

**SOLAR ENERGY AUDIT FOR A HYBRID SYSTEM**  
**Prof. Dr. Stefka Nedelcheva, Prof. assistant doctor Vesselin Chobanov**  
**Technical University of Sofia, IPF Sliven**

***Abstract:** The report presents the methodology for conducting solar energy audit for construction of a hybrid systems composed of two power sources. The audit includes the determination of the energy potential and its utilization and obtaining the maximum energy yield.*

***Keywords:** photovoltaic systems, hybrid systems, solar energy audit*

**СЛЪНЧЕВО-ЕНЕРГИЕН ОДИТ ЗА ИЗГРАЖДАНЕ НА ХИБРИДНА СИСТЕМА**

**Проф. д-р Стефка Неделчева, гл.ас. д-р Веселин Чобанов, маг.инж. Атанас Иванов**  
**Технически университет – София, ИПФ - Сливен**

***Резюме:** В доклада се представя методиката за провеждане на слънчево-енергиен одит за изграждане на хибридни системи, съставена от два енергийни източника. В одита се включва определянето на енергийния потенциал и възможностите за неговото оползотворяване и получаване на максималния енергиен добив.*

***Ключови думи:** фотоелектрични системи, хибридни системи, слънчево-енергиен одит*

**Въведение**

Съвременните хибридни системи включват няколко енергийни източника за захранване на автономни електроенергийни обекти, с което се осигурява надеждно електроснабдяване, ефективно използване на излишната енергия и автономност на товара [1].

Електроенергийният одит на хибридните системи включва оценка на ресурса, потенциала и технологиите за енергиен добив на всички енергийни източници, участващи в електрозахранването на автономната хибридна система.

Целта в доклада е да се представи подходът при провеждане на слънчевоенергиен одит за изграждането на автономна система за електроснабдяване на потребителите с енергия от фотоелектрични и вятърни централи.

**Оценка на теоретичния ресурс на слънчевата енергия**

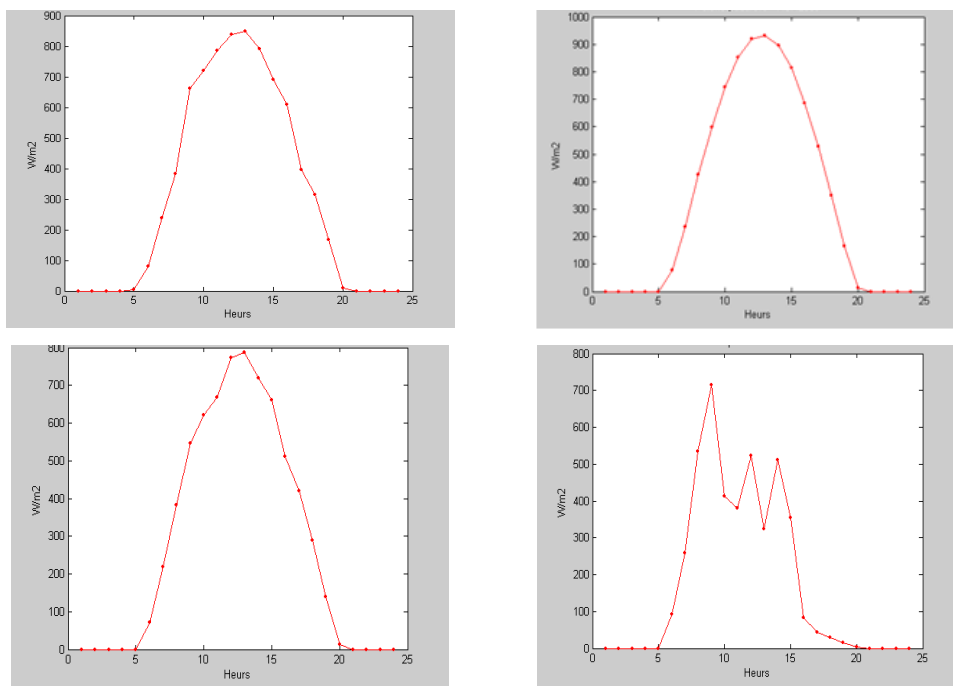
Средното количество слънчева енергия, падаща за една година върху един квадратен метър хоризонтална земна повърхност, изразено в kWh/m<sup>2</sup>, дефинира теоретичния ресурс на слънчевата енергия. Средногодишната продължителност на слънчево греене за България е около 2 150 h, а средногодишният ресурс слънчева радиация е 1 517 kWh/m<sup>2</sup>.

Приблизителната оценка на ресурса се извършва въз основа на направеното райониране на България, която е разделена на три региона в зависимост от интензивността на слънчевото излъчване [2] или с методологията на Photovoltaic Geographical Information System.

По-точни измервания на слънчевата радиация се получават с логер и пиранометър [3]. Измерват се:

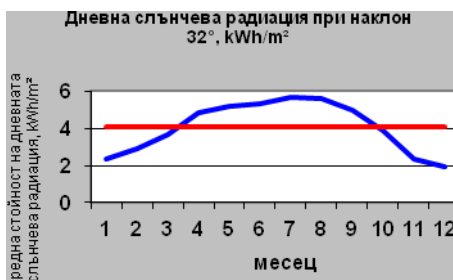
- Директна слънчева радиация върху неподвижна равнина, W/m<sup>2</sup>;
- Дифузна слънчева радиация върху неподвижна равнина, W/m<sup>2</sup>;
- Обща слънчева радиация при ясно небе върху неподвижна равнина, W/m<sup>2</sup>;
- Директна слънчева радиация върху равнина, премествана по две оси, W/m<sup>2</sup>;
- Дифузна слънчева радиация върху равнина, премествана по две оси, W/m<sup>2</sup>;
- Обща слънчева радиация при ясно небе върху равнина, премествана по две оси, W/m<sup>2</sup>.

Общата слънчева радиация, измерена за конкретна местност в различни дни е представена на фигура 1.

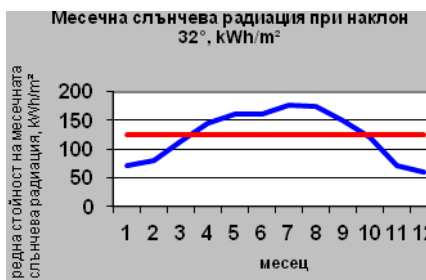


Фиг.1. Измерени стойности на общата слънчева радиация

Събраните данни за среднодневните стойности на слънчевата радиация позволяват да се определят нейните средномесечни стойности (фиг.2 и фиг.3).



Фиг.2. Среднодневни стойности на слънчевата радиация



Фиг.3. Средномесечни стойности на слънчевата радиация

При измерванията се получават данни за ъгъла на оптимален наклон на фотоелектричните (PV) панели през различните месеци, дефицита на слънчева радиация поради засенчване и др.

Въз основа на оценката на енергийния ресурс се определя средната стойност на слънчевата радиация при оптимален наклон на PV панели за изследваната местност.

#### Оценка на слънчево-енергийния потенциал

За моделиране на производството на електрическа енергия от фотоелектрични модули са възприети полиномните модели с коефициенти, определени за територията на нашата страна [4].

Разглеждат се варианти, при които се прави оценка на електроенергийния потенциал за 1 kW инсталирана мощност за PV модули от различен тип:

- поликристални;
- монокристални;
- аморфни и др.

Конкретни данни за средно дневно и средно месечно производство на електроенергия за 1 kW инсталирана мощност за PV модули тип crystalline silicon са показани на фиг. 4 и фиг. 5.



Фиг.4. Средно дневно производство на електроенергия за 1 kW инсталирана мощност за PV модули *thin crystalline silicon*



Фиг.5. Средно месечно производство на електроенергия за 1 kW инсталирана мощност за PV модули *crystalline silicon*

Въз основа на оценката на слънчево енергийния потенциал се избира типа на PV модули, с които се постига оптимален енергиен добив в конкретните условия.

Технологии за усвояване на оценения потенциал

Повишаването на енергийния добив от PV модули се постига чрез поставяне на следящи системи (едноосни и двuosни) и посредством фокусиране на светлината със специални устройства.

При електроенергийният одит се разглеждат варианти, при които се прави оценка на електроенергийния потенциал за 1 kW инсталирана мощност за PV модули от избрания тип:

- при неподвижна система;
- със следяща система (тракер);
- с двuoseва следяща система.

Съпоставката на резултатите от изчисленията на енергийния добив при трите вида технологии за усвояване на оценения потенциал е дадена в таблица 1.

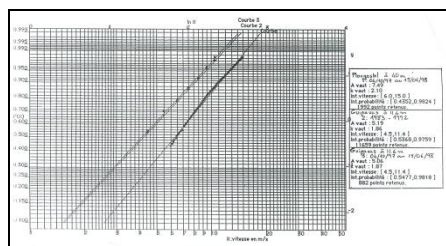
Таблица 1. Енергиен добив при неподвижни PV модули, снабдени с едноосева и двuoseва следяща система

Технология	Средногодишно производство на електроенергия, о.е.
Неподвижни PV модули	1
PV модули с едноосева следяща система	1,26
PV модули с двuoseва следяща система	1,30

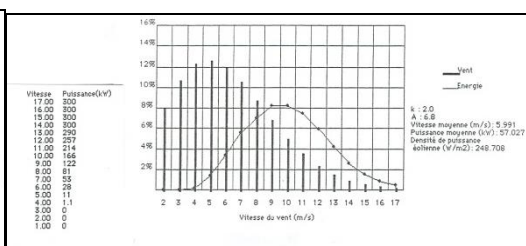
От съпоставката на получените резултати възниква въпросът има ли смисъл да се въвежда движеща се система към всеки модул, която ще завиши инвестициите за изграждане на съоръжението с 25 до 30%, ще внесе лесно аварирани елементи и ще повиши с енергийния добив с 26-30 %. Технико-икономическата оценка на ефективността на прилаганите технологии показва, че значително ще се увеличи аварийността и ще се повишат експлоатационните разходи при въвеждане на следящи системи. По тази причина изгражданите у нас PV системи са предимно стационарни.

#### Оценка на ветроенергийния потенциал

Анализът на ветровия потенциал се прави на базата на измерванията на параметрите на вятъра с анемометри. Средните скорости на вятъра се записват на всеки 5 min. Статистическите извадки от данни дава пълна картина за параметрите на вятъра в изследвания район. С тях се определят параметрите на теоретичното разпределение на Вейбул [4]. Построява се изравненото теоретично разпределение (фиг.6). Изчисляват се средната мощност и плътността на енергия на височината, на които е провеждано измерването (фиг.7).



Фиг. 6. Изравнено теоретично разпределение на Вейбул



Фиг. 7. Средна мощност и енергия

За конкретната местност се определя енергията на вятъра ( $W$ ) за площ  $1 \text{ m}^2$  и годишна часова използваемост  $T$  на вятърната централа (например  $W=360 \text{ W/m}^2$  при  $T= 2000 \text{ h}$  при средногодишна скорост на вятъра  $6,2 \text{ m/s}$ ).

**Оценка на ветровия потенциал**

От натрупаната информация за интервалите от време, за които скоростите на вятъра ( $V$ ) попадат в работния диапазон на ветрогенераторите ( $v_{\min} < v < v_{\max}$ ), се определя очакваното производство на електроенергия за същия период от време [4]. За алгоритмично зададени тип, единични мощности и криви на мощностите на вятърни централи, производство на фирмите Enercon (E), Vestas (V), Nordel (N), Fuhrlander (FL) и REpower (MD и NM), представени в таблица 2, се изчислява количеството произвеждана електроенергия за една година и годишната часова използваемост на вятърната централа. Резултатите са показани на фиг.8 и 9.

Таблица 2. Тип и единична мощност на вятърните централи

№	Тип	Мощност, kW	№	Тип	Мощност, kW
1	E-33	330	8	S-77	1500
2	E-53	810	9	N-90	2300
3	E-82	2050	10	MD-77	1500
4	FL-100	100	11	NM-92	2000
5	FL-600	600	12	V-52	850
6	FL-1500	1500	13	V-82	1650
7	FL-2500	2500	14	V-90	2000



Фиг.8. Годишно производство на електроенергия от различни вятърни централи



Фиг.9. Годишна часова използваемост на различни типове вятърни централи

Разработеният софтуер позволява обективен избор на вятърна централа за всяка местност по критерий максимално годишно производство на електроенергия, като изчислява и представя коефициента на използване и часовата използваемост в конкретните експлоатационни условия. Оптималното решение за разглеждания пример е представено в таблица 3.

Таблица 3. Годишно производство на електроенергия, коефициент на използване и часова използваемост на вятърните централи

Тип	Годишно производство на електроенергия, MWh/г.	Коефициент на използване, %	Часова използваемост, h/г.
-----	--	-----------------------------	----------------------------

NM-92	5300	30,2	2650
-------	------	------	------

Не винаги най-мощната централа дава най-голяма продукция в конкретни експлоатационни условия. За разглеждания обект най-подходяща се оказва вятърната централа тип NM-92. Ако същата вятърна централа се монтира на място със средногодишна скорост на вятъра 7,5 m/s ще има коефициент на използване 38 % и едва 19 % - при 4,1 m/s, като производството на електроенергия във втория случай намалява с 1,7 пъти.

Съвместяване на работата на енергийните източници в хибридна система

При съставяне на енергийния одит на хибридна система се отчита следното:

- Вятърната централа се избира в зависимост от ветровия потенциал на мястото, където ще бъде монтирана. За енергийните параметри на вятъра се избира нейната мощност и се изчислява коефициентът на използване и часовата използваемост.

- Параметрите на електрическия товар в хибридна система са известни: максимална и инсталирана мощност, коефициент на запълване на товаровия график. Съобразно тях трябва да се оразмери фотоелектричната система.

- При тези входни данни, избраният брой и мощност на фотоелектричните панели и тяхното свързване в хибридна система ще зависи от необходимият брой дни автономност на товара.

- Мощността на акумулиращата система също ще зависи от броя дни на автономност на системата.

#### Изводи:

- При оценката на слънчево енергийния ресурс се определя средната стойност на слънчевата радиация и оптималния наклон на PV панели за изследваната местност.

- Въз основа на оценката на слънчево енергийния потенциал се избира типа на PV модули, с които се постига оптимален енергиен добив в конкретните условия.

- Изчисленията на енергийния добив при различните технологии за усвояване на оценения потенциал са основание да се изберат стационарно разположени PV модули или снабдени със следящи системи.

- Подходът за оценка на ветровия потенциал и неговото оползотворяване позволява да се направи обективен избор на вятърна централа по критерий за оптимално годишно производство на електроенергия.

- Съвместяване на работата на двата енергийни източника в хибридна система изисква познаване на максималната мощност, коефициентът на използване и ча-совата използваемост на вятърната централа, а също слънчевоенергийния потенциал и енергийния добив от избраната технология на фотоелектричната система.

#### Литература:

1. Нотон Ж., М.Мюсели, К.Кристофари, Ф.Пожи, С.Неделчева. Хибридни системи от възобновими източници за производство на електроенергия в изолирани местности. Сп.Енергетика, ISSN 0324-1521, №8, 2004. Стр.36-45.

2. Проект на програма PHARE, BG9307-03-01-L001 „Техническа и икономическа оценка на ВЕИ в България”, БАН, София, 2001.

3. Неделчева С., М.Дичев, Създаване на записващо устройство за данни при проучванията за изграждане на вятърни централи и фотоелектрични системи, “Известия на ТУ-Сливен”, ISSN 1312-3920, № 3, 2008, стр.15-23.

4. Неделчева С.Н. Въздействие на децентрализираните електроенергийни източници върху електрическите мрежи, ТУ-София, 2006.