

## ОБРАБОТКА И ИЗСЛЕДВАНЕ НА ДВЕГОДИШНИ ДАННИ ЗА ДОБИВ НА СЛЪНЧЕВА ЕНЕРГИЯ С ИЗПОЛЗВАНЕ НА MC Vantage Pro2 Plus В РЕГИОН СТ. ЗАГОРА

Веселин Ташев<sup>1</sup>, Ролф Вернер<sup>1</sup>, Мариана Горанова<sup>2</sup>, Ангел Манев<sup>1</sup>, Богдана Мендева<sup>1</sup>,  
Димитър Вълев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките

<sup>2</sup>Технически университет София, Факултет по компютърни системи и управление  
e-mail: veselint@abv.bg;

**Ключови думи:** Слънчева радиация, слънчева енергия, метеорологични измервания

**Резюме:** В продължение на 28 месеца или малко повече от 2 години са измерени, събрани и обработени база данни за слънчевото греене в регион Ст. Загора. С помощта на тези данни се проследява изменението на енергийните слънчеви характеристики през различните месеци, свързано със сезонния характер на положението на Слънцето. Показана е и степента на повтаряемост през едноименните месеци за различни години. В таблици и графики е дадено почасовото изменение в рамките на един ден а също и сравнението на това изменение за няколко последователни дни. Проследени са и дневните изменения в рамките на един и няколко месеца. Данните са измерени и събрани с помощта на Метеорологичната станция Vantage Pro2 Plus за период през 15 минути. В настоящето изложение директно получените данни от сензорите са интегрирани и преизчислени за да могат да се получат резултати за слънчевата енергия, която се усвоява за определен период от време от единица площ на земната повърхност. С получените резултати на практика става възможно да се изчисли и прогнозира енергийната ефективност на фотосоларните станции монтирани в регион Стара Загора.

## PROCESSING AND INVESTIGATION OF THE TWO-YEAR YIELD DATA OF SOLAR ENERGY USING WS Vantage Pro2 Plus IN THE REGION ST. ZAGORA

Veselin Tashev<sup>1</sup>, Rolf Werner<sup>1</sup>, Mariana Goranova<sup>2</sup>, Angel Manev<sup>1</sup>, Bogdana Mendeva<sup>1</sup>,  
Dimitar Valev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences

<sup>2</sup>Technical University Sofia, Faculty of Computer Systems and Control  
e-mail: veselint@abv.bg

**Keywords:** Solar radiation, solar energy, measurement of meteorological parameters

**Abstract:** In a period of 28 months, or slightly more than 2 years, database for sunshine in the region Stara Zagora are collected and analyzed. By the use of the data, the change of solar energy characteristics during different months, related to the earth seasons and Sun's location, is tracked. The repeatability for corresponding months of different years is revealed too. The hourly daylight change for one day as well as a comparison of the change for several consecutive days are presented in Tables and graphs. The daily changes are tracked for a month and within a few months. The data have been measured and collected in 15 minutes intervals by the help of a meteorological station Vantage Pro2 Plus. In the presented paper, the precisely received data from the sensors are integrated and approximated in order to obtain information for the absorbed solar energy per unit area for a given time period. Practically, the obtained results provide possibility the energy efficiency of photovoltaic plants installed in the region Stara Zagora to be calculate and predicted.

### 1. Въведение

За да се проследи изменението на енергийните слънчеви характеристики през различните времеви периоди се използва база данни получени от Метеорологичната станция Vantage Pro 2 Plus, която е от полупрофесионален тип. В сравнение с основния вариант на

метеостанциите от типа на Vantage Pro, полупрофесионалната станцията Vantage Pro 2 Plus е снабдена с допълнителни сензори за измерване на слънчевата радиация и слънчевото ултравиолетово излъчване. Тези сензори регистрират интензивността на слънчевата радиация, дозата и индекса на ултравиолетовото излъчване. Метеорологичната станция Vantage Pro 2 Plus предоставя на своите потребители освен седемте директно измервани метеорологични параметри като: температура, относителна влажност, атмосферно налягане, валежи, скорост и посока на вятъра и още над тридесет производни параметри, като слънчева енергия (Solar Energy), която се получава чрез интегриране по време на директно измерваната Слънчева радиация ( Solar Radiation).

Метеостанцията Vantage Pro 2 Plus е продукт на американската корпорация Davis. Поради тази причина Слънчевата енергия е дадена в единица Langley.

$$1 \text{ Langley} = 11.622 \text{ Wh/m}^2$$

Всички данни за метеорологичните параметри могат да се експортират чрез файл в текстови формат за тяхната по-нататъшна обработка.

## **2. Зависимост между слънчевата радиация и слънчевата енергия**

Слънчевата радиация е важен фактор във фотосоларната енергетика, която придобива все по-голяма актуалност през последните години. Връзката между слънчевата енергия и слънчевата радиация се получава като измерванията за слънчевата радиация се интегрират по време. По този начин измерванията на слънчева радиация се превръщат в данни за слънчевата енергия.

Особено важно е да се знае, че добивът на енергия за различните региони може да е съвсем различен. Това се дължи на факта, че само част от слънчевата енергия достига до земната повърхност. Една част от падащата слънчевата радиация върху земната атмосфера се рефлектира директно обратно в космоса, а друга част се абсорбира в стратосферата и тропосферата. Общо около 19% от слънчевата енергия не достига долните слоеве на земната повърхност (Roedel, 1994) [4].

Интензитетът на слънчевата радиация намалява главно поради поглъщането от водните пари в инфрачервената област на спектъра, озоновото поглъщане в ултравиолетовата област и разсейването от частиците във въздуха. Такива компоненти като въглеродния двуокис и някои други газове, които се съдържат в по-малки количества в атмосферата, поглъщат част от топлинната радиация, излъчена от земната повърхност. Следователно добивът на енергия за различните региони може да е съвсем различен в зависимост от техните особености.

Слънчевата енергия се излъчва главно като електромагнитна радиация със спектър на идеално черно тяло характеризиращо се с температура от приблизително 6000K. Слънчевата радиация е плътността на лъчистия енергиен поток излъчван от Слънцето, измерван на разстояние една астрономическа единица върху единица хоризонтална площ за единица време. Тя се измерва в единици ват на квадратен метър [  $W/m^2$  ]. Количеството енергия на квадратен метър за определен период от време се получава чрез интегриране на слънчевата радиация по време. Поради тази причина количеството слънчева енергия се измерва в единици ватчас на квадратен метър [  $W \cdot h/m^2$  ].

Интензитетът на слънчевата радиация падаща върху земната повърхност, се изменя в зависимост от разстоянието Земя-Слънце. Степента на абсорбцията на слънчевата радиация зависи от дължината на оптичния път, който светлината трябва да премине през атмосферата за да достигне от горните слоеве на атмосферата до повърхността на Земята. Тя е обратнопропорционална на косинуса на ъгъла между положението на Слънцето и зенита.

Слънчевата радиация падаща върху дадена повърхност има две компоненти. Едната е директната радиация, падаща върху повърхността без изменение на посоката. Другата е дифузната радиация, която представлява сумата от разсеяната в атмосферата и отразена от почвата и околните предмети радиация, падаща върху дадена повърхност. Наличието на облаци води до отслабване на директната и увеличаване на разсеяната радиация.

В настоящите изследвания разчетите са направени за потока от слънчева енергия, който попада върху фотосоларните преобразователи, а каква част от него ще се усвои зависи от коефициента на полезно действие на съответните преобразователи.

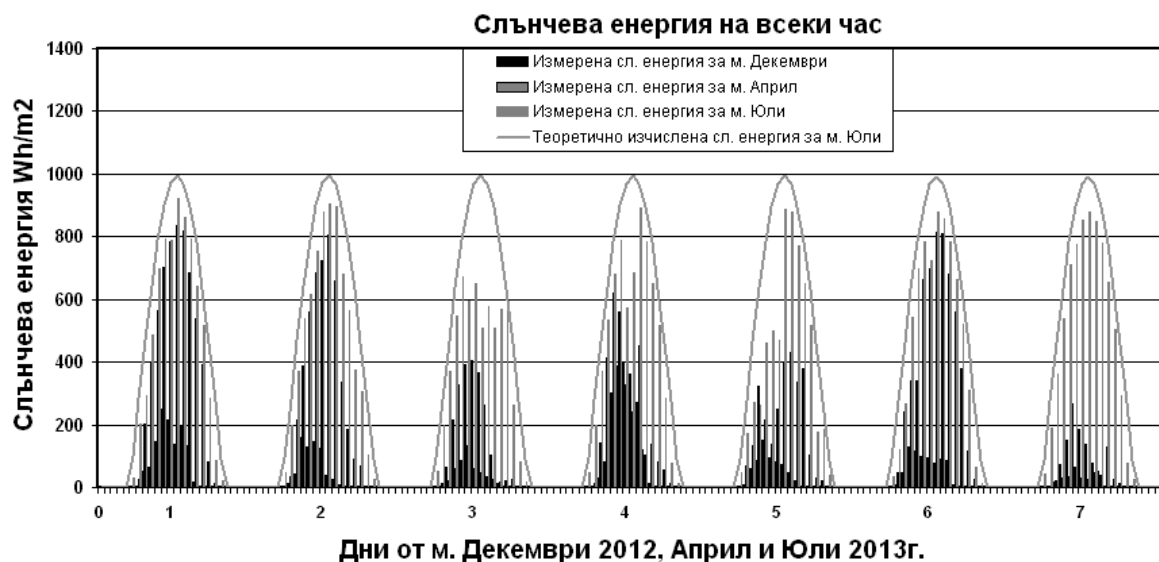
## **3. Използване на данните измерени с помощта на метеорологичната станция Vantage Pro 2 Plus за изследване на слънчевата енергия падаща на земята**

Данните получени от метеорологичната станция се запазват във файлове с текстови формат, като за всеки 15 минути е направено по едно измерване. След това тези данни се

интегрират за всеки час, за всеки ден и за всеки месец. Общият обем на базата данни е за период от 28 месеца. Получените резултати са показани в графичен и табличен вид.

### 3.1 Изследване на часовия ход на слънчевото греене

Слънчевата енергия измерена за всеки час т.е. сумарната слънчевата радиация за един час за период от една седмица през различни месеци е показана на фиг.1.



Фиг. 1. Слънчева енергия измерена за всеки час

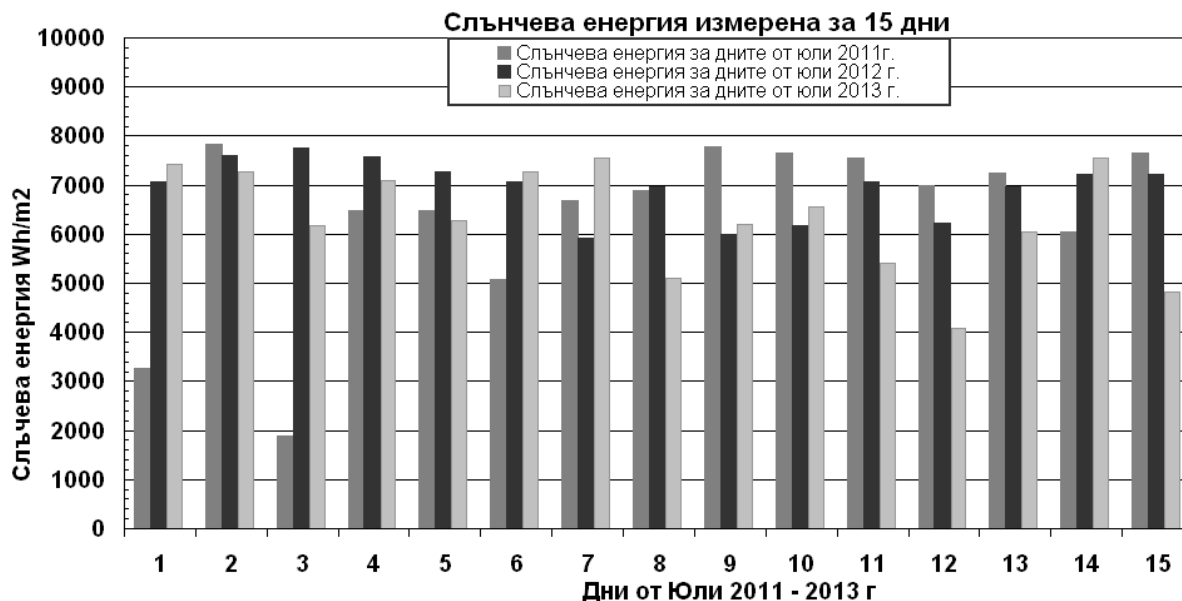
С пълтна линия е начертана теоретичната слънчева енергия достигаща до земята, а във вид на стълбчета с различна плътност на сивата скала са показани стойностите за пълвите 7 дни от месеците Декември, Април и Юли. Тези месеци са подбрани така, че да има летен месец с най-голямо слънчево греене, зимен месец с най-малко и преходен със средна степен на слънчево греене. От графиката се вижда, че теоретичната линия изчислена за месец Юли и измерената също за месец Юли са много близко една до друга за дни 1,2, 6 и 7, с малки отклонения за дни 4 и 5, а най-голямо е отклонението за ден 3. Интересен факт е, че слънчевото греене за месец Юли е сравнително стабилно като се колебае около  $800 \text{ Wh/m}^2$ . През зимния месец Декември то също е стабилно и се колебае около  $200 \text{ Wh/m}^2$ . За месец Април, обаче наблюдаваме значителни колебания – от  $800 \text{ Wh/m}^2$  за 1-ви и 2-ри ден до  $200 \text{ Wh/m}^2$  за 3-ти и 7-ми ден. От тук може да се направи заключението, че през преходните сезони стойностите на слънчевото греене са значително по-колебливи, което е свързано и с по-големите промени в пропускливостта на атмосферата, както отбелязахме по-горе. В следствие на променящото се състояние на атмосферата и на облачността измерените стойности са по-малки от теоретичната оценка, а при безоблачно време се приближават до тези стойности. Следователно, отслабването на слънчевата радиация, респективно на слънчевата енергия в атмосферата не е едно и също за различните части на нейния спектър, а освен това зависи както от съдържанието на влага в атмосферата, така и от облачността.

Например абсолютно сухият и чист въздух притежава най-голяма прозрачност за инфрачервената радиация и най-малка за ултравиолетовата радиация. Наличието на озон в атмосферата също оказва влияние в поглъщането на радиация в ултравиолетовия и в далечния инфрачервен диапазон. Коя от компонентите какво влияние оказва не може точно да се посочи, но в случая е важно каква част от енергията достига до повърхността на земята.

Друг факт, който се наблюдава на графиката е, че максимумът на слънчевата енергия е приблизително от 10 часа до 17 часа. Логично е да се очаква, че през нощта добивът на слънчева енергия е практически нула. На графиката се вижда добре изразения часов ход на стойностите на слънчевата енергия с максимум около Слънчевия зенит.

### 3.2 Изследване на дневния ход на слънчевото греене

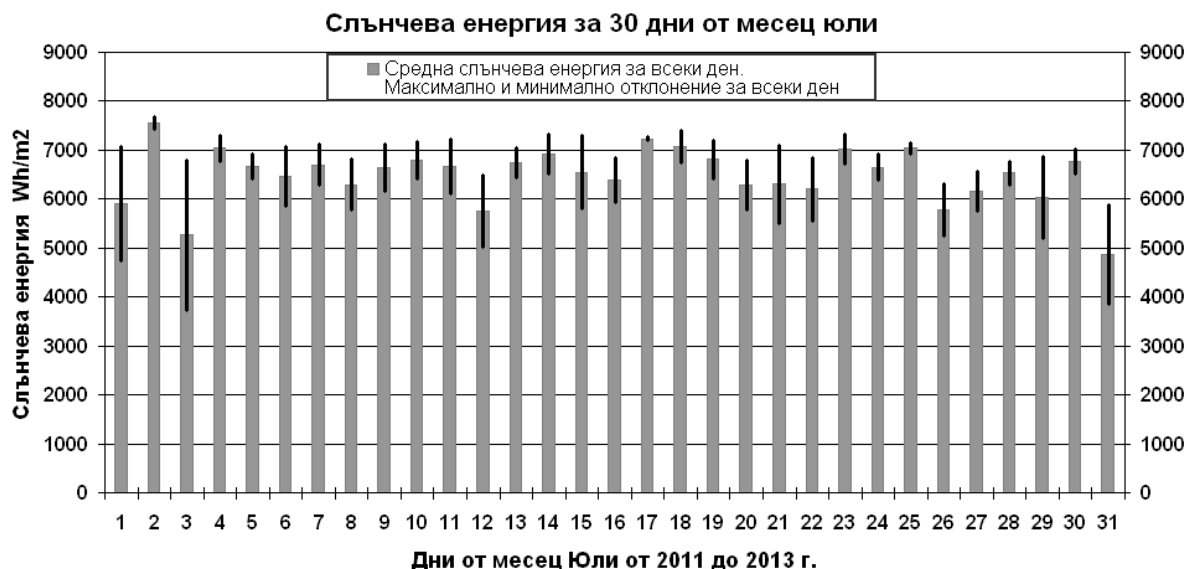
На фиг. 2 е показано изменението на слънчевата енергия за различните дни (сумарната слънчева енергия за един ден) от първите 15 дни на месец Юли 2011 , Юли 2012 и Юли 2013 година.



Фиг. 2. Слънчева енергия измерена за всеки ден до 15 юли от 2011 до 2013 година

От графиката се вижда, че през месеците Юли през всички години се наблюдава бавно намаляване на измерената слънчевата енергия, в следствие на намаляване на общата излъчена енергия от Слънцето, което пък е следствие на неговото променено положение спрямо зенита. Промяната на вариациите на радиацията в следствие на облаците, обаче е по-силна от този тренд. Другият факт, който се наблюдава е, че слънчевата енергия за различните дни от месеца значително се различава по стойност. Например за ден 2 и 4 стойностите са почти едни и същи, а за ден 1 и 3 те се променят от 2000 до 7500 wh/m<sup>2</sup>. Въпреки, че височината на слънцето не се променя съществено практически, измерените резултати се различават, защото атмосферата е с различна пропускателна възможност. Пропускливостта на атмосферата значително се влияе от облаци, влага, прах, както и други замърсители които поглъщат слънчевата енергия.

На фиг. 3 е показана средно измерена слънчева енергия за всеки ден от месец Юли в продължение на 3 години.



Фиг. 3. Средно измерена слънчева енергия за всеки ден от месец Юли от 2011 до 2013 г.

Със сиви стълбчета е показана средната стойност за всеки ден от месеците Юли, през трите години, а с черни линии е отбелязано дневното минимално и максимално отклонение от средната стойност. Тук още по-ясно се вижда динамиката в стойностите за 2 и 4 ден, когато е минимална спрямо 1 и 3 ден, когато е значително по-голяма. Тази динамика може да се проследи и за останалите дни.

### 3.3 Изследване на месечния ход на слънчевото греене

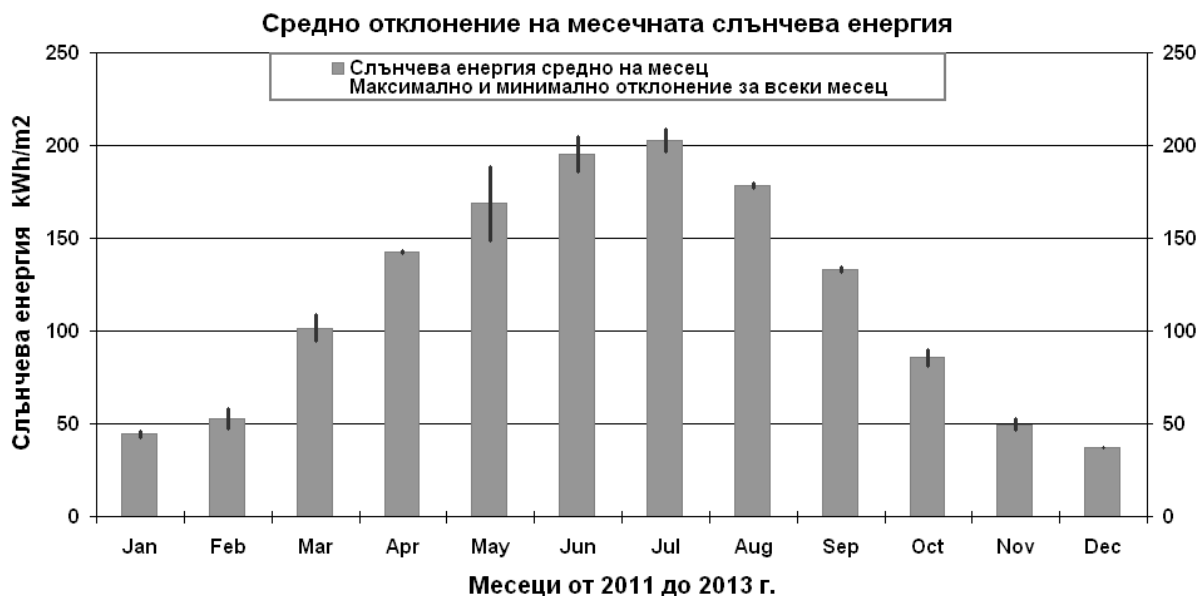
На фиг.4 са показани стойностите на слънчевата енергия измерена за всеки месец в продължение на около 3 години. За всяка от трите години стълбчетата, показващи месечните стойности са с различен цвят.



Фиг. 4. Слънчева енергия измерена за всеки месец от 2011 до 2013 г.

От графиката ясно се вижда сезонния характер в изменението на слънчевото греене. То е най-голямо през месеците Юни и Юли и най-малко през месеците Януари и Декември. Най-интересен, обаче е фактът, че динамиката в изменение на стойностите за едноименните месеци през годините е много по-малка отколкото тази на едноименните дни показана на фиг. 2 и фиг. 3.

На фиг. 5 е показана средно измерената слънчева енергия за всеки месец в



Фиг. 5. Средно измерена слънчева енергия за всеки месец

продължение на 3 години, за разлика от фиг. 4, където са показани действителните стойности на месеците. Със сиви стълбчета е показана средната месечна стойност, а с черни линии е отбелязано отклонението от средната стойност за всеки месец.

На тази графика още по-добре се вижда по-малката динамика в месечното отклонение спрямо дневното. Например за едни и същи дни от месеците Юли 2011, Юли 2012 и Юли 2013 г., показани на фиг. 2 и фиг. 3 измерената слънчева енергия се различава значително, както отбелязахме по-горе, но за трите едноименни месеца общият добив е почти един и същи. Числовите данни показват, че за ден 1-ви разликата е повече от два пъти, а за ден 3-ти разликата е повече от 3 пъти. В същото време разликата в общата енергия за трите месеца е по-малка от 10 %. Подобни минимални разлики се получават и за другите месеци, което се вижда от месечното разпределение, показано в таблица 1. Например за месеците Януари, Април, Август и Декември тя е близка до нула.

Табл. 1. Разпределение на слънчевата енергия по едноименни месеци

Месец	2011 г. [ kWh/m <sup>2</sup> ]	2012 г. [Kwh / m <sup>2</sup> ]	2013 [Kwh / m <sup>2</sup> ]	Средно [Kwh / m <sup>2</sup> ]	Макс. разлика [Kwh / m <sup>2</sup> ]
Януари		47	42	44	3
Февруари		61	45	53	8
Март		111	92	102	10
Април		142	144	143	1
Май		140	197	169	28
Юни		209	182	195	14
Юли	198	216	193	203	15
Август	181	178	176	178	3
Септември	133	136	130	133	3
Октомври	76	94	86	86	10
Ноември	54	45		49	5
Декември	37	37		37	0

С други думи наблюдаваме едно усредняване на месечна база. Тези първоначални резултати, въпреки, че не са достатъчно продължителни дават основание да се предположи, че би могло да се прогнозира със сравнително добра точност бъдещата ефективност на фотосоларните преобразователи.

На фиг. 6 е показано месечното разпределение на слънчевата енергия от месец Юли 2011 година до месец Октомври 2013 година, заедно с плъзгаща се средна с период 12 месеца в продължение на около 3 години.



Фиг. 6. Плъзгаща се математическа средна на слънчева енергия с период 12 месеца

Със сиви стълбчета е отбелязана стойността на измерената енергия за всеки месец, а с по-тъмната линия стойността на плъзгащата се математическа средна.

От графиката се вижда, че стойността на плъзгащата се математическа средна е почти постоянна, т.е. годишното отклонение е по-малко от месечното. Този факт потвърждава извода направен по-горе, че колкото периодът на усредняване е по-голям толкова прогнозите за стойността на слънчевото греене стават по-точни.

Максималните стойности на средна слънчевата радиация се получават през месец юли поради по-голямата дължина на деня и голямата височина на Слънцето. Реалните стойности на слънчевата радиация през летните и ранните есенни месеци е около 50% от теоретично максималната радиация, а за късните есенни и наблюдаваните зимни месеци за 2011 – 2013 г, тя е около 30% от теоретично максималната радиация. Доколкото слънчевата енергия е акумулираната във времето слънчева радиация тази констатация се отнася и за нея.

В таблица 2 е показано разпределението на слънчевата енергия по месеци, а заедно с това средната стойност, стандартното отклонение и относителният спад. От таблицата се вижда, че стандартното отклонение и относителният спад сравнено за месеците през различните сезони през трите години се различават значително. Това също е показателно, че факторите които влияят на слънчевата енергия и имат случаен характер като облаци, прах и други, взаимно се компенсират с течение на времето, а влиянието на слънчевото греене е с по-постоянен характер. Поради тази причина, през летните месеци, когато слънчевото греене е доминиращ фактор относителният спад е по-малък, отколкото през преходните месеци. Например за месеците Юли и Агуст то е 6.1 % и 1.3% съответно, а за месеците Октомври и Ноември 10.6 % и 12.5 % съответно, а за месец Май 23.9%.

Табл. 2. Разпределение на слънчевата енергия по месеци

Месец	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Стойности												
2011 г. кWh/m <sup>2</sup>							198	181	133	76	54	37
2012г. кWh/m <sup>2</sup>	47	61	111	142	140	209	216	178	136	94	45	37
2013г. кWh/m <sup>2</sup>	42	45	92	144	197	182	193	176	130	86		
Средна стойност	44	53	102	143	169	195	203	178	133	86	49	37
Стандартно Отклонение	3.6	11.2	13.7	1.6	40.3	18.7	12.3	2.2	3.0	9.1	6.2	0.5
Относителен Спад [%]	8.1	21.3	13.5	1.1	23.9	9.6	6.1	1.3	2.3	10.6	12.5	1.3

Друг интересен извод, който може да се направи е, че измерената енергия за период от една година е почти една и съща. Резултатите от тези разчети са дадени в таблица 3. В колонка 2 е изчислена средната месечна стойност за една година, т.е. за един период от 12 поредни месеца. Например за периода Юли 2011 до Юни 2012 тази стойност е 115.7 Kwh / m<sup>2</sup> на месец. В колонка 3 е изчислена средната стойност за всички 12-месечни периоди и тя е 116.6 Kwh / m<sup>2</sup>. В колонка 4 е показана разликата между месечната стойност за всеки период, колонка 2 и средната стойност в колонка 3. Най-голяма разлика е получена за периода Ноември 2012 – Октомври 2013 със стойност 2.5 Kwh / m<sup>2</sup> или 2.2 %. Тази ниска стойност показва, че едногодишните периоди се различават твърде малко по отношение на енергийния добив и в този смисъл може сравнително точно да се предскаже и какви ще са бъдещите стойности. За останалите периоди се вижда, че отклоненията са още по-малки. Например за периода Март 2012 – Февруари 2013 тя е само 0.3 Kwh / m<sup>2</sup>, а отклонението само 0.3%.

В последните редове на табл. 3 са пресметнати стандартното отклонение за всички едногодишни периоди и относителният спад. Те са съответно 1.6 Kwh / m<sup>2</sup> и 1.38 % съответно. Тези ниски стойности още веднъж показват, че отклоненията в слънчевата радиация и респективно в слънчевия енергиен добив на годишна база са много ниски и в този смисъл поне краткосрочните прогнози ще са много точни.

Табл. 3. Разпределение на слънчевата енергия по години

Период	Стойност на мес. [ Kwh / m <sup>2</sup> ]	Средна стойн. [ Kwh / m <sup>2</sup> ]	Разлика [ Kwh / m <sup>2</sup> ]	Разлика [ %]
1	2	3	4	5
Юли 2011 – Юни 2012	115.7	116.6	0.9	0.7
Авг. 2011 – Юли 2012	117.3	116.6	0.7	0.6
Септ. 2011 – Авг. 2012	117.1	116.6	0.5	0.4
Окт. 2011 – Септ. 2012	117.3	116.6	0.7	0.6
Ноем. 2011 – Окт. 2012	118.8	116.6	2.2	1.8
Дек. 2011 – Ноем. 2012	118.1	116.6	1.5	1.2
Ян. 2012 – Дек. 2012	118.0	116.6	1.4	1.2
Февр. 2012 – Ян. 2013	117.6	116.6	1.0	0.8
Март 2012 – Февр. 2013	116.3	116.6	0.3	0.3
Апр. 2012 – Март 2013	114.6	116.6	2.0	1.7
Май 2012 – Апр. 2013	114.8	116.6	1.8	1.5
Юни 2012 – Май 2013	119.6	116.6	3.0	2.5
Юли 2012 – Юни 2013	117.4	116.6	0.8	0.7
Авг. 2012 – Юли 2013	115.4	116.6	1.2	1.0
Септ. 2012 – Авг. 2013	115.3	116.6	1.3	1.2
Окт. 2012 – Септ. 2013	114.8	116.6	1.8	1.6
Ноем. 2012 – Окт. 2013	114.1	116.6	2.5	2.2
Стандартно отклонение	1.60			
Относителен спад [%]	1.38			

Тази констатация ни дава основание да пресметнем средногодишен добив (СГД) на електроенергия в регион Стара Загора:

СГД = Средномесечна енергия x 12 месеца = 116.6 x 12 = 1399.2 Kwh/m<sup>2</sup> или приблизително 1400 Kwh/m<sup>2</sup>.

#### 4. Заключение

В сайта EMDE Solar ([www.emde-solar.com](http://www.emde-solar.com)) е посочена стойност за слънчев добив на енергия от 1314 до 1510 Kwh/m<sup>2</sup> като годишна база в регион Стара Загора или средно 1412 Kwh/m<sup>2</sup>, което сравнително точно съвпада с получените от нас резултати от 1400 Kwh/m<sup>2</sup>. При нас стандартното отклонение е значително по-малко и има стойност 1.60 Kwh/m<sup>2</sup>. Възможно е, ниската стойност на нашето отклонение да се дължи на факта, че измерванията са правени в една точка, но от друга страна средните стойности съвпадат много точно.

От теоретична гледна точка споменахме много фактори, които оказват съществено влияние върху потока на слънчевата радиация, респективно върху количеството слънчева енергия, което достига до земята. Това се потвърди и от краткосрочните измервания с помощта на метеорологичната станция. При по-дългосрочните измервания, обаче се наблюдава едно усредняване и потискане на разликата, особено на годишна база. Това се дължи на факта, че тези изменения във времето са с различен знак, както положителни така и отрицателни и при тяхното сумиране за по-дълъг период от време те взаимно се компенсират.

Натрупаната база данни е все още сравнително малка за да се направят категорични научни заключения, но се надяваме, че бъдещите изследвания ще потвърдят направените в този доклад първоначални констатации. Резултатите от това изследване могат да послужат като важен ориентир, за да се изчисли предварително очакваната енергия от фотоволтаичните преобразователи в определен географски регион.

#### Литература:

1. DavIs Instruments Corp. *Vantage Pro2 Plus*. Reference Guide.
2. Me e u s, J. *Astronomische Algorithmen*, Johann Ambrosius BarthVerlag, Leipzig-Berlin-Heidelberg, 1993
3. L e a n, J. L., *Solar irradiance and climate forcing in the near future*, Geophzs. Res. Lett. 28, pp. 4119-4122, 2001.
4. R o e d e l, W. *Physik unserer Umwelt*, 2. Aufl., Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S.48, 1994.