



# ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ-ГАБРОВО

Факултет „Електротехника и електроника”

Катедра “Електроснабдяване и електрообзавеждане”

маг. инж. Елизабета Трайко Арсова

## АНАЛИЗ НА ВЪЗМОЖНОСТИТЕ ЗА ВНЕДРЯВАНЕ НА НОВИ ФОТОВОЛТАИЧНИ ЕЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ В ЕЛЕКТРОЕНЕРГИЙНАТА СИСТЕМА НА РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА

### А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд за присъждане  
на образователна и научна степен “доктор”

Област на висше образование: 5. Технически науки  
Професионално направление: 5.2. Електротехника, електроника и автоматика  
Докторска програма: Електроснабдяване и електрообзавеждане

Научен ръководител: доц. д-р инж. Пламен Ценков Цанков

#### Рецензенти:

1. проф. д-р инж. Ивайло Стефанов Стоянов
2. проф. д-р инж. Васил Димитров Димитров

гр. Габрово

2024 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за официална защита на заседание на Разширен катедрен съвет на катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане” към факултет „Електротехника и електроника” на Технически университет – Габрово, проведен на 24.01.2024 г.

Дисертационният труд съдържа 172 страници. Научното съдържание е представено в увод, пет глави и заключение, включва: 100 фигури и 29 таблици. Цитирани са 96 литературни източника и 43 Интернет адреса. Номерацията на фигурите, таблиците и формулите в автореферата е в съответствие с тази в дисертацията.

Изследванията по дисертационния труд са извършени в катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане” към факултет „Електротехника и електроника” на Технически университет – Габрово и на територията на град Габрово.

Официалната защита на дисертационния труд ще се състои на 26.04.2024 г. от 13 ч. в зала 2603, сграда Учебен корпус 2А (Баждар) на Технически университет – Габрово.

Материалите по защитата са на разположение за интересуващите се в кабинет 3209, корпус №3 Ректорат на Технически университет – Габрово.

Рецензиите и становищата на членовете на научното жури и авторефератът са публикувани на сайта на университета: [www.tugab.bg](http://www.tugab.bg).

© Елизабета Трайко Арсова – автор, 2024

e-mail: elizabetaarsova123@gmail.com

Заглавие: Анализ на възможностите за внедряване на нови фотоволтаични електроцентрали в електроенергийната система на Република Северна Македония

Тираж: 5 бр. (Бълг. език)

Място на отпечатване: Университетско издателство „Васил Априлов” при Технически университет - Габрово

## **I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

### **Актуалност на проблема:**

В последните години традиционното производство на електроенергия от конвенционални енергийни източници е най-големият източник на промишлено замърсяване на въздуха. Влошаването на качеството на въздуха, данните за глобалното затопляне, както и периодичните локални енергийни кризи налагат преминаване към нови първични енергийни източници, които не замърсяват околната среда и дават допълнителни възможности за повишаване на енергийната независимост.

*Обект на изследване* в дисертационния труд се явяват фотоволтаичните електроцентрали и тяхното въвеждане в експлоатация, като нови мощности в електроенергийната система на Република Северна Македония, които да заменят старите неекологични и замърсяващи с вредни емисии електроцентрали.

### **Цел и задачи на дисертационния труд:**

*Основната цел на дисертационния труд* е да се анализират възможностите за внедряване на нови фотоволтаични електроцентрали в електроенергийната система на Република Северна Македония. За постигане на основната цел е необходимо да се изпълнят следните задачи:

1. Да се проучат добри практики от съседните страни от региона и се анализира енергийния баланс при внедряване на възобновяеми източници на електроенергия в Република Северна Македония.

2. Да се разработи методика за изследване на потенциала на слънчевата радиация и симулиране на производство на електроенергия от фотоволтаични системи на територията на Република Северна Македония.

3. Да се синтезира схема и се моделира работата на мощни фотоволтаични централи на територията на Република Северна Македония.

4. Да се моделира работата и енергийния баланс на Република Северна Македония след присъединяването на новоизградените фотоволтаични електроцентрали, с цел анализ на промените на енергийните потоци, загубите на енергия и пренапреженията в електропреносната мрежа.

5. Да се извърши технико-икономически анализ на изграждането на нови фотоволтаични електроцентрали на територията на Република Северна Македония, в зависимост от очакваните цени, които могат да достигнат през следващите години на пазара на електроенергия.

### **Методи на изследване:**

*Методите на изследването*, използвани при решаването на поставените задачи в дисертацията са: теоретичен анализ, компютърно проектиране, моделиране и симулационни изследвания, с използване на методи на математическата статистика за обработване на данни. Реализирани са идейни електротехнически проекти, симулация на режима на работа на две нови ФЕЦ и тяхното свързване с енергийната система на Република Северна Македония, както и технико-икономически анализ на рентабилността на тяхното изграждане, което подобрява ефективността и инфраструктурата на електроснабдяването на населението.

### **Приложимост:**

*Приложимостта на дисертационния труд* е свързана с разработените детайлни вариантни проекти на 2 фотоволтаични централи на територията на Република Северна Македония с обща мощност 60 MW<sub>p</sub>, с използване на 4 различни варианти на технологии и ориентация на фотоволтаичните модули, налични на пазара. Направен е технико-

икономически анализ и оценка на рентабилността от изграждането на новите 2 фотоволтаични електроцентрали, с отчитане на зависимостта от очакваните цени на пазара на електроенергия през следващите години. Изследванията на потенциала на слънчевата радиация за производството на електрическа енергия от фотоволтаични електроцентрали на територията на Република Северна Македония, както синтезирането на модел на електроенергийната система на Република Северна Македония, даващ възможност за анализ на промените на енергийните потоци при включване на нови електроцентрали, са добра основа за разработка на бъдещи проекти за фотоволтаични електроцентрали и тяхното свързване в електроенергийната система.

#### **Апробация на дисертационния труд:**

Основните етапи от разработване на дисертационния труд са представени в пет публикации на международни конференции и научни издания, напълно покриващи минималните изисквания относно разглеждания критерий. Два от трудовете са изнесени на Международна научна конференция „Унитех“ и два в национална конференция „TechCo“, като и двата са самостоятелни. Публикациите са издадени в сборници с научно рецензиране от международна научна конференция „Унитех“ и национална конференция „TechCo“ в периода на обучение 2022-2023 г., като реално представят значителна част от съдържанието на дисертационния труд. Една от публикациите е изнесена на международна научна конференция EEPES 2023 (Гърция) и е публикувана в Американското реферирано издателство AIP, което е реферирано в Scopus с SJR. В публикациите са представени голяма част от извършените изследвания и са изложени основните изводи от дисертационния труд.

#### **Структура и обем на дисертационния труд:**

Дисертационния труд включва списък на използваните съкращения, въведение, пет глави, заключение, списък на публикациите по дисертационния труд, списък на използваната литература и приложения. Общият обем е от 172 страници и е разработен на база аналитичен обзор на 96 литературни източника и 43 интернет-базирани източници.

## **II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

**ГЛАВА I. Проучване и анализ на енергийните мощности за производство на електроенергия и ролята на възобновяемите енергийни източници за подобряване на енергийната система в Република Северна Македония**

### **1.1. Обяснение на проблема и дефиниране на изследването**

Основните цели на днешната политика и икономика са насочени към енергетиката. Енергийни запаси от изкопаеми горива непрекъснато намаляват, което е предпоставка за поскъпване на енергията. Повишената нужда от енергия, изискванията за технологично развитие, значителните промени, които се случват на световния енергиен пазар допринасят за обръщането на специално внимание на енергията и енергията от възобновяеми източници днес енергийни източници.

Имайки предвид сегашната ситуация с наличните енергийни източници в Северна Македония, можем да кажем, че страната е изправена пред сериозни енергийни проблеми, които оказват голямо влияние върху нейното развитие. Като една от причините са ограничените енергийни ресурси, които от своя страна създават зависимост на държавата от внос на енергия и са предпоставка за ниско ниво на енергийна сигурност. [57], [59]

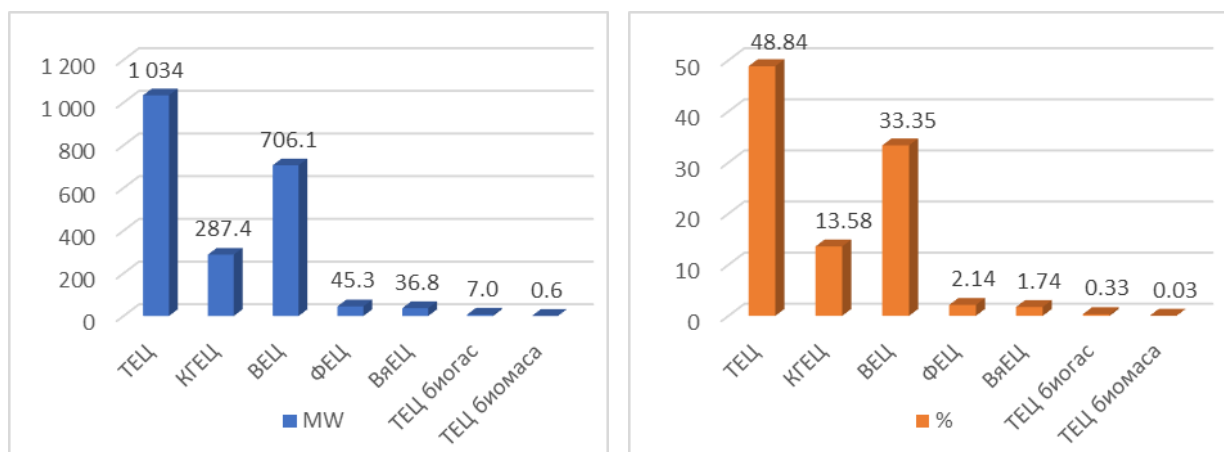
### **1.2. Енергиен баланс на електроенергията в Република Северна Македония**

Таблица 1.1 показва баланса на нуждите и осигуреността от електроенергия за периода 2019 г. – 2021 г. (в GWh).

Таблица 1.1. Енергиен баланс за периода 2019-2021 г.

GWh	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2021/2020 (%)	2021/2019 (%)
Общо в ЕЕС	8 130	8 479	9 532	12,41	17,24
Производство	5 658	5 128	5 285	3,07	-6,59
Най-големият производител	4 250	3 643	3 170	-12,98	-25,41
Други производители	1 059	1 091	1 705	56,22	61,00
Производители с преференциална тарифа	349	393	407	3,45	16,62
Премиум производители		0,056	3	5 276,15	
Общ внос	2 472	3 352	2 940	-12,29	18,93
Брутно потребление	7 483	7 459	7 906	6,00	5,65
Нетно потребление	6 504	6 476	6 865	6,01	5,55
Директни преносни консуматори	963	957	924	-3,41	-4,05
Регулиран доставчик	3 807	3 562	3 688	3,53	-3,13
Други разпределителни потребители	1 734	1 957	2 252	15,10	29,87
Загуба	979	983	1 041	5,90	6,33
Предаване	120	124	125	0,90	4,17
Разпределение	859	859	916	6,62	6,64
Експортиране	646	1 011	463	-54,21	-28,33
Нетен внос	1 825	2 341	2 621	11,97	43,62
% зависимост от импорт	24,39	31,38	33,15		
Свободен пазарен дял %	49,13	52,24	53,34		

Фигура 1.1 показва инсталираната мощност и дела на отделните технологии в производството на електроенергия през 2021 г. (в MW и %).



Фигура 1.1. Инсталирана мощност и дял на технологиите в производството на електроенергия през 2021 г. (в MW и %)

Най-голям относителен дял имат топлоелектрическите централи - 48,84%, следвани от водноелектрическите централи - 33,35%, централите за комбинирано производство на електрическа и топлинна енергия - 13,58% и всички останали - 4,23%.

През 2021 г. към електроенергийната система са присъединени нови производители на електроенергия с инсталирана мощност 14,2 MW и всички те са присъединени към електроразпределителната мрежа. Повечето от новите електроцентрали са фотоволтаични централи с обща инсталирана мощност 14 MW, следвани от малки водноелектрически централи с обща инсталирана мощност 0,2 MW.

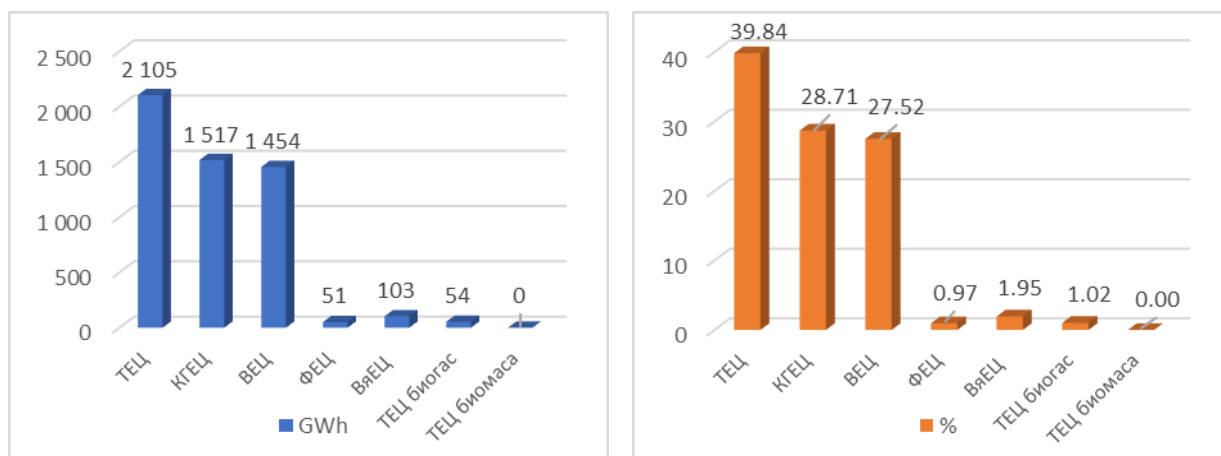
През 2021 г. четири дружества експлоатират електроцентрали с инсталирана единична мощност над 10 MW: АД Електрани на Северна Македонија – Скопие, АД ТЕ-ТО Скопие, АД ТЕЦ Неготино и ЕВН Македонија Електрани ДООЕЛ Скопие. Най-големият производител на електроенергия в Република Северна Македонија през 2021 г. остава АД ЕСМ Скопие, държавна собственост на правителството на Република Северна Македонија. Таблица 1.2 показва инсталираната мощност и производството на електроенергия през 2021 г.

Таблица 1.2. Инсталирана мощност и производство на електроенергия през 2021 г

Производител	Брой електроцентрали	Инсталирана мощност (MW)	Участие (%)	Производство (GWh)	Участие (%)
ЙАД ЕСМ Скопие	15	1 478,61	69,83	3 273,60	61,95
ТЕЦ	4	824,00	38,91	2 078,3	39,33
ВЕЦ	8	557,40	26,32	1 078,6	20,41
ВяЕЦ	1	36,80	1,74	103,3	1,95
КГЕЦ	2	60,41	2,85	13,9	0,26
АД ТЕЦ Неготино	1	210,00	9,92	27,08	0,51
ТЕЦ	1	210,00	9,92	27,08	0,51
ТЕ-ТО АД Скопие	1	227,00	10,72	1 503,20	28,45
КГЕЦ	1	227,00	10,72	1 503,20	28,45
ЕВН Електрани	14	61,60	2,91	148,71	2,81
МВЕЦ	11	58,56	2,77	145,95	2,76
ФЕЦ	3	3,00	0,14	2,76	0,05
Други	321	139,79	6,60	331,84	6,28
МВЕЦ	98	89,89	4,25	229,14	3,85%
ФЕЦ	219	42,30	1,99	48,70	0,92%
Биогаз	3	7,00	0,22	54	1,12%
биомаса	1	0,60	0,03	0	0,00%
Общо	352	2 117,39	100,00%	5 284,43	100,00%

### 1.3. Производство на електроенергия в Република Северна Македонија

Електроенергијата, произведена в Република Северна Македонија, се получава от топлоелектрически централи, водноелектрически централи, когенерационни централи, вятърни електроцентрали, биогаз електроцентрали, фотоволтаични електроцентрали и електроцентрали на биомаса. Фигура 1.2. покава процентниот дял на отделните технологии в производството на електроенергия през 2021 г., от които се установява, че през 2021 г. најголям дял от произведената електроенергия имат ТЕЦ-овите с 39,83%, следват когенерационните централи за производство на електрическа и топлинна енергија с дял 28,70%, водноелектрическите централи с 27,51%, следвани от всички останали с дял от 3,96%.



Фигура 1.2. Дял на отделните технологии в производството на електроенергия през 2021 г. (в %)

Производството на електроенергија от възобновяеми енергийни източници е променливо на годишна база и зависи преди всичко от хидрологичниот капацитет. В общото производство на електроенергија за 2021 г. възобновяемите енергийни източници учествуваат со 31,46%, което е со 14,72% повеќе от 2020 г., докато производството на електроенергија от ТЕЦ учествува со 68,54%, което е со 17,12% помалку спрямо 2020 г.

Таблица 1.3. покава производството на електроенергија в Република Северна Македонија за период од десет години от 2012 до 2021 г. От данните може да се заклучи, че има значителен спад на втрешното производство на електроенергија. През 2021 г.

произведената в страната електроенергия е 5 284,8 GWh, докато през 2012 г. е 5 806,6 GWh, което е спад от 8,96%. Най-голямото производство на електроенергия е регистрирано през 2010 г., 6 744,2 GWh, което показва, че спадът на производството през 2020 г. е с 21,64%.

Таблица 1.3. Производство на електроенергия от 2012 г. до 2021 г.

Години	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
GWh	5 806,6	5 676,4	4 982,3	5 271,5	5 302,7	5 229,0	5 287,5	5 655,5	5 128,3	5 284,8
АД ЕСМ (бившо АД ЕЛЕМ)	5 370,1	5 113,0	4 535,0	4 741,8	4 299,9	4 080,1	4 114,3	4 283,7	3 642,8	3 273,6
Производство на ТЕЦ	4 475,7	3 742,6	3 506,4	3 092,7	2 699,1	3 145,1	2 613,0	3 293,8	2 509,8	2 078,3
ТЕЦ Битоля 1,2,3	3 971,0	3 572,6	3 316,8	2 986,2	2 672,3	3 076,1	2 545,3	3 200,9	2 415,1	1 864,4
ТЕЦ Осломеј	504,7	170,0	189,6	106,5	26,8	69,0	67,7	92,9	94,7	213,9
Производство на ВЕИ	887,5	1 362,5	958,2	1 528,3	1 490,1	816,1	1 391,1	879,5	965,3	1 078,6
ВЕЦ Маврово	263,2	287,0	398,0	438,9	553,2	393,3	433,5	418,0	386,7	423,5
ВЕЦ Шпиле	239,7	393,3	190,3	303,7	353,2	157,5	366,7	172,6	204,6	257,9
ВЕЦ Тиквеш	104,8	211,0	116,1	312,8	145,2	63,1	138,1	67,5	98,6	90,5
ВЕЦ Глобочица	169,8	247,6	136,2	225,5	232,6	96,9	229,3	112,7	137,7	160,5
ВЕЦ Козиак	97,8	184,0	80,4	171,6	142,8	71,0	156,7	73,1	95,8	97,9
ВЕЦ Света Петка	12,2	39,6	37,2	75,8	63,1	34,3	66,8	35,5	41,9	48,2
ВяЕЦ Богданци	0,0	0,0	70,4	120,8	109,5	110,5	97,3	101,8	116,9	103,3
КГЕЦ Енергетика - Железара	6,8	7,9	0,0	0,0	1,2	8,4	12,9	8,6	8	0
КГЕЦ КОГЕЛ	2,2	4,3	1,2	0,7	3,7	7,0	0,0	0,0	42,8	13,9
ТЕЦ Неготино	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27
КГЕЦ ТЕ-ТО	280,1	340,8	189,8	177,8	550,1	794,7	716,6	987,0	1 067,8	1 503,2
МВЕЦ	151,2	209,6	241,9	308,4	389,3	271,8	379,2	304,0	322,05	375
ФЕЦ	3,1	8,7	14,3	22,6	23,7	23,9	23,3	25,6	37,3	52
ТЕЦ на биогаз	0,0	0,0	0,0	20,2	36,0	51,6	54,1	55,1	57,3	54

Забележка: Представените данни не включват количествата електроенергия на АД ЕСМ Скопие, които е използвала за собствени нужди, както и за нуждите на мините.

Причината за спада на местното производство на електроенергия е, че най-големият производител АД ЕСМ Скопие не е инвестирал достатъчно в нови производствени мощности. През 2021 г. само АД ЕСМ Скопие е произвела 3 273,6 GWh, а през 2012 г. са произведени 5 370,1 GWh, което е с 60,96% по-малко. Значителен спад на производството има в топлоелектрическите централи, които са произвели 2 078,3 GWh през 2021 г. и 4 475,7 GWh през 2012 г., което е с 46,44% по-малко.

В Република Северна Македонија през последните 3 години има значителен интерес към изграждането на големи паркове от вятърни електроцентрали в съответствие със Закона за стратегическите инвестиции, но, за съжаление, изграждането им отнема дълъг период от време. Изпълнени са квотите по преференциалната тарифа за вятърни централи. Има интерес от частни инвеститори към изграждането на фотоволтаични централи, но с малки мощности до 2 MW, което не е достатъчно, за да покрие липсата на електроенергия. Поради тези причини е необходимо да се изградят нови мощности от ВЕИ, което да намали вноса на електроенергия.

#### 1.4. Потребление на електроенергия в Република Северна Македонија

Потреблението на електроенергия през 2021 г. е 6 865 GWh, от които 924 GWh са от централи, които са работили като потребители (не са произвеждали електроенергия, поради ремонти, дефекти и др.). През 2021 г. потреблението на електроенергия е намаляло с 3,41%

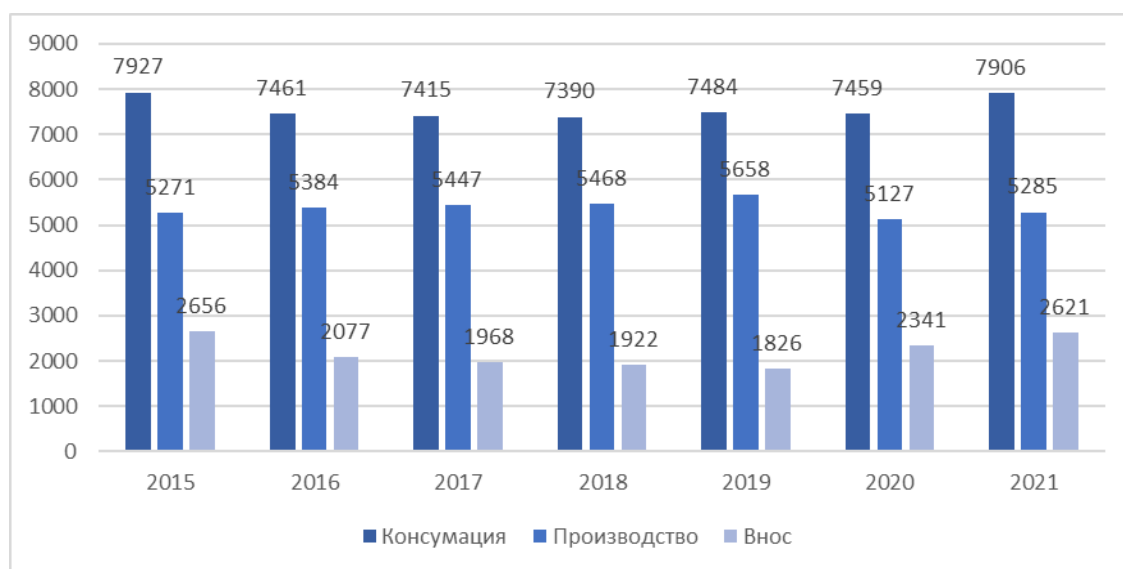
спрямо 2020 г., което възлиза на 957 GWh. От анализа на данните от електроенергийния баланс може да се направи изводът, че през 2021 г. няма съществени промени в потреблението на електроенергия спрямо 2020 г.

Потреблението на електроенергия през 2021 г. от потребителите, присъединени към електроразпределителните мрежи, е 5 941 GWh, което е значително увеличение от 7,65% или 422 GWh спрямо потреблението на електроенергия през 2020 г., което е 5 519 GWh. Причината за увеличението на общото потребление на електроенергия е възстановяването на икономическите и социалните процеси, смекчаване на мерките, свързани с спиране разпространението на COVID-19 и др.

### 1.5. Междусистемни физически потоци на електроенергия с други страни

Северна Македония не разполага с достатъчен производствен капацитет, за да отговори на нуждите на потребителите на електроенергия, така че страната е зависима от вноса. През последните десет години количеството на внесената електроенергия се увеличава все повече. Вносът на електроенергия нараства от 20% до 33,15%. от общото брутно потребление на електроенергия. Това означава, че една трета от необходимата електроенергия се купува на свободния пазар. Зависимостта от внос на Република Северна Македония се определя на базата на съотношението между вътрешното производство на електроенергия и брутното потребление на електроенергия, което отчита потреблението на електроенергия от крайните потребители, включително електроенергията, необходима за покриване на загубите на електроенергия в електропреносната мрежа и в електроразпределителните мрежи.

Фигура 1.3 показва производството на електроенергия, предназначена за потребителите на електроенергия в Република Северна Македония, потреблението и вноса на електроенергия.



А)



Б)

Фигура 1.3. Потребление, производство, и MW нетен внос на електроенергия и дял на нетния внос в потреблението на електроенергия за периода от 2015 г. до 2021 г.: А) в GWh; Б) - %.



През 2021 г. нетният внос на електроенергия е най-голям и възлиза на 2 621 GWh, като същият представлява 33,15% от общото брутно потребление на електроенергия, докато през 2020 г. той е 31,38% от общото брутно потребление. През 2019 г. вносът е 24,4%, а през 2018 г. е 26,01% от общото потребление. През 2021 г. се отчита ръст от 11,96%, спрямо вноса през 2020 г., а спрямо 2019 г., се отчита увеличение от 43,53%. Това нарастване на вноса се дължи на значителното намаляване на вътрешното производство на електроенергия и едновременно с това нарастване на брутното потребление на електроенергия.

Освен че електроенергия се купува в Република Северна Македония, електроенергия се продава и на свободния пазар. Излишъците от собствено производство на електроенергия, които се появяват особено през нощта, се продават на свободния пазар, но за съжаление тези количества са много малки в сравнение с внесените количества и са на много ниска цена. Излишъкът от електроенергия, произведена от местните производители, се продава на лицензирани търговци, които продават електроенергията в чужбина. Износът на произведена в Република Северна Македония електроенергия през 2021 г. е 359 GWh, което е спад от 44% спрямо 2020 г., когато износът е бил 639 GWh.[A3]

### **1.6. ВЕИ в Република Северна Македония**

Възобновяемите източници на електроенергия включват големи водноелектрически централи с инсталирана мощност над 10 MW, малки водноелектрически централи с инсталирана мощност до 1 MW, вятърни електроцентрали, фотоволтаични електроцентрали, електроцентрали на биогаз и електроцентрали на биомаса. Общата инсталирана мощност от възобновяеми източници на електроенергия е 795 MW, което представлява 37,57% от общата инсталирана мощност в Северна Македония, а в общото производство на електроенергия през 2021 г. те участват с 1 662 GWh, тоест с 31,45%. Имайки предвид географското положение на Република Северна Македония, която се намира на Балканския полуостров в Югоизточна Европа, както и благоприятния климат, енергийният потенциал от възобновяемите източници не се използва пълноценно, и по-специално, слънчевата енергия, като се има предвид, че в Република Северна Македония има много слънчеви дни и сумарната слънчевата радиация е между 1300 и 1700 kWh/m<sup>2</sup>/год. С цел увеличаване на инсталираната мощност, както и производството на електроенергия, правителството на Република Северна Македония предприема редица мерки за подкрепа и развитие на ВЕИ.[6]

### **1.7. Инсталирани мощности на възобновяеми източници на електроенергия в Република Северна Македония**

Производителите на електроенергия от възобновяеми енергийни източници в Република Северна Македония се състоят от големи водноелектрически централи с инсталирана мощност над 10 MW, малки водноелектрически централи с инсталирана мощност под 10 MW, вятърни електроцентрали, фотоволтаични електроцентрали, биогаз топлоелектрически централи и топлоелектрически централи на биомаса. От енергийния баланс на Република Северна Македония общата инсталирана мощност в Република Северна Македония е 2 117 MW, от които 1 034 MW е инсталираната мощност на топлоелектрическите централи, инсталираната мощност на когенерационните централи е 287 MW и инсталираната мощност от възобновяеми източници е 795 MW. Процентното участие на топлоелектрическите централи в общата инсталирана мощност през 2021 г. е 48,85%, на когенерационните централи е 13,58% и на възобновяемите източници е 35,57%. В процентното представяне на възобновяемите енергийни източници се вземат предвид и инсталираните мощности на големите водноелектрически централи. През 2021 г. са произведени 5 284 GWh електроенергия, от които 2 105 GWh са произведени от ТЕЦ, 1 517 GWh от когенерационни централи и 1 662 GWh от възобновяеми източници. Процентният дял на произведената електроенергия от ТЕЦ е 39,84%, от когенерационни централи 28,71% и от ВЕИ 31,45%.[10]

Таблица 1.4 показва инсталираните мощности и тяхното производство на електроцентрали, които използват възобновяеми източници, разделени по технологии.

Таблица 1.4. Инсталирана мощност и производство на електроенергия от възобновяеми енергийни източници през 2021 г., по технологии

Вид на електроцентрала	Брой електроцентрали	Инсталирана мощност (MW)	Участие (%)	Производство (GWh)	Участие (%)
Възобновяеми енергийни източници	344	795	37,57%	1 662	31,45%
ВЕЦ	10	587	73,76%	1 132	68,12%
ВяЕЦ	1	36,8	4,63%	103	6,20%
МВЕЦ	107	119	14,97%	321	19,34%
ФЕЦ	222	45	5,69%	51,46	3,10%
Биогас	3	7	0,88%	54	3,25%
Биомаса	1	1	0,08%	0	0,00%

В Република Северна Македонија има общо 344 производители на ВЕИ, од които 202 използват преференциална тарифа, 7 използват премия, докато 135 централи не използват мерки за подпомагане на производството на електроенергия, т.е. продава произведената електроенергия на свободния пазар.

### 1.8. Преференциални тарифи за ВЕИ в Северна Македонија

Видовете технологии, за които се предоставя преференциална тарифа, горната граница на инсталираната мощност на централата, размера и периода на ползване на преференциалните тарифи, както и предписаната обща инсталирана мощност на централите, за които преференциалната тарифите са предоставени, са представени в таблица 1.5.

Таблица 1.5 Преференциални тарифи, установени в Указа относно мерките за подпомагане на производството на електроенергия од възобновяеми енергийни източници и предписаната обща инсталирана мощност на електроцентралите

Тип електроцентрала	Горна граница на инсталираната мощност на електроцентралата	Количеството на преференциална тарифа	Период на ползване на преференциална тарифа	Предписана обща инсталирана мощност
Фотоволтаична електроцентрала	$\leq 0,05 \text{ MW}$	460 €/MWh 380 €/MWh 300 €/MWh 160 €/MWh 120 €/MWh	20 години 15 години	3,66 MW
	$0,05 < \text{MW} \leq 1 \text{ MW}$	410 €/MWh 260 €/MWh	20 години 15 години	13 MW
Водоелектрическа централа	10 MW	за месечното количество доставена електроенергия по блокове: I блок: 120 €/MWh ( $\leq 85\,000 \text{ kWh}$ ) II блок: 80 €/MWh ( $> 85\,000 \text{ и } \leq 170\,000 \text{ kWh}$ ) III блок: 60 €/MWh ( $> 170\,000 \text{ и } \leq 350\,000 \text{ kWh}$ ) IV блок: 50 €/MWh ( $> 350\,000 \text{ и } \leq 700\,000 \text{ kWh}$ ) V блок: 45 €/MWh ( $> 700\,000 \text{ kWh}$ )	20 години	
Вятърна електроцентрала	50 MW	89 €/MWh	20 години	160 MW
Термоелектроцентрала на биомаса	$\leq 3 \text{ MW}$ (до 30.06.2021) $\leq 1 \text{ MW}$ (от 1.07.2021)	180 €/MWh	15 години	10 MW
Термоелектроцентрала на биогаз	$\leq 3 \text{ MW}$ (до 30.06.2021) $\leq 1 \text{ MW}$ (от 1.07.2021)	180 €/MWh	15 години	20 MW

През 2021 г. общият брой на възобновяемите източници, които ползват преференциална тарифа, е 202, а общата инсталирана мощност е 148 MW, а произведените количества електроенергия са 407 GWh.

Таблица 1.6. Инсталирана мощност, производство на електроенергия и изплатени средства на преференциални производители, използващи преференциална тарифа през 2021 г., по технологии

Тип Електроцентрала	Брой електро-централи	Инсталирана мощност (MW)	Участие (%)	Производство (GWh)	Участие (%)
МВЕИ	96	87	58,92%	227	55,85%
ВЕЦ	1	36,8	24,76%	103	25,39%
Биомаса	1	0,6	0,40%	0	0,00%
Биогаз	3	7	4,71%	53	13,23%
ФЕЦ	101	16,67	11,21%	22	5,53%
Общо	202	148	100%	407	100%

### 1.9. Съвременни системи за производство и управление на електроенергия

Либерализацията на електроенергийния пазар, нарастването на дела генерирана енергия от ВЕИ, както и напредъка на информационните технологии и тяхното нарастващо приложение в електроенергийната система са основните причини за навлизането на разработването на концепцията за интелигентна мрежа (ИМ). При нея може ефективно да се наблюдава и управлява поведението и действията на всички потребители и генератори, които я изграждат.

Основните цели на ИМ е да се гарантира икономически ефективна, устойчива енергийна система с ниски загуби и високи нива на качество и сигурност на доставките.



Фигура 1.4. Примерна схема на интелигентна мрежа

### 1.10. Анализ на прилагането на съвременни системи за производство и управление на електрическа енергия в Република Северна Македония

ФЕЦ участват с малък процент в общата инсталирана мощност и в общото производство на електроенергия. До 2021 г. нито един ФЕЦ не беше свързан към електрическата мрежа. Като се има предвид стабилността на електропреносната мрежа на АД МЕПСО в Република Северна Македония, има условия за присъединяване на ФЕЦ към електропреносната мрежа, особено в западния регион. През 2022 г. и 2023 г. бяха изградени голям брой ФЕЦ с малки мощности, свързани към електроразпределителната мрежа, съсредоточени особено в източната част на Република Северна Македония, Щип, Берово, което създаде проблем, че потреблението беше по-ниско от производството на електроенергия, което направи допълнителни проблеми на АД МЕПСО. Изграждането на ФЕЦ в електроразпределителната мрежа в западния регион на РСМ е все още малко, което означава, че новопланираните ФЕЦ Битоля и ФЕЦ Осломей - 2 ще бъдат свързани без проблем към електропреносната мрежа.

### **1.11. Изводи към първа глава**

От извършеното в първа глава проучване и анализ на енергийните мощности за производство на електроенергия и ролята на възобновяемите енергийни източници в енергийната система на Република Северна Македония могат да се направят следните изводи:

1. Нетното потребление на електрическа енергия, включително загубите в електропреносната и електроразпределителната мрежа през 2021 г. е 6 865 GWh. То е във възходяща тенденция в последните 3 години поради слабото увеличение на броя на жителите, както и откриването на нови промишлени потребители.

2. Вътрешното производство през 2021 г. възлиза на 5285 GWh, което включва производството на електроенергия от най-големия местен производител АД ЕСМ и производството на други частни производители нараства. Производството на електроенергия от най-големия производител на електроенергия АД ЕСМ е в размер на 3170 GWh, като има тенденция за голямо намаление на електроенергията, произведена от ТЕЦ, като не се инвестира в други енергийни мощности.

3. Нетният внос през 2021 г. възлиза на 2 621 GWh и е с тенденция на нарастване, поради намаленото вътрешно производство на електроенергия.

4. Общото производство на електрическа енергия през 2021 г. от възобновяеми енергийни източници, включително големи ВЕЦ, е 1 662 GWh. То е в тенденция на нарастване, особено в частта на производството от ВЕЦ.

5. Производството на електроенергия от ФЕЦ през 2021 г. е 51,46 GWh, като има минимално увеличение.

6. Използването на слънцето като енергиен ресурс е сравнително малко, въпреки че слънчевата радиация на територията на РСМ е много висока и възлиза на 1300 - 1800 kWh/m<sup>2</sup>/година.

7. Производството на електроенергия може да се увеличи най-бързо чрез изграждане на нови ФЕЦ.

8. За да се следва Стратегията за развитие на енергетиката на РСМ, най-добре е да се изградят електроцентрали с по-големи мощности – над 10 MW.

9. Изграждането на ФЕЦ с по-малка мощност и присъединяване към електроразпределителната мрежа не е най-доброто решение в РСМ, тъй като разрешенията за строеж се издават от общини, които не следват Стратегията за развитие.

### **1.12. Цел и задачи на дисертационния труд**

*Основната цел* на дисертационния труд е да се анализират възможностите за внедряване на нови фотоволтаични електроцентрали в електроенергийната система на Република Северна Македония. За постигане на основната цел е необходимо да се изпълнят следните задачи:

1. Да се проучат добри практики от съседните страни от региона и се анализира енергийния баланс при внедряване на възобновяеми източници на електроенергия в Република Северна Македония.

2. Да се разработи методика за изследване на потенциала на слънчевата радиация и симулиране на производство на електроенергия от фотоволтаични системи на територията на Република Северна Македония.

3. Да се синтезира схема и се моделира работата на мощни фотоволтаични централи на територията на Република Северна Македония.

4. Да се моделира работата и енергийния баланс на Република Северна Македония след присъединяването на новоизградените фотоволтаични електроцентрали, с цел анализ на промените на енергийните потоци, загубите на енергия и пренапреженията в електропреносната мрежа.

5. Да се извърши технико-икономически анализ на изграждането на нови фотоволтаични електроцентрали на територията на Република Северна Македония, в зависимост от

очакваните цени, които могат да достигнат през следващите години на пазара на електроенергия.

## ГЛАВА II. Проучване и анализ на енергийния баланс и внедряването на възобновяеми източници на електроенергия в Република България, Република Сърбия и Република Хърватия

### 2.1. Енергиен баланс на Република България

Електрическата енергия, произведена в Република България, се получава от АЕЦ, ТЕЦ, КгЕЦ, ВЕЦ, ВяЕЦ, ФЕЦ, ЕЦ на биомаса. Общата инсталирана производствена мощност, свързана с електропреносната мрежа е 13 505 MW (Таблица 2.1), от които най-голямата инсталирана мощност е топлоелектрическата централа на лигнитни въглища 4 119 MW, следвана от общата инсталирана мощност на големите водноелектрически централи 3 214 MW и АЕЦ НЕК Козлодуй електроцентрала с инсталирана мощност от 2 000 MW. На четвърто място са фотоволтаични електроцентрали от 1 726 MW, на пети място са газовите ТЕЦ с инсталирана мощност от 1 307 MW. На шесто място вятърни електроцентрали с инсталирана мощност от 705 MW. На седмо място ТЕЦ - черни въглища с 356 MW и на осмо място ЕЦ на биомаса със 77 MW през 2022 година (Таблица 2.1).[12], [70], [71].

Таблица 2.1. Инсталирана мощност и производство на електроенергия през 2022 г. в Република България в електропреносната мрежа

Производител	Инсталирана мощност (MW)	Участие (%)	Производство (GWh)	Участие (%)
АЕЦ	2 000	14,8%	16 464	32,55%
ТЕЦ на лигнитни въглища	4 119	30,5%		
ТЕЦ на въглища	356	2,6%	26 463	52,32%
ТЕЦ на газ	1 307	9,7%		
ВЕЦ	3 214	23,8%	3 811	7,53%
ВяЕЦ	705	5,2%	1 499	2,96%
ФЕЦ	1 726	12,8%	2 023	4%
ЕЦ на биомаса	77	0,6%	318	0,63%
Общо	13 505	100,00%	50 579	100,00%

Таблица 2.2. Брутно електропотребление в Република България през 2022 година

БРУТНО ЕЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ		
Тип потребление	GWh	Изменение 2022/2021, %
Собствени нужди на ЕЦ	5 228	6,8%
Загуби от пренос	876	-0,3%
Потребление на помпи	49	-86,9%
Крайно електропотребление	32 180	-2,1%
Общо	38 334	-1,7%

Брутно електропотребление в Република България през 2022 година общо електропотребление е 38 334 GWh (Таблица 2.2), крайно електропотребление 32 180 GWh (83,85%), собствени нужди на ЕЦ 5 228 GWh (13,64%), загуби от пренос 876 GWh (2,28%), и потребление на помпи 49 GWh (0,22%). [72], [74]

### 2.2. Енергиен баланс на Република Сърбия

Общата инсталирана генераторна мощност в Република Сърбия е 8 516 MW, без производствените мощности на територията на Косово. Най-големият производител на електроенергия е АД ЕПС, който е собственик на ТЕЦ на лигнитни въглища с инсталирана мощност от 4 429 MW, след това големи ВЕЦ с инсталирана мощност от 2 941 MW (Таблица 2.3), КгЕЦ на природен газ или мазут 330 MW, както и собственик на осемнадесет малки ВЕЦ, с обща инсталирана мощност от 41 MW.[13]

Таблица 2.3. Инсталиран капацитет и производство на електроенергия през 2021 г. в Република Сърбия без производствените мощности на Косово

технология	Инсталирана мощност (MW)
Водноелектрически централи	2 941
ТЕЦ (въглища)	4 429
Когенерационни централи топлоелектрически централи - отоплителни централи (газ, мазут)	526
Газови електроцентрали	-
Атомни електроцентрали	-
Вятърни паркове - независими производители	373
Малки ВЕЦ собственост на ЧП ЕПС	41
Малки електроцентрали – независими производители	206
<b>ОБЩ ИНСТАЛИРАН МОЩНОСТ</b>	<b>8 516</b>

Таблица 2.4. Обща инсталирана мощност на електроцентрали, които са свързани към електропреносната система

Технологии	Брой електроцентрали	Инсталирана мощност (MW)	Производство на електроенергия (GWh)
Водноелектрически централи	14	2 941	11 587
Проточни водноелектрически централи	5	1 980	9 654
Акумулиращи водноелектрически централи	8	347	1 233
Ревърсивни водноелектрически централи	1	614	699
Топлоелектрически централи	7	4 429	21 537
Когенерационни ТЕЦ-отоплителни централи	3	526	630
Вятърни електроцентрали	4	373	1 004
Фотоволтаични електроцентрали	0	0	0
<b>ОБЩА СУМА</b>	<b>28</b>	<b>8 269</b>	<b>34 758</b>

Таблица 2.5. Общ инсталиран капацитет на електроцентрали кои се включени на електроразпределителна система

Технологии	Брой електроцентрали	Инсталирана мощност (MW)	Производство на електроенергия (GWh)
Малки водноелектрически централи	149	127	339
Електрически централи на биомаса	2	3	23
Биогаз електроцентрали	35	36	221
Вятърни електроцентрали	4	25	66
Фотоволтаични електроцентрали (общо)	145	12	14
Фотоволтаични електроцентрали на земята	18	7	8
Фотоволтаични електроцентрали на сгради	127	5	5
Електроцентрали на изкопаеми горива	16	39	225
други	2	3	10
<b>ОБЩА СУМА</b>	<b>353</b>	<b>246</b>	<b>898</b>

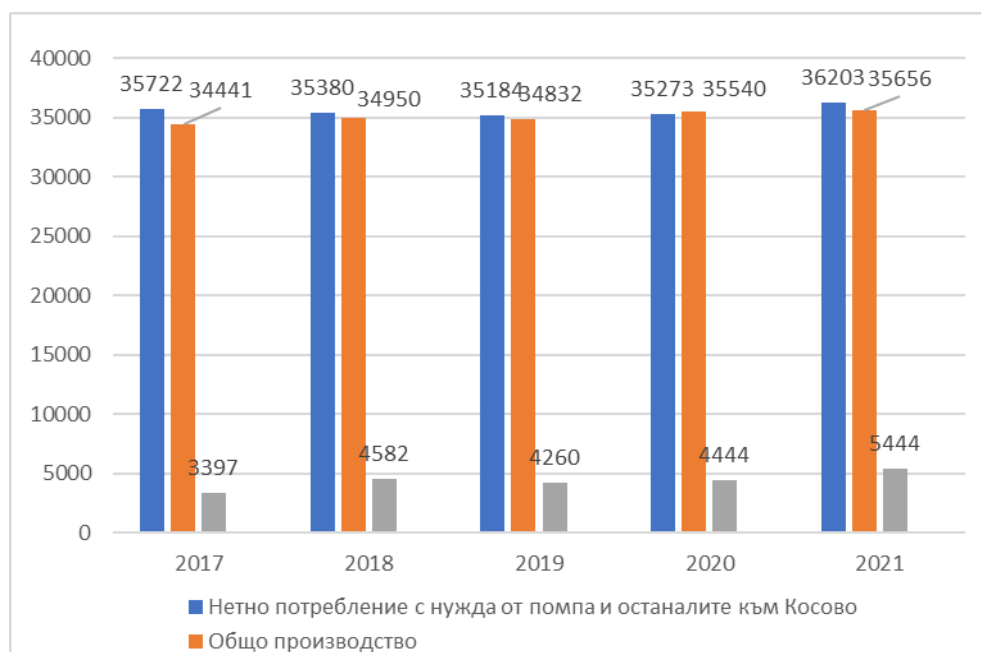
Общата инсталирана производствена мощност, която е присъединена към електропреносната мрежа, е 8 269 MW, като те произвеждат общо 34 758 GWh електроенергия годишно (Таблица 2.4).

Общата инсталирана производствена мощност, която е присъединена към електроразпределителна мрежа, е 246 MW, като те произвеждат общо 898 GWh електроенергия годишно (Таблица 2.5).

Таблица 2.6. Производство и потребление на електроенергия в периода 2017-2021 г. без територията на Косово

Година	2017	2018	2019	2020	2021
	GWh	GWh	GWh	GWh	GWh
ВЕЦ	9 477	11 031	9 884	9 419	11 587
ТЕЦ	24 240	22 954	23 169	24 331	21 537
КГЕЦ	185	238	337	192	630
Вятърни електроцентрали		85	830	905	1 004
Други ЕЦ	538	642	612	693	898
Общо производство	34 441	34 950	34 832	35 540	35 656
Внос на ЕПС и доставчици за нуждите на търговците в РС	3 397	4 582	4 260	4 444	5 444
ЕПС	37 981	39 626	39 124	39 987	41 100
ЕПС износ и доставчик - електро. произведени и закупени	2 186	4 246	3 940	4 708	4 792
нужда от помпа в Сърбия	944	1 070	1 102	1 082	961
останалите към Косово	458	313	275	337	52
Нетно потребление с нужда от помпа и останалите към Косово	35 722	35 380	35 184	35 273	36 203
Нетно потребление	34 320	33 997	33 807	33 853	35 217
Загуби в електропреносната мрежа	952	859	806	798	845
Загуби в електрораспределителна мрежа	3 953	3 664	3 527	3 587	3 636
Общи загуби	4 805	4 532	4 333	4 385	4 481
Общи загуби %	13,9%	13,3%	12,8%	13,0%	12,7
<b>ОБЩО ПОТРЕБЛЕНИЕ</b>	<b>29 515</b>	<b>29 465</b>	<b>29.474</b>	<b>29 468</b>	<b>30 862</b>

През 2021 г. произведената електроенергия в Република Сърбия е 35 656 GWh, като произведената от ТЕЦ е 60,4%, големите ВЕЦ с 32,5%, КгЕЦ - отоплителни централи с 1,8%, ВяЕЦ 2,8%.



Фигура 2.1. Баланс на производството на електроенергия в Република Сърбия в периода 2017-2021

От енергийния баланс може да се заключи, че потреблението на електроенергия е в постоянно нарастване. Нетното потребление на електроенергия през 2021 г. е 35,217 GWh. През 2021 г. са внесени 5 444 GWh електроенергия, което представлява 17,64% от общото потребление на електроенергия, което е 30 862 GWh, а от нетно потребление с нужда от помпа и останалите към Косово 36 203 GWh представлява 15,04%. Също през 2021 г. има износ на електроенергия от 5 806 GWh (Таблица 2.6). Разликата между внос и износ е 366 GWh. В бъдеще трябва да се предприемат мерки за намаляване на процента на вносната електроенергия, а износът да се прави във вечерните часове, когато консумацията на електроенергия е най-малка, така че има излишък, който се продава на свободния пазар. Цените на електроенергията през нощта са значително по-ниски в сравнение с деня, тъй като през този период има повече предлагане от търсене. Фигура 2.1 показва брутния баланс на производство на електроенергия от Р. Сърбия, както и нетно потребление заедно с нуждите които се осигуряват към Косово, общо производство и внос през 2017-2021 г.

### 2.3. Енергиен баланс в Република Хърватия

Общата инсталирана мощност в Република Хърватия е 5 306 MW (Таблица 2.7). Топлоелектрическите централи са с обща инсталирана мощност от 2 044 MW, което представлява 38,5% от общата инсталирана мощност. Големите ВЕЦ имат мощност от 2 202 MW, което представлява 41,5% от общата инсталирана мощност. Вятърните електроцентрали са със 795 MW, което представлява 15% и другите възобновяеми източници на електроенергия с 265 MW, което е 5% от общата инсталирана мощност. Също така Република Хърватия е собственик на 50% от атомната електроцентрала ТЕС Кршко.[14]

Инсталираните мощности на всички възобновяеми енергийни източници, водноелектрически централи, вятърни електроцентрали, електроцентрали на биомаса, електроцентрали за биогаз, фотоволтаични електроцентрали и геотермални електроцентрали, са с обща инсталирана мощност от 3 262 MW, което представлява 61,5% от общия инсталиран капацитет в Република Хърватия

Таблица 2.7. Инсталиран капацитет в Република Хърватия през 2020 г

Технологии	Инсталирана мощност (MW)	Процентно представителство (%)
Топлоелектрически централи	2 044	38,5%
Водноелектрически централи	2 202	41,5%
Вятърни електроцентрали	795	15%
Електрически централи на биомаса	92	1,74%
Биогаз електроцентрали	55	1,01%
Фотоволтаични електроцентрали	109	2,05%
Геотермални електроцентрали	10	0,19%
ОБЩА СУМА	5 306	100%

Общата консумирана електроенергия в Република Хърватия през 2020 г. е 17 272 GWh (Таблица 2.9). Най-много произведена електроенергия е реализирана от местни производители и е 12 216 GWh, което представлява 70,7%, а 5 056 GWh е вносната електроенергия, което представлява 29,3%. Вносът на електроенергия включва количеството електроенергия, произведена от НЕЦ Кршко, разположена в Република Словения, а Република Хърватия има 50% дял в инсталираната мощност, както и в количеството произведена електроенергия.

Само големите водноелектрически централи са произвели 5 361 GWh, което представлява 43,9% от общо произведената електроенергия. Топлоелектрическите централи са произвели 4 084 GWh през 2020 г., което представлява 34,34%. Вятърните електроцентрали са произвели 1 721 GWh, което представлява 14,08%. Електроцентрали на биомаса 502 GWh, което представлява 4,11%. Биогаз електроцентрали 376 GWh, представляващи 3,09%, фотоволтаични електроцентрали 96 GWh, представляващи 0,78%. Геотермалните електроцентрали са произвели 76 GWh, т.е. 0,62% (Таблица 2.8).



Таблица 2.8. Произведена електроенергия в Република Хърватия през 2020 г

Технологии	Производство на електроенергия (GWh)	Процентно представителство (%)
Топлоелектрически централи	4 084	34,34%
Водноелектрически централи	5 361	43,9%
Вятърни електроцентрали	1 721	14,08%
Електрически централи на биомаса	502	4,11%
Биогаз електроцентрали	378	3,09%
Фотоволтаични електроцентрали	96	0,78%
Геотермални електроцентрали	76	0,62%
ОБЩА СУМА	12 216	100%

Таблица 2.9. Електрически баланс в Република Хърватия 2019, 2021 г. в GWh

	Електроенергиен баланс	2019 (GWh)	2020 (GWh)
1	Общо производство на електроенергия	12 006	12 216
2	Импортиране	11 400	10 490
3	Общо (1+2)	23 406	22 706
4	Експортиране	5 237	5 434
5	Физически нетен внос (2-4)	6 163	5 056
6	Обща консумация (3-4)	18 169	17 272
7	Произведено количество ЕЕ, прехвърлено от разпределителната мрежа	1 348	1 415
8	Загуби в електропреносната мрежа	388	373
9	Консумация (6-7-8)	16 433	15 484
10	Доставка до крайни потребители, присъединени към електропреносната мрежа и собствено потребление на централите	902	826
11	Компенсация	176	231
12	Нетни доставки в електроразпределителната мрежа (9-10-11)	15 355	14 427

Мерките за подкрепа на възобновяемите енергийни източници, прилагани в Република Хърватия, са преференциални тарифи и премии. Преференциалните тарифи се прилагат от 2007 г., докато премиите за възобновяеми енергийни източници и за високоефективни комбинирани централи се прилагат от 2020 г. Комисията за енергийно регулиране отговаря за предоставянето на решения за производителите от възобновяеми енергийни източници, които използват преференциални тарифи. Обща сума от мощност на производителите от ВЕИ, които следват преференциална тарифа за периода от 2007 до 2020 г. е 3 129,97 MW (Таблица 2.10). Обща квота на премии за възобновяеми енергийни източници и за високоефективни когенерационни централи е представена в Таблица 2.11. В Таблица 2.12. е представено производство на електроенергия от ВЕИ по преференциална тарифа и усвоени средства през 2020 г.

Таблица 2.10. Решения на производителите от ВЕИ, които следват преференциална тарифа за периода от 2007 до 2020 г.

Технологии	Брой	Обща мощност ([MW]
Фотоволтаични електроцентрали	230	24,39
Водноелектрически централи	39	2 095,51
Вятърни електроцентрали	31	749,80
Електрически централи на биомаса	39	86,17
Геотермални електроцентрали	1	10,00
Биогаз електроцентрали	42	48,65
Когенерационни централи	6	112,94
Електрически централи от други възобновяеми източници (газ от сметища, газови инсталации за пречистване на отпадъчни води и др.)	1	2,50
Обща сума	389	3 129,97

Таблица 2.11. Обща квота на премии за възобновяеми енергийни източници и за високоефективни когенерационни централи

Групи	Видове електроцентрали от различни видове възобновяеми източници, разпределени според инсталираната мощност	Мощност (MW)
1.1	Фотоволтаични централи с мощност: 50 kW < P < 500 kW	210
1.2	Фотоволтаични централи с мощност: 500 kW < P < 10 MW	240
1.3	Фотоволтаични електроцентрали с мощност над 10 MW	625
2.1	Водоелектрически централи с мощност до 50 kW	4
2.2	Водоелектрически централи с мощност: 50 kW < P < 500 kW	10
2.3	Водоелектрически централи с мощност: 500 kW < P < 10 MW	10
3.1	Вятърни електроцентрали с мощност над 3 MW	1 050
4.1	Електрически централи на биомаса с мощност: 50 kW < P < 500 kW	6
4.2	Електрически централи на биомаса с мощност: 500 kW < P < 2 MW	20
4.3	Електрически централи на биомаса: 2 MW < P < 5 MW	15
5.1	Геотермални електроцентрали с мощност над 500 kW	20
6.1	Електрически централи на биогаз с мощност: 50 kW < P < 500 kW	15
6.2	Електрически централи на биогаз с мощност: 500 kW < P < 2 MW	30
7.1	Иновативни технологии за производство на електроенергия, одобрени в Европейския съюз	10

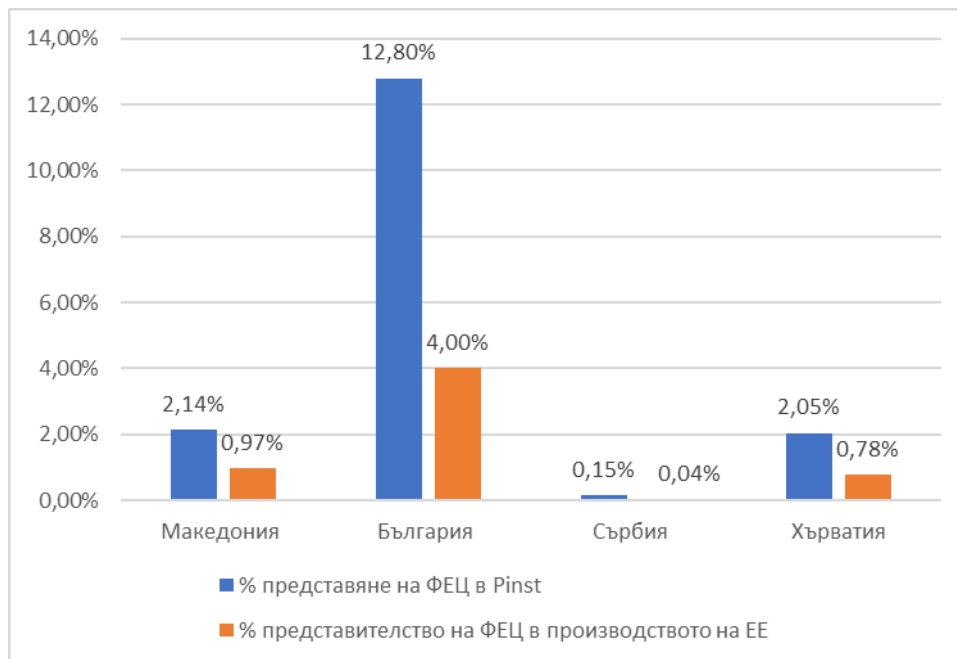
Таблица 2.12. Производство на електроенергия от ВЕИ по преференциална тарифа и усвоени средства през 2020 г.

Технологии	Номер	Мощност (MW)	Участие в Total Power	Произведена електроенергия (MWh)	Част в производството	Дял на изплащане
Фотоволтаични електроцентрали	1 229	53,4	5,2%	73 206	2,2%	4,7%
Водоелектрически централи	14	5,9	0,6%	25 000	0,8%	0,8%
Вятърни електроцентрали	26	717,8	69,4%	1 671 358	50,8%	42,1%
Електрически централи на биомаса	39	86,2	8,3%	506 931	15,4%	23,0%
Геотермални електроцентрали	1	10,0	1,0%	76 233	2,3%	4,0%
Биогаз електроцентрали	41	45,9	4,4%	354 800	10,8%	15,3%
Електрически централи за сметищен газ и др.	1	2,5	0,2%	13	0,0%	0,0%
Когенерационни централи	6	113,3	10,9%	579 767	17,6%	10,1%
Обща сума	1 357	1 035,0	-	3 287 307	-	-

През май 2020 г. е приета Наредба за квотните премии ВЕИ и високоефективни комбинирани централи. С влизането в сила на Наредбата се определя общата мощност за всички видове ВЕИ, както и за високоефективните комбинирани централи. Общата квота за всички видове премии е 2 265 MW.

#### 2.4. Анализ на енергийните баланси и представителството на ФЕЦ в Република Северна Македония, Република България, Република Хърватска и Република Сърбия

Извършеният сравнителен анализ на енергийните баланси за всички разглеждани страни, Република Северна Македония, Република България, Република Сърбия и Република Хърватска, може да се заключи, че Република България е с най-висок относителен дял на ФЕЦ спрямо инсталираната мощност, а именно 12,8% и с най-голямо процентно участие в общо произведената електроенергия с 4%, следвани от Република Северна Македония, Република Хърватска и Република Сърбия – Фигура 2.2.



Фигура 2.2. Прилагане на ФЕЦ в енергийния баланс на страните от Балканския район

## 2.5. Изводи към втора глава

От извършеното теоретично изследване на енергиен баланс и предпоставките за внедряване на възобновяеми източници на електроенергия могат да се направят следните изводи:

1. В Република България електроенергийната система има внедрени атомни електроцентрали, доста голям процент ТЕЦ, които използват различни горива, след това има големи водноелектрически централи, след това възобновяеми енергийни източници. Възобновяемите енергийни източници, включително големите водноелектрически централи, формират 18,12% от общото производство в Република България.

2. Към енергийната система на Република България са присъединени 1 726 MW фотоволтаични централи, като процентът во инсталираните мощности е около 12,8%. Електропроизводството на фотоволтаични централи през 2022 г. е 2 023 GWh, а процентният в бруто производството е 4%.

3. Енергийната криза в Република България не се усеща, защото има много малък недостиг на електроенергия. В момента балансът на електроенергията е в добро състояние, тъй като голям процент от произведената електроенергия е от атомни електроцентрали, както и от ТЕЦ.

4. В Република Сърбия няма представителство на атомните електроцентрали в общото производство на електроенергия, топлоелектрическите централи са с най-голямо представителство и то е 60,4%, следвани от водноелектрическите централи.

5. Възобновяемите енергийни източници в Република Сърбия представляват 36,61% от общо произведената електроенергия, което представлява наистина голям процент. В този процент е включено и производството на електроенергия от големи водноелектрически централи.

6. В Република Сърбия няма електроцентрали, свързани към електропреносната мрежа. Фотоволтаичните централи са свързани само към електроразпределителната мрежа с обща инсталирана мощност от 12 MW и произвеждат само 14 GWh. Вносът в Република Сърбия е 17,64%, докато износът е 18,81%. Разликата между внос и износ е 1,17%, което не е притеснителен процент.

7. Електричеството, произведено от топлоелектрическите централи, е 34,34%, което означава, че Република Хърватия предприема значителни стъпки по отношение на Пакета за зелена енергия. Възобновяемите източници на електроенергия са представени с 65,66% в общото производство на електроенергия. Нетният внос в Република Хърватия е 29,27% от

общото потребление, докато износът е 31,46%. Процентът на инсталираните мощности на фотоволтаични централи е около 2,05%, а електропроизводството в бруто е 0,78%, което е доста ниско спрямо останалите страни.

### **ГЛАВА III. Методика за изследване на потенциала на слънчевата радиация за производството на електрическа енергия в Република Северна Македония**

#### **3.1. Методика за изследване на потенциала на слънчевата радиация за производството на електрическа енергия от фотоволтаична електроцентрала**

За да се изчисли потенциалът на слънчевата радиация за такива системи, е от съществено значение да се приложи адекватна методика за изследване. В настоящата дисертация се предлага методика, включваща следните етапи:

- а) Определение на местоположението;
- б) Събиране на данни за слънчевата радиация;
- в) Анализ на данните;
- г) Оценка на потенциала за производство на електрическа енергия;
- д) Взаимодействие с електрическата мрежа.

Изследването на потенциала на слънчевата радиация за производството на електрическа енергия от фотоволтаична електроцентрала изисква системен подход и прилагане на специализирани методи и инструменти за анализ и моделиране, като най-ефективни са софтуерните, използващи вградени климатични бази данни[55, 56, 110 - 113, 126].

#### **3.2. Избор на софтуер за изследване на потенциала на слънчевата радиация за производството на електрическа енергия**

Проучени са различни софтуерни инструменти, които могат да бъдат използвани за изследване на потенциала на слънчевата радиация за производството на електрическа енергия от фотоволтаична електроцентрала като PVWatts, SolarGIS, Meteonorm, PVGIS. Тези софтуерни инструменти предлагат различни възможности за анализ на потенциала на слънчевата радиация за производство на електрическа енергия от фотоволтаични електроцентрали и могат да бъдат полезни за инженери, проектиращи фотоволтаични системи, и други специалисти в областта на възобновяемите енергии.

За изследването в дисертацията, поради подходящата за региона на РСМ климатична база данни със свободен достъп и възможност да се използва Web базиран интерфейс е избран софтуерния инструмент PVGIS.

#### **3.3. Избор на софтуер за проектиране и симулация на работата на фотоволтаични системи**

Проучени са различни софтуерни продукти, които могат да бъдат използвани за детайлно проектиране и симулация на работата на фотоволтаични системи: PVsyst, SAM (System Advisor Model), HelioScope, RETScreen.

Тези софтуерни инструменти предлагат различни възможности за анализ на потенциала на слънчевата радиация за производство на електрическа енергия от фотоволтаични електроцентрали и могат да бъдат полезни за инженери, проектиращи фотоволтаични системи, и други специалисти в областта на възобновяемите енергии.

С най-подходяща функционалност и база данни с компоненти на ФЕЦ, достъпни в РСМ за целите на проектирането и симулациите в настоящия дисертационен труд е PVsyst, който е един от професионалните софтуерни продукти за проектиране и симулация на работата на фотоволтаични системи от електропроектантите в България.

#### **3.4. Изводи към глава трета**

Предложена е методика за изследване на потенциала за производство на електрическа енергия от фотоволтаични електроцентрали и тяхното моделиране и симулация на работата. Направен е избор на софтуерните продукти PVGIS и PVsyst за реализация на методиката, като се представят техните възможности и функции, от прилагането на които може да се заключи следното:

1. Онлайн инструментът PVGIS е удобен и безплатен за използване. Улеснява начина за извършване на предварителен анализ на проекти за фотоволтаични електроцентрали чрез предоставяне на база данни за нивото на слънчева радиация и други метеорологични и топографски показатели, които са необходими за оценка на потенциала за производство на електрическа енергия на дадено географско местоположение.

2. PVGIS предоставя информация за слънчевата радиация във всички части на света, включително на територията на Република Северна Македония, като изчислява и очакваното производство на електроенергия, като чрез него може да се симулира очакваното производство на електроенергия за дневно, месечно и годишно ниво. Изобразяването на резултатите може да бъде визуално графично и таблично.

3. Двата софтуерни продукта дават възможност за избор за приложение на фотоволтаични панели с различни технологии, като в PVsyst има актуална база данни с детайлни технически данни на конкретни модели фотоволтаични модули на голям брой производители, налични на пазара.

4. Предоставят възможност за изчисления за различни ъгли на разположение на панелите, както и различно местоположение на ориентация. По този начин могат да се направят оптимални изчисления за производството на електроенергия от фотоволтаични централи за конкретното местоположение.

5. Дава се възможност за извършване на технико-икономически изчисления за оценка на рентабилността на инвестициите за изграждане на фотоволтаичната електроцентрала.

## ГЛАВА IV. Симулационни изследвания и анализи при проектирането и внедряването на нови фотоволтаични електроцентрали - ФЕЦ Осломей-2 и ФЕЦ Битоля

### 4.1. Общи положения и състояние на проблема

Република Северна Македония е една от най-топлите страни на Балканите. На фиг. 4.1 е показвана карта на средната годишна слънчева за Република Северна Македония, изразена в kWh/m<sup>2</sup>/година. По данни на SOLARGIS от 2019 г. слънчевата радиация е в границите от 1 241 kWh/m<sup>2</sup> до 1 607 kWh/m<sup>2</sup>. [120]

Предмет на докторската дисертация е извършването на симулационни изследвания от изграждането на две нови фотоволтаични електроцентрали ФЕЦ Осломей – 2, 20 MW и ФЕЦ Битоля 40 MW. ФЕЦ Осломей – 2, ще се изгради в Кичевската долина в североизточната част на Кичево, близо до ТЕЦ Осломей. Междувременно ФЕЦ Битоля ще се изгради в югозападната част на страната в Пелагонийската равнина, на 12 км югоизточно от град Битоля и в непосредствена близост до ТЕЦ Битоля. [38], [39].



Фигура 4.1. Карта на средногодишната слънчева радиация в kWh/m<sup>2</sup>/год. за РСМ.

## 4.2. Предпоставки за намаляване на емисиите на въглероден диоксид

С изграждането на ФЕЦ Битоля и ФЕЦ Осломей – 2 ще бъдат положени добри основи за реализиране на целите за развитие на държавата в областта на устойчивото развитие и намаляването на парниковите газове в атмосферата. [23], [26], [99]

За да се определи точната емисия на CO<sub>2</sub>, която би била създадена, ако въглища, природен газ или фотоволтаични панели се използват за производство на електроенергия, е направено изчисление на годишните намалени количества емисии на CO<sub>2</sub>. [27], [35]

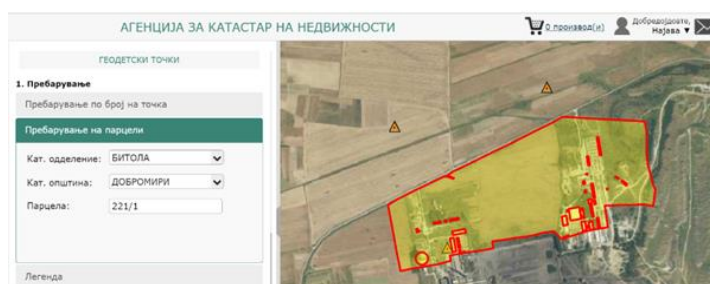
Таблица 4.1. Избегнати емисии на въглероден диоксид при използване на фотоволтаични панели

	Средногодишно производство на енергия	Емисионен фактор	Годишни въглеродни емисии диоксид	Емисии (25 годишен)
	(KWh)	(kgCO <sub>2</sub> /KWh)	(kgCO <sub>2</sub> )	(kgCO <sub>2</sub> )
Въглища	1 383,47	0,976	1 350,26	33 756
Природен газ	1 383,47	0,395	546,47	13 661
Фотоволтаични	1 383,47	0,351	485,597	12 140

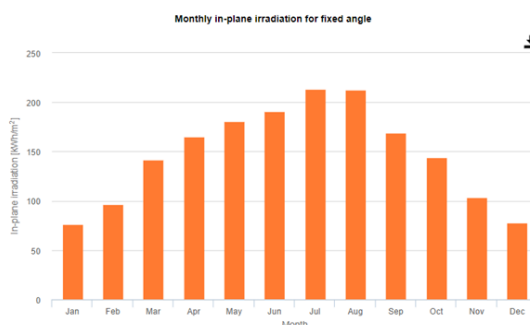
С това сравнение може да се заключи, че производството на електроенергия от фотоволтаични панели има положително въздействие върху околната среда и тяхното използване индиректно намалява емисиите на парникови газове. При прилагане на ФЕЦ със средногодишно производство на електроенергия от 1 383,47 KWh за 25 години, емисиите на CO<sub>2</sub> ще възлизат на 12 140 kgCO<sub>2</sub>, а ако се използват въглищни ТЕЦ със същото средногодишно производство на електроенергия, емисиите на CO<sub>2</sub> за 25 години ще бъде в размер на 33 759 kgCO<sub>2</sub>, което означава, че с прилагането на ФЕЦ емисиите на CO<sub>2</sub> намаляват 2,78 пъти [22,84].

## 4.3. Проучване и симулационни изследвания за слънчева радиация и очаквано производство на ФЕЦ Битоля

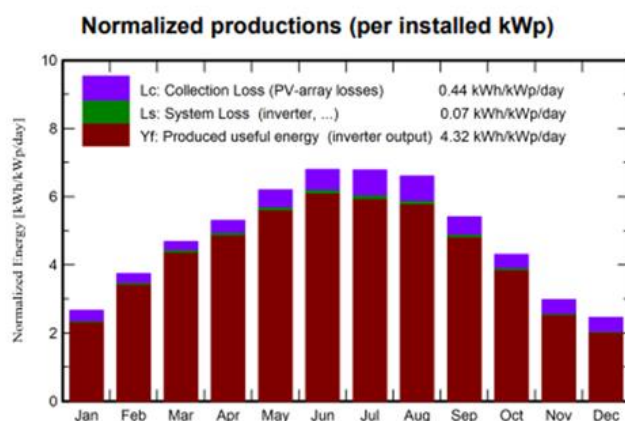
Мястото, където се планира изграждането на ФЕЦ Битоля, е в непосредствена близост до ТЕЦ Битоля, след КП 221/1 кадастрална община Добромири в община Битоля. От кадастралния парцел има площ от 400 000 m<sup>2</sup>, от които 400 000 m<sup>2</sup> ще бъдат използвани за изграждането на ФЕЦ Битоля с инсталирана мощност от 40 MW (фиг.4.2). За производството на електроенергия той е подложен на висока слънчева радиация със средна годишна енергийна плътност на слънчевата радиация от 1 792 kWh/m<sup>2</sup> (фиг. 4.3).[A4] ,[128, 132].



Фигура 4.2. Планирано местоположение на ФЕЦ Битоля



Фигура 4.3. Средномесечни стойности на слънчевата радиация, попадаща върху фотоволтаичните модули, инсталирани под оптимален ъгъл за ФЕЦ Битоля, kWh/m<sup>2</sup>



Фигура 4.3. Очаквано количество произведена електроенергия за дадена система, с фиксиран ъгъл, kWh.



Фигура 4.4. Външен вид и местоположение на картата на дистрибуция на табла и трафопостове на площадката на ФЕЦ гр. Битоля

#### 4.4. Съставяне на идеен технически проект на ФЕЦ Битоля

ФЕЦ Битоля се намира в близост до селата Добромири и Новаци югоизточно от Битоля в непосредствена близост до ТЕЦ Битоля на КП 221/1.

Общо 73 216 фотоволтаични модула с монокристална двуплицева технология тип производител JETION тип JT545SSh(B), с размери на панела 2279x1134x30 mm и пикова мощност на 1 модул 545 Wp. Предвидени са и 176 инвертор тип SUN2000 -185 KTL – H1. [86-92, 116, 135].

Инсталираната мощност на PV Битоля ще възлиза на 39,90 kWp, т.е. около 40 MW. Основните компоненти (описани детайлно в дисертацията) на ФЕЦ Битоля са:

- Носеща конструкция от горещо поцинкована стомана, фиксирана в земята;
- Монокристални двустранни панели;
- DC/AC преобразуватели (фотоволтаични инвертори);
- Свързване на DC кабели;
- Свързване на AC кабели;
- Трафопостове.

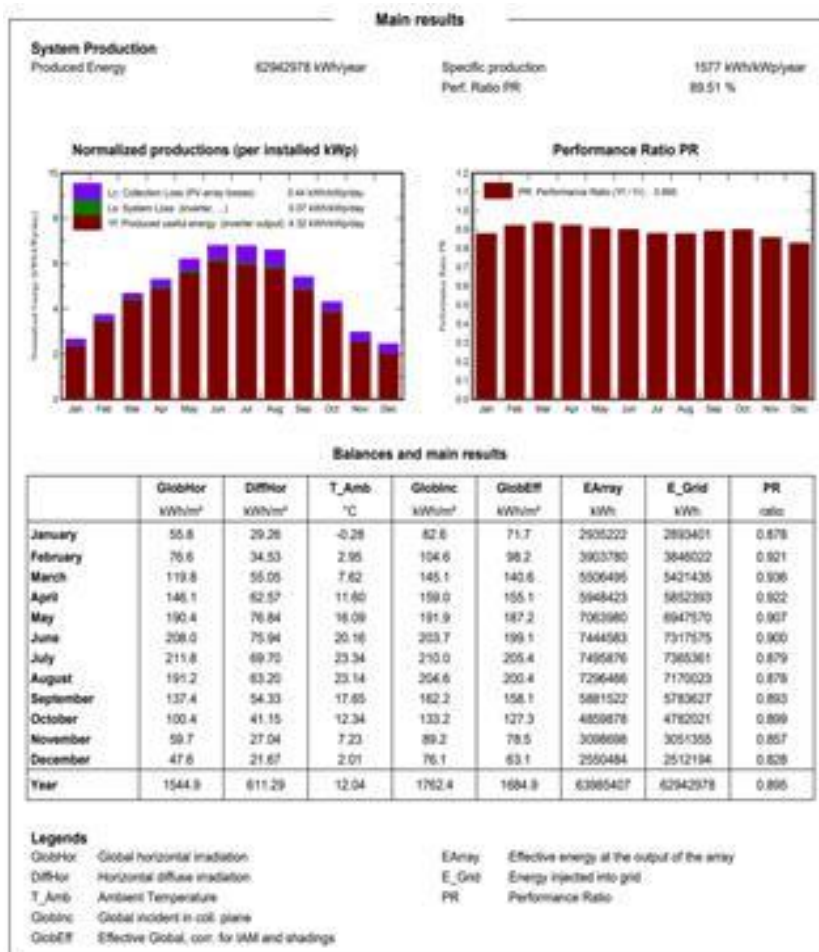
#### 4.5. Симулационни изследвания на ФЕЦ Битоля с помощта на PVsyst

С помощта на софтуера PVsyst са направени няколко симулации, за да се избере най-благоприятната, която при правилен избор на оборудване да постигне най-голямо производство на електроенергия и ефективност при основна заетост на фотоволтаичната централа.

Показани на фигури са обобщените и най-важните параметри за фотоволтаичната електроцентрала. Локация Горно Алданци с координати 41.06 N; 21.49E. Ъглите на панелите са 25° и -12°. Броят модули е 73 216, а инсталираната мощност е 39,9 MW. Също така са



показани специфичното производство на електроенергия, както и очакваното производство на електроенергия.



Фигура 4.17. Специфичната енергия – Вариант 1

Фигура 4.17 показва, че специфичната енергия [kWh/kWp] е показател за производство, базиран на наличното облъчване (местоположение и ориентация) на месечна база в зависимост от температурата и местоположението, както и настъпилите загуби на енергия, които на практика са минимални.

На фигура 4.18 представя брутната и нетната електроенергия, която ще се произвежда, както и загубите, които се генерират от собствените загуби на инверторите, загубите от кабели, температура и др. От графиката се вижда колко електроенергия излиза от инверторите и се инжектира в мрежата.

На фигура 4.19 е показана е входно-изходната диаграма на произведената електроенергия през деня, както и инжектирането на произведената електроенергия в електрическата мрежа (електроразпределение/електропренос).

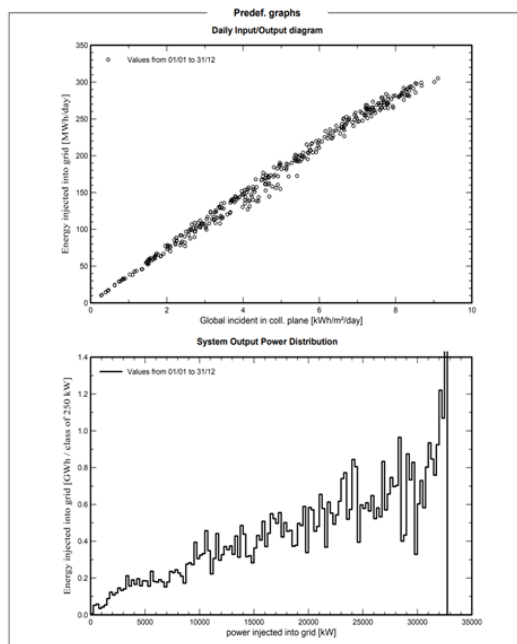
Фигура 4.21 показва графично представяне на разположението на фотоволтаичните панели спрямо слънцето, както и географското разположение на панелите, т.е. азимутния ъгъл.

Фигура 4.22 показва таблично представяне на засенчването на панела през деня. От прегледа може да се заключи, че разположението е добре подбрано, тъй като само малка част от панелите имат сянка от съседните панели.

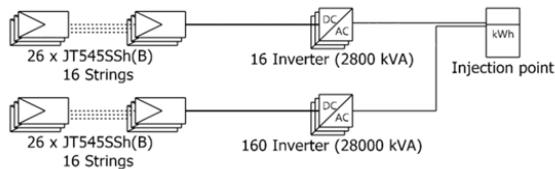
Фигура 4.23 показва повърхностния слой на фотоволтаични панели, които не са двустранни. От същите се отбелязва, че те заемат по-голяма площ в сравнение с двулицевите панели.

На фигура 4.20 е показано е групирането на модулите в низове и серии.

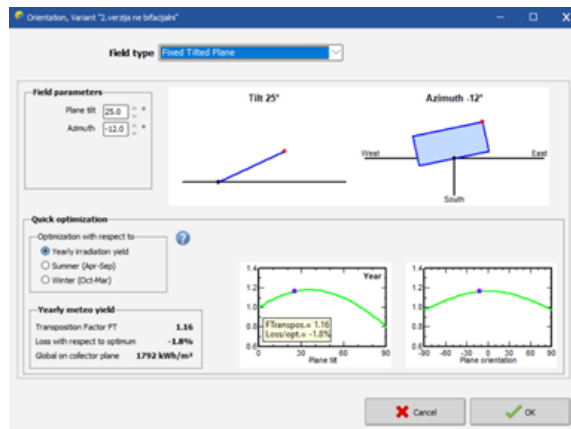




Фигура 4.19. Кумулативна електрическа енергия за Вариант 1



Фигура 4.20. Схема на свързване на модули в низове и серии



Фигура 4.21 Ъгъл на наклон и азимут на PV модулите

The screenshot shows a 'Shading factor table (linear), for the beam component, Orient. #1'. The table parameters are 'Plane orientation: Fixed Tilted Plane' and 'TR = 25°, Azimuth = -12°'. The table has columns for Azimuth (from -180° to 180°) and rows for Height (from 2° to 90°). The shading factor is generally 0.000, with some non-zero values for heights 20°, 10°, and 2° at specific azimuths. The shading factor for diffuse is 0.065 and for albedo is 0.822.

Height	-180°	-160°	-140°	-120°	-100°	-80°	-60°	-40°	-20°	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°
90°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.083	0.192	0.240	0.235	0.177	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10°	Behind	Behind	0.000	0.000	0.000	0.135	0.357	0.484	0.511	0.508	0.449	0.325	0.083	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2°	Behind	Behind	Behind	0.000	0.000	0.689	0.795	0.841	0.880	0.858	0.836	0.781	0.617	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

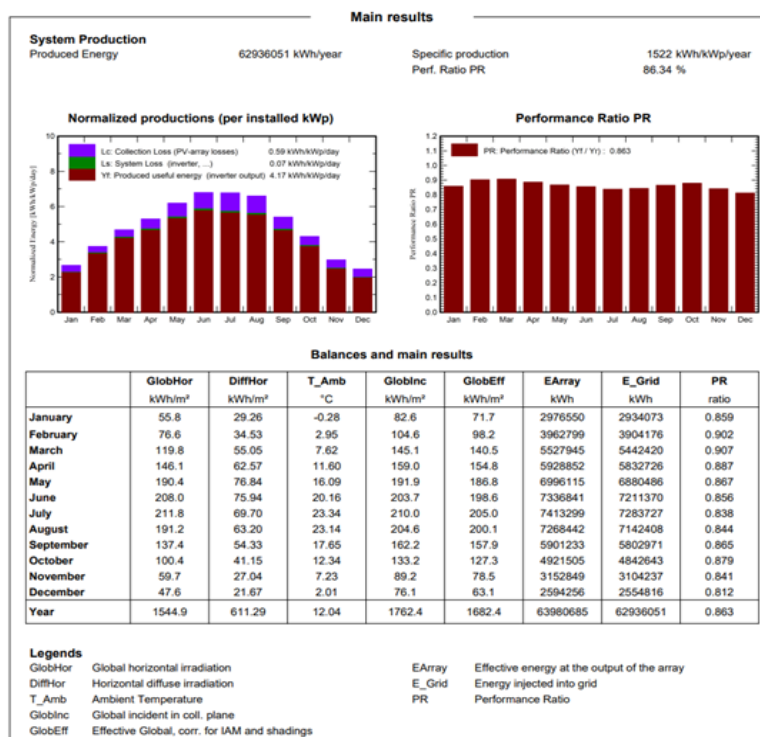
Фигура 4.22. Засенчване на PV модулите



Фигура 4.23. Разположение на панелите на сайта и ТС на ФЕЦ в Битоля

#### 4.6. Сравнителен анализ на ФЕЦ Битоля с различни видове фотоволтаични модули

По време на подготовката на докторската дисертация са направени няколко измервания и анализи в PVsyst, за да се намери най-благоприятният тип табла за ниско напрежение, които произвеждат най-голямо количество електроенергия годишно. Отчита се оптималността на строителната повърхност. Направен е анализ, ако се предвижда ФЕЦ Битоля със същата или подобна мощност, кои видове панели са най-благоприятни. Цената също беше взета предвид при избора на фотоволтаични панели, симулации и изчисления бяха направени със силициеви и тънкослойни фотоволтаични панели с кадмиев телурид (CdTe). [30], [58], [64], [66].

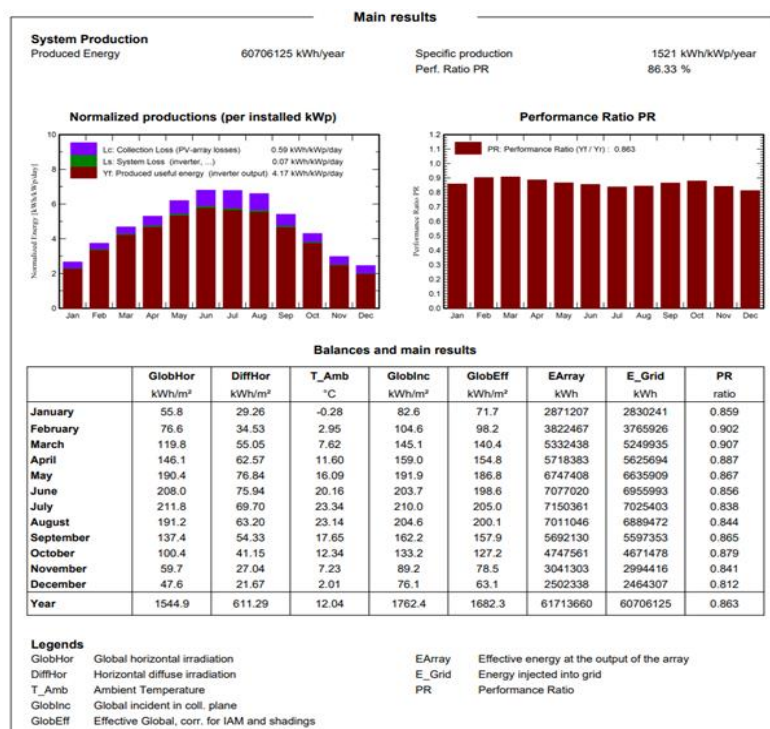


Фигура 4.32. Специфичната енергия – Вариант 2

В дисертацията е направен втори вариант на изчисления с недвустрани силициеви модули от същия производител, със същата мощност JT545SSh(B), двуслойността в изчисленията е изключена. Ъгълът на поставяне и азимутът са еднакви, т.е. 250 и -120.

Предвидени са 75 894 панела. Мощността според панелите е 41,36 MW. Предвидени са 183 инвертора от типа SUN2000-185KTL-H1, общата мощност според инверторите е 32,02 MW. Предвидени са 2 919 с 26 модула, свързани последователно. В този случай е получена скоро същата произведена електроенергия на годишна база 62 936 051 kWh/год, 62 936 MWh/год. Прямо първия вариант произведената електроенергия е намалена с 6 928 kWh/год., тоест с 6,7 MWh/год. Ако вземем предвид факта, че са предвидени по-голям брой инвертори за 6 от първия вариант с двустранни модули, това означава, че цената на цялата инвестиция ще бъде по-висока, и произведеният ток е почти същият.[43]

За да могат недвустранните панели да произвеждат същото количество електричество, са необходими още 103 стринга на 26 панела, т.е. още 2 678 панела и още 7 инвертора. Фигура 4.32 показва, че специфичната енергия [kWh/kWp] е показател за производство, базиран на наличното облъчване (местоположение и ориентация) на месечна база в зависимост от температурата и местоположението, както и настъпилите загуби на енергия. От графиката се вижда, че загубите са минимални.



Фигура 4.41. Специфичната енергия – Вариант 3

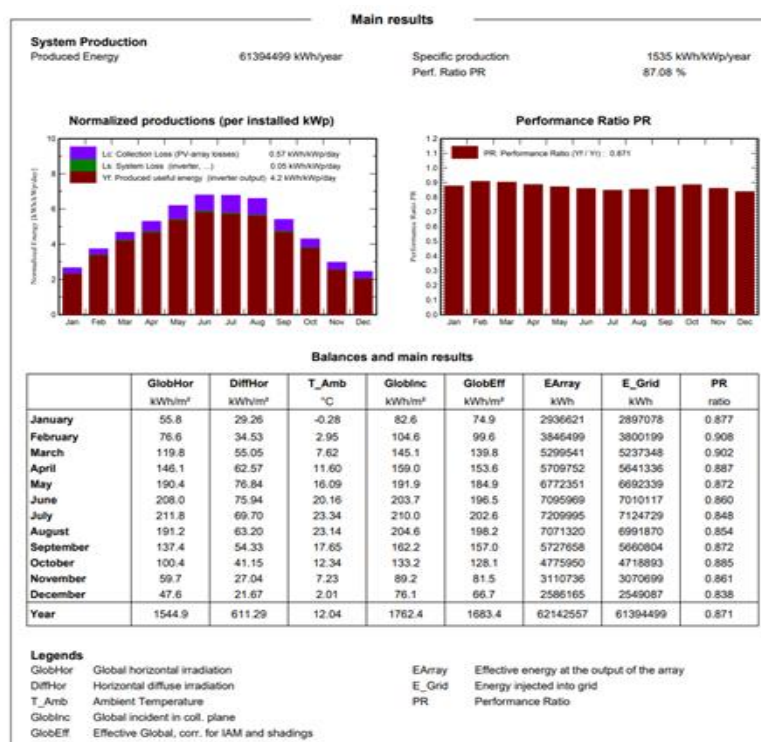
В дисертацията е направен **трети вариант** на изчисления и симулация с недвустранни силициеви модули от същия производител, със същата мощност JT545SSh(B), бифациалността в изчисленията е изключена. Ъгълът на поставяне и азимутът са еднакви, т.е. 25<sup>0</sup> и -12<sup>0</sup>. Предвидени са 73.216 панела. Мощността според панелите е 39,90 MW. Предвидени са 176 инвертора от типа SUN2000-185KTL-H1, общата мощност по инверторите е 30,80 MW. Предвидени са 2 816 низове с 26 последователно свързани модула. В този случай е получена по-малко произведена електроенергия на годишна база 60 706 125 kWh/год., 60 706 MWh/год., 62 942 978 kWh/год., 62 943 MWh/год. От това изчисление може да се заключи, че със същия брой панели, но не двустранни със същия брой инвертори, произведената електроенергия е по-ниска с 2 236 853 kWh/година, 2 237 MWh/година.

Мощността на фотоволтаичната централа е идентична с тази на ФЕЦ Битоля 39,9 MW.

Фигура 4.41 показва, че специфичната енергия [kWh/kWp] е показател за производство, базиран на наличното облъчване (местоположение и ориентация) на месечна база в зависимост от температурата и местоположението, както и настъпилите загуби на енергия. От графиката се вижда, че загубите са минимални.

В докторската дисертация е направен **четвърти вариант** на изчисления с кадмиеви модули FS-6480A-C April2021, с мощност 480 Wp. Ъгълът на поставяне и азимутът са еднакви, т.е. 250 и -120. Предвидени са 83 340 панела. Мощността според rapems е 40 MW. Предвидени са 160 инвертора тип GW25K-NT с мощност по инвертори 250 kW, общата мощност по инвертори е 40 MW. Предвидени са 16 668 струни с 5 последователно свързани модула. В този случай е получена по-малко произведена електроенергия на годишна база 61 394 499 kWh/год., 61 394 MWh/год. спрямо двустранните панели на първия вариант 62 942 978 kWh/год., 62 943 MWh/год. От това изчисление може да се заключи, че броят на панелите значително се е увеличил в сравнение с двустранните с 10 124, също така броят на инверторите е намалял с 16, произведената електроенергия е по-ниска с 1 548 479 kWh/година, 1 548 MWh/година.[52]

Мощността на фотоволтаичната централа е значително увеличена в сравнение с първия вариант с двустранните модули на ФЕЦ Битоля 39,90 MW.



Фигура 4.50. Специфичната енергия – Вариант 4

Фигура 4.50 показва, че специфичната енергия [kWh/kWp] е показател за производство, базиран на наличното облъчване (местоположение и ориентация) на месечна база в зависимост от температурата и местоположението, както и настъпилите загуби на енергия. От графиката се вижда, че загубите са минимални.

#### 4.7. Симулационни изследвания на ФЕЦ Осломея-2

Планира се ФЕЦ Осломея -2 да се изгради в непосредствена близост до ТЕЦ Осломея, върху няколко кадастрални парцела в община Шутово, кадастралната община КП 2459/1, Сърбица фон Град община Кичево (фиг. 4.54). На избрания кадастрален парцел е планирано изграждането на електроцентрала Осломея-2 с инсталирана мощност от 20 MW на площ от около 200 000 m<sup>2</sup>. За производството на електроенергия той е подложен на слънчева радиация със средна годишна енергийна плътност на слънчевата радиация от 1 539 kWh/m<sup>2</sup>. [A5]

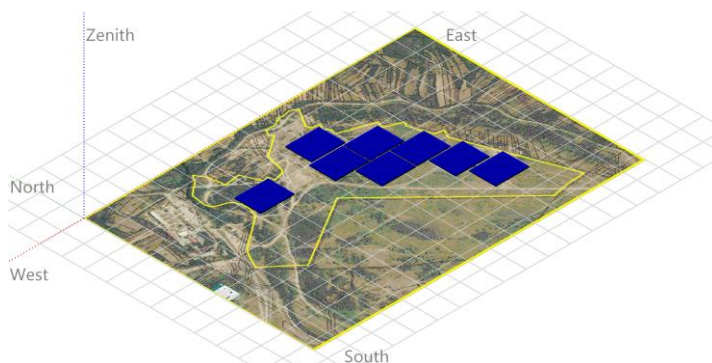
Базата данни PVsyst е използвана за изчисляване и симулация на производството на електроенергия от фотоволтаичните панели, които ще бъдат поставени на част от съоръженията, собственост на ФЕЦ Осломея – 2 (фиг. 4.55).

Местоположението на обекта е с координати: N: 41.58, E: 21.01

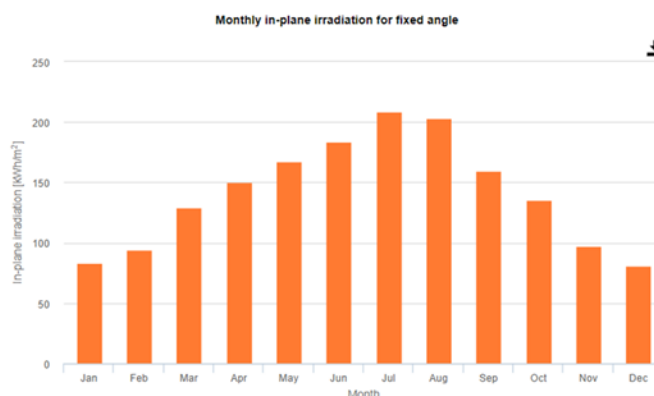


Някои от общите стойности са показани по-долу:

- Номинална мощност на инсталираните фотоволтаични панели: 19 950 kW (кристални силициеви двустранни фотоволтаични панели),
- Специфично производство на електрическа енергия 1 395 kWh/kWp/year
- Очаквано годишно производство на електроенергия от 27 823 MWh
- Ъгъл на монтаж на фотоволтаичните панели:  $10^0$
- Азимут на монтаж на фотоволтаични панели:  $-90^0, 90^0$



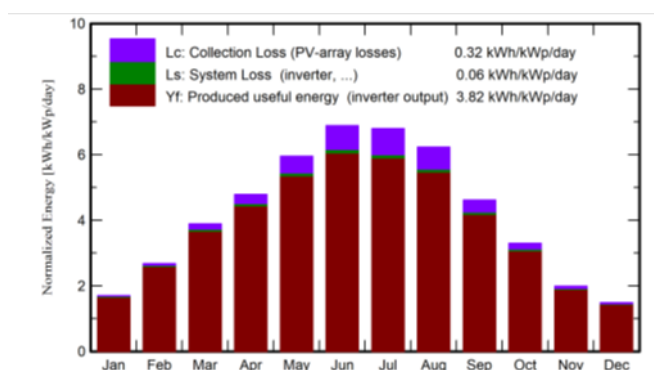
Фигура 4.54. Планирано местоположение за ФЕЦ Осломей - 2



Фигура 4.55. Средномесечни нива на слънчевата радиация за ФЕЦ Осломей – 2, kWh/m<sup>2</sup>

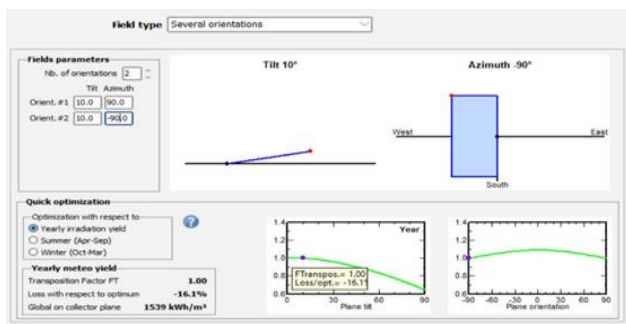
Инсталираната мощност на ФЕЦ Осломей ще възлиза на 19,95 kWp, т.е. около 20 MW. Основните компоненти на ФЕЦ Осломей, описани детайлно в дисертацията, са:

- Носеща конструкция от горещо поцинкована стомана, фиксирана в земята;
- Монокристални двустранни панели;
- DC/AC фотоволтаични инвертори;
- DC и AC кабели;
- Силови трафопостове.

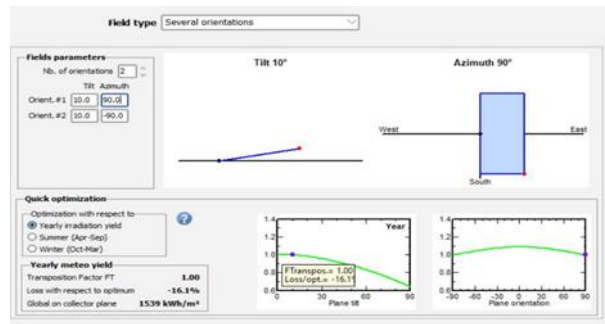


Фигура 4.56. Очаквано количество произведена електроенергия за ФЕЦ Осломей – 2, kWh

ФЕЦ Осломеј - 2 се намира близо до село Осломеј, югоизточно от Кичево, в непосредствена близост до ТЕЦ Осломеј на КП 2459/1. Общо 36 608 фотоволтаични модула с монокристална двулицева технология, JETION тип JT545SSh(B), с размери на панела 2279x1134x30 mm и пикова мощност на модул 545 Wp са планирани да бъдат инсталирани на това място. Предвидени са и 88 инвертора, от които SUN2000 -185 KTL – H1.. Инсталираната мощност на ФЕЦ Осломеј - 2 ще бъде 19,95 kWp, т.е. 20 MW. Фотоволтаичните панели се поставят към слънцето под ъгъл  $10^0$ , половината от броя на проектираните панели се разполагат на същия, а другата половина на запад с азимут от  $90^0$  и  $-90^0$ . Фигури 4.57 и 4.58 показват разположението на панелите, а на следващите фиг. 4.59 и 4.60 са представени данни за засенчването.



Фигура 4.57. Схема на монтаж на фотоволтаични панели, ориентирани на запад



Фигура 4.58. Схема на монтаж на фотоволтаични панели, ориентирани на изток

На фиг.4.61 и 4.62 е дадено разположението и ориентацията на използваните модули.

Shading factor table (linear), for the beam component, Orient. #1																				
Azimuth	180°	160°	140°	120°	100°	80°	60°	40°	20°	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	
90°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.270	0.417	0.478	0.478	0.417	0.270	0.000	0.000	0.000

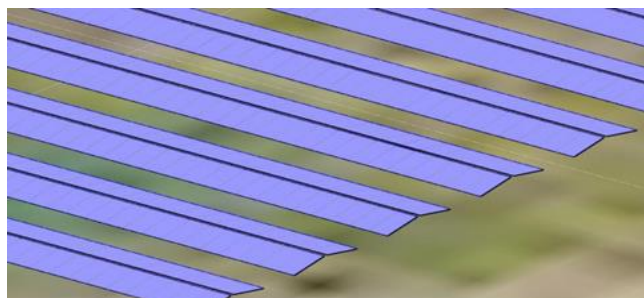
Shading factor for diffuse: 0.005 and for albedo: 0.389

Фигура 4.59 Засенчване на фотоволтаични панели, ориентирани на запад

Shading factor table (linear), for the beam component, Orient. #2																				
Azimuth	180°	160°	140°	120°	100°	80°	60°	40°	20°	0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	
90°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
70°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2°	0.000	0.000	0.270	0.417	0.478	0.478	0.417	0.270	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

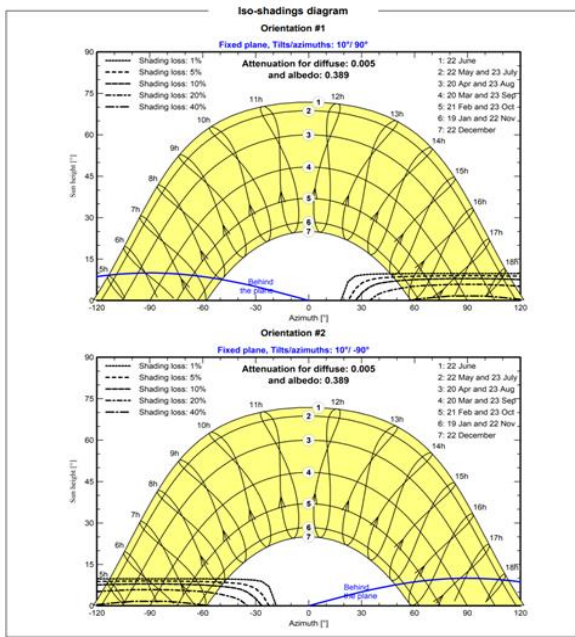
Shading factor for diffuse: 0.005 and for albedo: 0.389

Фигура 4.60 Засенчване на фотоволтаични панели, ориентирани на изток

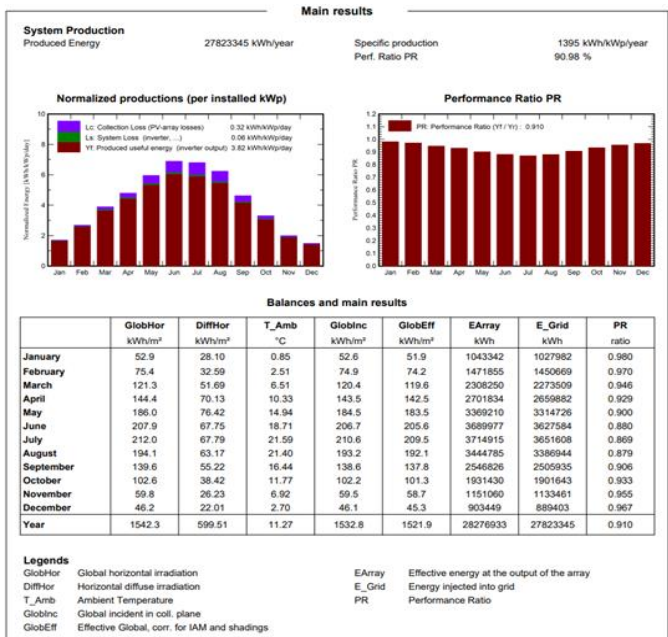


Фигура 4.61. Ориентация на фотоволтаичните панели изток-запад

Фигура 4.67 показва взаимното засенчване на панелите през деня от 5 сутринта до 19 часа за различен азимутален ъгъл. Фигура 4.68 показва, че специфичната енергия [kWh/kWp] е показател за производство, базиран на наличното облъчване (местоположение и ориентация) на месечна база в зависимост от температурата и местоположението, както и настъпилите загуби на енергия. От графиката се вижда, че загубите са минимални.



Фигура 4.67. Схема на засенчване на панелите през деня



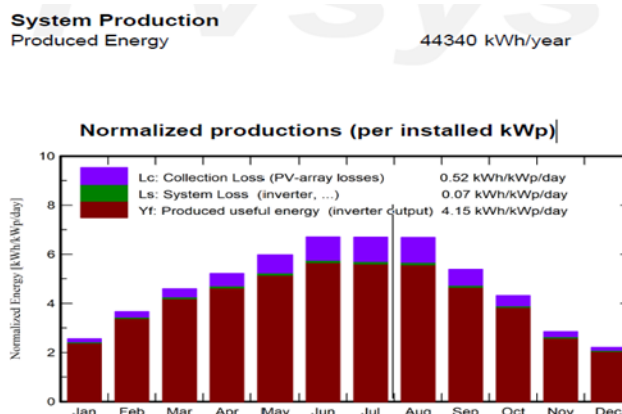
Фигура 4.68. Специфичната енергия

#### 4.8. Телеуправление на ФЕЦ

За да повишат енергийната си ефективност, мобилните оператори започнаха да изграждат фотоволтаични централи на покривите на сградите, за да намалят разходите си за електроенергия, както и на сгради, където са поставили антени за предаване на данни. В Република Северна Македонија покривите на мобилната мрежа е 90%. В определени планински райони, където няма електроразпределителна мрежа или има такава, но надеждността на електроразпределителната мрежа не е в границите на разрешените технически норми, поради тези причини изграждането на фотоволтаични централи за базови станции или за антенни стълбове зачести, с цел повишаване на надеждността на мобилната мрежа.[A1], [47]

В близост на ТЕЦ Осломей, на 80 км югоизточно, е планирана ФЕЦ - базова станция Телеком с мощност 29,28 kW. В този район няма изградена електроразпределителна мрежа, а изграждането ѝ би струвало много скъпо. Предвидени са 96 табла тип JAM60-DO3-VP и един инвертор SUN2000-30KTL-M3-480V, както и един акумулатор за съхранение на електроенергия 12v 200Ah. Предвидени са 4 стринга с 24 модула, свързани последователно.

Ъгълът на монтаж е 25°, а азимутът -10°, повърхността на панелите е 160 m<sup>2</sup>. Очакваното годишно производство на електроенергия е 44 340 kWh/год Фигура 4.72. [133-134]



Фигура 4.72. Очаквано годишно производство

Фигура 4.73 показва свързването на стрингове и инвертори, а фигура 4.74 показва изглед на монтирана базовата станция.



Фигура 4.73. Схема на свързване на модули в стрингове и с инвертори



Фигура 4.74. Външен вид на базовата станция

#### 4.9. Симулационно изследване на ефекта от изграждането на двете ФЕЦ 60 MWp върху електроенергийния микс на страната: сезонно и годишно

От направените симулации за ФЕЦ Битоля 40 MW и ФЕЦ Осломей 2, 20 MW според софтуерната програма PVsyst, може да се отбележи, че през зимата се очаква общо производство на електроенергия от 12 628 MWh, през пролетта 26 469 MWh, през лятото 32 522 MWh и през есента 19 147 MWh. Общо произведената електроенергия ще възлезе на 90 766 MWh (Таблица 4.9).

Общата електроенергия, произведена в Република Северна Македония през 2021 г., е 5 284 800 MWh, като общата очаквана електроенергия, произведена от ФЕЦ Битоля 40 MW и ФЕЦ Осломей 2, 20 MW, ще възлиза на 5 375 566 MWh, което представлява увеличение от 1,72%. Като се има предвид, че се планира тези фотоволтаични централи да бъдат изградени от АД ЕСМ, чието производство на електроенергия е 3 273 600 MWh, общото производство само на АД ЕСМ ще бъде 3 364 366 MWh, което представлява увеличение от 2,78%.

АД ЕСМ През 2021 г. през зимата има осветено производство на електроенергия от 1 145 760 MWh, през пролетта 491 040 MWh, през лятото 654 720 MWh и през есента 982 080 MWh.

От анализа може да се заключи, че АД ЕСМ, след изграждането на двете ФЕЦ, ще има най-висок процент от общо произведената електроенергия през пролетта с 5,34%, след това през лятото 4,87%, след това през есента 1,95% и накрая през зимата 1,10%. Най-голям е процентният дял на новите ФЕЦ от 5,34% от общото производство на електроенергия на АД ЕСМ през пролетта.

Причината за това е, че през този период произведената електроенергия е най-ниска, като се има предвид, че общото потребление на електроенергия през пролетта е най-малко.

Производството на електроенергия през лятото е на второ място, като резултатът от това е, че произведената електроенергия ще се увеличи от новите ФЕЦ, а консумацията на електроенергия е по-висока спрямо пролетта, тъй като поради високите температури общото потребление на електроенергия се увеличава поради използването на климатици за охлаждане, които се използват предимно през деня.



Таблица 4.9. Произведена електрическа енергия при присъединяване на новите ФЕЦ Битоля и Осломей

Период (сезон)	ФЕЦ Битоля 40 MW, произведена електрическа енергия MWh	ФЕЦ Осломей - 2, 20 MW произведена електрическа енергия MWh	Общо MWh	Общо произведена електрическа енергия от АД ЕСМ MWh	Процентен дял на новите ФЕЦ %
зимата	9 252	3 376	12 628	1 145 760	1,10%
пролет	18 223	8 246	26 469	491 040	5,34%
лято	21 851	10 671	32 522	654 720	4,97%
есента	13 617	5 530	19 147	983 080	1,95%
Общо	62 943	27 823	90 766	3 273 600	2,78%

#### 4.10. Изводи към четвърта глава

В тази глава е представено изчисляване на параметрите и симулационно изследване на две фотоволтаични централи с голяма мощност - ФЕЦ Битоля 40 MW и ФЕЦ Осломей - 2, 20 MW. На базата на това могат да се направят следните по-важни заключения:

1. Местата на фотоволтаичните централи са избрани върху земя собственост на ЕСМ АД, с намерението най-големият производител на електроенергия да ги изгради в най-кратки срокове, без законови пречки за изпълнение.

2. Връзките на ФЕЦ Битоля 40 MW И ФЕЦ Осломей - 2, 20 MW са възможни и реалистични, като се има предвид слабото производство на електроенергия в топлоелектрическите централи Битоля и ТЕЦ Осломей. Което означава, че има капацитет за свързване на съществуващите трансформаторни станции в ТС Битоля 2, 400/100 kV/kV и ТС Осломей 110/35 kV/kV. В момента за 9-10 месеца е изграден само един ФЕЦ Битоля-Новаци с инсталирана мощност 50 MW, чиято инвестиция е чуждестранна, турска частна компания. Пуснат е под напрежение на 29.10.2023г. Изградена е друга ФЕЦ Осломей с инсталирана мощност 50 MW, свързана е към електрическата мрежа, но е във фаза на тестване на оборудването. ФЕЦ Осломей 50 MW е изградена с публично-частно партньорство с чуждестранна българска компания и АД ЕСМ, което участва с 30%. 50-мегаватовата ФЕЦ Осломей има временен лиценз, докато оборудването не бъде тествано, как ще се отрази на електрическата мрежа, ако има някакви недостатъци, те трябва да бъдат отстранени междувременно, докато се получи постоянен лиценз за производство на електроенергия.

3. За ФЕЦ Битоля е избрано място, където слънчевата радиация е висока и възлиза на 1.792 kWh/m<sup>2</sup>/г. Изборът на локация е направен така, че да не представлява проблем за реализация. Предвид близостта на местоположението до ТС Битоля 2, 400/100 kV/kV, разходите за присъединяване ще бъдат минимални. Очакваното годишно производство на електроенергия е 62 943 MWh.

4. За ФЕЦ Осломей - 2 е избрано място, където слънчевата радиация е висока и възлиза на 1 539 kWh/m<sup>2</sup>/г. Изборът на локация е направен така, че да не представлява проблем за реализация. Като се има предвид близостта на местоположението до ТС Осломей, 110/35 kV/kV, разходите за свързване ще бъдат минимални. Очакваното годишно производство на електроенергия е 23 823 MWh.

5. За двете фотоволтаични централи се предвижда еднотипно оборудване с еднакви технически характеристики за фотоволтаичните модули и инвертори, Jetion JT545SSh(B) беше избран за фотоволтаични панели, а SUN2000 -185 KTL – H1 В момента този тип оборудване е най-търсеното на пазара в Република Северна Македония, така че цената им е приемлива. В зависимост от мощността се избира броя на фотоволтаичните панели и инверторите.

6. При избора на местоположенията беше взето предвид, че слънчевата радиация ще бъде висока и следователно очакваното производство ще бъде най-високо. Фотоволтаичните централи трябва да са в близост до съществуваща електропреносна/електроразпределителна мрежа, където има технически условия за присъединяване. Всичко това би позволило най-бързо изграждане, най-ниски инвестиционни разходи и бързо внедряване в електроенергийната система, инжектиране на произведената електроенергия, както и увеличаване на общото вътрешно производство на електроенергия.

7. Направени са симулации с различни видове фотоволтаични панели, като на базата на резултатите е избрано оборудването, което дава най-високо произведена електроенергия за конкретния случай.

8. От гледна точка на ефективността на системата при избора на оборудване е взета предвид и тяхната цена, като критерии и се избира баланс между ниска цена и добро качество.

9. От проведените симулации за ФЕЦ Осломеј е доказано, че положение изток-запад, дава най-добри резултати за произведената електроенергия и затова се препоръчва при изграждане и настройка на системата.

## ГЛАВА V. Енергийна ефективност от внедряване на фотоволтаични електроцентрали в електроенергийната система на Република Северна Македонија

### 5.1. Модели на енергийните потоци на ФЕЦ в енергийната система на Република Северна Македонија

Моделирането, мониторинга и симулациите на енергийните потоци е необходимо да се извършват с помощта на специализиран софтуер, съвместим със софтуера на оператора за пренос на електроенергийната мрежа на РСМ. С него са извършени симулации и изчисления за възможността за внедряване на нови производствени мощности. Симулациите на връзките на новопланираните ФЕЦ бяха направени с помощта на PSS (Симулация и моделиране на електроенергийната система) Siemens.

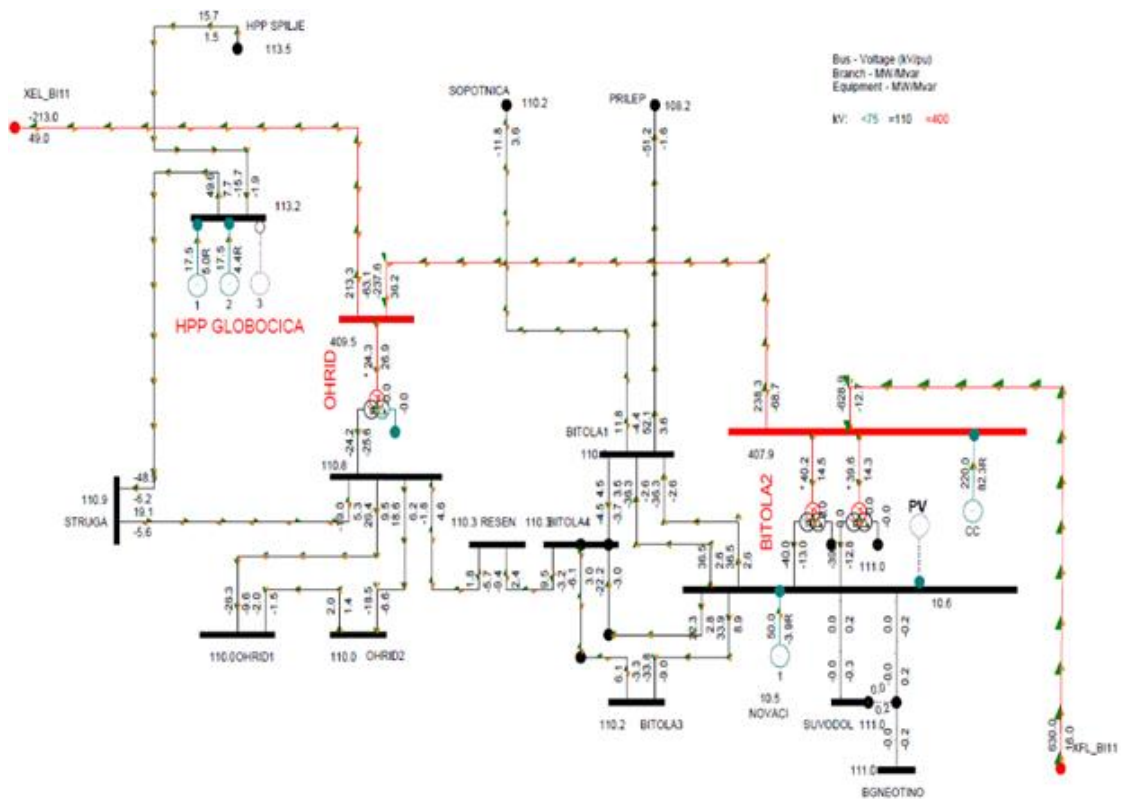
Фигура 5.1 показва топологията на електропреносната мрежа в РСМ. Електропреносната мрежа в Р. С. Македонија се състои от далекопроводи 400 kV и 110 kV.



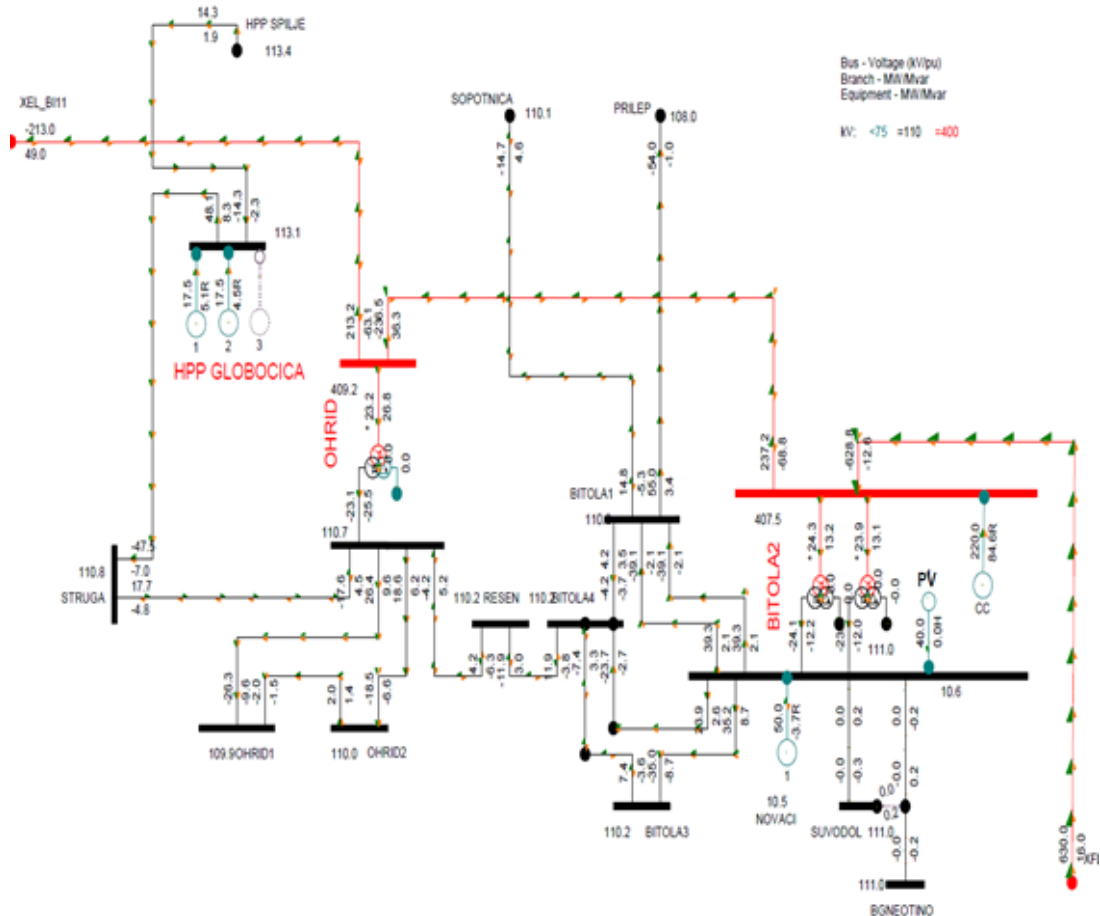
Фигура 5.1. Топология на електропреносната мрежа през 2022 г.

Република Северна Македонија е свързана със съседните страни, а именно с Р. Гърция изгражда далекопроводи, а именно 400 kV далекопровод ТС Битоля 2 - Мегити и 400 kV далекопровод ТС Дуброво 2 - Солун, с Р. България с далекопровод 400 kV ТС Щтип 1 – Цървена могила, с Р. Сърбия ТС Щтип 1 – Вранје 4 и с Косово с 400 kV далекопровод ТС Скопие 5 – Урошевац (Ferizaj 2). Също така в централната част на ж.к. Македонија също гравитира към ниво на напрежение 400 kV, а именно 400 kV далекопровод ТС Битоля 2 - ТС Скопие 4, ТС Скопие 4 - ТС Скопие 5, ТС Битоля 2 - ТС Дуброво, ТС Дуброво - ТС Скопие 4 и ТС Дуброво - ТС Щтип 1. Целта е изграждането на коридор 7, който ще представлява

далекопровод 400 kV ТС Битоля 2 - Елбасан Р. Албания. Този проект предвижда и реконструкция на трафопост ТС Охрид, който трябва да премине на 400/110 kV/kV.

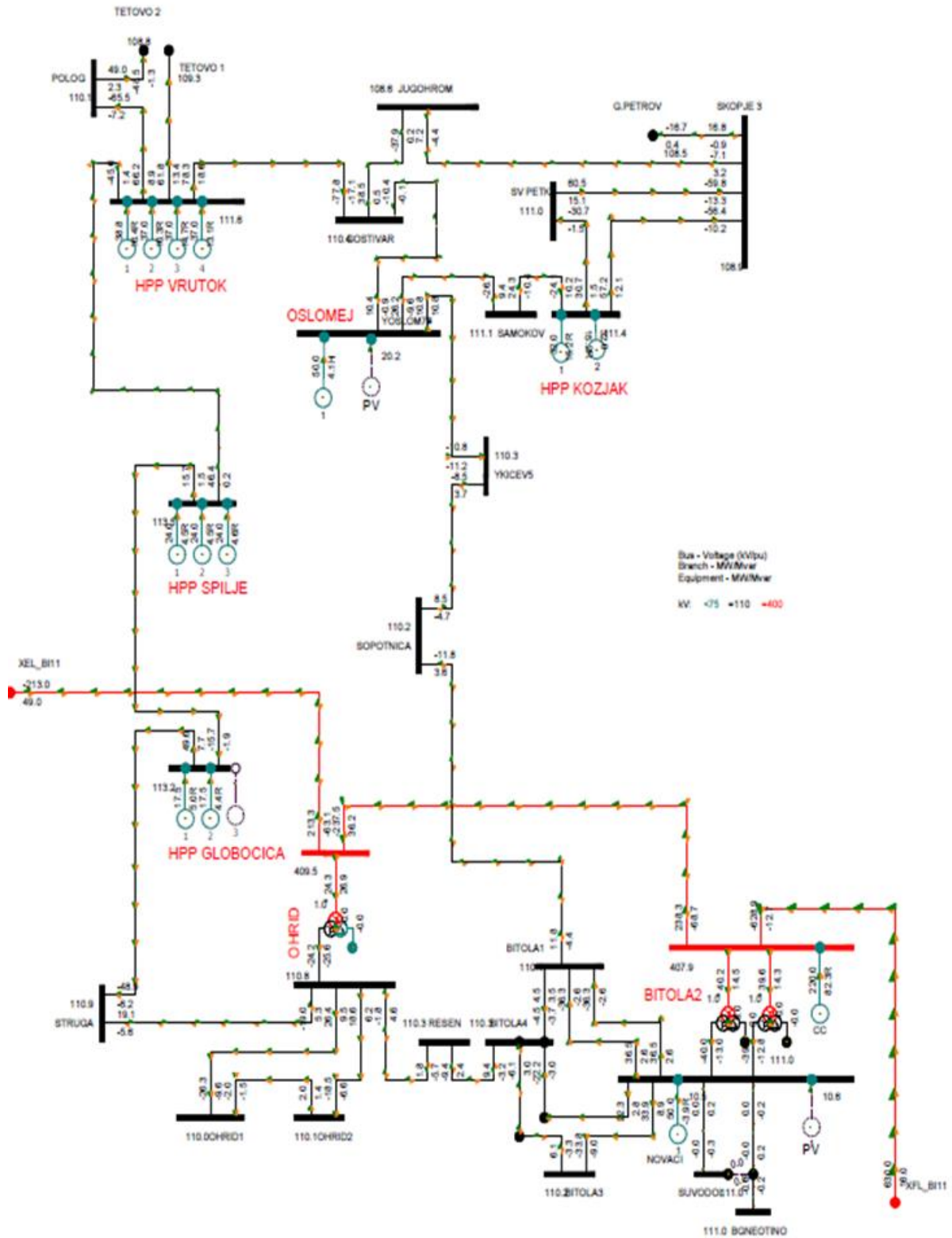


Фигура 5.2 Потоци на електроенергия – текуща ситуация без ФЕЦ Битоля 40 MW

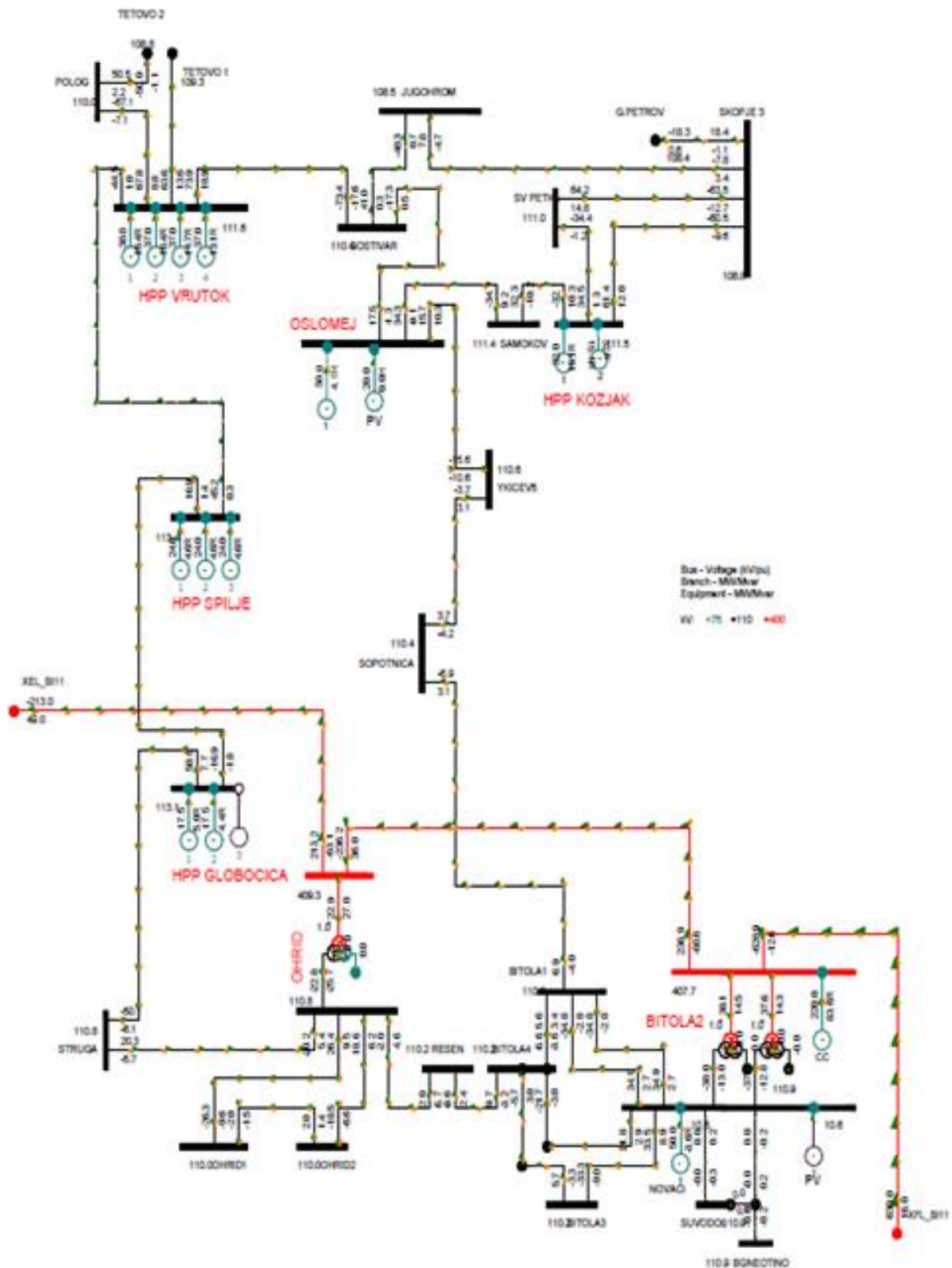


Фигура 5.3 . Потоци на електроенергия – текуща ситуация с ФЕЦ Битоля 40 MW

На Фигури 5.2 и 5.3 са показани енергийните топки на съществуващата електропреносна мрежа, както и новопланираната с изграждането на ФЕЦ Битоля. От графика 5.2 в участъка на ТС 400/110 kV/kV Битоля 2 се вижда, че в момента рудниците Суводол и Гнеотино не са в експлоатация, поради което няма потоци на електроенергия. В ТС 400/110 kV/kV Битоля 2 има три силови трансформатора с мощност 230 MW всеки. Тази част е предназначена за изпълнение на зеления сценарий от Стратежията за развитие на Република Северна Македонија.







Фигура 5.5. Потоци на електроенергия – текуща ситуация с ФЕЦ Осломеј 20 MW

На фигура 5.3 е видно, че се предвиждат нови производствени мощности. На ниво напрежение 110 kV в Битоля 2 вече е свързан един ФЕЦ Новаци-МЕЈ с инсталирана мощност от 50 MW, планира се нов ФЕЦ Битоля с инсталирана мощност от 40 MW, който е обхванат от тази статия. Предвижда се и нова когенерационна централа с инсталирана мощност 220 MW, която ще произвежда едновременно електрическа и топлинна енергия. Ако се разгледат напрежените условия в ТС Битоля 2 на шина 110 kV, може да се отбележи, че

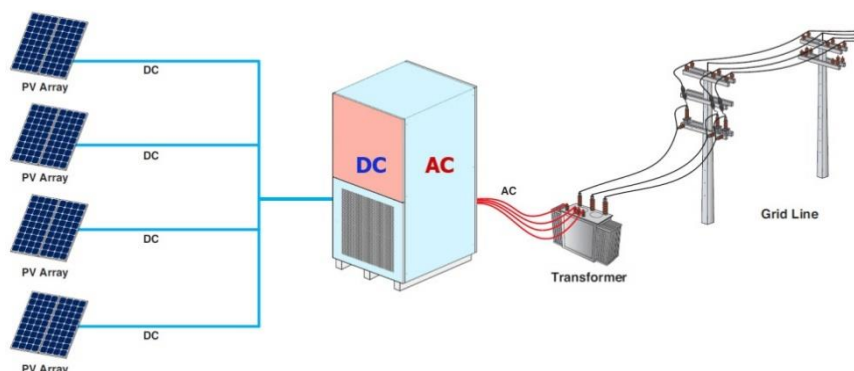
напрежението е в допустимите граници и е 111 kV. Това означава, че ФЕЦ Битоля 2, както и когенерационната централа изобщо няма да нарушат техническите параметри на електропреносната мрежа, а напротив, ще ги подобрят, като се има предвид, че двама потребители на два града в Р. С. Македония Битоля и Прилеп, които имат голямо потребление на електроенергия. Фигури 5.2 и 5.3 също показват новопланираната връзка 400 kV ТС Битоля - ТС Охрид - Елбасан Р. Албания.

Фигури 5.4 и 5.5 показват токовете на мощността в електропреносната мрежа в съществуващото състояние и след свързването на ФЕЦ Битоля 40 MW и ФЕЦ Осломеј 2, 20 MW. Цифрите, показващи текущото състояние на мощността в електропреносната мрежа, показват и новоизградените ФЕЦ Новаци-МЕЈ и ФЕЦ Осломеј ОСН. От фиг. 5.4 може да се види, че ТС Осломеј110/35/10 kV/kV/kV няма товар, главно защото мината не е в експлоатация, следователно потоците на мощност са незначителни. И в този регион може да се приложи зеленият сценарий от Стратегијата за развитие, тоест нови електроцентрали, особено фотоволтаични, могат да бъдат изградени за сметка на неработещата ТЕЦ Осломеј.

На фигура 5.5 една фотоволтаична електроцентрала ФЕЦ Осломеј ОСН, частна инвестиция с инсталирана мощност от 50 MW, която има лиценз за пробна експлоатация, т.е. за тестване на оборудването, вече е свързана към ТС Осломеј 110/35/10 kV/ kV/kV.

### 5.2. Електромагнитна съвместимост на интелигентна електроенергийна мрежа

В общия случай съществуват стандарти, регламентиращи взаимодействие между три системи: захранваща мрежа, електрическо оборудване и околното пространство (фиг. 5.6).



Фигура 5.6. Пример за „grid connected“ ФЕЦ

Целите на стандартите, свързани с взаимодействието между захранващата мрежа и електрическото обзавеждане са следните: гарантиране работата на електрическото оборудване, свързано към една електроразпределителна мрежа, ограничаване нивото на вредни хармоници и смущения, гарантиране възможността за издържане на определено ниво на хармоници и смущения и доставяне на електрическа енергия с качество съвместимо с характеристиките на оборудването.

### 5.3. Предварителна оценка и разходи за включване на ФЕЦ Битоля в електропреносната мрежа

В Приложение 1 в Таблица П.1, са представени всички дейности, материали и други разходи свързани с направата и присъединяването на ФЕЦ Битоля в електропреносната мрежа на република С. Македония.

Общата стойност на изграждането на ТС 110/10 kV/kV, 50 kVA, заедно с далекопровод 110 kV и разпределение 10 kV е 7 257 581 евро с ДДС, като това е представено в Таблица П.3 (Приложение 3).

Стойността на изграждането на ФЕЦ Битоля 40 MW е 23 103 563 евро с ДДС.

Общата стойност на цялата инвестиция ще възлиза на 30 361 144 евро с ДДС.

### 5.4. Предварителна оценка и разходи за включване на ФЕЦ Осломеј - 2 в електропреносната мрежа

В Приложение 4 в Таблица П.4, съм представила всички дейности, материали и други разходи свързани с направата и присъединяването на ФЕЦ Осломей - 2 в електропреносната мрежа на република С. Македония.

*Обща цена на ФЕЦ Осломей- 2, 20 MW и 35 KV връзка*

Общата стойност на ФЕЦ Осломей 20 MW е 12 568 554 евро.

Стойността на 35 kV връзка е 613 600 евро.

Общата инвестиция ще възлиза на 13 182 154 евро

### **5.5. Техничко-икономически анализ на инвестициите на ФЕЦ Битоля 40 MW и ФЕЦ Осломей - 2, MW**

Общата инвестиция на ФЕЦ Битоля 40 MW възлиза на 30 361 144 евро с ДДС. Докато общата инвестиция на ФЕЦ Осломей -2, 20 MW възлиза на 13 182 154 евро с ДДС. Това означава, че двете инвестиции заедно ще възлизат на 43 543 298 евро с ДДС.

Общата очаквана годишна електроенергия, произведена от ФЕЦ Битоля 40 MW е 62 943 MWh. Докато общото очаквано годишно електричество, произведено от ФЕЦ Осломей - 2,40 MW, е 27 823 MWh. Двете фотоволтаични електроцентрали ФЕЦ Битоля 40 MW и ФЕЦ Осломей - 2,40 MW ще произведат общо 90 766 MWh. Ако се има предвид, че през 2021 г. вносът на електроенергия възлиза на 2 621 GWh, то с изграждането на новопланираните фотоволтаични централи вносът ще намалее и ще възлезе на 2 539 438 MWh. С изграждането на ФЕЦ Битоля и ФЕЦ Осломей-2 вносът на електроенергия ще намале с 3,46%.

*Таблица 5.1. Очаквано месечно производство*

2024				2025			
месец	MWh	евро/MWh	Евро	месец	MWh	евро/MWh	евро
януари	4 940	200	988 000	януари	4 940	200	988 000
февруари	4 034	200	806 800	февруари	4 034	200	806 800
Март	7 780	150	1 167 000	Март	7 780	150	1 167 000
април	7 800	150	1 170 000	април	7 800	150	1 170 000
Май	9 736	150	1 460 400	Май	9 736	150	1 460 400
юни	9 736	150	1 460 400	юни	9 736	150	1 460 400
Юли	9 736	150	1 460 400	Юли	9 736	150	1 460 400
Август	9 736	150	1 460 400	Август	9 736	150	1 460 400
Септември	9 736	150	1 460 400	Септември	9 736	150	1 460 400
октомври	8 532	200	1 706 400	октомври	8 532	200	1 706 400
ноември	4 500	200	900 000	ноември	4 500	200	900 000
декември	4 500	200	900 000	декември	4 500	200	900 000
	90 766		13 479 800		90 766		13 479 800

*Таблица 5.2. Очаквано месечно производство*

2026				2027			
месец	MWh	евро/MWh	евро	месец	MWh	евро/MWh	евро
януари	4 940	200	988 000	януари	4 940	200	988 000
февруари	4 034	200	806 800	февруари	4 034	200	806 800
Март	7 780	150	1 167 000	Март	7 780	150	1 167 000
април	7 800	150	1 170 000	април	7 800	150	1 170 000
Май	9 736	150	1 460 400	Май			
юни	9 736	150	1 460 400	юни			
Юли	9 736	150	1 460 400	Юли			
Август	9 736	150	1 460 400	Август			
Септември	9 736	150	1 460 400	Септември			
октомври	8 532	200	1 706 400	октомври			
ноември	4 500	200	900 000	ноември			
декември	4 500	200	900 000	декември			
	90 766		13 479 800		24 554		2 961 800

В докторската дисертация е предвиден сценарий, според който от 2024 г. до 2027 г. както ФЕЦ Битоля, така и ФЕЦ Осломей-2 се очаква да продават произведената

електроенергия на националния пазар. Предвижда се през 2024 г - 2027 г .цената през зимните месеци ще бъде 200 евро/MWh, а през останалите 180 евро/MWh. [121-122]

С този начин на прогнозиране цената на електроенергията да се движи от 2024 г. до 2027 г., най-големият производител на електроенергия АД ЕСМ в Македония ще възстанови инвестицията за 3,3 години. Свободният пазар на електроенергия обаче е доста динамичен и непредсказуем, ако прогнозираните месечни цени на електроенергията са значително пониски, тогава възвръщаемостта на инвестицията ще бъде от 5 до 7 години.

#### **5.6. Изводи към Пета глава**

На базата на представената информация в тази глава може да се направят следните изводи:

1. За ФЕЦ Битоля са предвидени петнадесет трафопоста ТС 10/0,8 kV/kV 2 500 kVA, които ще бъдат свързани към нова трафопост ТС 110/10 kV/kV. Това ще е трето фотоволтаична централа с такава мощност и свързана към електрическата мрежа

2. Осем трансформаторни станции ТС 35/0,8 kV/kV 2 500 kVA са планирани за ФЕЦ Осломей, които ще бъдат свързани към съществуващата трансформаторна станция ТС Осломей 110/35 kV/kV, чието ниво на напрежение 35 kV е собственост на АД ЕСМ. По този начин фотоволтаична централа с мощност 20 MW ще бъде свързана към електроразпределителна мрежа. Освен това разходите за свързване са минимални.

3. Общата инвестиция за двете фотоволтаични електроцентрали ФЕЦ Битоля 40 MW и ФЕЦ Осломей - 2, 20 MW ще възлиза на 43 543 298 евро с ДДС, за общо инсталирани 60 MW. Цената на MW е 725 721 евро.

4. Съгласно прогнозните месечни цени за продажба на електроенергия на свободния пазар, за зимния период от 200 евро/MWh и за останалите месеци от годината от 150 евро/MWh, се очаква възвръщаемостта на инвестицията да бъде 3,3 години.

5. Ако се вземе предвид, че животът на оборудването е до 25 години, това означава, че оставащият период от 21,7 години би бил чиста печалба за АД ЕСМ.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Македония не е използвала напълно потенциала на слънчевата енергия на своята територия. Ако ФЕЦ Осломей - 2, 20 MW и ФЕЦ Битоля 40 MW бъдат изградени и свързани в преносната система, процентният дял на електроенергията, произведена от слънцето по отношение на общата електроенергия, произведена в Македония, ще се увеличи. Изграждането им значително би намалило импортната зависимост на Република Македония. Разходите за внос на електроенергия ще бъдат значително намалени.

Причината за намаленото производство на електроенергия е изчерпването на въглища, изчезването му, както и ниската калоричност. Най-големият производител АД ЕСМ (по-рано заглавието е АД ЕЛЕМ) на електроенергия трябва да започне изграждането на нови фотоволтаични централи. Също така АД ЕСМ трябва да промени енергийното си портфолио, като увеличи производството на електроенергия чрез внедряване на фотоволтаични електроцентрали. Изграждането на новите фотоволтаични електроцентрали ФЕЦ Осломей - 2, 20 MW и ФЕЦ Битоля 40 MW е проект, който лесно може да се осъществи и би донесъл значителна полза за Република Македония. Това би поставило началото на изграждането на други нови фотоволтаични централи с по-висока мощност, свързани към електропреносната мрежа.

Изграждането на ФЕЦ Битоля 40 MW и ФЕЦ Осломей - 2, 20 MW, които са проектирани в тази докторска дисертация, се планира да бъдат изградени със средства на АД ЕСМ Македонија. Ако се вземат предвид изградените фотоволтаични електроцентрали ФЕЦ Битоля -Новаци МЕЈ и ФЕЦ Осломей, общото годишно производство на тези ФЕЦ би възлизало на 239 000 MWh. В този случай вносът на електроенергия ще намалее с 9,09%, а вътрешното производство ще се увеличи с 4,52%. Що се отнася до възвръщаемостта на тези две инвестиции, тя ще бъде приблизително три години и четири месеца. В Македония това е началото на изграждането на големи фотоволтаични централи, които ще бъдат свързани към



електрическата мрежа, а това ще въздейства натоварващо върху електропреносната мрежа и ще породи необходимост от изграждането на връзка 110 kV, както и изграждането на ТС 110/10 kV/kV, но това представлява типичен проблем на енергийния преход в областта на използването на възобновяеми източници и в частност слънчевата енергия.

С изграждането на ФЕЦ Битоля и ФЕЦ Осломей 2 други чуждестранни инвеститори ще бъдат насърчени да изградят фотоволтаични електроцентрали с големи мощности. Всичко това ще се реализира чрез отдаване под наем или концесия на земя на чужди инвеститори за срок от 40 години. Особено привлекателни за инвеститорите са регионите с висока слънчева радиация, като Пелагонския регион, Пологския регион, долините Щип и Валандово, където слънчевата радиация е над 1 700 kWh/m<sup>2</sup>. Също така в Република Северна Македония има Закон за стратегическите инвестиции, с който, ако се установи, че инвестицията носи огромна полза за Република Северна Македония, цялостните процедури, които се провеждат в институциите, значително се съкращават.

В бъдеще трябва да се обмисли и възможността за съхранение на електроенергия, получена от възобновяеми източници. По този начин ще се увеличи процентният дял на електроенергията, произведена от възобновяеми източници, в общото потребление на електроенергия. Спестяванията ще се увеличат, както финансови, така и по отношение на потреблението на електроенергия.

## ПРИНОСИ ОТ ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

### Научно-приложни приноси

1. В резултат на извършеното детайлно аналитично проучване на баланса на производството на електрическа енергия и в частност от фотоволтаични електроцентрали в 4 държави на Балканския полуостров - Република Северна Македония, България, Сърбия и Хърватия, са направени аргументирани препоръки за изграждане на нови фотоволтаични електроцентрали в Република Северна Македония.

2. Синтезиран е модел на електроенергийната система на Република Северна Македония, даващ възможност за анализ на промените на енергийните потоци, загубите на енергия и пренапреженията в електропреносната мрежа при свързването на новопроектираните фотоволтаични електроцентрали.

### Приложни приноси

1. Изследван е потенциала на слънчевата радиация за производството на електрическа енергия от фотоволтаични електроцентрали на територията на Република Северна Македония.

2. Разработени да детайлни вариантни проекти на 2 фотоволтаични централи на територията на Република Северна Македония с обща мощност 60 MW<sub>p</sub>, с използване на 4 различни варианти на технологии и ориентация на фотоволтаичните модули.

3. Направен е технико-икономически анализ и оценка на рентабилността от изграждането на новите 2 фотоволтаични електроцентрали на територията на Република Северна Македония, с отчитане на зависимостта от очакваните цени на пазара на електроенергия през следващите години.

## СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

[A1] Arsov B., Arsova E., Sadinov S., Measurements of the non-ionizing radiation of 5G base station of mobile operator Makedonski Telekom AD Skopje and electricity supply with photovoltaic plant, EEPES.EU, International Conference on Electronics, Engineering, Physics and Earth Science, EEPES 2023 Conference, Scopus (ID144, page 19), Kavala, Greece, June 2023 (Indexing and Publishing AIP Conference Proceedings is indexing in: Scopus, CPCI (part of Web of Science), Inspec index, SJR 0.19) (in Print)

Прилага се сертификат за приемане на публикацията.

<https://pubs.aip.org/aip/acp>

[A2] **Arsova E.**, Expansion of renewable energy sources in 2022 in the RN Macedonia, 7th International Scientific Conference – TechCo 2023, June 2023, Technical College Lovech – Bulgaria

[https://www.tugab.bg/images/tk-lovech/programa\\_TechCo-2023\\_n.pdf](https://www.tugab.bg/images/tk-lovech/programa_TechCo-2023_n.pdf)

[A3] **Arsova E.**, Electricity crisis in 2021 in the RN Macedonia and recommendations for the future, 7th International Scientific Conference – TechCo 2023, June 2023, Technical College Lovech – Bulgaria

[https://www.tugab.bg/images/tk-lovech/programa\\_TechCo-2023\\_n.pdf](https://www.tugab.bg/images/tk-lovech/programa_TechCo-2023_n.pdf)

[A4] **Arsova E.**, Tsankov P., Implementation of 40 MW photovoltaic power plant Bitola in RN Macedonia, International Scientific Conference UNITECH 2023, November 2023, Technical University in Gabrovo – Bulgaria

[https://unitech2023.tugab.bg/images/thematic-sessions/ELECTRICAL%20ENGINEERING/s1\\_p44\\_v3.pdf](https://unitech2023.tugab.bg/images/thematic-sessions/ELECTRICAL%20ENGINEERING/s1_p44_v3.pdf)

[A5] **Arsova E.**, Tsankov P., Design of 20 MW Photovoltaic power plant Oslomej in RN Macedonia, International Scientific Conference UNITECH 2023, November 2023, Technical University in Gabrovo – Bulgaria

[https://unitech2023.tugab.bg/images/thematic-sessions/ELECTRICAL%20ENGINEERING/s1\\_p45\\_v3.pdf](https://unitech2023.tugab.bg/images/thematic-sessions/ELECTRICAL%20ENGINEERING/s1_p45_v3.pdf)

#### **Авторски трудове свързани с темата на дисертацията преди зачисляване на докторанта**

[1A] Наташа Велјановска, *Елизабета Арсова*, Марко Бислимоски, Димитар Петров, Елена Маркова – Велинова – „Анализ на влиянието на закупуването на електроенергия от преференциални производители върху средната цена на електроснабдяване за тарифните потребители в Република Македонија през 2011 г.“ - Cigre 2013; ISBN 978-80-89402-11-3

[2A] Наташа Велјановска, *Елизабета Арсова*, Марко Бислимоски, Светлана Јаневска, Куштрим Рамадани – „Третиот пакет от законодателство за електроенергијата в Европскиот савез“ – Cigre 2013; ISBN 978-80-89402-11-

[3A] Марко Бислимоски, Наташа Велјановска, *Елизабета Арсова*, Видан Кулевски, Куштрим Рамадани – „Въздействието на новото подзаконово регулирање на цените/тарифното регулирање върху крайните потребителски цени“ – Cigre 2013; ISBN 978-80-89402-11-3

[4A] *Елизабета Арсова*, Марко Бислимоски, Наташа Велјановска, Димитар Петров, Светлана Јаневска – „Регистрација на учесниците на пазара на електроенергија и формирање на балансови групи“ – Cigre 2013; ISBN 978-80-89402-11-3

[5A] Марко Бислимоски, Наташа Велјановска, *Елизабета Арсова*, Видан Кулевски, Елена Маркова - Велинова – „Изчислявање на отклоненијата на договорените и реализирани сделки“ – Cigre 2013; ISBN 978-80-89402-11-3

[6A] Наташа Велјановска, Марко Бислимоски, *Елизабета Арсова*, Димитар Петров, Светлана Јаневска – „Въздействието на закупуването на електроенергија, произведена од преференциални производители“ – Cigre 2015; ISBN 978-608-4578-07-9

[7A] Марко Бислимоски, Наташа Велјановска, *Елизабета Арсова*, Видан Кулевски, Куштрим Рамадани – „Ефекти од либерализацијата на пазара на електроенергија“ – Cigre 2015; ISBN 978-608-4578-07-9

[8A] *Елизабета Арсова*, Марко Бислимоски, Наташа Велјановска, Елена Маркова – Велинова, Куштрим Рамадани – „Усвојување на начина и условјата за приклучување на потребителите към електроразпределителната мрежа согласно Мрежовите правила“ – Cigre 2015; ISBN 978-608-4578-07-9

# **TITLE: „ANALYSIS OF THE OPPORTUNITIES FOR THE IMPLEMENTATION OF NEW PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS IN THE ELECTRICAL ENERGY SYSTEM OF THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA“**

**Author: MSc. Eng. Elizabeta Trayko Arsova**

## **ABSTRACT:**

*The object of research in the dissertation* is the photovoltaic power plants and their commissioning, as new capacities in the electricity system of the Republic of North Macedonia, to replace the old non-ecological and polluting power plants with harmful emissions.

*The main goal of the dissertation* is to analyze the possibilities for implementing new photovoltaic power plants in the electricity system of the Republic of North Macedonia. To achieve the main goal, it is necessary to complete the following *tasks*:

1. To study good practices from the neighboring countries of the region and analyze the energy balance when implementing renewable sources of electricity in the Republic of North Macedonia.
2. To develop a methodology for studying the potential of solar radiation and simulating electricity production from photovoltaic systems on the territory of the Republic of North Macedonia.
3. To synthesize a scheme and model the operation of powerful photovoltaic plants on the territory of the Republic of North Macedonia.
4. To model the work and the energy balance of the Republic of North Macedonia after the accession of the newly built photovoltaic power plants, in order to analyze the changes in energy flows, energy losses and overvoltages in the power transmission network.
5. To carry out a technical and economic analysis of the construction of new photovoltaic power plants on the territory of the Republic of North Macedonia, depending on the expected prices that may reach in the coming years on the electricity market.

*The research methods* used in solving the tasks set in the dissertation are: theoretical analysis, computer design, modeling and simulation studies, using methods of mathematical statistics for data processing. Conceptual electrotechnical projects, simulation of the mode of operation of two new FPPs and their connection to the energy system of the Republic of North Macedonia, as well as a technical and economic analysis of the profitability of their construction, which improves the efficiency and infrastructure of the electricity supply to the population, have been implemented.

*Scientific and applied contributions:*

1. As a result of the detailed analytical study of the balance of electricity production and, in particular, of photovoltaic power plants in 4 countries on the Balkan Peninsula - the Republic of North Macedonia, Bulgaria, Serbia and Croatia, reasoned recommendations have been made for the construction of new photovoltaic power plants in Republic of North Macedonia.
2. A model of the electricity system of the Republic of North Macedonia has been synthesized, enabling the analysis of changes in energy flows, energy losses and overvoltages in the power transmission network when connecting the newly designed photovoltaic power plants.
3. The potential of solar radiation for the production of electrical energy from photovoltaic power plants on the territory of the Republic of North Macedonia was investigated.
4. Developed and detailed variant projects of 2 photovoltaic plants on the territory of the Republic of North Macedonia with a total capacity of 60 MWp, using 4 different variants of technologies and orientation of the photovoltaic modules.
5. A technical-economic analysis and evaluation of the profitability of the construction of the new 2 photovoltaic power plants on the territory of the Republic of North Macedonia was made, taking into account the dependence on the expected prices on the electricity market in the coming years.

**Keywords:** photovoltaic power plant, electric power distribution modeling and simulation, photovoltaic system design and simulation, PVGIS, PVsyst, PSS Siemens.