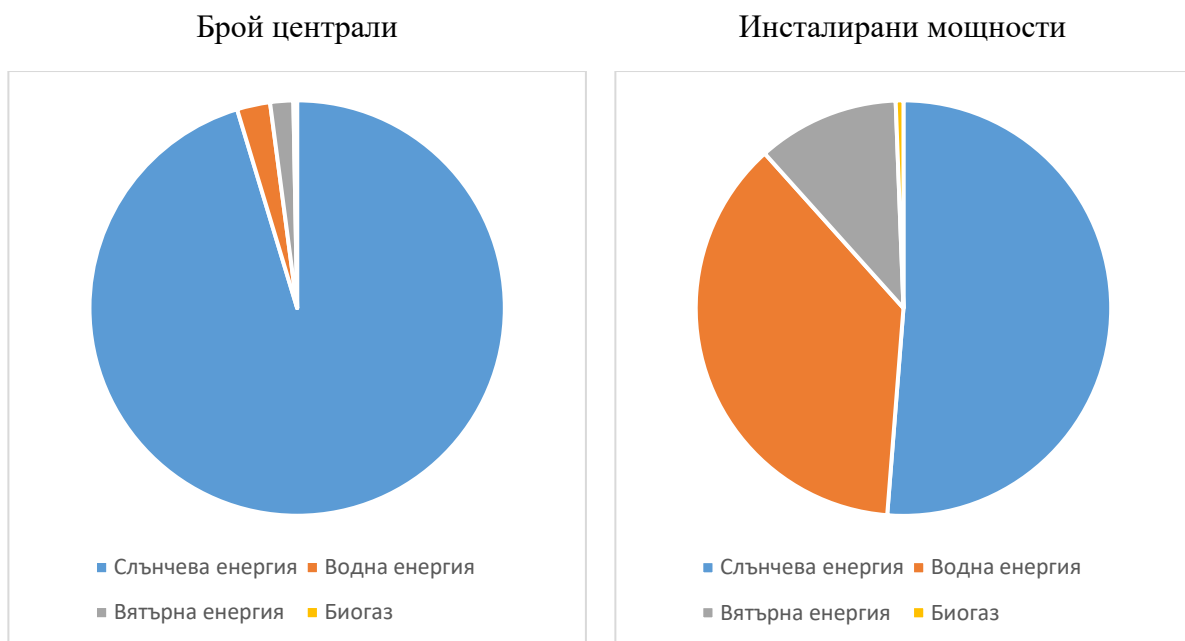
Източник: ИУЕР

За разлика от това, вятърната енергия в България преживя по-скромнен и по-кратък цикъл на растеж: Инсталациите за вятърна енергия нарастваха постоянно, достигайки връх през 2011 г. с около 250 MW. Този период отразява нарастващото доверие на инвеститорите във вятърните технологии и първоначалното внедряване на национални механизми за подкрепа. След 2011 г. добавянето на вятърни мощности рязко намаля и остана практически в застой. Няколко фактора могат да обяснят тази тенденция, включително ограничителни разпоредби за пространствено планиране, обществено

противопоставяне в определени региони и изместване на фокуса на политиката към слънчевите фотоволтаични системи (IRENA, 2022). Освен това, по-ниските коефициенти на капацитет и по-високите първоначални разходи може да са направили вятърните проекти по-малко привлекателни в сравнение със слънчевите алтернативи.

Контрастните тенденции в разгръщането на слънчевата и вятърната енергия отразяват по-широката динамика на енергийната политика в България. Доминирането на слънчевата енергия, особено след 2020 г., предполага стратегическо преориентиране към технологии, които предлагат по-кратки срокове за внедряване, намаляващи разходи и благоприятно съответствие с механизмите за финансиране от ЕС. Освен това данните подчертават критичната роля на регулаторната стабилност и пазарните стимули за стимулиране на инвестициите във възобновяема енергия.

Фигура 4: Брой ВЕИ централи в България и инсталирани мощности към 2024



Източник: ИУЕР

Броят на централи за ВЕИ свидетелства за огромно господство на слънчевата енергия, която представлява по-голямата част от инсталирания капацитет на възобновяеми източници. Това разпределение показва бързо внедряване на фотоволтаични системи в цялата страна, поради възможностите по линия Зелена сделка на ЕС и Националния план за възстановяване и устойчивост (Министерство на енергетиката, 2022 г.). Въпреки това, такава висока концентрация повдига въпроси

относно сезонната и дневната променливост, предвид непостоянния характер на производството на слънчева енергия.

От друга страна инсталираният капацитет показва по-балансиран принос към реалното производство на електроенергия. Докато слънчевата енергия все още държи най-голям дял, тя е следвана от водноелектрическата и вятърната енергия, като биогазът допринася минимално.

Това разминаване между инсталирания капацитет и действителното производство подчертава ключова реалност в енергийното планиране: капацитетът не се превръща директно в производство. Това подчертава значението на диверсифицирания енергиен микс. Въпреки че стратегията на България правилно е дала приоритет на внедряването на слънчева енергия поради нейната рентабилност, данните показват, че водната и вятърната енергия остават незаменими за поддържане на стабилността на мрежата и постигане на целогодишно снабдяване с възобновяема енергия.

Освен това, малката, но забележителна роля на биогаза подсказва за недоизползван ресурс с потенциал за растеж, особено в контекста на кръговата икономика и оползотворяването на селскостопанските отпадъци.

3.3. Емпиричен анализ на фотоволтаични проекти

В рамките на емпиричната част на изследването са разгледани четири фотоволтаични проекта, които отразяват различни инвестиционни модели, мащаби и цели на внедряване. Изборът на тези казуси позволява да се проследи как теоретичните постановки за устойчивост и икономическа ефективност се проявяват в реална среда, както и да се направи сравнителен анализ между различни типове фотоволтаични системи.

Първият разгледан случай представлява фотоволтаична електроцентрала с мощност 8,64 MW, насочена към производство и продажба на електроенергия. Анализът показва ясно изразена положителна динамика в икономическите резултати, като приходите нарастват значително – от 573 хил. лв. до 1 227 хил. лв. Същевременно проектът преминава от първоначална загуба в размер на –45 хил. лв. към печалба от 170 хил. лв. Тези резултати потвърждават, че мащабните инвестиции във фотоволтаични системи могат да постигнат висока икономическа ефективност, особено при благоприятни пазарни условия.

Вторият случай разглежда фотоволтаична система за собствено потребление с възможност за бъдеща продажба на излишната енергия. Тук основният ефект не се

изразява толкова в генерирането на директни приходи, а в намаляването на разходите за електроенергия. Анализът показва, че системата покрива около 30–40% от енергийното потребление на предприятието, което води до повишаване на енергийната независимост и подобряване на разходната ефективност. Този модел се отличава с по-нисък риск, тъй като е по-слабо зависим от пазарните колебания.

Третият разгледан казус включва малка фотоволтаична централа с мощност 50 kWp, ориентирана изцяло към продажба на електроенергия. Резултатите показват, че проектът е устойчив при различни сценарии, като вътрешната норма на възвръщаемост варира между 6% и 22%, а срокът на откупуване е в диапазона от 5 до 10 години. Това показва, че дори малките по мащаб проекти могат да бъдат икономически оправдани, макар и с по-висока чувствителност към външни фактори.

Четвъртият случай представя фотоволтаичен проект с мощност 500 kW, който също е ориентиран към продажба на електроенергия. Този проект демонстрира най-висока доходност сред анализиранияте казуси, като вътрешната норма на възвръщаемост достига 10–27%, а срокът на откупуване е между 4 и 9 години. Това потвърждава, че средните по мащаб проекти могат да постигнат оптимален баланс между инвестиционен риск и възвръщаемост.

Таблица 2: Обобщение на изследваните проекти

Случай	Тип проект	Мощност	Основна цел	Финансови резултати	Ключови изводи
Случай 1	ФТЕЦ (голям проект)	8,64 MW	Продажба на електроенергия	Приходи: 573 → 1 227 хил. лв.; от загуба към печалба	Висока доходност, силна зависимост от пазара
Случай 2	Собствено потребление	-	Намаляване на разходи	Покрива 30–40% от потреблението	По-нисък риск, висока енергийна независимост
Случай 3	Малка ФЕЦ	50 kWp	Продажба	IRR: 6–22%; PBP: 5–10 г.	Устойчив проект, но чувствителен към фактори
Случай 4	Средна ФЕЦ	500 kW	Продажба	IRR: 10–27%; PBP: 4–9 г.	Най-висока доходност, добър баланс риск–възвръщаемост

Източник: Собствено проучване на база предоставена информация от фирмите

Обобщено, емпиричният анализ показва, че фотоволтаичните инвестиции са икономически жизнеспособни и притежават значителен потенциал за устойчиво

развитие. В същото време резултатите ясно демонстрират, че тяхната ефективност зависи от редица фактори, сред които мащабът на проекта, избраният бизнес модел, пазарната конюнктура и природните условия. Проектите за собствено потребление осигуряват по-голяма стабилност и предвидимост, докато тези, ориентирани към продажба на електроенергия, предлагат по-висока доходност, но са свързани с по-голям риск. В този контекст успешното внедряване на фотоволтаични системи изисква балансиран подход, който отчита както икономическите, така и технологичните и пазарните параметри.

ЧЕТВЪРТА ГЛАВА: ПЕРСПЕКТИВИ ПРЕД РАЗВИТИЕТО НА СОЛАРНАТА ЕНЕРГИЯ

Четвъртата глава надгражда извършения в предходните части теоретичен и емпиричен анализ, като поставя акцент върху бъдещите перспективи за развитие на слънчевата енергия и формулирането на приложими концептуални модели за устойчиво внедряване на фотоволтаични системи. В контекста на задълбочаващия се енергиен преход и нарастващото значение на възобновяемите енергийни източници, фотоволтаичните технологии се утвърждават като ключов елемент от стратегиите за декарбонизация и повишаване на енергийната независимост.

Анализът се основава на стратегическите документи на Европейския съюз, в частност Европейската зелена сделка и интегрираните национални планове в областта на енергетиката и климата, както и на резултатите от емпиричното изследване на инвестиционни проекти, разгледани в трета глава . В този смисъл, четвъртата глава изпълнява синтезираща функция, като извежда модели, които съчетават икономическа ефективност, технологична приложимост и институционална съвместимост.

4.1. Стратегически контекст и роля на фотоволтаичните системи

В рамките на Европейския съюз, развитието на възобновяемата енергия е пряко обвързано с целите за климатична неутралност до 2050 г. и намаляване на емисиите на парникови газове. България, като част от този процес, следва да увеличи значително дела на ВЕИ в енергийния си микс, като слънчевата енергия се разглежда като един от най-значимите ресурси поради благоприятните природни условия и относително ниските технологични бариери.

Интегрираният план в областта на енергетиката и климата (ИНПЕК) очертава ясни приоритети, свързани с ускорено внедряване на фотоволтаични мощности, развитие

на децентрализирани системи и стимулиране на инвестициите в енергийна ефективност. В този контекст фотоволтаичните системи не са просто технологично решение, а инструмент за структурна трансформация на енергийния сектор.

4.2. Концептуални модели за устойчиво развитие на фотоволтаичните системи

Въз основа на анализа на инвестиционните проекти и на съществуващите пазарни и регулаторни условия се идентифицират три основни концептуални модела, които определят начина на функциониране и икономическата логика на фотоволтаичните системи.

Модел на самопотребление

Моделът на самопотребление е насочен към покриване на вътрешното енергийно потребление на предприятията или домакинствата. Неговата основна икономическа логика се базира на намаляване на разходите за електроенергия, а не на генериране на приходи.

Резултатите от емпиричния анализ показват, че този модел позволява покриване на значителен дял от потреблението (30–40%), което води до стабилизиране на разходите и намаляване на зависимостта от външни доставчици. Това го прави особено подходящ в условия на висока ценова волатилност на електроенергията.

В същото време, ограниченията на модела са свързани с невъзможността за ефективна реализация на излишната енергия, което ограничава потенциала за генериране на допълнителни приходи.

Хибриден модел

Хибридният модел представлява комбинация между самопотребление и продажба на електроенергия. Част от произведената енергия се използва за вътрешни нужди, а излишъкът се реализира на пазара.

Този модел се характеризира с по-висока гъвкавост и позволява оптимизиране както на разходите, така и на приходите. От гледна точка на инвестиционната ефективност, той съчетава предимствата на двата крайни модела и осигурява по-добро разпределение на риска.

Недостатъкът му е свързан с по-високите първоначални инвестиции, особено при необходимост от внедряване на системи за съхранение на енергия и интелигентно управление.

Feed-in модел (модел за продажба)

Моделът, ориентиран изцяло към продажба на електроенергия, се прилага основно при по-големи фотоволтаични проекти. Неговата основна цел е генериране на приходи чрез участие на енергийния пазар.

Емпиричните резултати от трета глава показват високи нива на доходност при този модел, включително значителни стойности на вътрешната норма на възвръщаемост и сравнително кратки срокове на откупуване . Това го прави особено привлекателен за инвеститори.

Основният риск обаче е свързан със зависимостта от пазарните цени, регулаторната рамка и достъпа до електропреносната мрежа.

Таблица 3: Сравнителна характеристика на концептуалните модели

Модел	Основна цел	Ключово предимство	Основен риск / ограничение
Самопотребление	Покриване на собствено потребление	Намалява разходите и зависимостта от мрежата	Ограничени приходи от излишъци
Хибриден модел	Баланс между потребление и продажба	Гъвкавост и устойчивост	По-висок CAPEX
Feed-in модел	Продажба на електроенергия	Висока доходност и парични потоци	Пазарен и регулаторен риск

Източник: Собствено проучване на база експертни оценки

Сравнителният анализ показва, че изборът на модел следва да бъде съобразен със специфичните характеристики на проекта, включително неговия мащаб, структура на потребление и пазарна среда.

4.3. Децентрализирани модели и иновации

В допълнение към традиционните концептуални модели, съвременните тенденции в развитието на фотоволтаичните системи включват децентрализирани решения като енергийни общности и агрофотоволтаици .

Селските райони трябва се възползват от новите икономически възможности от възобновяемата енергия (ЕС, 2021). Възобновяемите енергийни източници са много подходящи за децентрализирано и местно производство на енергия чрез увеличаване на броя на дребномащабни енергийни проекти за насърчаване на устойчиво производство на енергия (Caramizaru et al., 2020).

В тази връзка се появява концепцията за енергийни общности, която се формира през 90те години , но влиза в политическия дневен ред през последните години .Директива (ЕС) 2018/2001) и Директивата за пазара на електроенергия (EMD, Директива (ЕС) 2019/944) добавиха нови правила за пазара на електроенергия, за да позволят на Европа за да постигне целите си в областта на климата и енергията и да даде възможност за по-активни участие на граждани, публични органи и малки и средни предприятия (МСП) чрез енергийни общности. Правото на ЕС признава два типа модели: енергийни общности и гражданската енергийна общност в EMD (RECAH, 2023a; Abouaiana, 2022).

Общностите за възобновяема и гражданска енергия биха могли да допринесат за енергийния преход в съответствие с инициативите и целите на Зелената сделка. Те биха могли да играят особено роля в производството на възобновяема енергия и насърчаване на енергийната ефективност (RECAH, 2023a, 2023b), включително обновяване на сгради. Енергийните общности включват ангажиране на местните власти, предприятия и граждани, заедно с интегрирането на ключови политики, свързани с Общата селскостопанска политика, развитието на селските райони и модернизацията на фермите. Активното участие на местните власти и гражданите и прилагането на местните планове за развитие могат да помогнат на селските райони да не бъдат изоставени, като насърчат справедлив и приобщаващ енергиен преход. Добре проектираните енергийни общности могат да помогнат за улесняване на достъпа до стабилни и достъпни цени и да гарантират енергийна автономност, устойчивост и сигурност.

Най-общо ползите от енергийните общности са систематизирани от докладите н JRC (2020) и IRENA (2021). Те включват:

- Социално-икономически ползи
- Енергийна и финансова сигурност
- Участие на гражданите във вземането на решения:
- Осведоменост и мобилизация

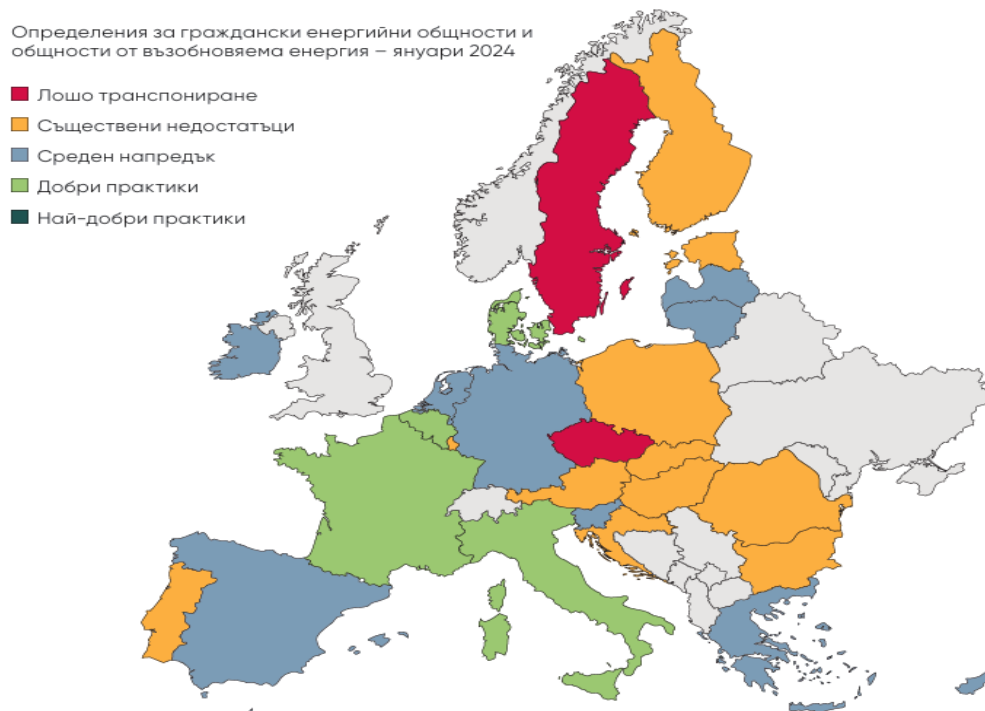
Енергийните общности служат като местни инкубатори за климатична грамотност и устойчивост. Те често си сътрудничат с училища, неправителствени организации и общини, като по този начин умножават мобилизационния си ефект (IRENA, 2021 г.).

Политическите инициативи и регулаторните рамки на ЕС подкрепят развитието на децентрализирани енергийни системи и в различна степен те са транспонирани в националните политики на държавите членки.

От държавите членки се очаква да насърчават прехода към чиста енергия чрез налични или нови схеми за подпомагане, като гарантират, че енергийните общности могат да участват наравно с по-големите играчи на пазара на електроенергия.

Въпреки това много европейски страни, включително България, са изправени пред предизвикателства при ефективното прилагане на законите, които насърчават ВЕИ.

Фигура 5: Оценка на усилията на държавите членки за разработване на благоприятна рамка за ВЕИ към януари 2024 г.



Източник: REScoop.EU

Агрофотоволтаичните системи се утвърждават като иновативен модел за двойно използване на земята, съчетаващ селскостопанско производство и генериране на възобновяема енергия. Според *Solar Europe Handbook (2024)* те създават допълнителни доходи, работни места и данъчни приходи за земеделските стопанства, като същевременно намаляват енергийните разходи и зависимостта от колебливите цени на електроенергията. Съществено предимство е способността им да повишават устойчивостта на земеделието към климатични рискове, включително суша, високи температури, наводнения и градушки, чрез засенчване, намалено изпарение и по-добро водозадържане.

Изследването систематизира три основни бизнес модела: модел, при който енергийният производител притежава и управлява фотоволтаичната система; модел на собственост и управление от страна на фермера; и модел на съвместна собственост. Най-разпространен е първият модел, тъй като позволява поемане на финансовите и техническите рискове от специализиран инвеститор, докато фермерът запазва приходите от земеделската дейност. Съвместната собственост се очертава като перспективен и приобщаващ модел, особено в контекста на енергийни кооперации и общностни инициативи.

За България потенциалът на агрофотоволтаиците е значителен, особено в южните и централните райони, но развитието им остава ограничено от рестриктивна правна рамка, сложни административни процедури, липса на специфични стимули и ограничен мрежови капацитет. Това налага законодателни промени, въвеждане на целеви финансови инструменти, пилотни проекти и ясни правила за достъп до мрежата. При наличие на такава институционална подкрепа агрофотоволтаиците могат да се превърнат в ключов инструмент за устойчив енергиен преход и развитие на селските райони в България.

4.4. Институционални прогнози за развитието на възобновяемата енергия в ЕС и България

Докладът на Ember очертава три основни сценария за развитието на възобновяемата енергия в Европа и България: нормативен, технологично ориентиран и сценарий на системна промяна. Нормативният сценарий следва действащите правителствени планове до 2035 г. и се характеризира с най-ниско ниво на амбиция, като след този период развитието се моделира към нетно нулеви емисии и минимални разходи до 2050 г. Технологично ориентираният сценарий предвижда по-бърза електрификация, по-високи енергийни спестявания и достигане на нетно нулева енергийна система до 2050 г., като допуска инвестиции в нова ядрена енергия и улавяне на въглерод.

Най-амбициозен е сценарият на системна промяна, който предвижда нетно нулева енергийна система още до 2040 г., ускорено извеждане на въглищата до 2030 г., на другите изкопаеми горива до 2035 г., както и по-значителни енергийни икономии в резултат от поведенчески промени и прилагане на принципите на кръговата икономика.

Според анализа, общото производство на електроенергия в Европа до 2035 г. нараства съществено при двата по-амбициозни сценария, а дялът на чистата енергия достига 94% при технологичния сценарий и 96% при системната промяна, докато при

нормативния сценарий е около 86%. Вятърната и слънчевата енергия се превръщат в доминиращи източници на електроенергия, като комбинираният им дял достига 52% в нормативния сценарий, 68% в технологичния и 78% в сценария на системна промяна.

Фигура 6 : Характеристики на трите сценария



Източник: Базирано на EMBER, 2022

България е сред страните с висок потенциал за развитие на слънчевата енергия, но националните цели и политики остават недостатъчно амбициозни и не позволяват пълно използване на този ресурс.

Анализът показва, че Европа трябва значително да ускори темповете на въвеждане на нови вятърни и соларни мощности, тъй като при нормативния сценарий до 2035 г. ще бъдат осигурени едва 45–65% от необходимия комбиниран капацитет. Това подчертава необходимостта от по-амбициозни национални политики и по-целенасочени инвестиции, особено в страни като България, където има силна икономическа и ресурсна основа за разширяване на чистата енергия.

Четвъртата глава доказва, че устойчивото развитие на фотоволтаичните системи изисква интегриран подход, който съчетава различни концептуални модели и отчита специфичните характеристики на всяка инвестиция. Анализът показва, че няма универсално оптимално решение, а ефективността зависи от правилната комбинация между технологични, икономически и институционални фактори.

III. ИЗВОДИ И ПРЕПОРЪКИ

На база на проведеното проучване и направения анализ, може да се открият следните основни изводи:

- Енергийният сектор е ключов за икономическото развитие и оказва сериозно въздействие върху околната среда. Изследването показва, че енергията не е просто физически ресурс, а стратегическа детерминанта, която оформя икономическия растеж, индустриалната структура и геополитическата стабилност. В исторически план индустриализацията, глобализацията и урбанизацията са съпроводени от нарастваща зависимост от енергийните ресурси, предимно изкопаеми горива. Това поражда редица екологични и социални външни ефекти, включително климатични промени, замърсяване и социално неравенство в достъпа до ресурси.
- Нарастващото потребление и изчерпаемостта на невъзобновяемите ресурси налагат преход към устойчив енергиен сектор, основан на декарбонизация, ефективност и децентрализация. В тази връзка, концепцията за устойчиво развитие заедно с нейните цели, Парижкото споразумение за климата и Зелената сделка задават нормативната рамка на този преход.
- Възобновяемите източници може да се разглеждат като основа за енергийната трансформация. Важна роля в тази насока играе слънчевата енергия, която предлага висока енергийна сигурност, ниски външни разходи и потенциал за иновативни бизнес модели, включително енергийни кооперативи и агрофотоволтаични решения.
- Съществена роля за развитието на фотоволтаичната енергия играе законодателната рамка. Политики като Зелената сделка, REPowerEU, RED III, както и стратегиите за декарбонизация, дефинират амбициозни цели и предоставят механизми за тяхното постигане.
- Възобновяемата енергия е основен фактор за прехода на ЕС към устойчива икономика с ниски въглеродни емисии. Напредъкът към целта за 2030 г. от поне 42,5% допринася за намаляване на парниковите газове, увеличава енергийната сигурност и създава зелени работни места. За България преходът към възобновяема енергия е приоритет, като въпреки че делът ѝ е по-нисък от средния за ЕС, инвестициите в слънчеви технологии водят до напредък. Страната разполага с неизползван потенциал в слънчевата и вятърната енергия, което може

да укрепи енергийната независимост и регионалното развитие. Интеграцията на възобновяемата енергия е ключова за постигане на климатичните цели и намаляване на зависимостта от внос на изкопаеми горива.

- Приносът на слънчевата енергия в енергийния микс на ЕС постоянно расте, благодарение на технологичния напредък и подкрепящите политики за възобновяема енергия. В страни като Германия, Испания и Италия слънчевата енергия се утвърди като основен елемент в прехода към чиста енергия.
- Енергийният микс на България е основно зависим от въглища и ядрена енергия. Слънчевата енергия е добре развита, но вятърната и хидроелектрическата енергия изостават. България има по-малко диверсифицирана структура и значителен потенциал за развитие на чисти технологии.
- Пазарът на слънчева енергия в България расте, но все още е изправен пред структурни бариери. Въпреки постоянното увеличение на инсталирания капацитет и инвеститорския интерес, пазарът на слънчева енергия в България остава слабо развит в сравнение с този в ЕС. Изследването разкрива, че това се дължи до голяма степен на административни пречки, регулаторна несигурност и ограничен капацитет на мрежата. Въпреки че общият потенциал на слънчевата енергия в България е значителен, реализирането му ще изисква както правни реформи, така и целенасочени финансови стимули.
- Селските райони крият нереализирани перспективи за развитие на слънчевата енергия. Анализът подчертава неизползвания потенциал на селските райони в ЕС и България за реализиране на соларни проекти. Проучването предполага, че съобразените политики и механизми за подкрепа на развитието на слънчевата енергия в селските райони биха могли да стимулират местните икономики, като същевременно подкрепят националните цели за климата.
- Анализиранияте случаи демонстрират разнообразието от инвестиционни проекти за слънчева енергия в България – от малки системи за собствено потребление до големи проекти. Тези проучвания разкриват, че финансовите резултати са силно зависими от фактори като размер на проекта, достъп до финансиране, местно търсене на електроенергия и условия за свързване към мрежата.
- Проектите, ориентирани към собствено потребление, предлагат дългосрочни спестявания и енергийна автономност. Проектите, предназначени предимно за продажба, показват по-нисък първоначален риск и по-стабилна възвръщаемост.

- Големите соларни паркове, построени за износ на електроенергия към мрежата, са по-изложени на пазарни рискове и технически пречки, като например ограничен капацитет на мрежата. Тези проекти също така се сблъскват с по-дълги срокове за издаване на разрешителни и по-високи първоначални разходи. Констатациите показват, че подобряването на достъпа до мрежовата инфраструктура, опростяването на разрешителните са от съществено значение за разширяването на този сегмент от фотоволтаичния пазар.
- Открити са различни сценарии, на база на които се чертаят и различни тенденции в развитието на възобновяемата енергия в Европа и в частност в България. Нормативният сценарий следва съществуващите национални енергийни планове до 2035 г. и е свързан с най-ниски амбиции. Целта е нулеви емисии в енергийния сектор и минимални разходи до 2050 г. Технологично ориентираният път предвижда енергийна система с нулеви емисии до 2050 г., с по-бърза електрификация и по-високи енергийни икономии в сравнение с нормативния сценарий. Този път позволява инвестиции в нова ядрена енергия и технологии за улавяне на въглерод, без задължителни цели за възобновяеми източници. Пътят на системната промяна е най-амбициозен, с цел нулеви емисии до 2040 г. и значителни икономии чрез промяна на поведението и кръговата икономика. Въглицата се премахват до 2030 г., а други изкопаеми горива до 2035 г. Електрификацията на транспорта също е ускорена. Трите сценария описват различни траектории и възможности пред европейската икономика.
- Интегрираният национален план за енергия и климат се нуждае от по-амбициозни перспективи. Той предоставя рамка за съгласуване на енергийната политика на България с климатичните цели на ЕС. Анализът обаче разкрива, че настоящите му ориентири са под амбицията, изисквана съгласно пакета на ЕС „Готови за 55-те“. Освен това, планът не съдържа подробни механизми за изпълнение, особено за внедряването на слънчева енергия. Засилването на секторната интеграция, съгласуването на финансирането и политиките ще бъдат ключови за изпълнението на дългосрочните ангажименти на България за декарбонизация.
- Децентрализираните енергийни модели предлагат път към енергийна сигурност и устойчивост. Възходът им под формата на енергийни общности, потребители-потребители и общински енергийни кооперации представлява промяна на парадигмата в енергийната система. Изследването подчертава техния потенциал

за подобряване на достъпа до енергия, насърчаване на ангажираността на гражданите и повишаване на местната енергийна устойчивост. Участието на общините и гражданското общество в развитието на слънчевата енергия може също да реши въпроси, свързани със социалното приемане, и да насърчи справедливите енергийни преходи, особено в селските и пост-въглищните региони.

- Енергийните общности са критичен, но недостатъчно използван политически инструмент. Проучването на пилотни инициативи като „Енергийна общност Габрово“ и „Изгрей БГ“ демонстрира жизнеспособността на ръководени от гражданите слънчеви проекти в България. Тези случаи разкриват, че енергийните общности могат да мобилизират местни инвестиции, да повишат осведомеността и да осигурят икономически ползи за домакинствата и малкия бизнес. Липсата на ясни правни дефиниции, процедури за регистрация и механизми за финансова подкрепа обаче възпрепятства възпроизвеждането на такива модели.
- Агроефективните представляват пресечна точка на енергетиката и селското стопанство. Те предлагат ползи от производството на чиста енергия и устойчиви аграрни модели. Изследването подчертава тяхната значимост в българския контекст, където обезлюдяването на селските райони е належащ проблем. Въпреки това, остават предизвикателства, включително регулаторни пропуски, липса на финансови стимули и правни ограничения, наложени от Конституционния съд върху използването на обработваема земя за фотоволтаични системи.
- Едно от най-значимите предизвикателства пред развитието на слънчевата енергия е ограниченият капацитет на преносните и разпределителните мрежи. Много региони в България са изправени пред точки на насищане, които възпрепятстват нови фотоволтаични връзки. Стратегически инвестиции в дигитализирана, гъвкава и интелигентна мрежова инфраструктура са необходими, за да се абсорбира разпределеното производство, да се подобри стабилността на мрежата и да се даде възможност за споделяне на енергия между производители и потребители.
- България трябва да приведе траекторията си на слънчевата енергия в съответствие с приоритетите на Зелената сделка на ЕС. развитието на слънчевата енергия в

България не трябва да се разглежда изолирано, а като централен компонент на по-широк зелен преход.

- Дисертацията доказва, че устойчивото производство на електроенергия от фотоволтаични системи е не просто технологична възможност, а стратегически приоритет за България и ЕС. Устойчивостта изисква холистичен подход – съчетаващ подходяща регулация, достъп до финансиране, участие на местните общности и стабилен пазар.
- Изследователската теза се потвърждава, като резултатите от анализа показват, че устойчивото производство на електроенергия от фотоволтаични системи в България е възможно при наличие на технологична ефективност, икономическа рентабилност и адекватна институционална подкрепа.

На база на проведеното изследване може да се открият следните препоръки:

1. Засилване на съгласуваността на политиките с целите на ЕС в областта на климата и енергетиката

За да се гарантира дългосрочна устойчивост, трябва да съгласуват националните си цели за внедряване на фотоволтаични системи с общите рамки на ЕС, свързани с Европейската зелена сделка, „Fit for 55“ и REPowerEU. В България националните стратегии трябва да отразяват актуализираната Директива за възобновяема енергия (RED III), която изисква дял на възобновяемата енергия в целия ЕС от поне 42,5% до 2030 г. Конкретни пътни карти с обвързващи междинни етапи за внедряване на слънчева енергия са от съществено значение за осигуряване на съответствие и устойчив напредък.

2. Улесняване на интеграцията и модернизацията на мрежата

Разширяването на фотоволтаичния капацитет трябва да бъде съпроводено с инвестиции в мрежова инфраструктура. Това включва повишаване на капацитета, гъвкавостта и цифровизацията на преносните и разпределителните мрежи, за да се осигури променливо производство на слънчева енергия. В България настоящото пренасищане на мрежата и липсата на прозрачност в процедурите за свързване представляват основни пречки. Националните оператори трябва да въведат стандартизирани и дигитализирани процеси за издаване на разрешителни.

3. Насърчаване на децентрализирани енергийни системи и енергийни общности

Децентрализираните слънчеви инсталации, включително фотоволтаични системи на покриви и енергийни общности, предлагат устойчивост и местна отговорност. ЕС трябва да насърчи държавите членки да:

- Опростят регулаторните рамки за потребителските производители и кооперациите;
 - Гарантират приоритетен достъп до мрежата и справедливо възнаграждение за споделена енергия;
 - Въведат финансови инструменти, съобразени с гражданите, МСП и общините.
- България трябва изцяло да транспонира правните определения и защиты на ЕС за енергийните общности, като същевременно се справя с правните пропуски, свързани с регистрацията, достъпа до мрежата и механизмите за подкрепа.

4. Стимулиране на агрофотоволтаиците

Тези системите представляват устойчив модел на земеползване, съчетаващ селско стопанство и производство на енергия. На ниво ЕС се препоръчва:

- Да се преразгледат политиките за земеползване, за да позволят контролирано разполагане на фотоволтаични системи върху земеделски земи;
- Да се подкрепят пилотни проекти като различат на финансова подкрепа по линия на ОСП;
- Финансиране на научноизследователска и развойна дейност

В България, последните решения на Конституционния съд, ограничаващи фотоволтаичните системи върху обработваема земя, трябва да бъдат преразгледани в светлината на нововъзникващите европейски най-добри практики.

5. Осигуряване на финансова достъпност и равенство

Устойчивото производство на слънчева енергия изисква широк достъп до финансиране. Ключовите препоръки включват:

- Разширяване на нисколихвените заеми и субсидиите;
- Приоритизиране на уязвимите групи и домакинствата с ниски доходи в схемите за подкрепа;
- Въвеждане на фискални стимули за собствено потребление и системи за съхранение.

България трябва да рационализира достъпа до фондове на ЕС за общински, кооперативни и жилищни фотоволтаични инициативи.

6. Опростяване и ускоряване на административните процедури

Административните бариери са често срещано предизвикателство в целия ЕС. В тази връзка се препоръчва:

- Да въведат цифрови платформи за издаване на разрешителни на едно гише;
- Да определят законови срокове за всяка фаза от процеса на одобрение на проекти;
- Да предоставят на общините ресурси за изграждане на капацитет.

В България забавянията при издаването на екологични разрешителни и неясните отговорности между институциите обезкуражават частните инвестиции. Следва да се създаде национален координиращ орган за хармонизиране на разрешителните.

7. Насърчаване на технологичните иновации и развитието на работната сила

Устойчивият растеж на фотоволтаичната индустрия разчита на непрекъснати иновации. Препоръките включват:

- Подкрепа за усъвършенствани фотоволтаични технологии;
- Инвестиции в системи за съхранение на енергия и хибридни фотоволтаични системи;
- Разработване на образователни и обучителни програми за соларни техници, инженери и проектантите.

В България държавните университети и центровете за професионално обучение трябва да бъдат интегрирани в националните стратегии за развитие на слънчевата енергия, за да се справи с недостига на умения.

В обобщение, резултатите от изследването потвърждават, че стремежът към енергийна независимост, екологична устойчивост и засилено внедряване на възобновяеми енергийни източници представлява стратегически приоритет за България. Благоприятното географско положение на страната и значителният слънчев потенциал създават предпоставки за развитие на фотоволтаични системи като устойчив инструмент за декарбонизация на енергийния сектор и повишаване на енергийната сигурност.

Фотоволтаичните технологии се утвърждават като гъвкаво и ефективно решение, благодарение на своята модулност и възможност за приложение в различни мащаби – от домакинства до индустриални проекти. Въпреки това, тяхното внедряване е свързано със

значителни първоначални инвестиции, което изисква прецизно планиране, икономическа оценка и оптимален избор на технологични и пазарни параметри.

В този контекст, разработването и прилагането на интегрирана методологична рамка за анализ на инвестиционни проекти се явява ключов фактор за повишаване на ефективността и устойчивостта на фотоволтаичните инициативи. Съчетаването на технологични, икономически, институционални и екологични аспекти е необходимо условие за реализиране на пълния потенциал на слънчевата енергия.

В резултат на проведеното изследване може да се заключи, че фотоволтаичните системи представляват не само технологична възможност, но и стратегически инструмент за преход към нисковъглеродна икономика, като тяхното успешно развитие зависи от последователна политическа подкрепа, подобрена регулаторна среда, достъп до финансиране и активното участие на местните общности.

Изследователската теза се потвърждава в значителна степен, като анализът показва, че устойчивото производство на електроенергия от фотоволтаични системи в България е възможно при наличие на технологична ефективност, икономическа рентабилност и адекватна институционална подкрепа.

IV. ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Научно-теоретични приноси

- Разработена е интегрирана теоретична рамка за анализ на устойчивостта на фотоволтаичните системи, която обединява икономически, технологични и институционални измерения и допринася за разширяване на съществуващите научни подходи към оценката на възобновяемите енергийни източници.
- Систематизирани и обогатени са теоретичните постановки относно ролята на възобновяемите енергийни източници в контекста на устойчивото развитие, като е аргументирана тяхната значимост за енергийния преход, икономическата ефективност и климатичната неутралност в рамките на Европейския съюз.
- Обоснована е концептуална типология на моделите за функциониране на фотоволтаичните системи, като са изведени техните структурни характеристики, икономическа логика и специфични рискови профили.
- Разкрита е взаимовръзката между избрания модел на експлоатация и икономическата ефективност на фотоволтаичните инвестиции, като се доказва, че различните модели генерират съществени различия в показателите за доходност, риск и финансова устойчивост.
- Развито е теоретичното разбиране за децентрализираните енергийни системи като елемент на устойчивия енергиен преход, включително чрез концептуализиране на ролята на енергийните общности и агрофотоволтаичните решения.

2. Научно-приложни приноси

- Осъществен е емпиричен анализ на реални инвестиционни проекти във фотоволтаични системи в България, обхващащ различни мащаби и експлоатационни модели, което позволява оценка на тяхната икономическа жизнеспособност и устойчивост.
- Разработен е приложим методически инструментариум за оценка на инвестиции във фотоволтаични системи, базиран на анализ на парични потоци и използване на динамични показатели за ефективност, адаптиран към спецификите на енергийния сектор.
- Идентифицирани и систематизирани са ключовите фактори, влияещи върху ефективността на фотоволтаичните проекти, включително пазарни, технологични

и природни детерминанти, което допринася за по-прецизна инвестиционна оценка.

- Предложени са концептуални модели за избор на инвестиционна стратегия при внедряване на фотоволтаични системи, които могат да бъдат използвани от икономически субекти и публични институции при вземане на управленски решения.
- Формулирани са практически насоки за усъвършенстване на политиките и регулаторната рамка, насочени към стимулиране на инвестициите във възобновяема енергия и повишаване на ефективността на енергийния сектор.

V. ПУБЛИКАЦИИ, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Лавчиев, С., 2023. Перспективи и предизвикателства пред използването на възобновяеми енергийни източници. *Scientific Works of the Agricultural University, Plovdiv*, 65(1), pp. 136-143
2. Hristov, K., Beluhova-Uzunova, R., Atanasov, D., Lavchiev, S., Mrankov, G., 2024. Green deal and solar energy-prospects for Bulgarian rural areas. *Scientific Papers Series Management, Economic Engineering in Agriculture & Rural Development*, 24(2).pp. 529-536
3. Lavchiev, S. and Beluhova-Uzunova, R., 2025. Solar energy in rural areas: potential and challenges. *Trakia Journal of Sciences*, 23(Supplement 2), pp.290-297