

Liviu Neamț

Alina Neamț

# CONVERSIA ENERGIILOR REGENERABILE

*Lucrări de laborator*

UTPRESS

Cluj-Napoca, 2022

ISBN 978-606-737-583-1

*Imaginea de Seagul de la Pixabay*

Liviu NEAMȚ

Alina NEAMȚ

# CONVERSIA ENERGIILOR REGENERABILE

Lucrări de laborator

UTPRESS

Cluj-Napoca, 2022

ISBN 978-606-737-583-1



Editura U.T.PRESS  
Str. Observatorului nr. 34  
400775 Cluj-Napoca  
Tel.:0264-401.999  
e-mail: [utpress@biblio.utcluj.ro](mailto:utpress@biblio.utcluj.ro)  
<http://biblioteca.utcluj.ro/editura>

Director: ing. Viorica Domșa

Recenzia: Prof. dr. ing. Dan Călin Peter  
Prof. dr.ing. Radu Tîrnovan

Pregătire tipar: Gabriela Groza

Copyright © 2022 Editura U.T.PRESS

Reproducerea integrală sau parțială a textului sau ilustrațiilor din această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al editurii U.T.PRESS.

ISBN 978-606-737-583-1

Bun de tipar: 11.07.2022

## CUPRINS

<i>Prefață</i>	<u>4</u>
1. Instructaj privind sănătatea și securitatea muncii	<u>6</u>
1.1. Bibliografia de studiat	<u>6</u>
1.2. Adevăruri esențiale care trebuie să stea la baza autonomiei și responsabilității fiecăruia dintre noi, esențiale de reținut pe tot parcursul vieții	<u>7</u>
1.3. Instrucțiuni privind sănătatea și securitatea muncii la utilizarea calculatoarelor	<u>8</u>
1.4. Procesul verbal de instructaj	<u>9</u>
2. Modul de desfășurare al lucrărilor de laborator	<u>10</u>
3. Utilizarea bazelor de date și a pachetelor software pentru evaluarea potențialului fotovoltaic	<u>11</u>
3.1. PVGIS	<u>12</u>
3.2. RetScreen	<u>28</u>
4. Conversia fotovoltaică	<u>34</u>
4.1. Ridicarea experimentală a caracteristicilor modulelor fotovoltaice	<u>37</u>
4.2. Determinarea experimentală a parametrilor modelului matematic o diodă al celulei fotovoltaice	<u>40</u>
4.3. Conectarea serie a celulelor și modulelor fotovoltaice	<u>46</u>
4.4. Conectarea paralel a celulelor și modulelor fotovoltaice	<u>54</u>
4.5. Proiectarea unui sistem fotovoltaic on grid	<u>59</u>
4.6. Proiectarea unui sistem fotovoltaic off grid	<u>70</u>
5. Conversia energiei eoliene în energie electrică	<u>84</u>
5.1. Influența diametrului rotorului asupra puterii produse	<u>88</u>
5.2. Influența vitezei vântului asupra puterii produse	<u>91</u>
5.2. Influența formei palelor turbinei asupra puterii produse	<u>94</u>
5.2. Influența unghiului de înclinare al palelor asupra puterii produse	<u>97</u>
6. Infrastructura energetică a României	<u>100</u>
<i>Bibliografie</i>	<u>102</u>

## PREFAȚĂ

*Pandemia generată de virusul SARS-CoV-2 a mutat educația din școli în mediul online. Acest salt, ne previzionat și nu lipsit de dificultăți, atât de infrastructură cât și de acomodare a actorilor implicați, s-a realizat practic de pe o zi pe alta: azi în sălile de clasă, amfiteatre, laboratoare și ateliere, mâine în lumea virtuală.*

*Adaptarea, bazată pe experiența dascălilor în educația online și pe abilitatea elevilor și studenților de azi de a utiliza tehnologia digitală, a fost neașteptat de rapidă și eficientă, sigur nu perfectă. Una dintre problemele ivite a fost pusă de disciplinele din sfera științei, tehnologiei și ingineriei, discipline, care pe lângă acumularea de cunoștințe, necesită formarea de abilități, aptitudini și atitudini. Acestea din urmă se dobândesc preponderent din activități de tipul: lucrări de laborator și practică.*

*Trecerea spre online a activităților practice a suscitată și continuă să o facă, importante eforturi din partea profesorilor și elevilor.*

*Prezentul îndrumător de laborator, vine în sprijinul predării online a tematicilor din sfera conversiei energiilor regenerabile și reprezintă adaptarea lucrărilor din laborator [1] la formatul online. Pentru accesibilitatea participanților, s-au ales platforme virtuale având atribute de tip Creative Commons License. Acesta este motivul pentru care nu toate tipurile de conversie sunt acoperite. Dezvoltarea în continuare a tematicilor abordate este o preocupare continuă a autorilor, de aceea orice sugestii în acest sens sunt bine venite.*

*Autorii*

## 1. INSTRUCȚAJ PRIVIND SĂNĂTATEA ȘI SECURITATEA MUNCII



<b>Scopul:</b>	<i>Desfășurarea în condiții de confort fizic și psihic a lucrărilor de laborator</i>
<b>Obiective:</b>	<i>Conștientizarea importanței cunoașterii și respectării tuturor aspectelor ce țin de:</i> <ul style="list-style-type: none"><li>• <i>securitatea și sănătatea în muncă,</i></li><li>• <i>prevenirea și stingerea incendiilor,</i></li><li>• <i>acordarea măsurilor de prim ajutor.</i></li></ul>
<b>Conținuturi</b>	<i>Legislația și normele de securitate și sănătate în muncă. Norme de prevenirea și stingerea incendiilor. Măsuri de prim ajutor.</i>

## 1.1. Bibliografia de studiat

- *Legea nr. 319/14 iulie 2006 – Legea securității și sănătății în muncă.*
- *Hotărârea de Guvern nr. 1425/11 octombrie 2006 (actualizată) pentru aprobarea Normelor metodologice de aplicare a Legii securității și sănătății în muncă nr.319/2006, (modificată și completată de HG 955/2010, HG 1242/2011).*
- *NSPM 65 - Norme pentru transportul și distribuția energiei electrice.*
- *NSSM 111 - Norme la utilizarea energiei electrice în medii normale.*
- *NSSM 37 - Norme specifice de securitate a muncii pentru prelucrarea automată a datelor.*
- *NSSM 6 - Norme pentru transportul intern.*
- *NSSM 12 - Norme pentru lucrul la înălțime.*
- *NSPM 48 - Norme pentru telecomunicații.*
- *NSSM 54 - Norme pentru radiocomunicații.*
- *NSPM 77 - Norme pentru fabricarea componentelor și echipamentelor electrice, electrotehnice și a materialelor electroizolante.*
- *NSSM 47 - Norme pentru fabricarea mașinilor electrice rotative, a transformatoarelor și a condensatoarelor de forță.*
- *NSSM 21 - Norme pentru fabricarea lămpilor electrice, tuburilor cinescop și corpurilor de iluminat.*
- *NSSM 16 - Norme pentru fabricarea acumulatorilor și pilelor electrice.*
- *NSSM 116 - Norme pentru transportul urban cu tracțiune electrică (tramvai, troleibuz) și instalații aferente, exploatare și întreținere.*
- *Legea nr. 307 din 12 iulie 2006 privind apărarea împotriva incendiilor.*
- *Norme generale de apărare împotriva incendiilor, aprobate prin OMAI nr.163/2007.*
- *Manual de prim ajutor calificat, [http://old.ms.ro/documente/430\\_1301\\_manual.pdf](http://old.ms.ro/documente/430_1301_manual.pdf).*
- *Stingătoare de incendiu. Pliant realizat de ISU. Inspecția de prevenire, [https://www.igsu.ro/documente/informare\\_preventiva/pliant\\_stingatoare\\_incendiu.pdf](https://www.igsu.ro/documente/informare_preventiva/pliant_stingatoare_incendiu.pdf).*

## 1.2. Adevăruri esențiale care trebuie să stea la baza autonomiei și responsabilității fiecăruia dintre noi, esențiale de reținut pe tot parcursul vieții

- ✓ **Incidentele și accidentele apar pe fondul nerespectării unor reguli de bază** aferente activității respective. Această conduită este stimulată de atitudini de genul: *doar nu se va întâmpla chiar acum; merge și așa de data aceasta; mie nu mi se poate întâmpla; mă grăbesc - hai să termin repede; am văzut pe X că a făcut așa și nu s-a întâmplat nimic; nu mă vede nimeni; chiar dacă încalc o regulă, am experiență, știu ce fac.*
- ✓ **Fiecare este responsabil pentru el și pentru echipa** din care face parte, indiferent de rolul ocupat în aceasta. Este esențial, de asemenea, ca responsabilitatea să fie extinsă apoi și către cei care pot fi afectați indirect de acțiunile personale. O situație problematică nu se rezolvă creând o alta sau plasând-o în altă locație: *Nu arunc un ciocan peste gard, în stradă, ca cei de lângă mine să nu se rănească.*
- ✓ **Rutina** în orice activitate **este periculoasă** deoarece o mică abatere, autogenerată sau apărută din exterior, poate provoca accidente grave. Aici, de regulă, se încadrează și transferul securității personale dinspre propria persoană către persoane sau dispozitive, echipamente, sisteme ce au astfel de funcții: *Deschid ușa liftului și urc în cabină, nu mă mai uit dacă cabina este sau nu la nivel.*
- ✓ **Conștientizarea și angajarea într-un proces de dezvoltare și perfecționare continuă** în toate planurile: personal, social și profesional, **este un punct forte în consolidarea unei atitudini sigure și sănătoase față de viața de zi cu zi.**



### 1.3. Instrucțiuni privind sănătatea și securitatea muncii la utilizarea calculatoarelor

Dintre prevederile *NSSM 37 - Norme specifice de securitate a muncii pentru prelucrarea automată a datelor* se spicuiesc câteva, fără a le considera lipsite de importanță pe restul:

- ✓ Se recomandă pauze scurte, cca 1 minut, la fiecare 20-30 de minute pentru exerciții de mobilitate. După fiecare 50 minute se ia o pauză de 5-10 minute.
- ✓ Postura ergonomică este cea din *figura 1.1*.
- ✓ Iluminarea naturală și cea artificială trebuie să fie corespunzătoare și să nu producă reflexii și străluciri.
- ✓ Aerisirea trebuie să fie realizată periodic, măcar odată cu pauzele.
- ✓ Realizarea setărilor corecte ale tuturor componentelor calculatorului este foarte importantă în exploatarea corectă și sigură a acestuia.

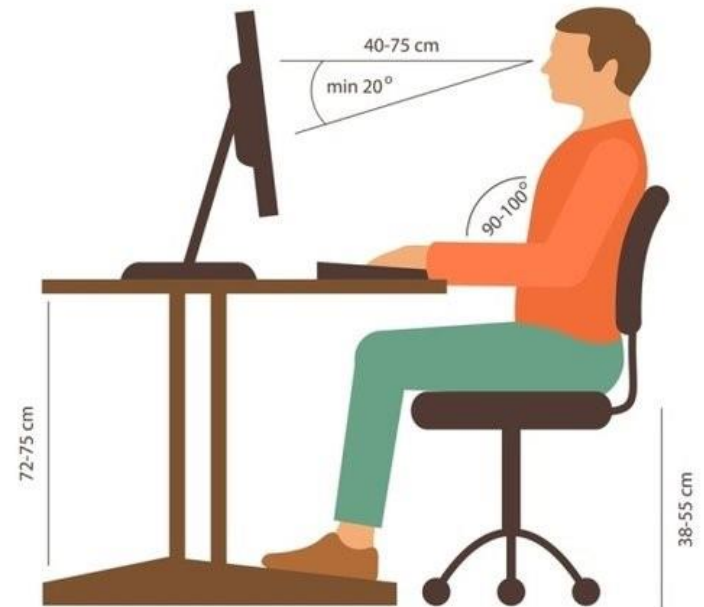



Fig. 1.1. Poziția ergonomică la masa de lucru [2]

## 1.4. Procesul verbal de instructaj

Studentul completează, semnează și transmite cadrului didactic procesul verbal de instructaj, *fig. 1.2*. Astfel, acesta confirmă luarea la cunoștință a prevederilor privind sănătatea și securitatea muncii, cele privind apărarea împotriva incendiilor și măsurile de prim ajutor din bibliografia de la punctul 1.1.

*Fig. 1.2. Procesul verbal de instructaj*

 <b>UNIVERSITATEA TEHNICĂ</b> DIN CLUJ-NAPOCA	<b>CENTRUL UNIVERSITAR NORD DIN BAIA MARE FACULTATEA DE INGINERIE</b>	
str. Dr. Victor Babeș nr. 62A, 430083 Baia Mare, România tel. +40-362-401-265, fax +40-262-276-153		
	<b>DEPARTAMENTUL DE INGINERIE ELECTRICĂ, ELECTRONICĂ ȘI CALCULATOARE</b>	
<b>PROCES VERBAL DE INSTRUCȚAJ</b>		
la lucrările de laborator aferente disciplinei _____		
Subsemnatul _____, student în anul _____,		
Specializarea _____, am fost instruit referitor la prevederilor privind		
sănătatea și securitatea muncii, cele privind apărarea împotriva incendiilor și măsurile de prim ajutor din		
bibliografia de mai jos:		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Legea nr. 319/14 iulie 2006 – Legea securității și sănătății în muncă.</i></li> <li>2. <i>Hotărârea de Guvern nr. 1425/11 octombrie 2006 (actualizată) pentru aprobarea Normelor metodologice de aplicare a Legii securității și sănătății în muncă nr.319/2006, (modificata și completata de HG 955/2010, HG 1242/2011).</i></li> <li>3. <i>NSPM 65 - Norme pentru transportul și distribuția energiei electrice.</i></li> <li>4. <i>NSSM 111 - Norme la utilizarea energiei electrice în medii normale.</i></li> <li>5. <i>NSSM 37 - Norme specifice de securitate a muncii pentru prelucrarea automată a datelor.</i></li> <li>6. <i>NSSM 6 - Norme pentru transportul intern.</i></li> <li>7. <i>NSSM 12 - Norme pentru lucrul la înălțime.</i></li> <li>8. <i>NSPM 48 - Norme pentru telecomunicații.</i></li> <li>9. <i>NSSM 54 - Norme pentru radiocomunicații.</i></li> <li>10. <i>NSPM 77 - Norme pentru fabricarea componentelor și echipamentelor electrice, electrotehnice și a materialelor electroizolante.</i></li> <li>11. <i>NSSM 47 - Norme pentru fabricarea mașinilor electrice rotative, a transformatoarelor și a condensatoarelor de forță.</i></li> <li>12. <i>NSSM 21 - Norme pentru fabricarea lămpilor electrice, tuburilor cinescop și corpurilor de iluminat.</i></li> <li>13. <i>NSSM 16 - Norme pentru fabricarea acumulatorilor și pilelor electrice.</i></li> <li>14. <i>NSSM 116 - Norme pentru transportul urban cu tracțiune electrică (tramvai, troleibuz) și instalații aferente, exploatare și întreținere.</i></li> <li>15. <i>Legea nr. 307 din 12 iulie 2006 privind apărarea împotriva incendiilor.</i></li> <li>16. <i>Norme generale de apărare împotriva incendiilor, aprobate prin OMAI nr.163/2007.</i></li> <li>17. <i>Manual de prim ajutor calificat, <a href="http://old.ms.ro/documente/430_1301_manual.pdf">http://old.ms.ro/documente/430_1301_manual.pdf</a>.</i></li> <li>18. <i>Stingătoare de incendiu. Pliant realizat de ISU. Inspekția de prevenire, <a href="https://www.igsu.ro/documente/informare_preventiva/pliant_stingatoare_incendiu.pdf">https://www.igsu.ro/documente/informare_preventiva/pliant_stingatoare_incendiu.pdf</a>.</i></li> </ol>		
<b>Data:</b>	<b>Semnătura:</b>	

### 2. MODUL DE DESFĂȘURARE AL LUCRĂRILOR DE LABORATOR

În cele ce urmează sunt punctate câteva indicații metodice de realizare a lucrărilor de laborator:

- ✓ Se studiază lucrarea de laborator, în integralitatea ei și abia apoi se trece la realizarea efectivă.
- ✓ Pentru toate lucrările, studenții vor întocmi un referat, care indiferent de aplicațiile software în care este realizat și redactat, se predă (prin upload în platforma educațională indicată de cadrul didactic) sub forma unui singur de fișier de tip pdf. Dacă lucrarea presupune lucrul cu mai multe tipuri de fișiere, generarea unui singur fișier de tip pdf se face, fie prin înserarea într-unul dintre acestea a celorlalte și apoi salvarea ca document pdf, fie prin îmbinarea fișierelor de tip pdf rezultate.
- ✓ Cerințele de conținut pentru fiecare referat sunt explicitate în fiecare lucrare.
- ✓ Referatele se încarcă numai în platforma educațională indicată de cadrul didactic, în secțiunea predefinită pentru lucrarea respectivă. Referatele trimise prin email, încărcate în altă secțiune decât cea corespunzătoare lucrării pentru care a fost generat nu se iau în considerare.
- ✓ În toate platformele educaționale, studentul poate încărca fișiere, acestea apărând evaluatorului ca având status de draft (ciornă) până în momentul în care studentul trimite efectiv (de obicei prin buton de tip send (trimite)) referatul spre examinare. Ciornele nu se evaluează.
- ✓ Cadrul didactic va pune la dispoziția studenților, sesiuni de întâlniri live, chat sincron și asincron pentru derularea în condiții optime a lucrărilor de laborator. Aceste întâlniri nu trebuie înțelese ca fiind singurele intervale de lucru la laborator. Studenții pot lucra oricând pentru parcurgerea laboratoarelor, toate platformele software utilizate au acces liber, gratuit și sunt nelimitate temporal.

## 3. UTILIZAREA BAZELOR DE DATE ȘI A PACHETELOR SOFTWARE PENTRU EVALUAREA POTENȚIALULUI FOTOVOLTAIC

## Definiții :

- ✓ *Iradianța* (eng. *Irradiance*) [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] este densitatea de putere a radiației solare.
- ✓ *Iradieră* (eng. *Irradiation*) [ $\text{kWh}/\text{m}^2$ ] este densitatea de energie a radiației solare. Iradierea este integrala iradianței pe o perioadă de timp. Se mai denumește simplu radiație solară. Se specifică totdeauna perioada de timp la care se referă: orară, diurnă, lunară sau anuală.
- ✓ *Radiația totală* ce ajunge pe o suprafață oarecare are trei componente: *radiația directă* (de la soare nedeviată până pe suprafață - cea care produce umbra), *radiația difuză* (împrăștiată de particulele din atmosferă – responsabilă de iluminarea unei încăperi cu fereastra orientată către nord) și *albedo* (radiația reflectată de suprafața pământului – în general neglijabilă, cu excepția suprafețelor lucioase, ape).

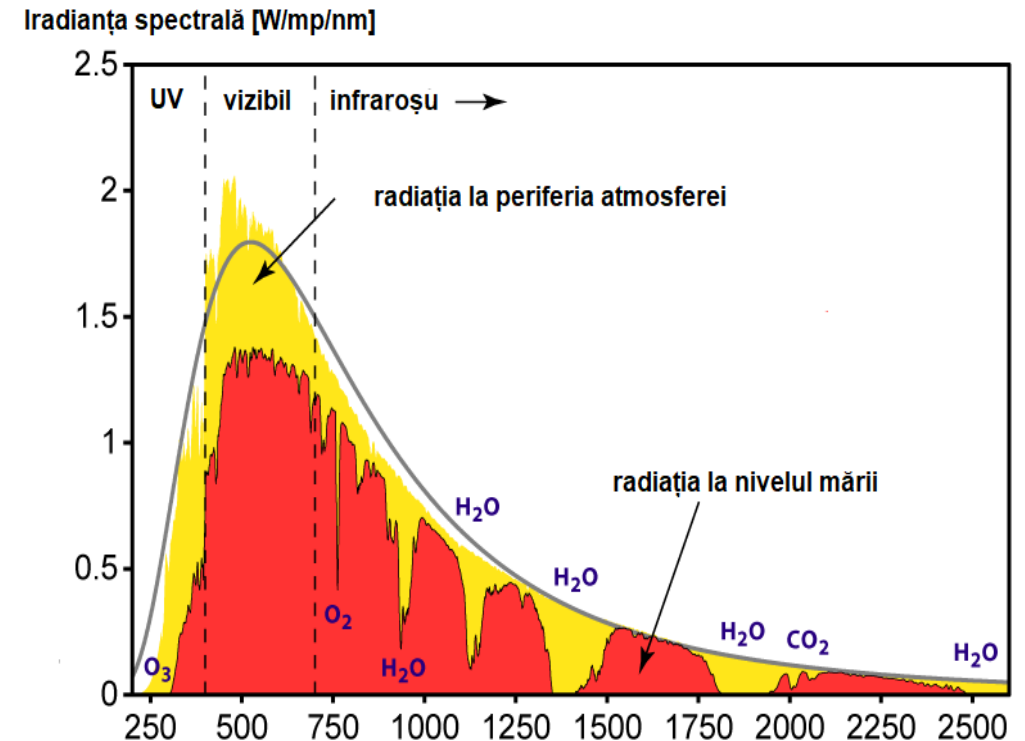


Fig. 3.1. Iradianța spectrală la periferia atmosferei și la nivelul mării [3]

## 3.1. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)



---

<b>Scopul:</b>	<i>Evaluarea potențialului fotovoltaic într-o locație oarecare</i>
<b>Obiective:</b>	<i>Familiarizarea cu utilitățile ce compun Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). Utilizarea PVGIS pentru evaluarea potențialului fotovoltaic.</i>
<b>Conținuturi</b>	<i>Despre PVGIS. Interfețele uneltelor PVGIS. Utilizarea PVGIS.</i>

---

**Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)** [4] este format dintr-o colecție de instrumente software, dezvoltate de European Commission Joint Research Centre, începând cu 2001. Instrumentele sunt gratuite și de tip open access având o acoperire geografică centrată pe Europa, dar extinsă deja și pentru Africa și mare parte din Asia și America.

Toate detaliile privind dezvoltarea, cercetarea, sursele de unde provin datele meteorologice, metodele de calcul, structura, etc. a PVGIS sunt disponibile pe pagina web a JRC, <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>.

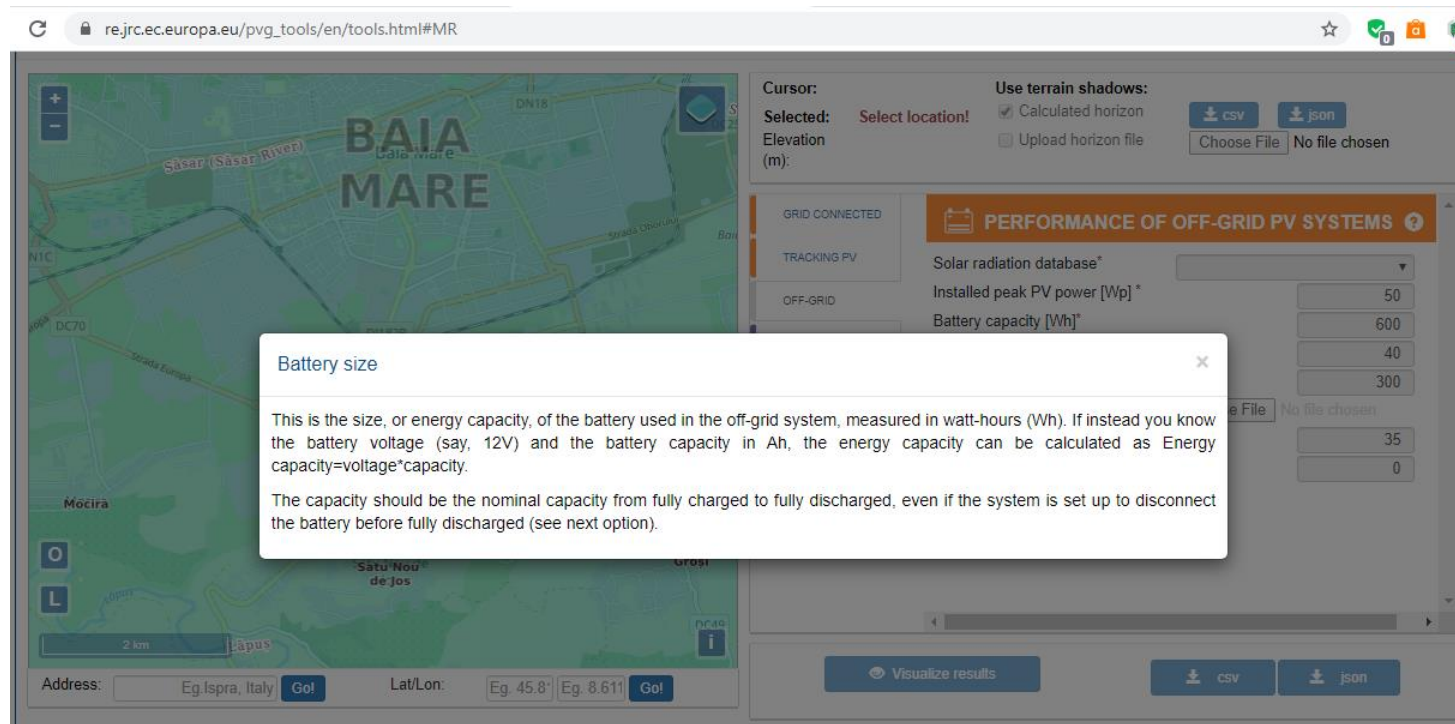
Cele trei instrumente ale *PVGIS*, toate accesibile ca sub meniuri ale aceleși aplicații, sunt:

- ✓ Solar radiation tool,
- ✓ PV performance tool
- ✓ Typical meteorological year,

Evaluarea densității de putere a radiației solare pentru o locație specificată se realizează cu ajutorul primului modul, ce poate furniza rezultate referitoare la: media unei luni calendaristice, media unei zile a anului, respectiv serii orare complete.

### 3.1. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)

Modul de lucru este prezentat în continuare, printr-o succesiune de imagini, însoțite de minimul de comentarii necesare. Informații suplimentare sunt disponibile la <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/usermanual>, unde este găzduit *PVGIS users manual*. De asemenea, printr-un simplu click pe termenii ce apar în aplicație, este afișată descrierea acestora, *fig. 3.2*.



*Fig. 3.2. Ajutor interactiv în PVGIS*

### 3.1. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)

Evaluarea potențialului fotovoltaic pentru o locație dată presupune urmarea următorilor pași:

1. *Selecția locației de interes (fiecare student alege locația corespunzătoare domiciliului permanent), fig. 3.3, realizabilă, fie prin postarea unui marcaj pe harta interactivă, fie prin introducerea coordonatelor (latitudine, longitudine), fie prin căutarea adresei.*

The screenshot displays the PVGIS web interface. On the left, a map shows a location in Baia Mare, Romania, with a blue pin marker. The map includes street names like Strada George Enescu and Strada Victoriei. Below the map, there are input fields for 'Address' (with 'Eg. Ispra, Italy' as a placeholder) and 'Lat/Lon' (with 'Eg. 45.8°' and 'Eg. 8.611' as placeholders). The right side of the interface contains a control panel. At the top, it shows 'Cursor: Selected: 47.661, 23.545' and 'Elevation: 205 (m)'. There are checkboxes for 'Use terrain shadows' (checked) and 'Upload horizon file'. Below this, there are buttons for 'csv' and 'json' exports, and a 'Choose File' button. The main section is titled 'AVERAGE DAILY IRRADIANCE DATA'. It features a dropdown for 'Solar radiation database\*' set to 'PVGIS-SARAH', a 'Month\*' dropdown set to 'March', and radio buttons for 'UTC time' and 'Local time' (selected). Under 'On fixed plane:', there are checkboxes for 'Irradiance' and 'Clear-sky irradiance' (both checked), and input fields for 'Slope [°]' and 'Azimuth [°]'. Under 'On sun-tracking plane:', there are checkboxes for 'Irradiance' and 'Clear-sky irradiance' (both unchecked). At the bottom, there is a 'Temperature:' section with a checked 'Daily temperature profile' option. At the very bottom of the interface, there are buttons for 'Visualize results', 'csv', and 'json'.

Fig. 3.3. Selecția locației în PVGIS



2. *Definirea intervalului temporal* pentru care se va genera rezultatul și anume *daily* (zilnic-pentru evaluarea iradianței) ce furnizează date medii orare pentru o lună selectată. Se vor seta apoi: luna, fusul orar (de regulă se alege *Local time*), mărimile de calculat, panta (slope) și azimutul colectorului.

3. Se comandă *vizualizarea rezultatelor*. Valorile medii orare ale iradianței pot fi urmărite direct în aplicație (în formă grafică) sau poate fi generat un fișier amplu de tip \*.pdf. Se salvează câte două fișiere (slope 0° și 35°, exemplificate pentru Baia Mare, luna Martie, în fig. 3.4 și 3.5) pentru fiecare lună a anului. Pe baza acestora se completează *tabelele 3.1 și 3.2*.

Tabelul 3.1. *Iradianțe globale medii pentru locația \_\_\_\_\_ , unghi înclinare colector 0°*

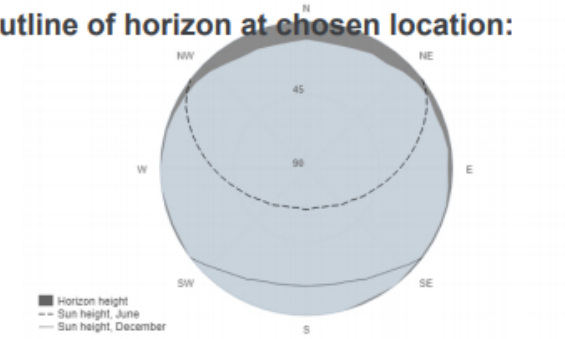
Luna	Iradianța globală medie $G$ [kW/m <sup>2</sup> ] la ora																								
	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45	
Ianuarie																									
Februarie																									
Martie																									
Aprilie																									
Mai																									
Iunie																									
Iulie																									
August																									
Septembrie																									
Octombrie																									
Noiembrie																									
Decembrie																									

#### PVGIS-5 geo-temporal irradiation database

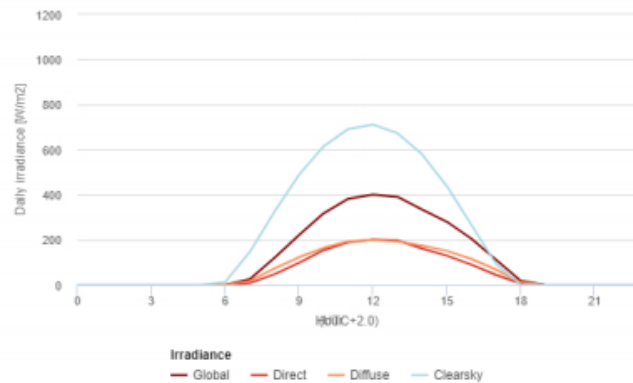
##### Provided inputs

Latitude/Longitude: 47.661, 23.545  
 Horizon: Calculated  
 Database used: PVGIS-SARAH  
 Month: March

##### Outline of horizon at chosen location:



#### Daily average irradiance on fixed plane with slope 0° and azimuth 0°



##### Irradiance on a fixed plane

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
<b>G(i)</b>	0	0	0	0	0	0	0	25	119	220	317	382	400	390	334	280	204	111	17	0	0	0	0	0
<b>Gb(i)</b>	0	0	0	0	0	0	0	8	47	98	154	189	201	197	160	129	89	44	6	0	0	0	0	0
<b>Gd(i)</b>	0	0	0	0	0	0	0	17	72	123	164	192	199	193	173	151	115	67	11	0	0	0	0	0
<b>Gcs(i)</b>	0	0	0	0	0	0	0	12	146	324	488	615	691	711	673	579	438	266	92	0	0	0	0	0

G(i): Global irradiance on a fixed plane [W/m2].  
 Gb(i): Direct irradiance on a fixed plane [W/m2].  
 Gd(i): Diffuse irradiance on a fixed plane [W/m2].  
 Gcs(i): Global Clear-sky irradiance on a fixed plane [W/m2].

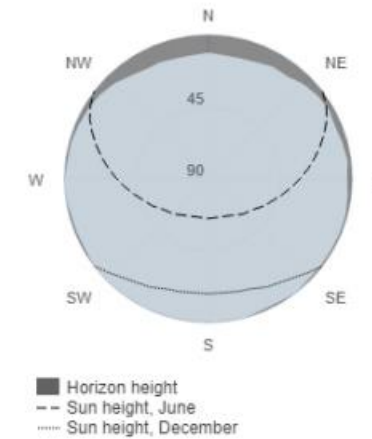
Fig. 3.4. Iradianța orară PVGIS pentru Baia Mare, luna Martie, unghi înclinare colector 0°

#### PVGIS-5 geo-temporal irradiation database

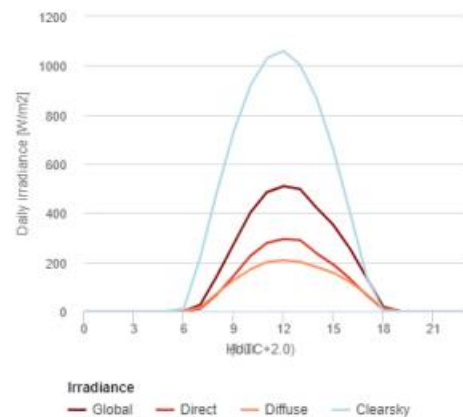
##### Provided inputs

Latitude/Longitude: 47.661, 23.545  
 Horizon: Calculated  
 Database used: PVGIS-SARAH  
 Month: March

##### Outline of horizon at chosen location:



#### Daily average irradiance on fixed plane with slope 35° and azimuth 0°



##### Irradiance on a fixed plane

Time	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45
<b>G(i)</b>	0	0	0	0	0	0	0	27	144	274	401	484	509	497	420	351	254	136	18	0	0	0	0	0
<b>Gb(i)</b>	0	0	0	0	0	0	0	10	69	143	225	277	294	289	235	190	132	65	7	0	0	0	0	0
<b>Gd(i)</b>	0	0	0	0	0	0	0	16	73	126	170	200	208	201	179	156	119	69	11	0	0	0	0	0
<b>Gcs(i)</b>	0	0	0	0	0	0	11	222	487	730	917	1030	1059	1002	864	656	401	141	0	0	0	0	0	0

G(i): Global irradiance on a fixed plane [W/m<sup>2</sup>].  
 Gb(i): Direct irradiance on a fixed plane [W/m<sup>2</sup>].  
 Gd(i): Diffuse irradiance on a fixed plane [W/m<sup>2</sup>].  
 Gcs(i): Global Clear-sky irradiance on a fixed plane [W/m<sup>2</sup>].

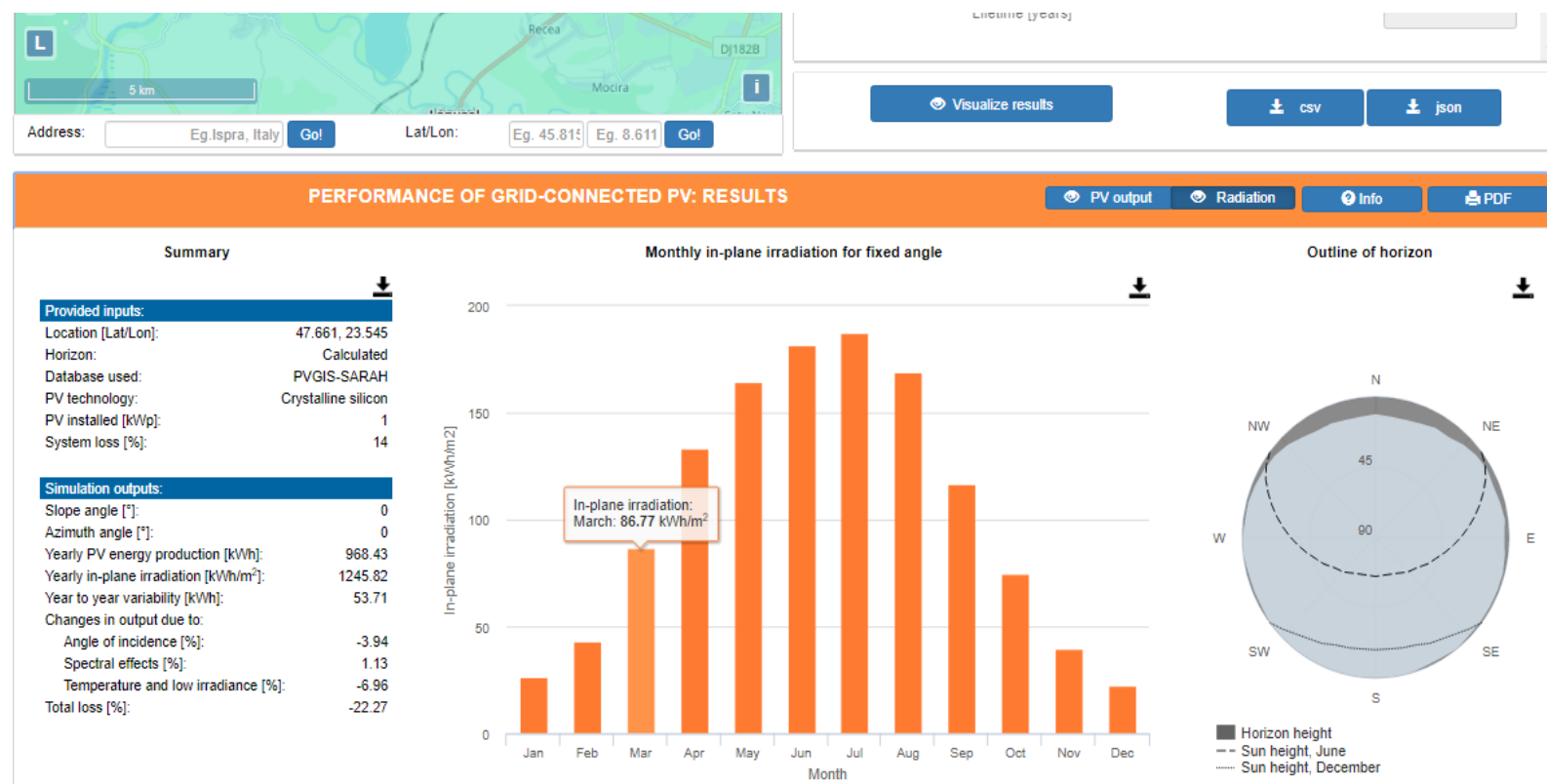
Fig. 3.5. Iradianța orară PVGIS pentru Baia Mare, luna Martie, unghi înclinare colector 35°

Tabelul 3.2. Iradianțe globale medii pentru locația \_\_\_\_\_ , unghi înclinare colector 35°

Luna	Iradianța globală medie $G$ [kW/m <sup>2</sup> ] la ora																								
	00:45	01:45	02:45	03:45	04:45	05:45	06:45	07:45	08:45	09:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	23:45	
Ianuarie																									
Februarie																									
Martie																									
Aprilie																									
Mai																									
Iunie																									
Iulie																									
August																									
Septembrie																									
Octombrie																									
Noiembrie																									
Decembrie																									

4. Se reprezintă grafic iradianța globală medie în funcție de oră, având ca și parametru luna (câte un grafic pentru fiecare tabel). Rezultatele se interpretează.

5. În ceea ce privește iradierea [ $\text{kWh}/\text{m}^2$ ], adică densitatea de energie a radiației, valoarea medie zilnică a unei luni se obține, adunând iradianțele orare medii ale lunii de interes. De ex. pentru Baia Mare, luna Martie, unghi înclinare colector  $0^\circ$  se obține media zilnică a lunii martie de  $2,799 \text{ kWh}/\text{m}^2$ . Înmulțind această valoare cu 31 zile aferente lunii Martie, rezultă iradierea totală lunară de  $86,769 \text{ kWh}/\text{m}^2$ . Rezultatele lunare se obțin foarte ușor și în meniul *Grid connected*. Asupra modului de lucru specific acestui meniu se pot obține detalii din lucrarea de laborator 5. *Proiectarea unui sistem fotovoltaic on grid*. Pentru evaluarea iradierii este esențială doar locația și unghiul de înclinare al modului, restul mărimilor pot rămâne cele predefinite. Datele se culeg din meniul *Radiation* din secțiunea de vizualizare, *fig. 3.6*.



*Fig. 3.6. Iradierea lunară PVGIS pentru Baia Mare, luna Martie, unghi înclinare colector  $0^\circ$*

6. Se evaluează *nivelul iradierii lunare medii* pentru orientări ale colectoarelor solare cuprinse între  $0^\circ$  și  $75^\circ$ , completând tabelul următor.

Tabelul 3.3. *Iradiere medii pentru locația* \_\_\_\_\_

Unghiul de înclinare	Iradiere medie $H_m$ [kWh/m <sup>2</sup> ] în luna												Iradiere anuală $H$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	
$0^\circ$													
$15^\circ$													
$25^\circ$													
$35^\circ$													
$40^\circ$													
$55^\circ$													
$65^\circ$													
$75^\circ$													

7. Se reprezintă grafic iradierea medie în funcție de lună, având ca și parametru unghiul de înclinare. Pe baza datelor din *tabelul 3.3* și a graficului asociat se determină valorile ideale ale unghiului de înclinare al colectorului solar, pentru fiecare lună în parte, înregistrând datele în *tabelul 3.4*.

*Tabelul 3.4. Unghiul lunar optim de înclinare al colectoarelor pentru locația \_\_\_\_\_*

Luna	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Iradieră anuală $H$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
Unghiul de înclinare optim [°]													
Iradieră lunară $H_m$ [kWh/m <sup>2</sup> ]													

8. Prin completarea și interpretarea datelor din *tabelul 3.5*, se compară eficiența următoarelor sisteme:

- ✓ un sistem la care lunar se modifică înclinarea panourilor (iradierile din *tabelul 3.4*),
- ✓ un sistem cu colectoare fixe (având panta care asigură radiația incidentă anuală maximă pe acestea – valorile se obțin prin selectarea în interfața PVGIS a opțiunii *optimize slope* sau *optimize slope and azimuth*),
- ✓ un sistem de tip "urmărirea poziției soarelui", prin accesarea tabului *Tracking PV*.

*Tabelul 3.5. Iradierea pentru locația \_\_\_\_\_*

Unghiul de înclinare optim [°]	Luna	Ian	Feb	Mar	Apr	Mai	Iun	Iul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Iradiere anuală $H$ [kWh/m <sup>2</sup> ]
Modificat lunar	Iradiere lunară $H_m$ [kWh/m <sup>2</sup> ]													
Optim anual	Iradiere lunară $H_m$ [kWh/m <sup>2</sup> ]													
Tracking PV	Iradiere lunară $H_m$ [kWh/m <sup>2</sup> ]													



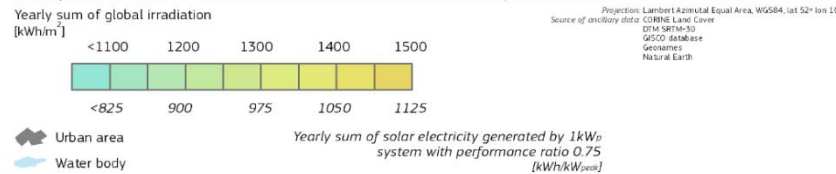
*Este evident că iradierea incidentă pe o suprafață depinde de unghiul de înclinare și orientarea acesteia, adică optimizarea ar presupune "urmărirea poziției soarelui", dar sistemele de conversie a energiei solare devin prohibitive la nivel de costuri în această arhitectură. Ca urmare, optimizarea se referă la orientarea către sud a panourilor (evident dacă nu există umbriri, situație ce necesită analize particularizate) și stabilirea, de regulă a unei înclinări care se păstrează tot timpul anului. O situație specială vizează sistemele fotovoltaice off grid, și anume acoperirea necesarului de energie și putere în lunile de iarnă. Astfel se preferă înclinarea ce asigură un maxim de radiație pe captator în această perioadă, în detrimentul înclinării ce maximizează iradierea la nivelul uni an întreg.*

9. Studenții vor prezenta un *referat* (un singur fișier, în format pdf) ce conține: locația (latitudine, longitudine), *tabelele 3.1 și 3.2* cu graficele și interpretarea corespunzătoare, *tabelul 3.3*, graficul aferent acestuia, *tabelul 3.4, tabelul 3.5* precum și comparația cerută la punctul 8. La referat se anexează toate fișierele rezultate din PVGIS.

### 3.1. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)



Global irradiation and solar electricity potential  
Horizontally mounted photovoltaic modules  
**ROMANIA / ROMÂNIA**



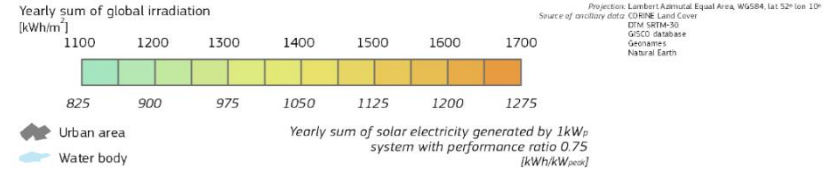
**CM SAF**  
Climate Monitoring

**Joint Research Centre**

Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua  
European Commission - Joint Research Centre  
Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit  
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>



Global irradiation and solar electricity potential  
Optimally-inclined photovoltaic modules  
**ROMANIA / ROMÂNIA**



**CM SAF**  
Climate Monitoring

**Joint Research Centre**

Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua  
European Commission - Joint Research Centre  
Institute for Energy and Transport, Renewable Energy Unit  
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

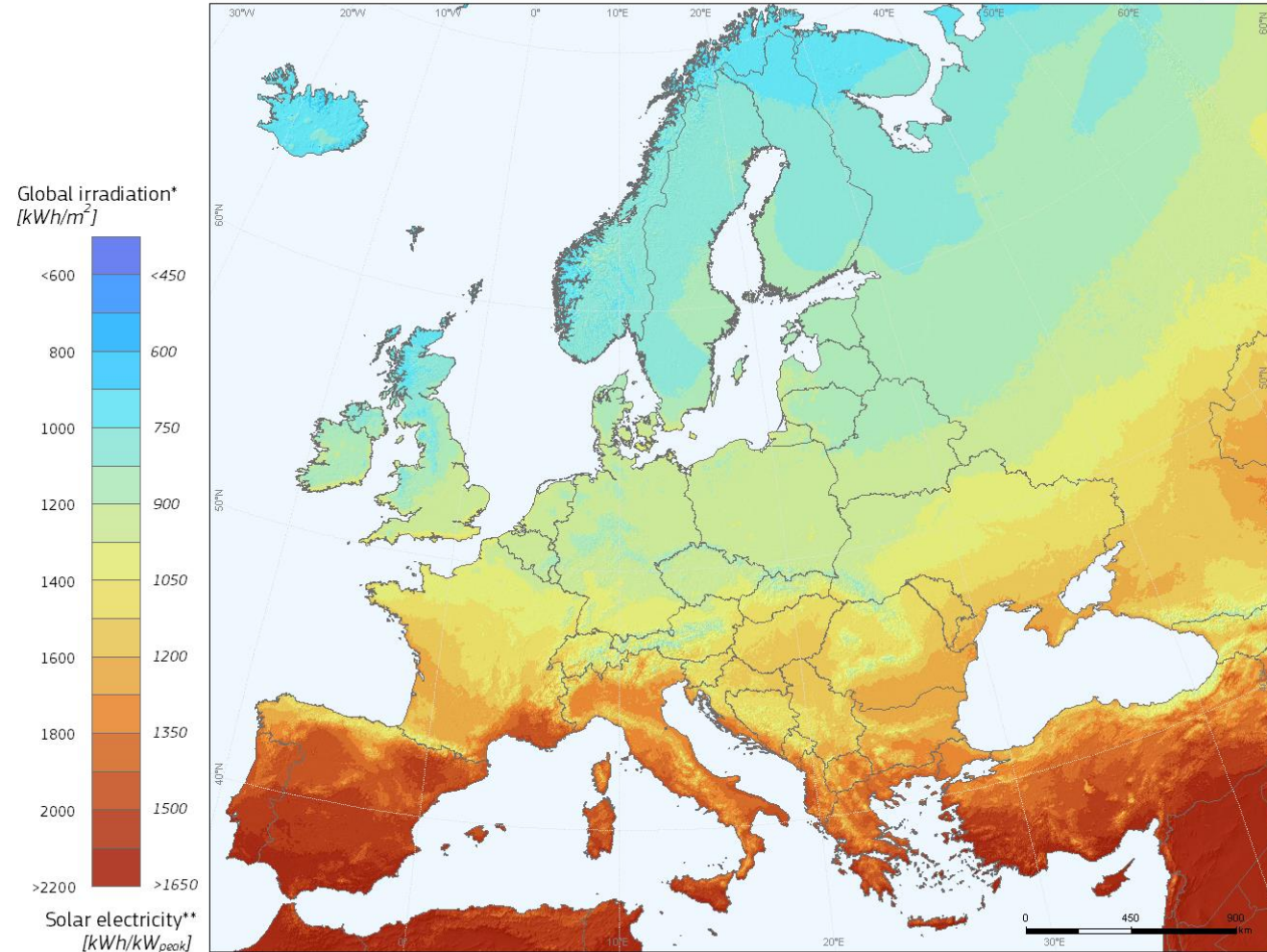
Fig. 3.7. Iradierea anuală și producția de energie electrică a unui sistem de 1 kW în PVGIS pentru România, unghi înclinare colector 0°

Fig. 3.8. Iradierea anuală PV Iradierea anuală și producția de energie electrică a unui sistem de 1 kW în PVGIS pentru România, unghi înclinare colector optim

## Photovoltaic Solar Electricity Potential in European Countries



*Fig. 3.9. Iradierea anuală și producția de energie electrică a unui sistem de 1 kW în PVGIS pentru Europa, unghi înclinare colector optim*



\* Yearly sum of global irradiation incident on optimally-inclined south-oriented photovoltaic modules

\*\*Yearly sum of solar electricity generated by optimally-inclined 1kW<sub>p</sub> system with a performance ratio of 0.75

© European Union, 2012  
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

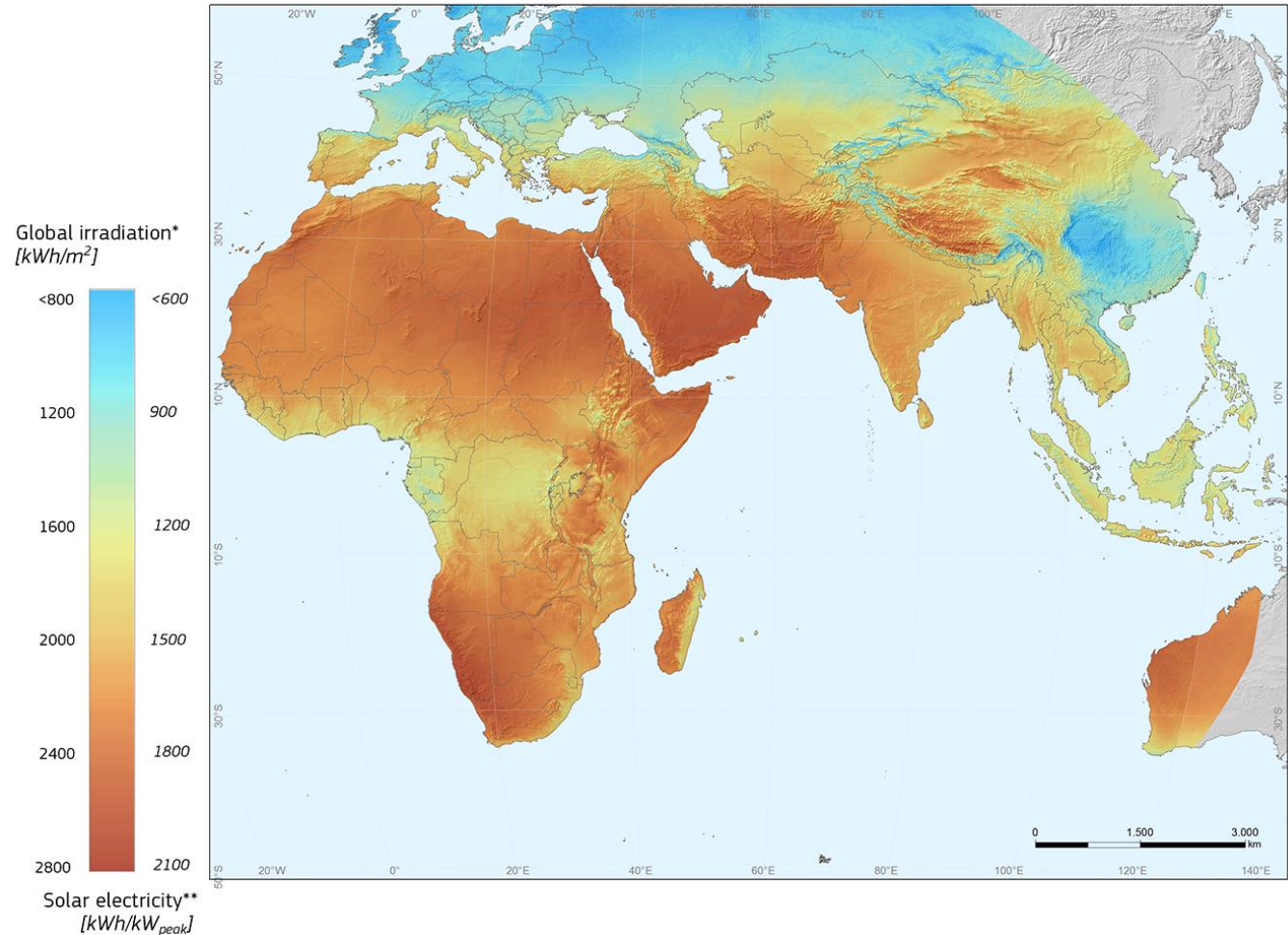
Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua  
EC - Joint Research Centre  
In collaboration with: CM SAF, [www.cmsaf.eu](http://www.cmsaf.eu)

Legal notice: Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication.

## Photovoltaic Solar Electricity Potential in Africa, Europe and Asia



*Fig. 3.10. Iradierea anuală și producția de energie electrică a unui sistem de 1 kW în PVGIS pentru Africa, Europa, Asia, unghi înclinare colector optim*



\* Yearly sum of global irradiation incident on optimally-inclined south-oriented photovoltaic modules

\*\*Yearly sum of solar electricity generated by optimally-inclined 1kW<sub>p</sub> system with a performance ratio of 0.75

© European Union, 2014  
PVGIS <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>

Authors: Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua  
EC - Joint Research Centre

In collaboration with:  
CM SAF, [www.cmsaf.eu](http://www.cmsaf.eu)



Legal notice: Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication.

## 3.2. Retscreen



---

<b>Scopul:</b>	<i>Evaluarea potențialului fotovoltaic într-o locație oarecare</i>
<b>Obiective:</b>	<i>Familiarizarea cu utilitarele ce compun Retscreen. Utilizarea Retscreen pentru evaluarea potențialului fotovoltaic.</i>
<b>Conținuturi</b>	<i>Despre Retscreen. Interfețele uneltelor Retscreen. Utilizarea Retscreen.</i>

---

“**RETScreen** este un sistem Soft de Administrare a Energiei Curate pentru analiza fezabilității proiectelor pentru eficiență energetică, energie regenerabilă și cogenerare, precum și analiza performanței energetice continue.

RETScreen Expert, o versiune premium avansată a software-ului, este disponibilă în Modul vizualizare complet gratuită.

RETScreen permite profesioniștilor și factorilor de decizie identificarea, evaluarea și optimizarea rapidă a viabilității tehnice și financiare a posibilelor proiecte de energie curată. Platforma de software expert în decizii inteligente permite de asemenea administratorilor măsurarea facilă și verificarea performanței actuale a facilităților lor, și ajută la găsirea unor oportunități adiționale de economii de energie/producție.” [5]

## 3.2. Retscreen

RETScreen are interfața disponibilă și în limba română și un *User manual* interactiv, accesibil din meniul principal (butonul *Help/Ajutor*), fig. 3.11.

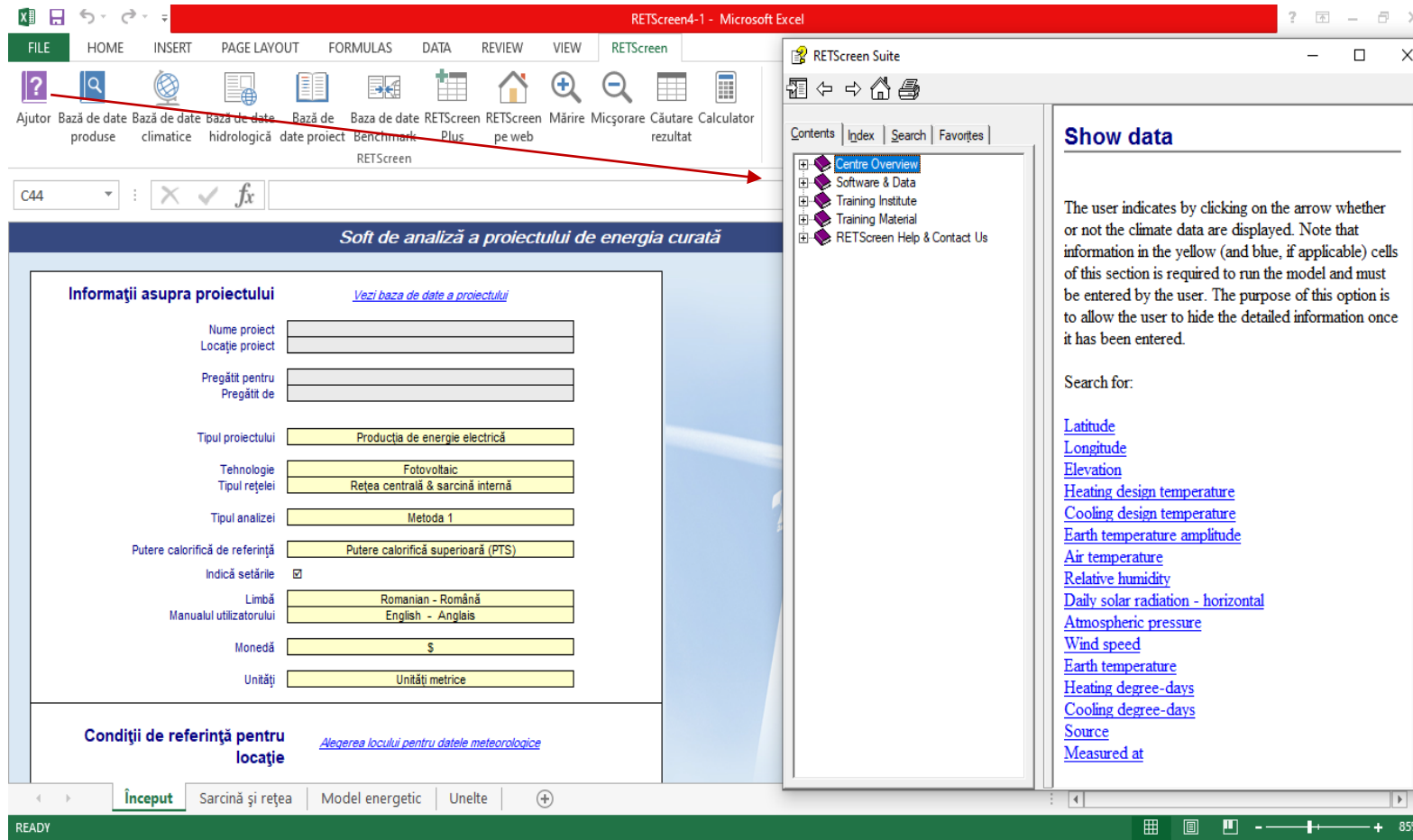


Fig. 3.11. Pagina de start a RETScreen și User manual

## 3.2. Retscreen

Definirea locației care va fi analizată se realizează selectând țara și orașul, de ex. Baia Mare, *fig. 3.12*.

The screenshot shows the RETScreen software interface. The main window displays 'Condiții de referință pentru locație' with a text box containing 'Alocarea locului pentru datele meteorologice' and a dropdown menu for 'Locul datelor climatice' set to 'Baia Mare'. Below this is a table of reference data for Baia Mare.

The 'RETScreen' dialog box is open, showing the following settings:

- Tară-regiune: România
- Provincie/Stat: n/a
- Locul datelor climatice: Baia Mare
- Latitudine: 47,7 °N
- Longitudine: 23,5 °E
- Altitudine: 218 m
- Sursă: Sol
- Temperatură de calcul pt. încălzire: -10,7 °C
- Temperatură de calcul pt. răcire: 29,3 °C
- Amplitudinea temperaturii solului: 21,2 °C

The dialog box also displays a table of monthly and annual climate data:

	Temperatura aerului °C	Umiditate relativă %	Radiație solară zilnică - orizontal kWh/m <sup>2</sup> /zi	Presiunea atmosferică kPa	Viteza vântului m/s	Temperatura solului °C	Grade de încălzire-zile °C-z	Grade -zile pentru răcire °C-z
Ian	-1,9	88,2%	1,25	96,1	1,3	-5,3	617	0
Feb	0,2	83,5%	2,08	96,0	1,5	-4,0	498	0
Mar	4,9	73,9%	3,19	95,9	2,0	1,6	406	0
Apr	10,2	71,9%	4,22	95,6	2,2	9,0	234	6
Mai	16,2	73,0%	5,23	95,8	2,0	15,1	56	192
Iun	18,6	74,6%	5,55	95,7	2,0	18,2	0	258
Iulie	20,6	77,0%	5,59	95,8	1,7	20,6	0	329
Aug	19,6	80,3%	5,07	95,9	1,6	20,3	0	298
Sept	14,6	83,7%	3,53	95,9	1,6	15,0	102	138
Oct	10,4	81,5%	2,26	96,2	1,5	8,7	236	12
Nov	4,3	87,1%	1,31	96,1	1,5	1,5	411	0
Dec	-0,1	90,8%	0,99	96,2	1,3	-4,1	561	0
Anual	9,9	80,5%	3,36	95,9	1,7	8,1	3.121	1.233
Sursă	Sol	Sol	NASA	NASA	Sol	NASA	Sol	Sol

At the bottom of the dialog box, there are controls for 'Măsurat la' (m) and a scale of 10, and a '0' input field.

Fig. 3.12. Selecția locației de interes în RETScreen



## 3.2. Retscreen

Datele meteo sunt vizibile și pe pagina de start. Acestea se referă la temperaturi (aer și sol), umiditate relativă, presiune atmosferică, viteza vântului și evident radiația solară. Toate mărimile sunt medii zilnice aferente lunii respective. În cazul iradierii, prin înmulțirea valorii medii zilnice cu numărul zilelor lunii respective și mai departe însumarea iradierilor lunare se obține iradierea anuală. În pagina Model energetic, prin fixarea unei înclinări dorite a captatorului, programul furnizează date privind disponibilul densității de energie solară pentru unghiul respectiv, *fig. 3.13*.

Se observă în luna martie o valoare medie zilnică de 3,19 kWh/m<sup>2</sup>; radiația anuală totală fiind egală cu 1230 kWh/m<sup>2</sup>. Comparând cu rezultatele din *PVGIS* și anume: 2,799 kWh/m<sup>2</sup>, respectiv 1245,82 kWh/m<sup>2</sup>, se evidențiază o eroare aferentă unui an de cca. 1,26%.

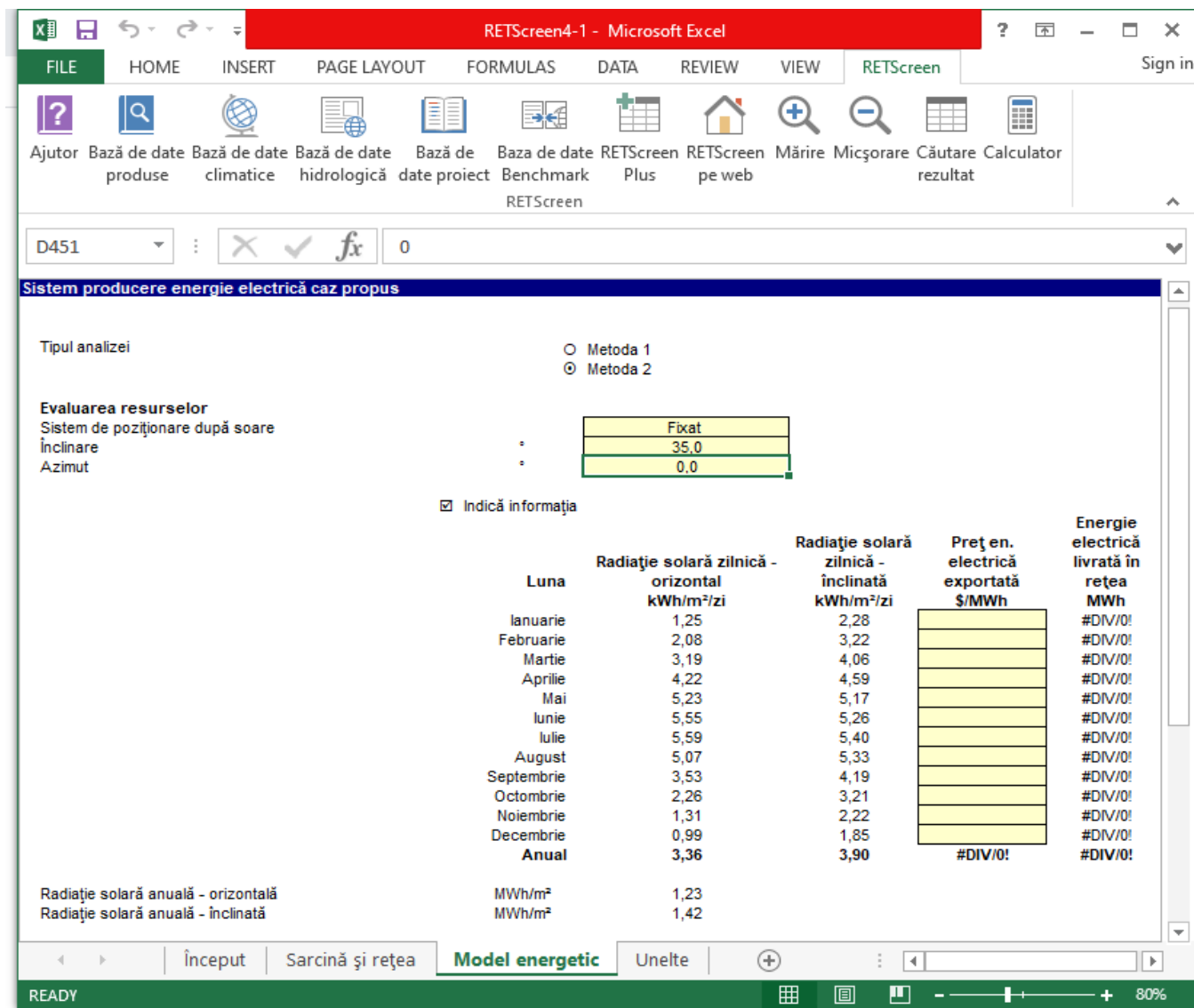


Fig. 3.13. Iradierea pentru Baia Mare în RETScreen, panta 0° și 35°

Tabelul 3.5. Iradierea pentru locația \_\_\_\_\_

Luna	Radiație solară [kWh/m <sup>2</sup> ]							
	înclinare de 0°				înclinare de 35°			
	PVGIS		<u>RETScreen</u>		PVGIS		<u>RETScreen</u>	
	zilnică	lunară	zilnică	lunară	zilnică	lunară	zilnică	lunară
Ianuarie								
Februarie								
Martie								
Aprilie								
Mai								
Iunie								
Iulie								
August								
Septembrie								
Octombrie								
Noiembrie								
Decembrie								
Medii anuale								
Total an								
Eroare [%]								

Pentru toate lunile anului se va completa tabelul alăturat și se va aprecia eroarea de determinare a radiațiilor anuale prin intermediul celor două utilitare.

Studentii vor prezenta un *referat* (un singur fișier, în format pdf) ce conține: *tabelul 3.5* și interpretarea rezultatelor. La referat se anexează toate fișierele rezultate din Retscreen.

## 4. CONVERSIA FOTOVOLTAICĂ

Comportarea celulelor și implicit a modulelor fotovoltaice este definită de o serie de parametri ce se determină de către producător în condiții de test standardizate (Standard test conditions, STC) și anume:

- Irradianța globală pe suprafața celulei,  $G_{STC}=1000 \text{ W/m}^2$ ;
- Temperatura celulei în grade Celsius,  $\vartheta_{STC}= 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Masa convențională de aer,  $AM=1,5$ .

Determinarea, respectiv certificarea parametrilor, de ex. în exploatare, trebuie să fie posibilă pe baza unor măsurători cât mai simplu de realizat.

Cel mai important pas îl reprezintă determinarea caracteristicilor de funcționare, în regim static,  $I = I(U)$  și  $P = P(U)$ , *fig. 4.1*, unde:  $I$  - curentul în circuitul exteriori,  $U$  - căderea de tensiune la bornele celulei,  $P$  - puterea transferată sarcinii.

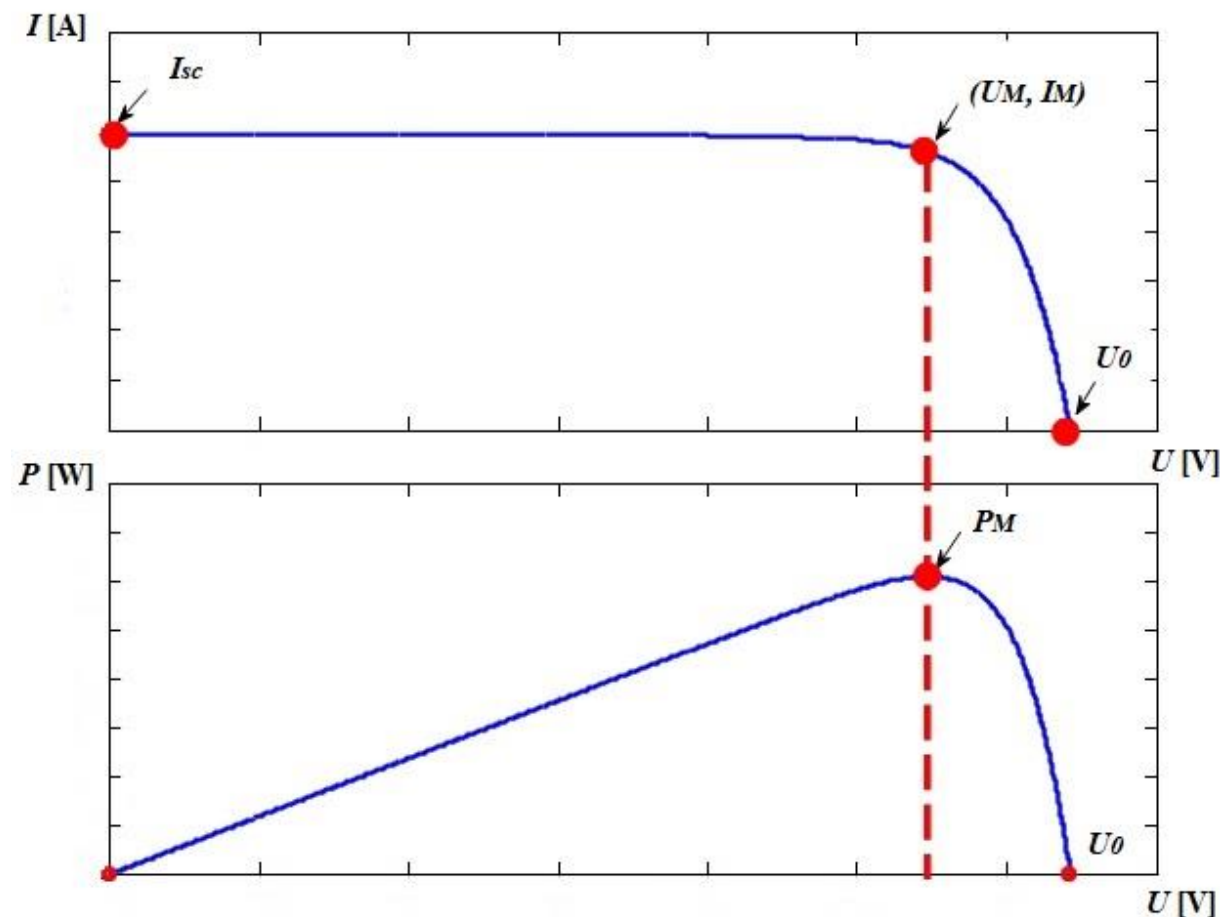


Fig. 4.1. Caracteristicile de funcționare ale celulei fotovoltaice [6]

Pe baza acestora se determină simplu următorii parametrii:

- *Curentul de scurtcircuit,  $I_{sc}$ ,*
- *Tensiunea de mers în gol,  $U_0$ ,*
- *Puterea maximă,  $P_M$  (eng. peak power),*
- *Coordonatele punctului de putere maximă ( $U_M, I_M$ ),*
- *Factorul de umplere,  $FF$ , (eng. Fill Factor), care este măsura calității celulei fotovoltaice și reprezintă raportul:*

$$FF = \frac{I_M U_M}{I_{SC} U_0} = \frac{P_M}{I_{SC} U_0} \leq 1 \quad (4.1)$$

Uzual  $FF > 0,7$ .

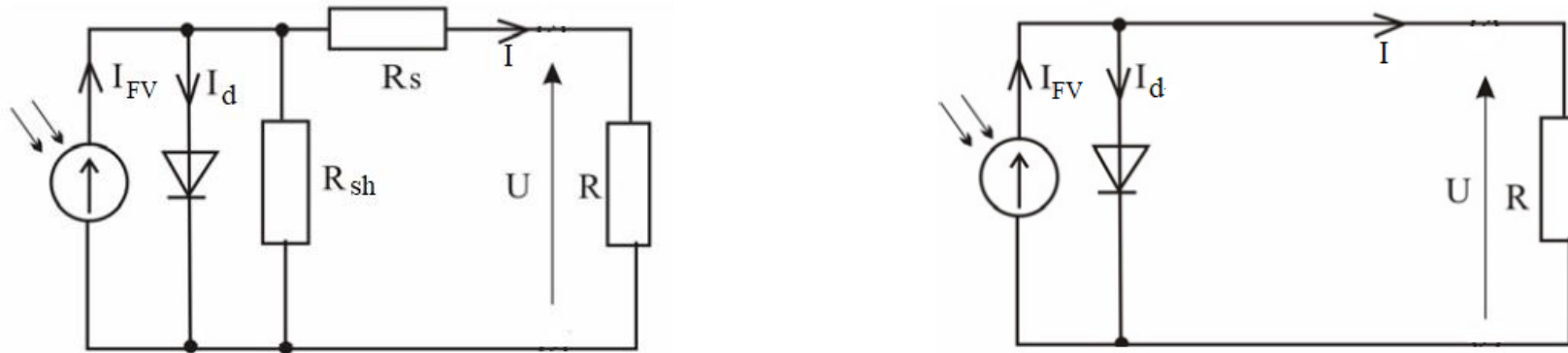
- *Randamentul celulei sau modulului fotovoltaic,  $\eta$ :*

$$\eta = \frac{P_M}{A \cdot G_{STC}} \quad (4.2)$$

unde  $A$  este suprafața celulei sau modulului în  $m^2$ .

Restul parametrilor se determină pe baza unor circuite echivalente care rezolvate duc la descrierea matematică a celulei fotovoltaice, descriere ce trebuie să realizeze suprapunerea (cu erori acceptabile) a caracteristicilor reală (determinată experimental) și modelată (determinată analitic pe baza modelului matematic).

Schema echivalentă cea mai utilizată este cea a modelului o diodă (un generator de curent în antiparalel cu o diodă ideală) cu două rezistențe: rezistența serie,  $R_s$  (rezistențe de contact la nivelul celulei) și cea șunt  $R_{sh}$  (scăpări la marginile celulei), *fig. 4.2.a*. În multe situații se consideră rezistența paralel,  $R_{sh} \approx \infty$  și cea serie,  $R_s \approx 0$  (situație apropiată de realitate la nivelul tehnologic actual), *fig. 4.2.b*.



*Fig. 4.2. Modelul o diodă al celulei fotovoltaice [7]*

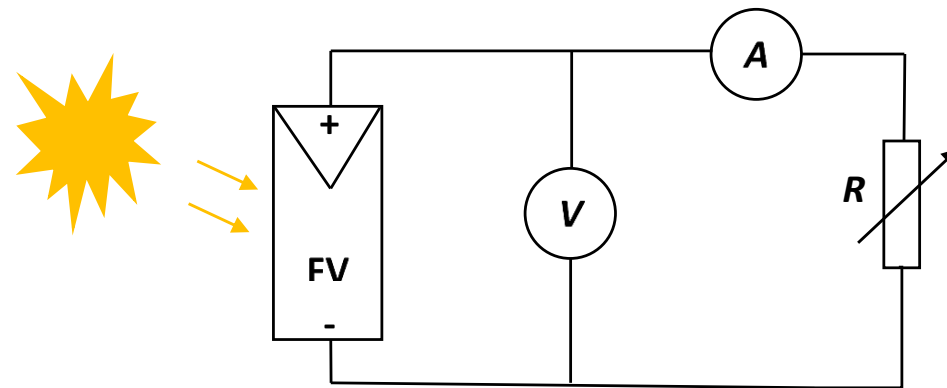
## 4.1. Ridicarea experimentală a caracteristicilor modulelor fotovoltaice



<b>Scopul:</b>	<b>Studiul celulelor și modulelor fotovoltaice</b>
<b>Obiective:</b>	<i>Ridicarea caracteristicilor de funcționare ale celulelor și modulelor fotovoltaice. Determinarea factorului de umplere.</i>
<b>Conținuturi</b>	<i>Caracteristica <math>I = I(U)</math>. Caracteristica <math>P = P(U)</math>. Calculul unor mărimi specifice.</i>

Se vor utiliza laboratoarele virtuale, <https://infinitypv.com/learn/virtual-tools>.

Schema de montaj este prezentată în *fig. 4.3*.



*Fig. 4.3. Schema montajului*

#### 4.1. Ridicarea experimentală a caracteristicilor modulelor fotovoltaice

Datele pentru regimul de gol ( $I = 0$ ), respectiv cel de scurtcircuit ( $U = 0$ ) se preiau din <https://infinitypv.com/learn/virtual-tools/c03>, respectiv <https://infinitypv.com/learn/virtual-tools/c02>.

Restul perechilor ( $I, U$ ) se obțin prin modificarea cursorului rezistorului variabil din <https://infinitypv.com/learn/virtual-tools/c04>.

Iradieră sau nu a modului fotovoltaic se realizează dând click pe acesta (on/off) și se consideră iradianța de  $1000 \text{ W/m}^2$  în regimul *on*.

Rezultatele măsurătorilor se trec în tabelul de mai jos și se reprezintă în grafice separate  $I = I(U)$  și  $P = P(U)$ . Pe baza reprezentărilor grafice și a ariei modului fotovoltaic, se determină  $U_M, I_M, P_M, FF, \eta$  și se trec în tabel.

Tabelul 4.1. Parametrii modului fotovoltaic în condiții standard

Rezistența de sarcină $R$ [ $\Omega$ ]	0 (sc)										$\infty$ (gol)
$U$ [V]											
$I$ [A]											
$P$ [W]											
$U_M$ [V]		$I_M$ [A]		$P_M$ [W]		$FF$		$A$ [ $\text{m}^2$ ]	0,005	$\eta$ [%]	

Studentii vor prezenta un *referat* (un singur fișier, în format pdf) ce conține: *tabelul 4.1* și caracteristicile modului fotovoltaic.



## 4.2. Determinarea experimentală a parametrilor modelului matematic o diodă al celulei fotovoltaice



---

<b>Scopul:</b>	<i>Studiul celulelor și modulelor fotovoltaice</i>
<b>Obiectiv:</b>	<i>Determinarea parametrilor modelului matematic o diodă al celulei fotovoltaice.</i>
<b>Conținuturi</b>	<i>Modelul matematic al celulei fotovoltaice. Extragerea unor parametrii din caracteristicile de funcționare. Calculul parametrilor.</i>

---

Modelul o diodă, varianta completă, *fig. 4.4*, poate fi descris matematic ca:

$$I = I_{FV} - I_0 \cdot \left\{ \exp \left[ \frac{e(U + R_s \cdot I)}{n \cdot k \cdot T} \right] - 1 \right\} - \frac{U + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (4.3)$$

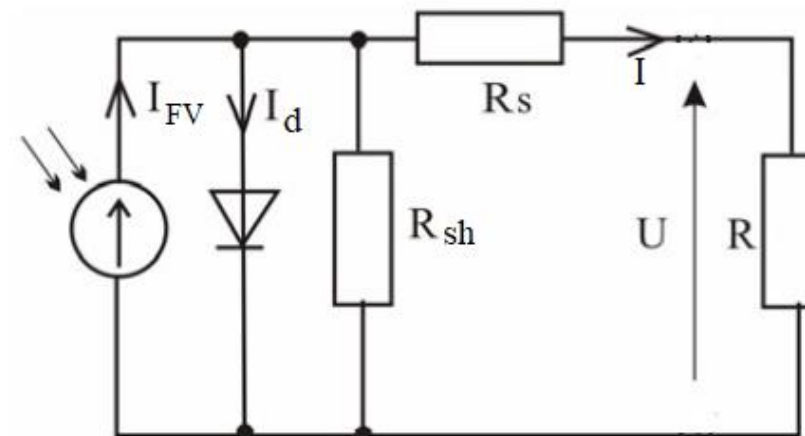
unde:  $I$  - curentul în circuitul exterior,  $I_{FV}$  - curentul fotovoltaic,  $I_d$  - curentul diodei,  $I_0$  - curentul invers de saturație al diodei,  $U$  - căderea de tensiune la bornele celulei,  $T$  - temperatura absolută a celulei,  $e = 1,602176634 \cdot 10^{-19}$  C - sarcina elementară,  $n$  - factorul de idealitate al diodei și  $k = 1,380649 \cdot 10^{-23}$  J/K - constanta lui Boltzmann.

Notând tensiunea termică cu  $U_t$ :

$$U_t = \frac{k \cdot T}{e} \quad (4.4)$$

relația (4.3) se poate scrie:

$$I = I_{FV} - I_0 \cdot \left[ \exp \left( \frac{U + R_s \cdot I}{n \cdot U_t} \right) - 1 \right] - \frac{U + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (4.5)$$



*Fig. 4.4. Modelul o diodă al celulei fotovoltaice [7]*

Puterea ce se transferă unei sarcini de rezistență  $R$  devine:

$$P = U \cdot I = U \cdot \left\{ I_{FV} - I_0 \cdot \left[ \exp\left(\frac{U + R_S \cdot I}{n \cdot U_t}\right) - 1 \right] - \frac{U + R_S \cdot I}{R_{sh}} \right\} \quad (4.6)$$

Identificarea punctului  $M(U_M, I_M)$  în care se realizează maximul puterii se realizează prin anularea primei derivate în funcție de tensiune din relația (4.4). Valoarea puterii maxime va fi:

$$P_M = U_M \cdot I_M \quad (4.7)$$

Evident, funcționarea celulei va fi eficientizată pentru o rezistență de sarcină:

$$R_M = \frac{U_M}{I_M} \quad (4.8)$$

Parametrii necunoscuți (pe lângă cei care s-au determinat direct din caracteristicile de funcționare) ai celulei fotovoltaice sunt: rezistența serie,  $R_S$  (valori uzuale de ordinul zecilor de  $m\Omega/cm^2$ ), rezistența șunt  $R_{sh}$  (valori de zeci de  $\Omega$  și peste), curentul invers de saturație al diodei,  $I_0$  (uzual în intervalul  $10^{-10} \div 10^{-5}$  A) curentul fotovoltaic,  $I_{FV}$  (aproape de curentul de scurtcircuit) și factorul de idealitate al diodei,  $n$  (valori uzuale între 1 și 5,  $n = 1$  pentru dioda ideală).

Dintre multe metode disponibile [8], se va studia cea prezentată în [9] ce necesită caracteristicile de funcționare pentru o singură iradianță. Se vor utiliza caracteristicile determinate la punctul 4.1.

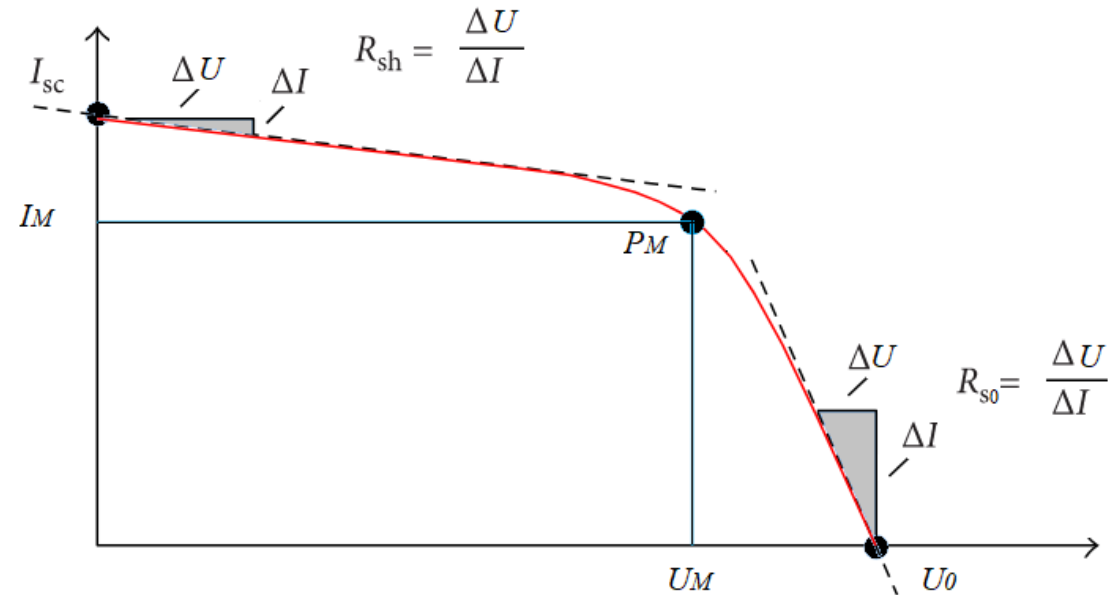
Se determină pantele caracteristicii  $I = I(U)$  în punctele de intersecție cu axele de coordonate, *fig. 4.5*.

În punctul de scurtcircuit, valoarea este chiar rezistența șunt:

$$R_{sh} = \left. \frac{dU}{dI} \right|_{I=I_{sc}} \quad (4.9)$$

În punctul corespunzător regimului de gol, panta definește o mărime de calcul,  $R_{s0}$ :

$$R_{s0} = \left. \frac{dU}{dI} \right|_{U=U_0} \quad (4.10)$$



*Fig. 4.5. Determinarea mărimilor  $R_{sh}$  și  $R_{s0}$*

Relațiile pe baza cărora se calculează parametrii modului fotovoltaic sunt [9]:

$$n = \frac{U_M + I_M \cdot R_{S0} - U_0}{U_t \cdot \left[ \ln \left( I_{sc} - \frac{U_M}{R_{sh}} - I_M \right) - \ln \left( I_{sc} - \frac{U_0}{R_{sh}} \right) + \frac{I_M}{I_{sc} - \frac{U_0}{R_{sh}}} \right]} \quad (4.11)$$

$$I_0 = \left( I_{sc} - \frac{U_0}{R_{sh}} \right) \cdot \exp \left( -\frac{U_0}{n \cdot U_t} \right) \quad (4.12)$$

$$R_S = R_{S0} - \frac{n \cdot U_t}{I_0} \cdot \exp \left( -\frac{U_0}{n \cdot U_t} \right) \quad (4.13)$$

$$I_{FV} = I_{sc} \cdot \left( 1 + \frac{R_S}{R_{sh}} \right) + I_0 \cdot \left[ \exp \left( \frac{I_{sc} \cdot R_S}{n \cdot U_t} \right) - 1 \right] \quad (4.14)$$

Valorile obținute se compară cu cele uzuale, menționate anterior. Pe baza lor, se reprezintă grafic relațiile (4.5) și (4.6) între limitele  $U \in [0, U_0]$  și se suprapun peste caracteristicile determinate experimental. Notă: se utilizează calculul iterativ, disponibil, de ex. în Microsoft Excel.

De asemenea, relația (4.5) se reprezintă tot între limitele  $U \in [0, U_0]$ , dar având ca și parametru rezistența serie,  $R_s [\Omega] \in \{0, 10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1}, 1, \text{valoarea calculată anterior}\}$ , pentru evidențierea influenței acesteia asupra funcționării modulelor fotovoltaice.

În final, relația (4.5) se reprezintă tot între limitele  $U \in [0, U_0]$ , dar de această dată având ca și parametru rezistența șunt,  $R_{sh} [\Omega] \in \{\infty, 10^3, 10^2, 10^1, 1, \text{valoarea calculată anterior}\}$ , pentru evidențierea și a influenței acestui parametru asupra caracteristicii modulelor fotovoltaice.

Spre validare se pot vizualiza aceste dependențe în <https://infinitypv.com/learn/virtual-tools/i01>.

Studentii vor prezenta un *referat* (un singur fișier, în format pdf) ce conține: valorile parametrilor modelului matematic o diodă al celulei fotovoltaice însoțite de algoritmul de calcul (fișierul excel sau alt tip atașat referatului) și reprezentările grafice cerute în aliniatele de mai sus.

### 4.3. Conectarea serie a celulelor și modulelor fotovoltaice



---

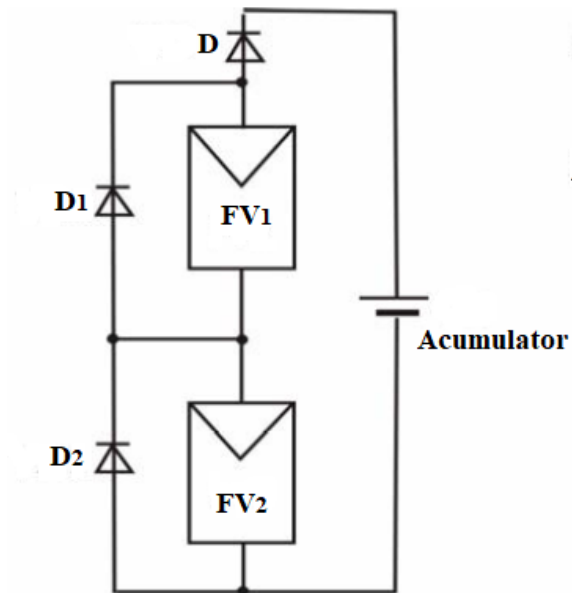
<b>Scopul:</b>	<b><i>Studiul conexiunii serie a modulelor fotovoltaice</i></b>
<b>Obiectiv:</b>	<i>Analiza structurii și funcționării sistemelor de module fotovoltaice conectate în serie.</i>
<b>Conținuturi</b>	<i>Caracteristicile de funcționare ale modulelor fotovoltaice conectate în serie. Importanța diodelor de bypass și anti-retur.</i>

---

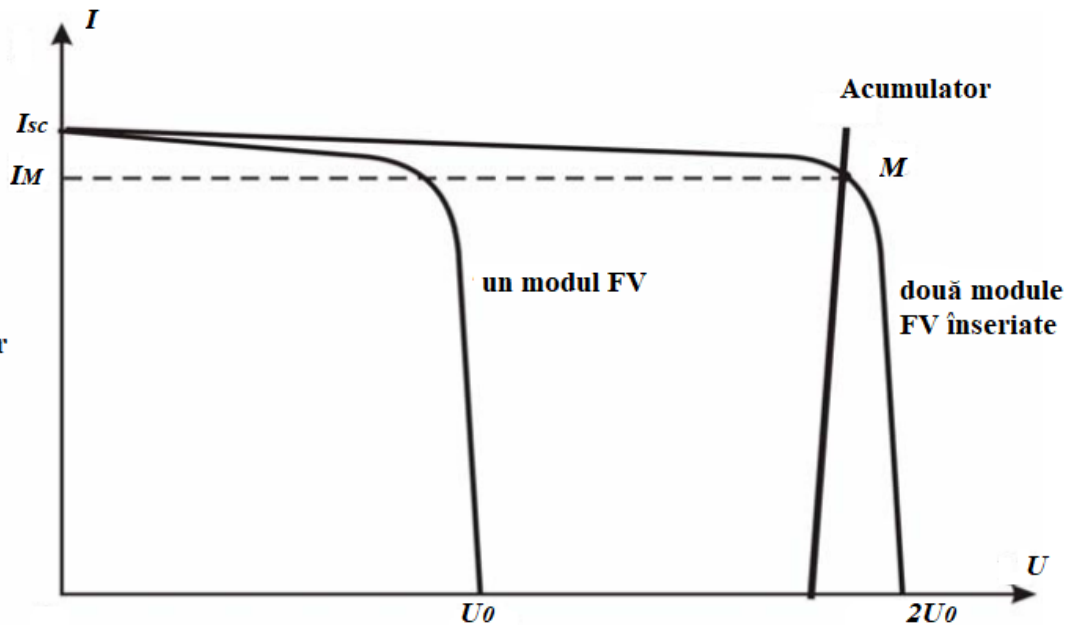
### 4.3. Conectarea serie a celulelor și modulelor fotovoltaice

Tensiunea și intensitatea curentului electric generate de o celulă fotovoltaică sunt de valori prea mici pentru aplicațiile uzuale. Acestea se conectează în serie și paralel constituind modulele fotovoltaice care, la rândul lor, se integrează în scheme serie și paralel.

La conectarea în serie a două module fotovoltaice identice, curentul debitat în circuitul de sarcină nu se modifică (intensitatea acestuia este aceeași cu a curentului debitat de un singur modul), dar tensiunea crește de două ori.



a. componența



b. caracteristica unui, respectiv a două module fotovoltaice înseriate  
Fig. 4.6. Conexiunea serie a modulelor fotovoltaice [7]



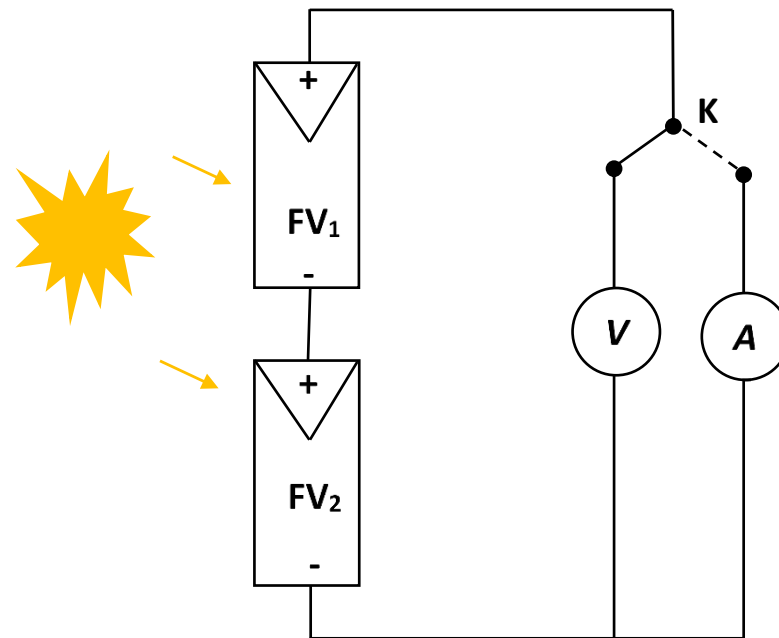
Sistemul complet, de ex. unul conectat la o baterie de acumulatori, *fig. 4.6.a*, trebuie suplimentat cu:

- ✓ Diodele de ocolire sau bypass  $D_1$  și  $D_2$ , conectate în paralel cu fiecare modul. În regim de funcționare normală aceste diode nu determină pierderi de putere și evită reducerea (chiar întreruperea) circulației curentului dacă un modul este mai puțin umbrit (chiar acoperit total, de ex. de zăpadă). Evident tensiunea circuitului serie se va reduce (chiar la jumătate), *fig. 4.6.b*.
- ✓ Dioda anti-retur  $D_3$  se conectează în serie cu sarcina și evită circulația inversă a curentului când modulul modulele fotovoltaice pot deveni receptoare (tensiunea generată mai mică decât cea a acumulatorului). Aceasta generează o cădere de tensiune de circa 0,5V și corespunzător pierderi de putere și energie.

#### Conectarea serie fără diode de bypass

Prima parte e experimentului se realizează fără diodele de bypass.

Schema de montaj este prezentată în *fig. 4.7*.



*Fig. 4.7. Schema montajului*

Se va utiliza caracteristica  $I = I(U)$  pentru un singur modul determinată la lucrarea *Ridicarea experimentală a caracteristicilor modulelor fotovoltaice*.

Se lucrează în experimentul virtual <https://infinitypv.com/learn/virtual-tools/c07>. Prin click pe modulele modulul fotovoltaice se comută iradianța între 0 și 1000 W/m<sup>2</sup>, iar prin același procedeu (echivalentul comutatorului K din schemă) aplicat aparatului de măsură acesta se transformă succesiv în ampermetru, respectiv voltmetru.

Rezultatele măsurărilor se trec în tabelul de mai jos și se reprezintă grafic punctele corespunzătoare regimurilor de gol și scurtcircuit ale celor două module conectate în serie fără diode de bypass în caracteristica de funcționare  $I = I(U)$  pentru un singur modul, preluată din lucrarea *Ridicarea experimentală a caracteristicilor modulelor fotovoltaice*.

*Tabelul 4.2. Parametrii sistemului cu două module fotovoltaice înseriate, fără diode de bypass, în condiții standard*

Regimul	gol	scurtcircuit
$U$ [V]		
$I$ [A]		

Graficul se interpretează în baza *fig. 4.6* și a noțiunilor teoretice prezentate anterior.

În continuare, fără a modifica schema sau condițiile de testare, se umbrește total un modul (click pe acesta) și se recitesc valorile ( $U$ ,  $I$ ), înscriindu-se în *tabelul 4.3*.

*Tabelul 4.3. Comportarea sistemului cu două module fotovoltaice înseriate, fără diode de bypass, cu un modul **umbrit***

Regimul	gol	scurtcircuit
$U$ [V]		
$I$ [A]		

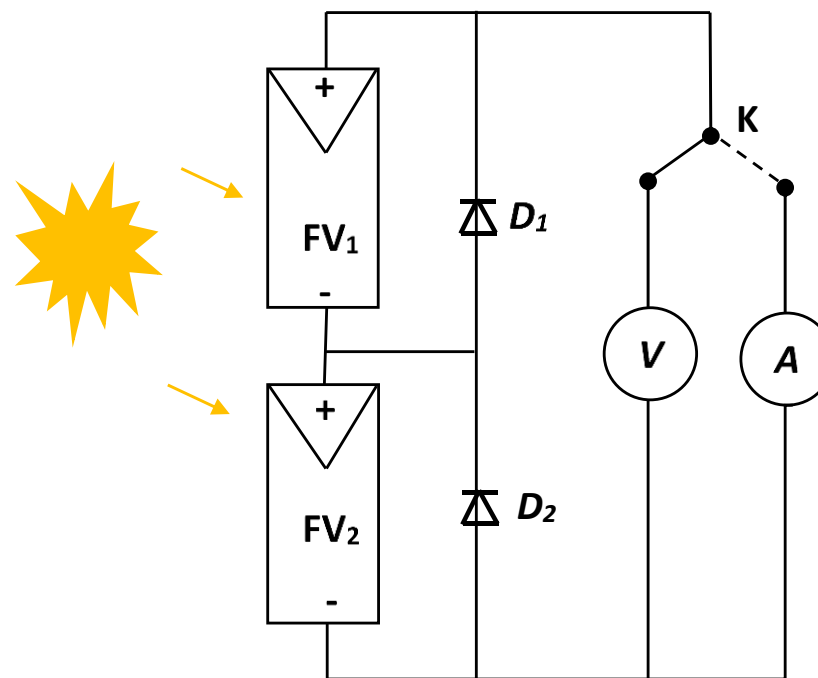
Se interpretează rezultatele în baza noțiunilor teoretice prezentate anterior.

#### Conectarea serie, cu diode de bypass

A doua parte a experimentului are rolul de a ilustra rolul diodelor de bypass. Se lucrează în experimentul virtual <https://infinitypv.com/learn/virtual-tools/c08>.

Plasarea diodelor se face prin click pe locul acestora în schemă.

Schema de montaj este prezentată în *fig. 4.8*.



*Fig. 4.8. Schema montajului*

Se repetă experimentul cu umbrirea unui modul (din lucrarea anterioară) și se trec datele în *tabelul 4.4*.

*Tabelul 4.4. Comportarea sistemului cu două module fotovoltaice înseriate, cu diode de bypass, cu un modul **umbrit***

Regimul	gol	scurtcircuit
$U$ [V]		
$I$ [A]		

Se interpretează rezultatele, prin comparație cu experimentul anterior, specificând rolul diodelor bypass.

Studentii vor prezenta un *referat* (un singur fișier, în format pdf) ce conține: *tabelele 4.2 – 4.4*, graficele și interpretările aferente.

### 4.4. Conectarea paralel a celulelor și modulelor fotovoltaice

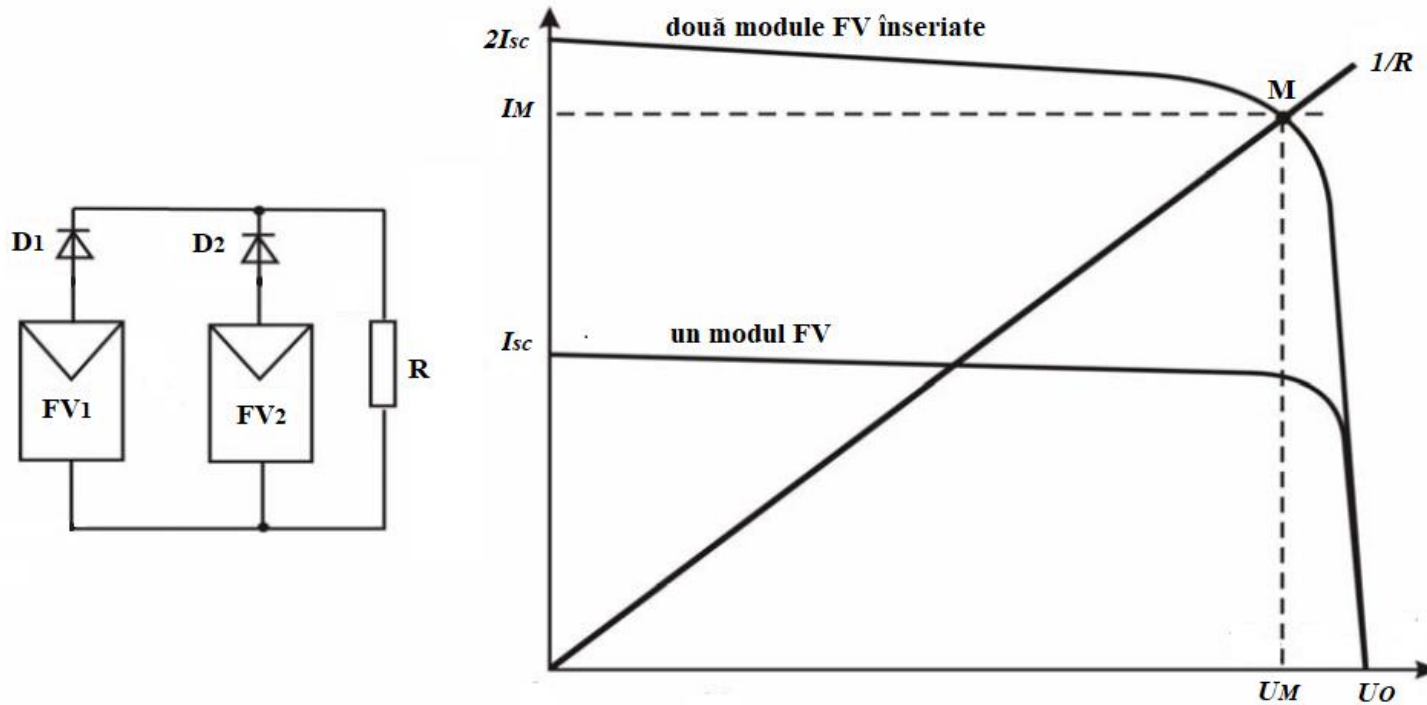


<b>Scopul:</b>	<b><i>Studiul conexiunii paralel a modulelor fotovoltaice</i></b>
<b>Obiectiv:</b>	<i>Analiza structurii și funcționării sistemelor de module fotovoltaice conectate în paralel.</i>
<b>Conținuturi</b>	<i>Caracteristicile de funcționare ale modulelor fotovoltaice conectate în paralel. Importanța diodelor de bypass.</i>

#### 4.4. Conectarea paralel a celulelor și modulelor fotovoltaice

La conectarea în paralel a două module fotovoltaice identice, curentul debitat în circuitul de sarcină se dublează, evident tensiunea la bornele sistemului este egală cu cea a unui singur modul

Pentru a evita, în caz de umbrire a unui modul fotovoltaic și a alterării circuitului de sarcină, ca acesta să devină receptor, se înseriază cu fiecare modul câte o diodă anti-retur, *fig. 4.9*.



a. componența

b. caracteristica unui, respectiv a două module fotovoltaice în paralel  
Fig. 4.9. Conexiunea paralel a modulelor fotovoltaice [7]

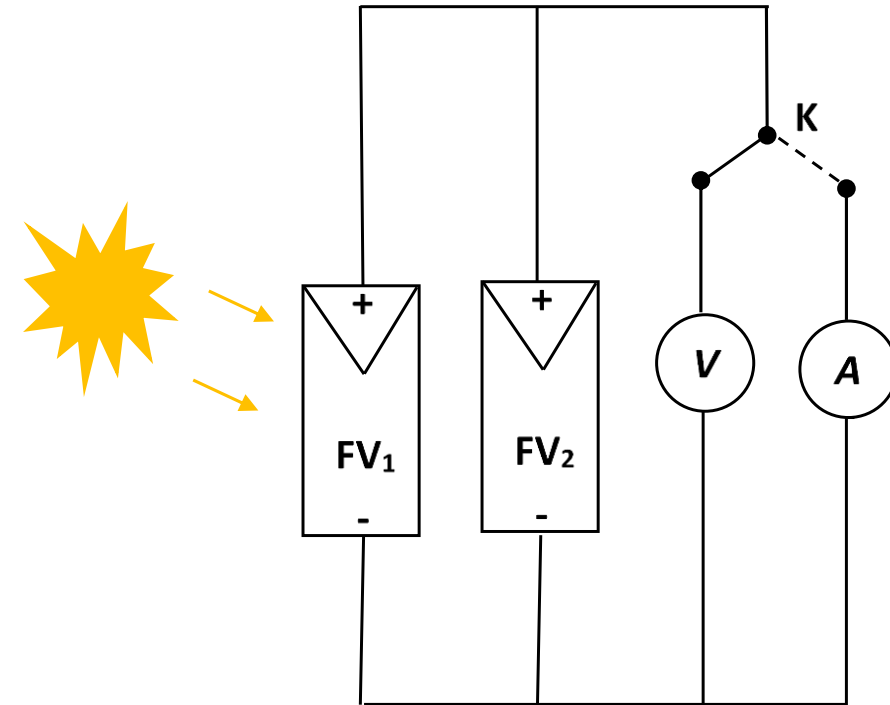


##### Conectarea paralel fără diode anti-retur

Se lucrează în experimentul virtual <https://infinitypv.com/learn/virtual-tools/c06>.

Prin click pe modulele modulul fotovoltaice se comută iradianța între 0 și 1000 W/m<sup>2</sup>, iar prin același procedeu (echivalentul comutatorului K din schemă) aplicat aparatului de măsură acesta se transformă succesiv în ampermetru, respectiv voltmetru.

Schema de montaj este prezentată în *fig. 4.10*.



*Fig. 4.10. Schema montajului*

Rezultatele măsurătorilor se trec în tabelul de mai jos și se reprezintă grafic punctele corespunzătoare regimurilor de gol și scurtcircuit ale celor două module conectate în paralel fără diode anti-retur în caracteristica de funcționare  $I = I(U)$  pentru un singur modul, preluată din lucrarea *Ridicarea experimentală a caracteristicilor modulelor fotovoltaice*.

*Tabelul 4.5. Parametrii sistemului cu două module fotovoltaice în paralel, fără diode anti-retur, în condiții standard*

Regimul	gol	scurtcircuit
$U$ [V]		
$I$ [A]		

Graficul se interpretează în baza *fig. 4.9* și a noțiunilor teoretice prezentate anterior.

În continuare, fără a modifica schema sau condițiile de testare, se umbrește total un modul și se recitesc valorile ( $U$ ,  $I$ ), înscriindu-se în *tabelul 4.6*.

*Tabelul 4.6. Parametrii sistemului cu două module fotovoltaice în paralel, fără diode anti-retur, cu un modul **umbrit***

Regimul	gol	scurtcircuit
$U$ [V]		
$I$ [A]		

Se interpretează rezultatele în baza noțiunilor teoretice prezentate anterior.

Studentii vor prezenta un *referat* (un singur fișier, în format pdf) ce conține: *tabelele 4.5 și 4.6*, graficele și interpretările aferente.

## 4.5. Proiectarea unui sistem fotovoltaic on grid



<b>Scopul:</b>	<i>Proiectarea sistemelor fotovoltaice on grid</i>
<b>Obiective:</b>	<i>Implementarea pașilor algoritmului de proiectare a unui sistem fotovoltaic. Proiectarea asistată de calculator a unui sistem fotovoltaic.</i>
<b>Conținuturi</b>	<i>Algoritmul de proiectare a unui sistem fotovoltaic. Proiectarea asistată de calculator a unui sistem fotovoltaic cu PVGIS.</i>

#### 4.5. Proiectarea unui sistem fotovoltaic on grid

Se va proiecta un sistem fotovoltaic on grid pentru locuința personală a studentului. Proiectarea pornește de la identificarea: locației și poziționării casei/apartamentului, a modului de instalare posibil a panourilor fotovoltaice (pe acoperiș sau la suprafața solului, umbrire, unghi de înclinare) și evident de la necesarul de putere și energie zilnic, lunar și anual.

Pentru scenariul on grid, se urmărește, în general, ca la finalul unui an calendaristic balanța energetică (livrat/consumat în/din rețeaua distribuitorului) să fie nulă.

Calculul necesarului de energie și putere se poate realiza la nivel de receptoare și ore de funcționare sau simplificat pe baza facturilor de energie electrică și evaluarea puterii maxim absorbite simultan.

*Tabelul 4.7. Exemplu de calcul a necesarului de putere și energie pentru un consumator casnic*

Denumire receptor	Putere instalată [W]	Număr	Putere instalată totală [W]	Factor utilizare, încărcare [%]	Ore funcționare pe zi	Energie electrică zilnică [kWh]	Energie electrică lunară [kWh]	Energie electrică anuală [kWh]
0	1	2	3 (=1·2)	4	5	6 (=3/1000·4/100·5)	7 (=6·31)	8 (=6·365)
Frigider	500	1	500	10	24	1,2	37,2	438
Bec LED	12	10	120	100	2	0,24	7,44	87,6
<b>TOTAL</b>			620			1,44	44,64	525,6
<b>Putere absorbită</b>			596					

Factorul de utilizare variază între 0-100% și reprezintă procentul din timpul de funcționare al unui receptor în care acesta absorbind puterea nominală ar consuma aceeași energie ca în funcționarea normală (încărcat la sarcină nominală, în gol, sub sau supraîncărcat). De exemplu, un frigider cu puterea instalată de 500 W, funcționând tot anul (24 h · 365 zile/an), consumă conform producătorului 438 kWh/an, adică factorul de utilizare este de aproximativ. 10%; un bec de tip LED, 12 W are factorul utilizare de 100%, etc.

Puterea absorbită totală se determină, nu doar prin simpla însumare a puterilor instalate, ci realizând o analiză a simultaneității în funcționare a receptoarelor. Puterea instalată totală este mai mare sau egală cu puterea absorbită de consumatorul casnic respectiv. Pentru situația prezentată în *Tabelul 4.7*, se consideră că niciodată nu funcționează simultan mai mult de 8 becuri (de ex. dintre locațiile pod, garaj, și beci poate fi iluminată doar una odată). **Puterea absorbită de consumatorul casnic va fi suma dintre puterea instalată a frigiderului și puterile celor zece becuri,  $P_{abs} = 596 \text{ W}$ .**

În funcție de disponibilitatea programelor de finanțare naționale privind implementarea SRE la nivelul consumatorilor casnici, proiectul se poate adapta cerințelor de eligibilitate ale acestora și va urmări structura și conținutul propunerii de finanțare. Autoritatea Fondurilor de Mediu este gestionarul unor astfel de programe, <https://www.afm.ro/>.

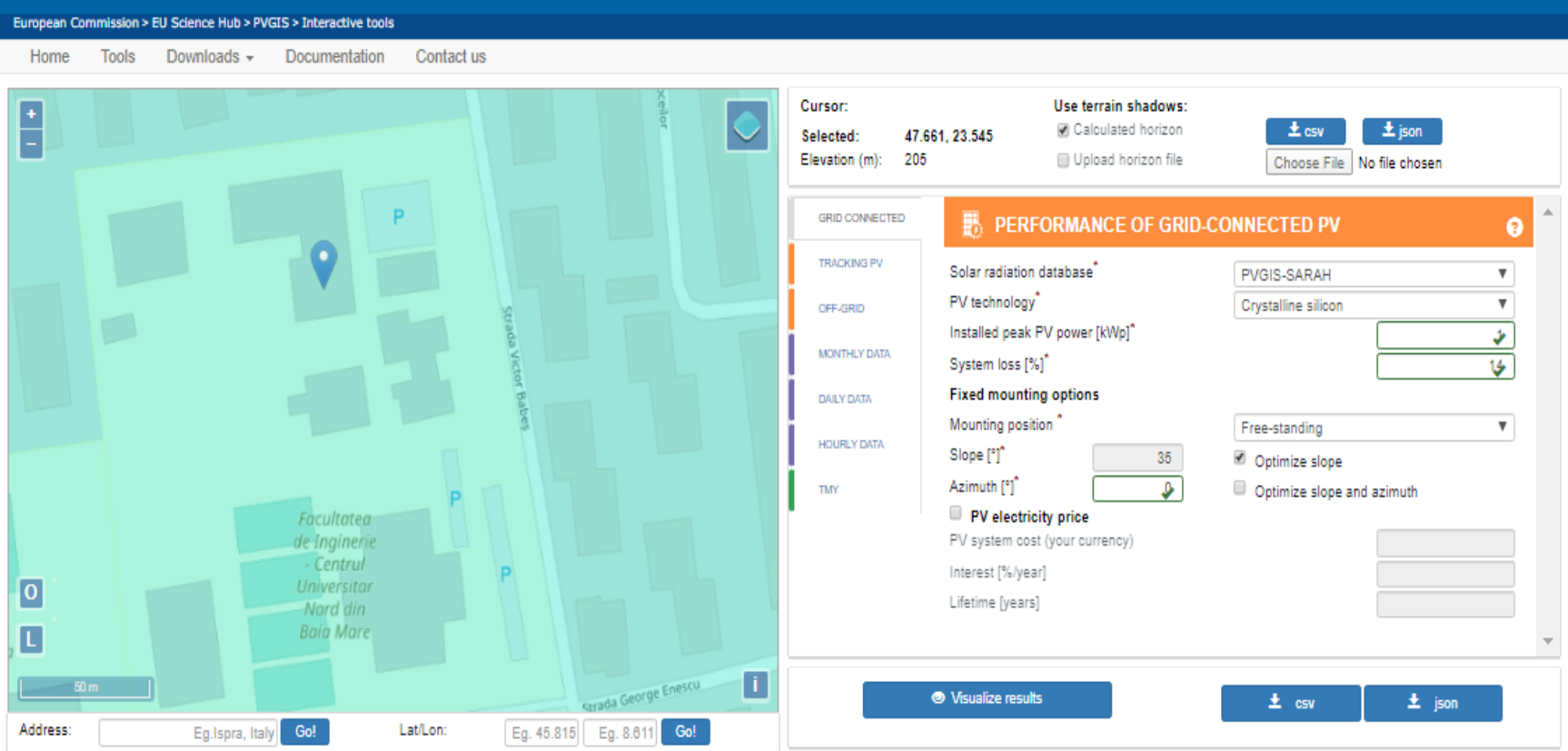
Analiza tehnico-economică se va baza pe informații publice ale producătorilor sau distribuitorilor de echipamente necesare realizării sistemelor fotovoltaice. Se recomandă consultarea a minim două – trei surse independente și care au certificare privind siguranța.

Informații privind tarifele energiei electrice și ghidul prosumatorilor se găsesc pe pagina Autorității Naționale de Reglementare a Energiei, <https://www.anre.ro/ro/legislatie/prosumatori>.

Pașii de urmat pentru dimensionarea sistemului sunt:

1. Identificarea: locației și poziționării casei/apartamentului, a modului de instalare posibil a panourilor fotovoltaice (pe acoperiș sau la suprafața solului, umbrire, unghi de înclinare)
2. Selecția locației de interes, *fig. 4.11*, realizabilă, fie prin postarea unui marcaj pe harta interactivă, fie prin introducerea coordonatelor (latitudine, longitudine), fie prin căutarea adresei.

*Fig. 4.11. Selecția locației în PVGIS*



The screenshot displays the PVGIS web application interface. At the top, the navigation bar includes 'Home', 'Tools', 'Downloads', 'Documentation', and 'Contact us'. The main area is split into a map on the left and a configuration panel on the right. The map shows a satellite view of a building complex with a blue location pin. The configuration panel includes a 'Cursor' section with 'Selected' coordinates (47.661, 23.545) and 'Elevation (m): 205'. It also has a 'Use terrain shadows' section with 'Calculated horizon' checked. Below this is a 'PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV' section with various settings: 'Solar radiation database' (PVGIS-SARAH), 'PV technology' (Crystalline silicon), 'Installed peak PV power [kWp]', 'System loss [%]', 'Fixed mounting options' (Free-standing), 'Mounting position' (Free-standing), 'Slope [°]' (35), 'Azimuth [°]', 'PV electricity price' (PV system cost, Interest, Lifetime), and 'Optimize slope' checked. At the bottom, there are buttons for 'Visualize results', 'csv', and 'json'. The address bar at the bottom shows 'Address: Eg. Ispra, Italy' and 'Lat/Lon: Eg. 45.815, Eg. 8.611'.



3. Bifarea opțiunii "*calculated horizon*" ce ține cont de formele de relief și eventual specificarea unor surse particulare de umbrire (copaci, clădiri, etc.) care se realizează prin încărcarea unui fișier de tip txt sau csv. Acesta va fi de forma unei coloane, fiecare intrare reprezentând unghiul dintre orizontală și vârful obstacolului. Numărul de intrări determină deschiderea unghiulară în care se vede obstacolul (10 intrări sunt echivalente cu 10 deschideri de câte  $360^\circ/10 = 36^\circ$ ). De exemplu: casa vecinului, de 10 m înălțime, situată la 10 m sud de locul în care se instalează panourile, generează o intrare de  $\arctg(10\text{ m}/10\text{ m}) = 45^\circ$ . Dacă casa are o lățime de 10 m, deschiderea în care se vede aceasta este de  $2 \cdot \arctg(5\text{ m}/10\text{ m}) = 53,13^\circ$ . Dacă nu mai sunt alte obstacole, trebuie introduse  $360/53,13 \approx 7$  intrări, astfel (coloana începe cu direcția nord și continuă către est): 0; 0; 0; 53,13; 0; 0; 0.
4. Alegerea tipului de sistem fotovoltaic: grid connected (on grid).
5. Alegerea bazei de date solare. Aceasta se face conform celor specificate în <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/usermanual>. PVGIS-SARAH este baza de date implicită pentru Europa până la  $60^\circ$  latitudine nordică.
6. Selecția tehnologiei panourilor fotovoltaice: pe bază de siliciu; fim subțire CIS (cupru, indiu și seleniu) sau CIGS (cupru, indiu, galiu și seleniu); pe bază de cadmiu și telur.

7. Puterea maximă instalată se alege astfel încât energie anuală produsă de sistemul fotovoltaic să fie cel puțin egală cu cea necesară pentru locuința proprie. Orientativ se poate alege, pentru intervalul latitudinilor Maramureșului, o putere egală cu necesarul de energie anual/1000 [kW] (1 kW putere instalată produce cca. 1 MWh energie electrică anual). Valoarea se rafinează după o primă vizualizare a rezultatelor (pasul 11). Mai mult dacă se țintește vreun program de finanțare nerambursabilă, rezultatul se va corela cu criteriile de eligibilitate specificate. De ex. pentru programul început în anul 2019, Sisteme fotovoltaice conectate la rețeaua națională, [https://www.afm.ro/sisteme\\_fotovoltaice.php](https://www.afm.ro/sisteme_fotovoltaice.php), erau eligibile configurațiile cu o putere însumată instalată de minimum 3 kW, fiecare panou având o putere minimă instalată de 250 W; invertor/invertoare - putere instalată - minimum 3,0 kW, fiecare componentă cu condiții de calitate clar specificate în art. 20 al Ghidului de finanțare, [https://www.afm.ro/sisteme\\_fotovoltaice\\_ghid\\_finantare.php](https://www.afm.ro/sisteme_fotovoltaice_ghid_finantare.php).
8. Pierderile de putere se specifică procentual și țin cont de pierderile electrice (cabluri, invertor), murdărirea, îmbătrânirea panourilor, etc. Valoarea implicită de 14% este acoperitoare în lipsa unor calcule detaliate ce țin cont de configurația și caracteristicile elementelor sistemului.
9. Opțiunile de montare se selectează corespunzător soluției alese (module de sine stătătoare sau integrate în acoperiș), specificând unghiul de înclinare și azimutul sau permițând optimizarea acestora (valorile fixe, optime pentru producția maximă de energie electrică). Se pot considera și unghiuri diferite lunar sau sezonier: se generează rezultate pentru toate unghiurile, totalul energiei obținându-se prin însumarea energiei produse în luna 1 cu unghiul  $\beta_1$  cu cea produsă în luna 2 cu unghiul  $\beta_2$ , etc.

## 4.5. Proiectarea unui sistem fotovoltaic on grid

10. Se poate bifa opțiunea preț energie produsă, ce necesită evaluarea costului investițional al sistemului, a dobânzilor implicate de un eventual credit, respectiv a duratei de viață a acestuia. Prețul energiei produse va include și o cotă anuală de 2% din investiția inițială pentru întreținere și reparații. Moneda nu este specificată, deci cea introdusă va fi și cea de ieșire.
11. Butonul *vizualizare rezultate* oferă informații privind producția de energie electrică, iradierea locației, cost energie, curbe solare, *fig. 4.12*, informații ce pot fi salvate (include mai multe detalii decât cele din simpla vizualizare) în format pdf, *fig. 4.13*.

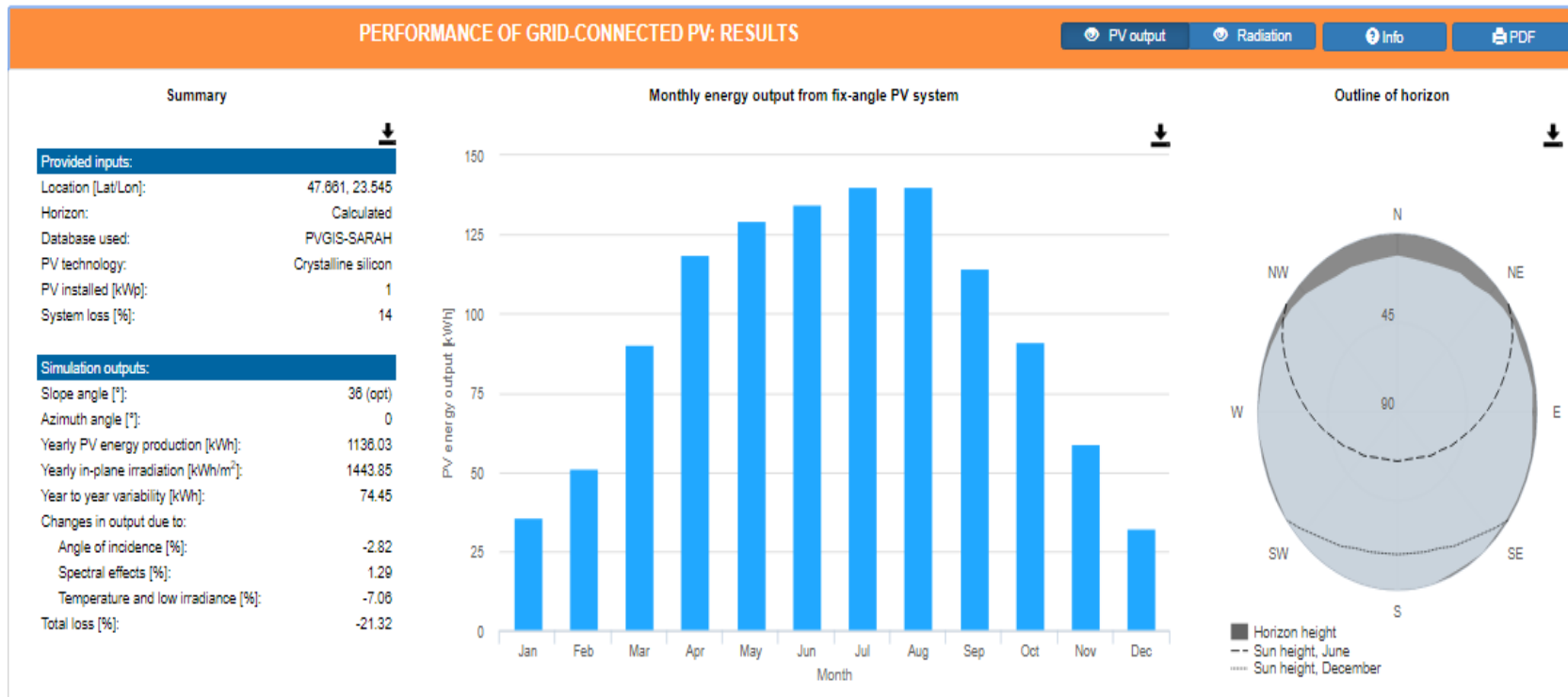


Fig. 4.12. Vizualizarea rezultatelor în PVGIS

## 4.5. Proiectarea unui sistem fotovoltaic on grid



PVGIS-5 estimates of solar electricity generation:

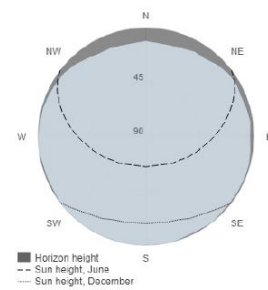
#### Provided inputs:

Latitude/Longitude: 47.661, 23.545  
 Horizon: Calculated  
 Database used: PVGIS-SARAH  
 PV technology: Crystalline silicon  
 PV installed: 1 kWp  
 System loss: 14 %

#### Simulation outputs

Slope angle: 36 (opt) °  
 Azimuth angle: 0 °  
 Yearly PV energy production: 1136.03 kWh  
 Yearly in-plane irradiation: 1443.85 kWh/m<sup>2</sup>  
 Year to year variability: 74.45 kWh  
 Changes in output due to:  
 Angle of incidence: -2.82 %  
 Spectral effects: 1.29 %  
 Temperature and low irradiance: -7.06 %  
 Total loss: -21.32 %

#### Outline of horizon at chosen location:



#### Monthly PV energy and solar irradiation

Month	E_m	H(i)_m	SD_m
January	35.5	41.4	10.2
February	51.1	60.4	17.5
March	90.2	109.3	23.5
April	118.8	150.0	20.9
May	129.3	167.2	14.9
June	134.4	176.5	8.5
July	140.2	186.6	12.8
August	139.9	185.3	15.7
September	114.3	146.6	17.2
October	91.1	112.4	17.3
November	58.8	70.0	16.3
December	32.4	38.4	8.2

E\_m: Average monthly electricity production from the given system [kWh].

H(i)\_m: Average monthly sum of global irradiation per square meter received by the modules of the given system [kWh/m<sup>2</sup>].

SD\_m: Standard deviation of the monthly electricity production due to year-to-year variation [kWh].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them.  
 However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site. This information is: i) of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity; ii) not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date; iii) sometimes linked to external sites over which the Commission services have no control and for which the Commission assumes no responsibility; iv) not professional or legal advice. If you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional.  
 Some data or information on this site may have been created or structured in files or formats that are not error-free and we cannot guarantee that our service will not be interrupted or otherwise affected by such problems. The Commission accepts no responsibility with regard to such problems incurred as a result of using this site or any linked external sites.

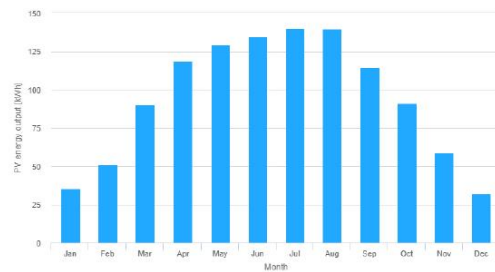
Joint  
 Research  
 Centre

PVGIS ©European Union, 2001-2020.

Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2020/03/26

#### Monthly energy output from fix-angle PV system:



#### Monthly in-plane irradiation for fixed-angle:

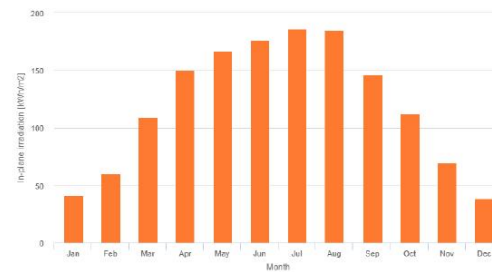


Fig. 4.13. Rezultate complete PVGIS

12. Dacă condițiile de la punctul 7 nu sunt îndeplinite se modifică valoarea puterii maxime instalate și se reia analiza. În exemplul *din fig. 4.13* se observă că sistemul proiectat de 1 kW, amplasat în Baia Mare, acoperă un necesar anual de energie de 1136 kWh.
13. Se aleg componentele sistemului de pe paginile web ale producătorilor, alegând tipul, puterea, numărul și modul de conectare al panourilor fotovoltaice, tipul și puterea inverterului, secțiunile conductoarelor, componentele tabloului de distribuție, etc, *fig. 4.14*. Se va acorda atenție criteriilor de eligibilitate ale programelor de finanțare disponibile la momentul întocmirii proiectului. Pe baza acestor date se recalculează valorile pierderilor și costurile sistemului, după care se finalizează analiza.

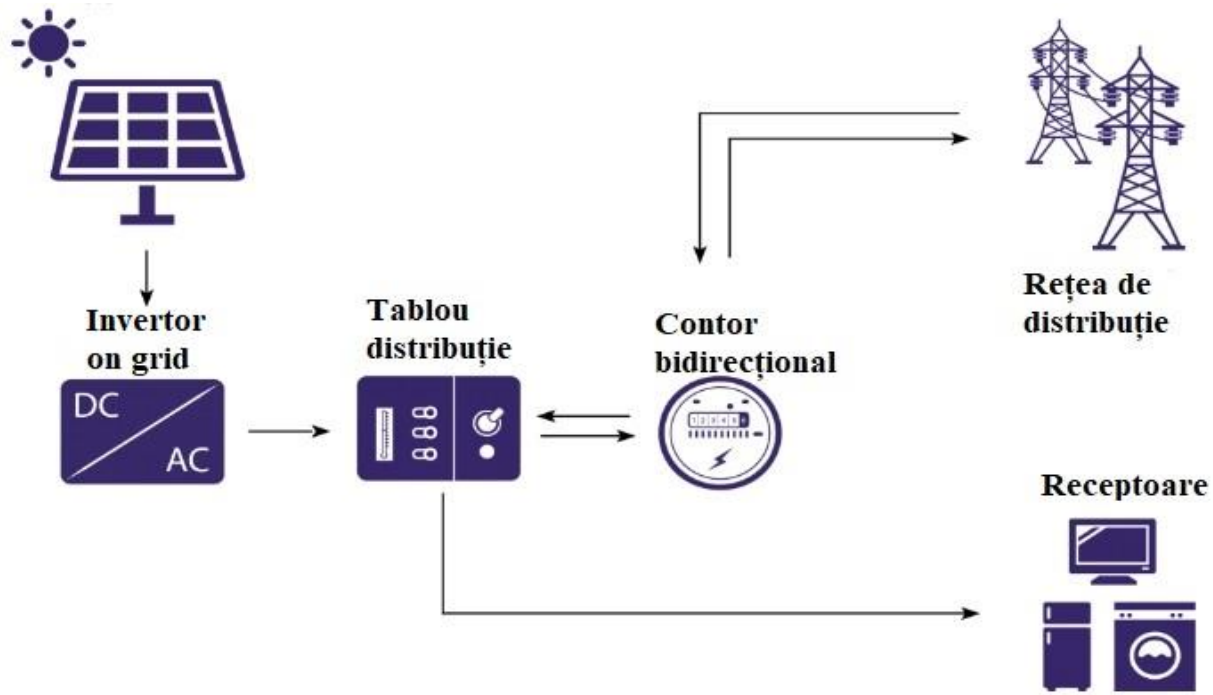


Fig. 4.14. Sistem fotovoltaic on grid [10]

Referatul, încărcat ca un singur fișier pdf, rezultat prin îmbinarea tuturor fișierelor rezultate, va conține următoarele:

- ✓ locația,
- ✓ necesarul de energie și puterea maximă absorbită cu detalierea modului de determinare,
- ✓ punerea problemei, adică una dintre variante de mai jos:
  - doar acoperirea necesarului de energie electrică anual,
  - eligibil pentru finanțare AFM (specificarea programului vizat).
- ✓ fișierul generat de PVGIS,
- ✓ alegerea componentelor și rafinarea proiectului,
- ✓ calcul economic de amortizare a investiției,
- ✓ comentarii, observații privind sistemul proiectat.

### 4.6. Proiectarea unui sistem fotovoltaic off grid



<b>Scopul:</b>	<b>Proiectarea sistemelor fotovoltaice off grid</b>
<b>Obiective:</b>	<i>Implementarea pașilor algoritmului de proiectare a unui sistem fotovoltaic. Proiectarea asistată de calculator a unui sistem fotovoltaic.</i>
<b>Conținuturi</b>	<i>Algoritmul de proiectare a unui sistem fotovoltaic. Proiectarea asistată de calculator a unui sistem fotovoltaic cu PVGIS.</i>

#### 4.6. Proiectarea unui sistem fotovoltaic off grid

Se va proiecta un sistem fotovoltaic off grid pentru locuința personală a studentului. Proiectarea pornește de la identificarea: locației și poziționării casei/apartamentului, a modului de instalare posibil a panourilor fotovoltaice (pe acoperiș sau la suprafața solului, umbrire, unghi de înclinare) și evident de la necesarul de putere și energie zilnic, lunar și anual.

În scenariul off grid, un rol esențial îl ocupă gestionarea receptoarelor ce urmează a fi alimentate în scopul minimizării costurilor. Aceasta înseamnă că numărul și puterea echipamentelor electrocasnice trebuie micșorate față de varianta on grid. Pentru sistemul off grid, necesarul de energie și putere se întocmește, de regulă, pentru o lună de iarnă când disponibilul de radiație solară este minim. În acest fel pe timpul lunilor de vară se vor putea utiliza receptoare în plus.

Calculul necesarului de energie și putere se realizează la nivel de receptoare și ore de funcționare..

Tabelul 4.8. Exemplet de calcul a necesarului de putere și energie pentru un consumator casnic

Denumire receptor	Putere instalată [W]	Număr	Putere instalată totală [W]	Factor utilizare, încărcare [%]	Ore funcționare pe zi	Energie electrică zilnică [kWh]	Energie electrică lunară [kWh]	Energie electrică anuală [kWh]
0	1	2	3 (=1·2)	4	5	6 (=3/1000·4/100·5)	7 (=6·31)	8 (=6·365)
Frigider	500	1	500	10	24	1,2	37,2	438
Bec LED	12	10	120	100	2	0,24	7,44	87,6
<b>TOTAL</b>			620			1,44	44,64	525,6
<b>Putere absorbită</b>			596					



Factorul de utilizare variază între 0-100% și reprezintă procentul din timpul de funcționare al unui receptor în care acesta absorbind puterea nominală ar consuma aceeași energie ca în funcționarea normală (încărcat la sarcină nominală, în gol, sub sau supraîncărcat). De exemplu, un frigider cu puterea instalată de 500 W, funcționând tot anul (24 h · 365 zile/an), consumă conform producătorului 438 kWh/an, adică factorul de utilizare este de aproximativ. 10%; un bec de tip LED, 12 W are factorul utilizare de 100%, etc.

Puterea absorbită totală se determină, nu doar prin simpla însumare a puterilor instalate, ci realizând o analiză a simultaneității în funcționare a receptoarelor. Puterea instalată totală este mai mare sau egală cu puterea absorbită de consumatorul casnic respectiv.

Pentru situația prezentată în *Tabelul 4.8*, se consideră că niciodată nu funcționează simultan mai mult de 8 becuri (de ex. dintre locațiile pod, garaj, și beci poate fi iluminată doar una odată). **Puterea absorbită de consumatorul casnic va fi suma dintre puterea instalată a frigiderului și puterile celor zece becuri,  $P_{abs} = 596 \text{ W}$ .**

În funcție de disponibilitatea programelor de finanțare naționale privind implementarea SRE la nivelul consumatorilor casnici, proiectul se poate adapta cerințelor de eligibilitate ale acestora și va urmări structura și conținutul propunerii de finanțare. Autoritatea Fondurilor de Mediu este gestionarul unor astfel de programe, <https://www.afm.ro/>.

Analiza tehnico-economică se va baza pe informații publice ale producătorilor sau distribuitorilor de echipamente necesare realizării sistemelor fotovoltaice. Se recomandă consultarea a minim două – trei surse independente și care au certificare privind siguranța.

Informații privind tarifele energiei electrice și ghidul prosumatorilor se găsesc pe pagina Autorității Naționale de Reglementare a Energiei, <https://www.anre.ro/ro/legislatie/prosumatori>.

În acest scenariu, se pune problema unui compromis: asigurarea necesarului de energie și putere într-o lună de iarnă (cu zile fără soare) versus energia disponibilă și neutilizată în lunile de vară. În general, se pune problema asigurării energiei electrice iarna, eventual considerând doar receptoare esențiale. Trebuie amintit că, receptoarele cu puteri nominale mari și timpi de funcționare reduși sunt foarte greu de gestionat pentru astfel de sisteme.

*PVGIS* proiectează sistemul fotovoltaic off grid pornind de la necesarul de energie zilnic (considerând același consum energetic în fiecare zi a anului și aceeași curbă de sarcină zilnică). Astfel analiza bazată pe energii consumate diferite, vara, respectiv iarna, poate fi tratată doar postprocesând rezultatele oferite de program.

Pașii de urmat pentru dimensionarea sistemului sunt:

1. Identificarea: locației și poziționării casei/apartamentului, a modului de instalare posibil a panourilor fotovoltaice (pe acoperiș sau la suprafața solului, umbră, unghi de înclinare)
2. Selecția locației de interes, *fig. 4.15*, realizabilă, fie prin postarea unui marcaj pe harta interactivă, fie prin introducerea coordonatelor (latitudine, longitudine), fie prin căutarea adresei.

*Fig. 4.15. Selecția locației în PVGIS*

The screenshot displays the PVGIS web application interface. At the top, there is a navigation bar with links for Home, Tools, Downloads, Documentation, and Contact us. The main area is divided into a map on the left and a configuration panel on the right. The map shows a satellite view of a building complex with a blue location pin. The configuration panel includes a 'Cursor' section with 'Selected' coordinates (47.661, 23.545) and 'Elevation (m): 205'. It also has a 'Use terrain shadows' section with a checked 'Calculated horizon' option and an 'Upload horizon file' option. Below this is a 'PERFORMANCE OF GRID-CONNECTED PV' section with various settings: 'Solar radiation database' set to 'PVGIS-SARAH', 'PV technology' set to 'Crystalline silicon', 'Installed peak PV power [kWp]' and 'System loss [%]' with input fields, 'Fixed mounting options' with 'Mounting position' set to 'Free-standing', 'Slope [°]' set to 35, and 'Azimuth [°]' with an input field. There are also checkboxes for 'Optimize slope' and 'Optimize slope and azimuth'. At the bottom of the configuration panel, there are input fields for 'PV electricity price', 'PV system cost (your currency)', 'Interest [%/year]', and 'Lifetime (years)'. A 'Visualize results' button and download buttons for 'csv' and 'json' are also visible.

3. Bifarea opțiunii *calculated horizon* ce ține cont de formele de relief și eventual specificarea unor surse particulare de umbrire (copaci, clădiri, etc,) care se realizează prin încărcarea unui fișier de tip txt sau csv. Acesta va fi de forma unei coloane, fiecare intrare reprezentând unghiul dintre orizontală și vârful obstacolului. Numărul de intrări determină deschiderea unghiulară în care se vede obstacolul (10 intrări sunt echivalente cu 10 deschideri de câte  $360^\circ/10 = 36^\circ$ ). De exemplu: casa vecinului, de 10 m înălțime, situată la 10 m sud de locul în care se instalează panourile, generează o intrare de  $\arctg(10\text{ m}/10\text{ m}) = 45^\circ$ . Dacă casa are o lățime de 10 m, deschiderea în care se vede aceasta este de  $2 \cdot \arctg(5\text{ m}/10\text{ m}) = 53,13^\circ$ . Dacă nu mai sunt alte obstacole, trebuie introduse  $360/53,13 \approx 7$  intrări, astfel (coloana începe cu direcția nord și continuă către est): 0; 0; 0; 53,13; 0; 0; 0.
4. Alegerea tipului de sistem fotovoltaic: off grid.
5. Alegerea bazei de date solare. Aceasta se face conform celor specificate în <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/usermanual>. PVGIS-SARAH este baza de date implicită pentru Europa până la  $60^\circ$  latitudine nordică.

6. Puterea maximă instalată a sistemului fotovoltaic se alege astfel: energia medie zilnică a celei mai nefavorabile luni, produsă de sistem să fie cel puțin egală cu cea necesară pentru locuința proprie. Mai mult, puterea sistemului trebuie să acopere puterea absorbită a locuinței, la care se adaugă toate pierderile. Se pornește, pentru intervalul latitudinilor Maramureșului, cu o putere egală, în kW, cu necesarul de energie zilnic exprimat în Wh raportat la 2800 Wh (1 kW putere instalată produce cca. 1 MWh energie electrică anual, adică o medie de 2800 Wh zilnic). Această putere instalată asigură acoperirea necesarului de energie anual (în lunile de iarnă energia zilnică nu este asigurată). Valoarea se crește progresiv, după vizualizarea rezultatelor (pasul 11), până se asigură disponibilitatea energetică dorită. Mai mult dacă se țintește vreun program de finanțare nerambursabilă, se va corela cu criteriile de eligibilitate specificate. De ex. pentru programul început în anul 2019, Sisteme fotovoltaice pentru gospodării izolate, [https://www.afm.ro/fotovoltaice\\_izolate.php](https://www.afm.ro/fotovoltaice_izolate.php), erau eligibile configurațiile cu o putere însumată instalată de  $4 \cdot 250 \text{ W}$ , invertor cu putere instalată minimă de 1,0 kW, baterii solare  $4 \cdot 200 \text{ Ah}$ , 12 V, fiecare componentă cu condiții de calitate clar specificate în art. 15 al Ghidului de finanțare.
7. Alegerea capacității bateriei se face considerând un număr de zile ne însoțite (uzual între 1 și 10), în lunile de iarnă, în care producția de energie electrică este practic zero, receptoarele putând fi alimentate doar din energia stocată. Se specifică energia totală disponibilă a bateriei de acumulare, de ex. 4 baterii solare de 200 Ah, 12 V, vor avea  $4 \cdot 200 \text{ Ah} \cdot 12 \text{ V} = 9600 \text{ Wh}$ .
8. Modul de exploatare al bateriei de acumulatori definește durata de viață a acesteia. Cu cât descărcarea este mai profundă cu atât se reduce durata de viață. Gradul maxim până la care se descarcă bateria depinde de tipul acesteia, uzual pentru baterii pe bază de Pb acid, descărcarea se limitează la peste 30 – 40%.

9. Necesarul zilnic de energie care stă la baza dimensionării sistemului este cel aferent lunilor de iarnă (când disponibilul de energie solară este minim). Se poate analiza și varianta cu necesar diferit iarnă / vară, conform celor menționate în preambulul subcapitolului 5.2. Pe lângă valoarea energiei consumate zilnic, trebuie specificată și curba de sarcină zilnică, prin încărcarea unui fișier de tip csv cu o coloană cu 24 de intrări, fiecare reprezentând fracțiunea din total consumată în ora respectivă (suma celor 24 intrări trebuie să fie egală cu 1). De ex. dintr-un total de 300 Wh zilnic, de la 0 la 1 se consumă 10 Wh, adică prima intrare va fi  $10 / 300 = 0,033$ , ... . Aceeași intrare dar cu un necesar zilnic de 100 Wh zilnic duce la un consum între 0 și 1 de  $0,033 \cdot 100 \text{ Wh} = 3,3 \text{ Wh}$ . Se poate vizualiza fișierul preexistent (care este utilizat dacă nu se încarcă un altul), prin click pe "upload consumption data" și apoi pe "default consumption file".
10. Opțiunile de montare se selectează corespunzător soluției alese, specificând unghiul de înclinare și azimutul. Se recomandă înclinarea ce asigură un maxim de radiație pe captator în luna decembrie (cea cu radiație solară minimă), vezi *lucrarea 3.1. utilizarea bazelor de date și a pachetelor software pentru evaluarea potențialului fotovoltaic. PVGIS, tabelul 3.5 și interpretarea rezultatelor*. Se pot considera și unghiuri diferite lunar sau sezonier: se generează rezultate pentru toate unghiurile și se analizează fiecare lună pentru unghiul corespunzător (ce asigură maximul de energie electrică produsă).

11. Butonul *vizualizare rezultate* oferă informații privind producția de energie electrică produsă (atât cea consumată de receptoare cât și cea necaptată) ca medie zilnică a lunii / anului, *fig. 4.16*, precum starea și gradul de încărcare al bateriei de acumulare, lunar și anual, *fig. 4.17 și 4.18*, informații ce pot fi salvate (include mai multe detalii decât cele din simpla vizualizare) în format pdf, *fig. 4.19*.

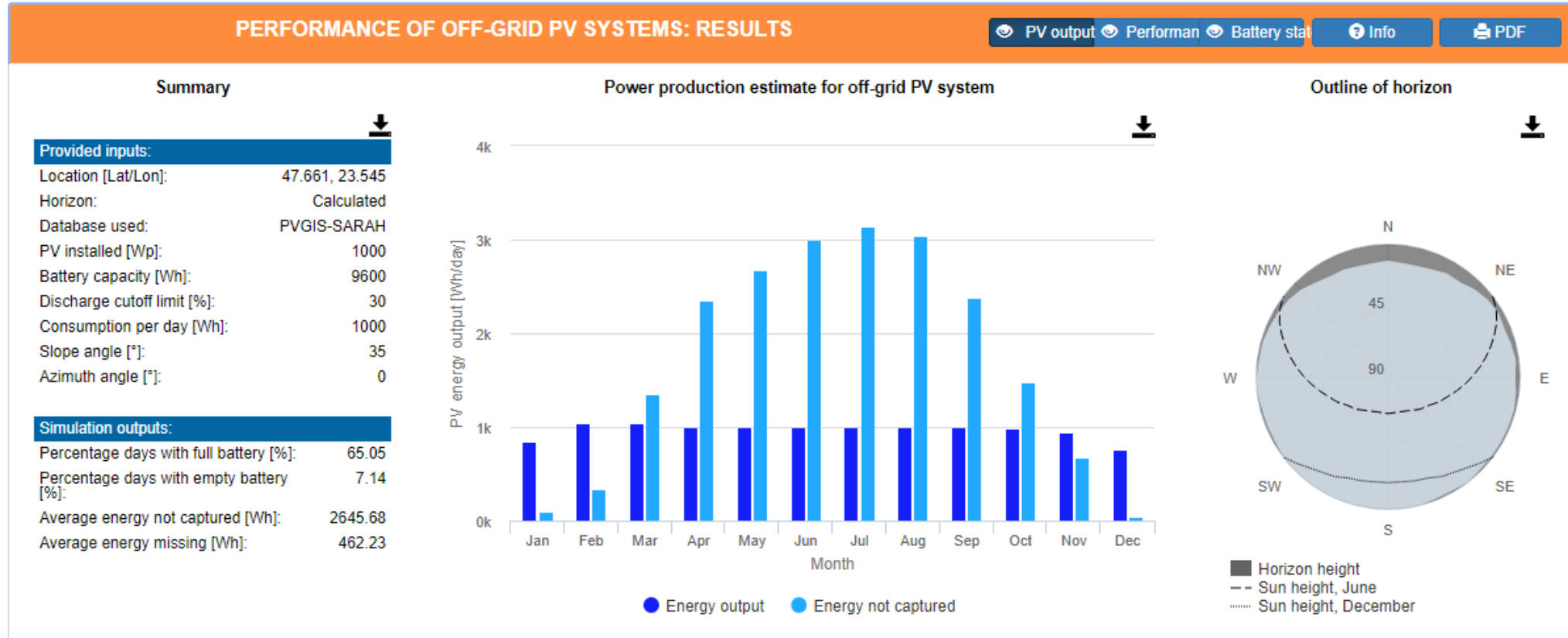


Fig. 4.16. Vizualizarea rezultatelor în PVGIS. Energia produsă

## 4.6. Proiectarea unui sistem fotovoltaic off grid

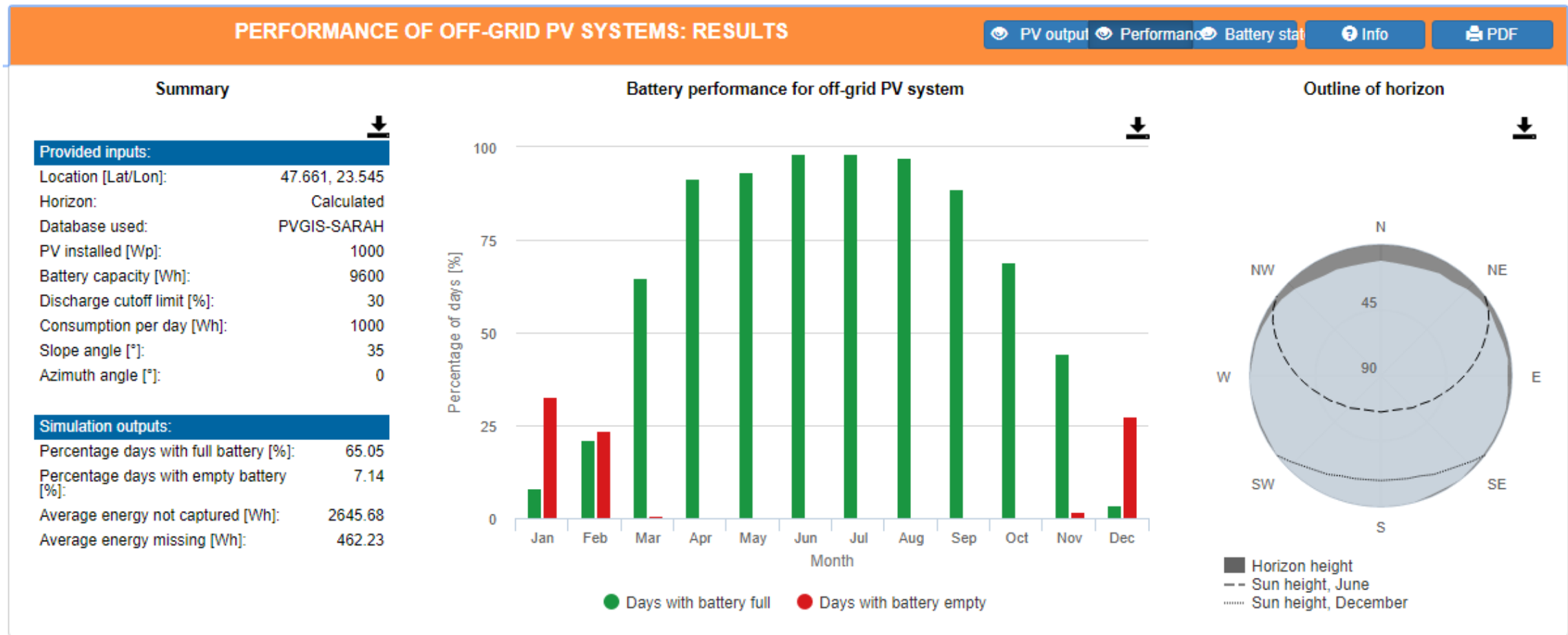
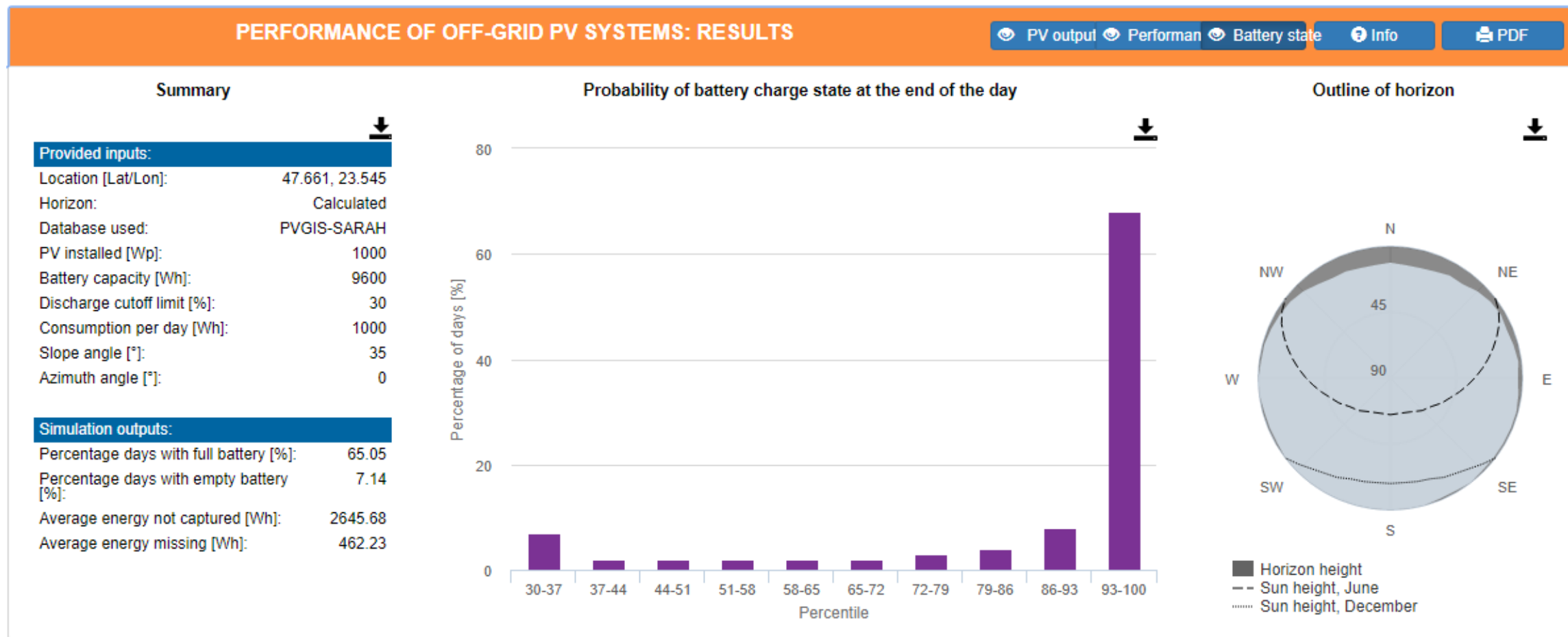


Fig. 4.17. Vizualizarea rezultatelor în PVGIS. Starea baterie de acumulatori





*Fig. 4.18. Vizualizarea rezultatelor în PVGIS. Gradul de încărcare al baterie de acumulatori*

## 4.6. Proiectarea unui sistem fotovoltaic off grid



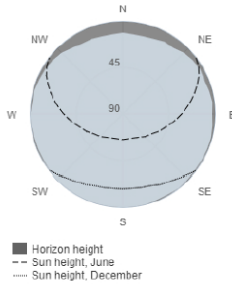
### Performance of off-grid PV systems

#### PVGIS-5 estimates of solar electricity generation

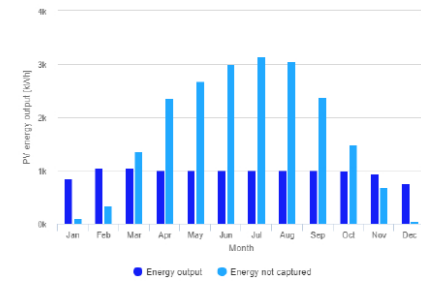
##### Provided inputs

Latitude/Longitude:	47.661, 23.545	Slope angle:	35 °
Horizon:	Calculated	Azimuth angle:	0 °
Database used:	PVGIS-SARAH	<b>Simulation outputs</b>	
PV installed:	1000 Wp	Percentage days with full battery:	65.05 %
Battery capacity:	9600 Wh	Percentage days with empty battery:	7.14 %
Cutoff limit:	30 %	Average energy not captured:	2645.68 Wh
Consumption per day:	1000 Wh	Average energy missing:	462.23 Wh

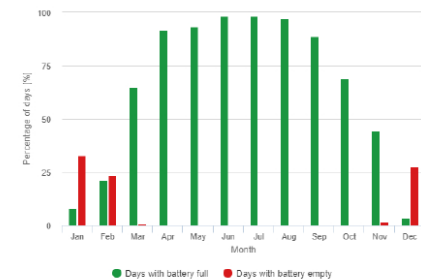
##### Outline of horizon at chosen location:



#### Power production estimate for off-grid PV:



#### Battery performance for off-grid PV system:

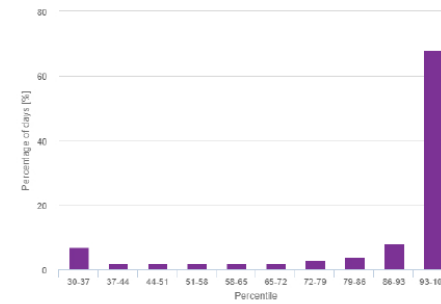


#### Monthly average performance

Month	E_d	E_l	f_f	f_e
January	839.7	93.3	8.3	32.8
February	1038.2	338.6	21.1	23.5
March	1037.5	1351.8	64.8	0.8
April	1001.5	2350.8	91.7	0.0
May	1000.3	2676.0	93.3	0.0
June	1000.4	3006.3	98.3	0.0
July	1000.0	3144.9	98.1	0.0
August	998.3	3044.5	97.3	0.0
September	997.5	2384.2	88.9	0.0
October	990.7	1473.9	69.1	0.0
November	950.4	679.6	44.4	1.7
December	758.4	36.1	3.5	27.4

E\_d: Average energy production per day [Wh/day].  
 E\_l: Average energy not captured per day [Wh/day].  
 f\_f: percentage of days when battery became full [%].  
 f\_e: percentage of days when battery became empty [%].

#### Probability of battery charge state at the end of the day:



Cs	Cb
30-37	7.0
37-44	2.0
44-51	2.0
51-58	2.0
58-65	2.0
65-72	2.0
72-79	3.0
79-86	4.0
86-93	8.0
93-100	68.0

Cs: Charge state at the end of each day [%].  
 Cb: percentage of days with this charge state [%].

The European Commission maintains this website to enhance public access to information about its initiatives and European Union policies in general. Our goal is to keep this information timely and accurate. If errors are brought to our attention, we will try to correct them.

However, the Commission accepts no responsibility or liability whatsoever with regard to the information on this site.

This information is:

- i) of a general nature only and is not intended to address the specific circumstances of any particular individual or entity,
- ii) not necessarily comprehensive, complete, accurate or up to date,
- iii) sometimes linked to external sites over which the Commission services have no control and for which the Commission assumes no responsibility,
- iv) not professional or legal advice (if you need specific advice, you should always consult a suitably qualified professional).



PVGIS ©European Union, 2001-2020.  
 Reproduction is authorised, provided the source is acknowledged, save where otherwise stated.

Report generated on 2020/09/14

Fig. 4.19. Rezultate complete PVGIS

1. Dacă condițiile de la punctul 6 nu sunt îndeplinite se modifică valoarea puterii maxime instalate și/sau a capacității bateriei și se reia analiza. În exemplul din *fig. 4.19* se observă că sistemul proiectat de 1 kW, amplasat în Baia Mare, nu acoperă necesar de energie în lunile decembrie și ianuarie și mai mult, în perioada noiembrie – martie, bateria de acumulare va fi descărcată complet în anumite intervale de timp.
2. Se aleg componentele sistemului de pe paginile web ale producătorilor, alegând tipul, puterea, numărul și modul de conectare al panourilor fotovoltaice și bateriilor de acumulatori, tipul și puterea inverterului, secțiunile conductoarelor, componentele tabloului de distribuție, etc, *fig. 4.20*. Se va acorda atenție criteriilor de eligibilitate ale programelor de finanțare disponibile la momentul întocmirii proiectului. Pe baza acestor date se recalculează valorile pierderilor și costurile sistemului, după care se finalizează analiza.

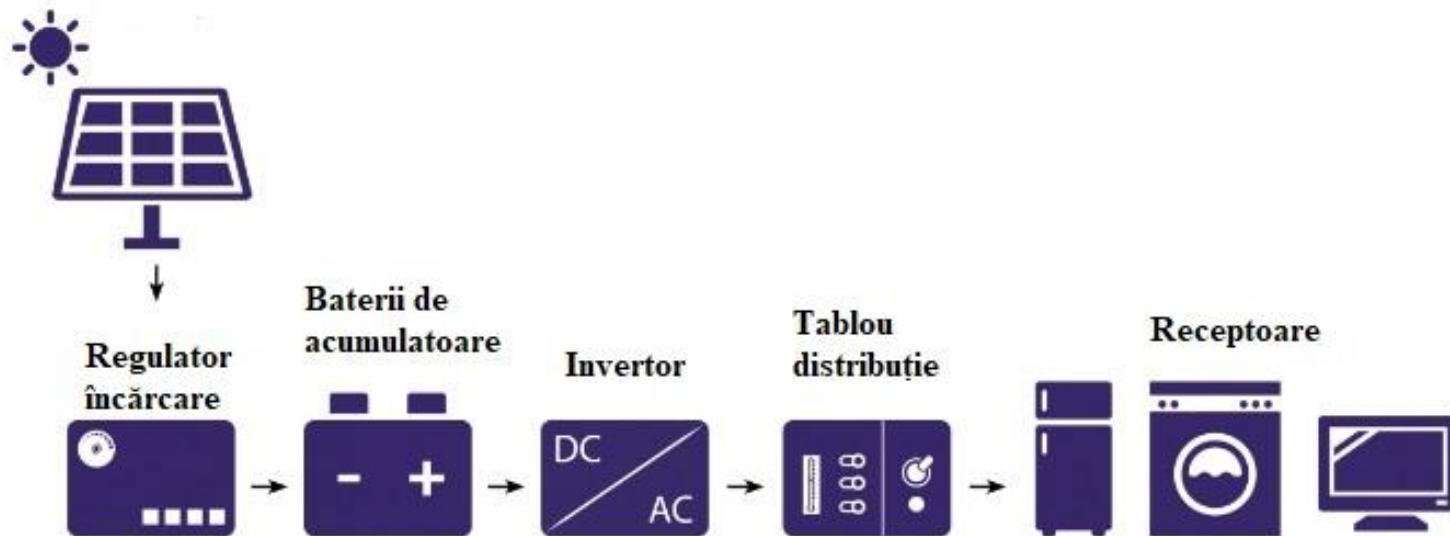


Fig. 4.20. Sistem fotovoltaic off grid [11]

Referatul, încărcat ca un singur fișier pdf, rezultat prin îmbinarea tuturor fișierelor rezultate, va conține următoarele:

- ✓ locația,
- ✓ necesarul de energie și puterea maximă absorbită cu detalierea modului de determinare,
- ✓ fișierul generat de PVGIS,
- ✓ alegerea componentelor și rafinarea proiectului,
- ✓ calcul economic de amortizare a investiției,
- ✓ comentarii, observații privind sistemul proiectat.

## 5. CONVERSIA ENERGIEI EOLIENE ÎN ENERGIE ELECTRICĂ

Puterea disponibilă la bornele turbinei eoliene având diametrul  $D$  este direct proporțională cu cubul vitezei  $v$  a vântului (masa de aer cu densitatea  $\rho$ ) conform relației:

$$P_{vânt} = \frac{1}{8} \rho \cdot \pi \cdot D^2 \cdot v^3 \quad (5.1)$$

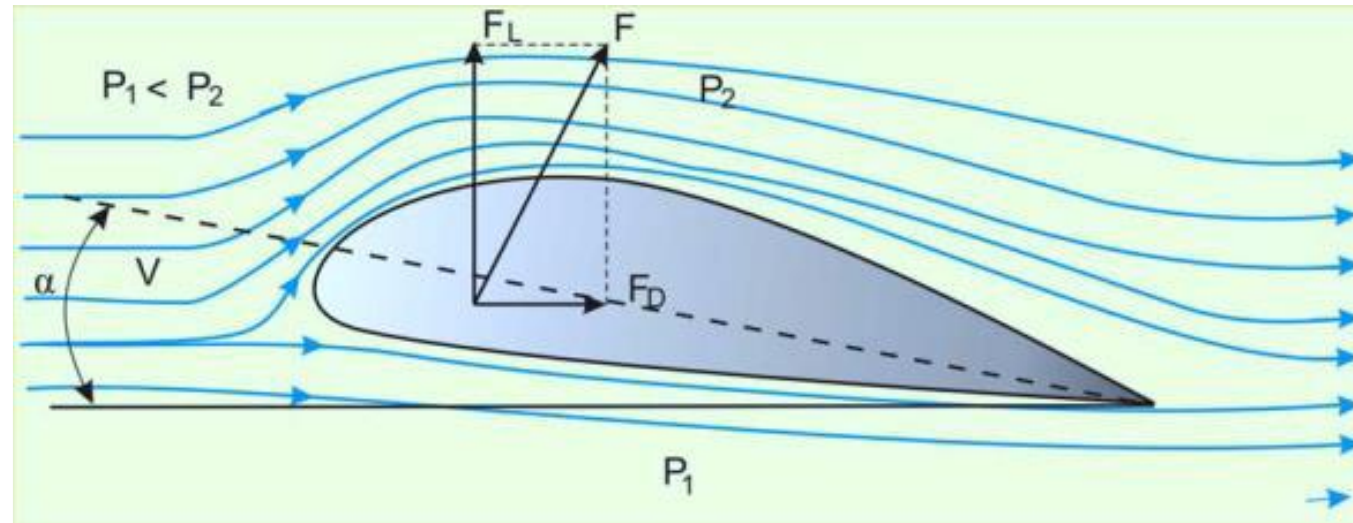
Puterea absorbită de o turbină eoliană, din puterea vântului ce baleiază rotorul, se exprimă prin intermediul factorului de putere (sau eficiență),  $C_p$ :

$$P_{abs} = P_{vânt} \cdot C_p = \frac{1}{8} \rho \cdot \pi \cdot D^2 \cdot v^3 \cdot C_p \quad (5.2)$$

Neglijând pierderile prin frecare, Bentz a demonstrat că o turbină eoliană poate capta maxim  $16/27 = 0,593$  (coeficientul sau limita lui Bentz) din puterea vântului.

*Turbina eoliană cu ax orizontal și trei pale*

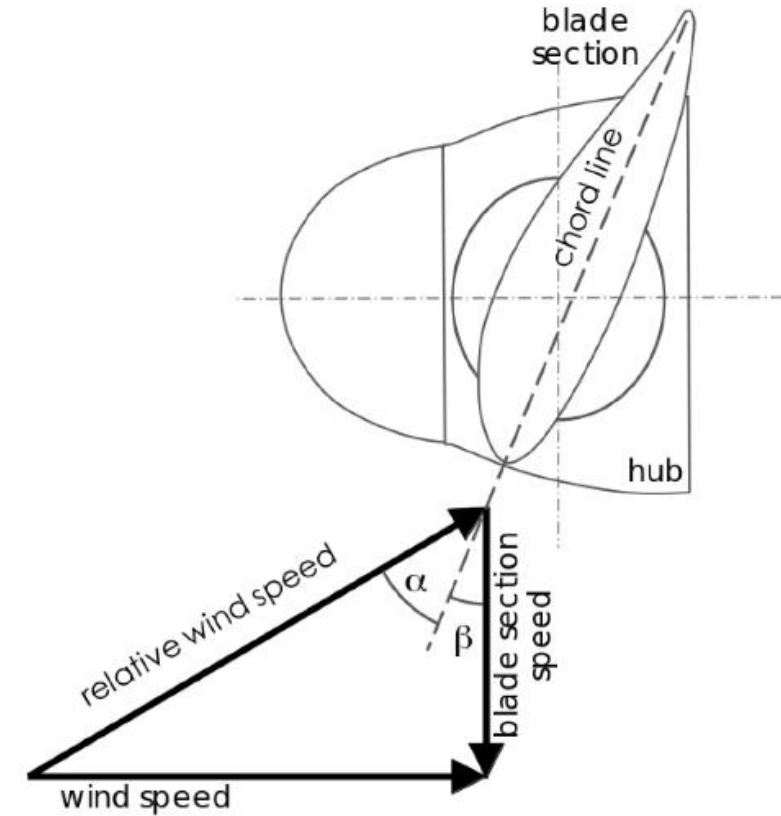
În cazul turbinelor eoliene cu ax orizontal, datorită formei specifice a palei, asemănătoare cu aripa de avion, fluxul de aer care curge deasupra palei va avea o viteză mai mare decât cel ce curge sub pală. Se formează două zone cu presiuni diferite: deasupra palei presiunea va fi mai mică, iar sub pală – mai mare. Forța rezultantă este determinată de forța de ridicare (lift) și cea rezistentă (drag), *fig. 5.1*.



*Fig. 5.1. Forțele asupra palei turbinei [7]*

Unghiul de atac al palei (unghiul dintre direcția vântului relativ, adică compunerea vitezei vântului real cu cel rotațional și axa transversală a palei, denumită și *coarda profilului*),  $\alpha$ , este o mărime de bază în eficientizarea proiectării și operării turbinelor eoliene. Unghiul de atac optim este diferit pentru profiluri diferite ale palelor și diferă și pentru un același profil în funcție de viteza vântului.

În practică se definește unghiul de înclinare (pitch),  $\beta$ , definit între coarda palei și planul de rotație. Turbinele de puteri mari au unghiul de înclinare ajustabil în funcție de viteza vântului, *fig. 5.2*.



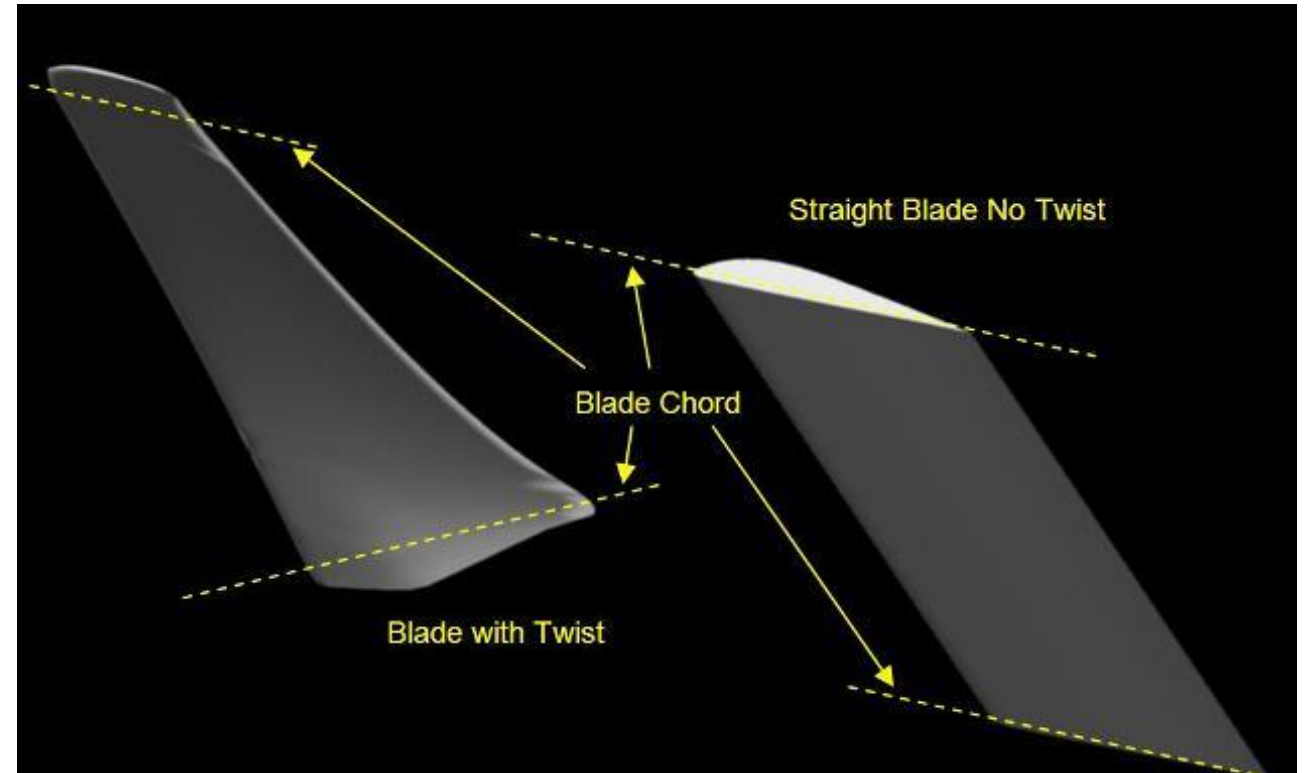
*Fig. 5.2. Aerodinamica palei [12]*

Profilul aerodinamic al paletelor presupune calcule analitice urmate de optimizări prin metode numerice și validare experimentală.

Dintre mărimile ce se urmăresc se pot nominaliza:

- Unghiul de înclinare,
- Răsucirea, *fig. 5.3*,
- Forma vârfului,
- Profilul.

Pe lângă aceste mărimi, evident, sunt esențiale diametrul rotorului turbinei și înălțimea la care se plasează nacela.



*Fig. 5.3. Pale răsucite și drepte [13]*



### 5.1. Influența diametrului rotorului asupra puterii produse



<b>Scopul:</b>	<b><i>Studiul conversiei energiei eoliene în energie electrică</i></b>
<b>Obiectiv:</b>	<i>Evidențierea dependenței de mărimile ce caracterizează energia eoliană a puterii produse de turbinele eoliene.</i>
<b>Conținuturi</b>	<i>Mărimi specifice energiei eoliene. Influența diametrului rotorului asupra puterii produse.</i>

Se lucrează în experimentul virtual <https://www.youngscientistlab.com/sites/default/files/interactives/wind-energy/>.

Locația amplasării turbinei nu este relevantă pentru lucrarea de față, astfel se va selecta varianta *plains* pentru toate analizele. Înălțimea axei rotorului este utilă ca mijloc de selecție a vitezei medii a vântului, adică 6,5 m/s (80 m), 7,5 m/s (100 m), respectiv 8,5 m/s (120 m). În continuare se setează mărimile specifice profilului aerodinamic al palelor și turbinei. Butonul *test*, evaluează sistemul eolian configurat și permite trecerea la pagina de optimizare cu materiale specifice companiei americane *3M*, care împreună cu *Discovery Education*, sunt dezvoltatorii acestui laborator virtual. În cazul nostru, influența acestor materiale este doar opțională (se poate studia după finalizarea cerințelor obligatorii), ca urmare se acționează, din nou, butonul *test*, pentru trecerea în pagina de *review* unde vor apărea rezultatele. Aici se pot reface anumite setări, pentru o variantă deja analizată, respectiv se poate adăuga, spre comparație, un nou sistem.

Detalii complete privind lucrul în acest instrument virtual sunt disponibile pe <https://www.youngscientistlab.com/sites/default/files/interactives/wind-energy/wind-energy/data/downloads/wind-teachers-guide.pdf>.

Se verifică experimental relația (5.2), evidențiind dependența puterii produse de turbina eoliană de diametrul baleiat de pale.

Pentru un unghi de înclinare al palelor de  $5^\circ$ , o înălțime a turbinei de 120 m (o viteză a vântului de 8,5 m/s), pale nerăsucite, vârful palei îngust și forma profilului palei tot îngust, se analizează trei configurații, modificând *lungimea palelor*, iar rezultatele se trec în *tabelul 5.1*.

*Tabelul 5.1. Parametrii sistemului eolian cu:*

*unghi înclinare =  $5^\circ$ , răsucire pală = nu, forma vârfului palei = îngust, forma profilului = îngust, înălțime turbină = 120 m.*

<b>Lungime pală, <math>l</math> [m]</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>45</b>
<b>Diametru rotor, <math>D = 2 \cdot l</math> [m]</b>	74	80	90
<b><math>P</math> [W]</b>			
<b><math>C_p</math></b>			

Se reprezintă grafic dependența  $C_p = C_p(D)$  și  $P = P(D)$ . Se interpretează rezultatele, prin prisma relației (5.2).

Studentii vor prezenta un *referat* (un singur fișier, în format pdf) ce conține: *tabelul 5.1*, graficele și interpretările cerute.

### 5.2. Influența vitezei vântului asupra puterii produse



<b>Scopul:</b>	<b><i>Studiul conversiei energiei eoliene în energie electrică</i></b>
<b>Obiectiv:</b>	<i>Evidențierea dependenței de mărimile ce caracterizează energia eoliană a puterii produse de turbinele eoliene.</i>
<b>Conținuturi</b>	<i>Mărimi specifice energiei eoliene. Influența vitezei vântului asupra puterii produse.</i>

Se lucrează în experimentul virtual <https://www.youngscientistlab.com/sites/default/files/interactives/wind-energy/>.

Locația amplasării turbinei nu este relevantă pentru lucrarea de față, astfel se va selecta varianta *plains* pentru toate analizele. Înălțimea axei rotorului este utilă ca mijloc de selecție a vitezei medii a vântului, adică 6,5 m/s (80 m), 7,5 m/s (100 m), respectiv 8,5 m/s (120 m). În continuare se setează mărimile specifice profilului aerodinamic al palelor și turbinei. Butonul *test*, evaluează sistemul eolian configurat și permite trecerea la pagina de optimizare cu materiale specifice companiei americane *3M*, care împreună cu *Discovery Education*, sunt dezvoltatorii acestui laborator virtual. În cazul nostru, influența acestor materiale este doar opțională (se poate studia după finalizarea cerințelor obligatorii), ca urmare se acționează, din nou, butonul *test*, pentru trecerea în pagina de *review* unde vor apărea rezultatele. Aici se pot reface anumite setări, pentru o variantă deja analizată, respectiv se poate adăuga, spre comparație, un nou sistem.

Detalii complete privind lucrul în acest instrument virtual sunt disponibile pe <https://www.youngscientistlab.com/sites/default/files/interactives/wind-energy/wind-energy/data/downloads/wind-teachers-guide.pdf>.

Se verifică experimental relația (5.2), evidențiind dependența puterii produse de turbina eoliană de viteza vântului.

Pentru o lungime a palei de 45 m, un unghi de înclinare al palelor de  $5^\circ$ , pale nerăsucite, vârful palei îngust și forma profilului palei tot îngust, se analizează trei configurații, modificând înălțimea turbinei, adică viteza vântului, iar rezultatele se trec în tabelul 5.2.

Tabelul 5.2. Parametrii sistemului eolian cu:

lungime a palei = 45 m, unghi înclinare =  $5^\circ$ , răsucire pală = nu, forma vârfului palei = îngust, forma profilului = îngust.

Înălțime turbină [m]	80	100	120
$v$ [m/s]	6,5	7,5	8,5
$P$ [W]			
$C_p$			

Se reprezintă grafic dependența  $C_p = C_p(v)$  și  $P = P(v)$ . Se interpretează rezultatele, prin prisma relației (5.2).

Studentii vor prezenta un *referat* (un singur fișier, în format pdf) ce conține: tabelul 5.2, graficele și interpretările cerute.

### 5.3. Influența formei palelor turbinei asupra puterii produse



<b>Scopul:</b>	<b><i>Studiul conversiei energiei eoliene în energie electrică</i></b>
<b>Obiectiv:</b>	<i>Evidențierea dependenței de configurația turbinei a puterii produse de turbinele eoliene.</i>
<b>Conținuturi</b>	<i>Mărimi specifice geometriei turbinelor eoliene. Influența formei palelor turbinei asupra puterii produse.</i>

Se lucrează în experimentul virtual <https://www.youngscientistlab.com/sites/default/files/interactives/wind-energy/>.

Locația amplasării turbinei nu este relevantă pentru lucrarea de față, astfel se va selecta varianta *plains* pentru toate analizele. Înălțimea axei rotorului este utilă ca mijloc de selecție a vitezei medii a vântului, adică 6,5 m/s (80 m), 7,5 m/s (100 m), respectiv 8,5 m/s (120 m). În continuare se setează mărimile specifice profilului aerodinamic al palelor și turbinei. Butonul *test*, evaluează sistemul eolian configurat și permite trecerea la pagina de optimizare cu materiale specifice companiei americane *3M*, care împreună cu *Discovery Education*, sunt dezvoltatorii acestui laborator virtual. În cazul nostru, influența acestor materiale este doar opțională (se poate studia după finalizarea cerințelor obligatorii), ca urmare se acționează, din nou, butonul *test*, pentru trecerea în pagina de *review* unde vor apărea rezultatele. Aici se pot reface anumite setări, pentru o variantă deja analizată, respectiv se poate adăuga, spre comparație, un nou sistem.

Detalii complete privind lucrul în acest instrument virtual sunt disponibile pe <https://www.youngscientistlab.com/sites/default/files/interactives/wind-energy/wind-energy/data/downloads/wind-teachers-guide.pdf>.

Se studiază elementele aerodinamice ale palei și influența acestora supra performanțelor turbinei eoliene.



Pentru o lungime a palei de 45 m, un unghi de înclinare al palelor de  $5^\circ$ , o înălțime a turbinei de 120 m (o viteză a vântului de 8,5 m/s), pale nerăsucite, se studiază influența formei vârfului palei și a formei profilului palei. Se analizează șase configurații, iar rezultatele se trec în *tabelul 5.3*.

*Tabelul 5.3. Parametrii sistemului eolian cu:  
lungime pală = 45 m, unghi înclinare =  $5^\circ$ , răsucire pală = nu, înălțime turbină = 120 m.*

Forma profilului palei		îngustă	lată	super-îngustă
Număr profil, $n$		1	2	3
Pală cu vârf lat	$P [W]$			
	$C_p$			
Pală cu vârf îngust	$P [W]$			
	$C_p$			

Se reprezintă grafic dependența  $C_p = C_p(n)$  și  $P = P(n)$ , având ca și parametru forma vârfului palelor. Se interpretează rezultatele, notând valorile optime ale formei vârfului palei și formei profilului palei.

Studentii vor prezenta un *referat* (un singur fișier, în format pdf) ce conține: *tabelul 5.3*, graficele și interpretările cerute.

## 5.4. Influența unghiului de înclinare al palelor asupra puterii produse



<b>Scopul:</b>	<b><i>Studiul conversiei energiei eoliene în energie electrică</i></b>
<b>Obiectiv:</b>	<i>Evidențierea dependenței de configurația turbinei a puterii produse de turbinele eoliene.</i>
<b>Conținuturi</b>	<i>Mărimi specifice geometriei turbinelor eoliene. Influența unghiului de înclinare al palelor asupra puterii produse.</i>

Se lucrează în experimentul virtual <https://www.youngscientistlab.com/sites/default/files/interactives/wind-energy/>.

Locația amplasării turbinei nu este relevantă pentru lucrarea de față, astfel se va selecta varianta *plains* pentru toate analizele. Înălțimea axei rotorului este utilă ca mijloc de selecție a vitezei medii a vântului, adică 6,5 m/s (80 m), 7,5 m/s (100 m), respectiv 8,5 m/s (120 m). În continuare se setează mărimile specifice profilului aerodinamic al palelor și turbinei. Butonul *test*, evaluează sistemul eolian configurat și permite trecerea la pagina de optimizare cu materiale specifice companiei americane *3M*, care împreună cu *Discovery Education*, sunt dezvoltatorii acestui laborator virtual. În cazul nostru, influența acestor materiale este doar opțională (se poate studia după finalizarea cerințelor obligatorii), ca urmare se acționează, din nou, butonul *test*, pentru trecerea în pagina de *review* unde vor apărea rezultatele. Aici se pot reface anumite setări, pentru o variantă deja analizată, respectiv se poate adăuga, spre comparație, un nou sistem.

Detalii complete privind lucrul în acest instrument virtual sunt disponibile pe <https://www.youngscientistlab.com/sites/default/files/interactives/wind-energy/wind-energy/data/downloads/wind-teachers-guide.pdf>.

Se studiază dependența unghiului de înclinare al palelor, corelat cu viteza vântului, asupra performanțelor turbinei eoliene.

Se evaluează influența unghiului de înclinare al palelor (variante posibile 5°, 10° și variabil) asupra factorului de eficiență și a puterii electrice produse, corelat cu viteza vântului. Adică se vor analiza nouă variante, de pale nerăsucite, în care vor diferi doar mărimile: înălțime turbină și unghi de înclinare. Restul parametrilor odată selectați (se preiau valorile optime ale formei vârfului palei, formei profilului palei și lungimii acesteia de la cerințele anterioare) se mențin nemodificați, dar se trec în preambulul tabelului. Rezultatele se sintetizează în tabelul de mai jos:

Tabelul 5.4. Parametrii sistemului eolian cu:

lungime pală = \_\_\_\_\_ m, răsucire pală = nu, forma vârfului palei = \_\_\_\_\_, forma profilului = \_\_\_\_\_.

Înălțime turbină [m]		80	100	120
$v$ [m/s]		6,5	7,5	8,5
$\theta = 5^\circ$	$P$ [W]			
	$C_p$			
$\theta = 10^\circ$	$P$ [W]			
	$C_p$			
$\theta = \text{variabil}$	$P$ [W]			
	$C_p$			

Se reprezintă grafic dependența  $C_p = C_p(v)$  și  $P = P(v)$ , având ca și parametru unghiul de înclinare al palelor. Se interpretează rezultatele.

Studentii vor prezenta un *referat* (un singur fișier, în format pdf) ce conține: *tabelul 5.4*, graficele și interpretările cerute.

## 6. INFRASTRUCTURA ENERGETICĂ A ROMÂNIEI



<b>Scopul:</b>	<b><i>Cunoașterea infrastructurii energetice a României</i></b>
<b>Obiective:</b>	<p><i>Familiarizarea cu sursele de informare privind infrastructura energetică a României.</i></p> <p><i>Cunoașterea infrastructurii de producere, transport și distribuție a României.</i></p>
<b>Conținuturi</b>	<p><i>Autoritatea Națională de Reglementare în domeniul Energiei - ANRE.</i></p> <p><i>Transelectrica - operatorul de transport și de sistem din România.</i></p> <p><i>Ministerul Energiei.</i></p> <p><i>Strategia energetică națională.,</i></p> <p><i>Planul național integrat în domeniul energiei și schimbărilor climatice (PNIESC).</i></p>

Având ca surse de informare cel puțin [14-20], studenții, în echipe de câte 3-4, întocmesc un referat, în format ppt, în care prezintă următoarele aspecte ce configurează starea infrastructurii energetice a României:

- ✓ Capacitățile de producere a energiei electrice,
- ✓ Infrastructura de transport a energiei electrice a României (se prezintă pe scurt și cea europeană),
- ✓ Infrastructura și operatorii de distribuție a energiei electrice,
- ✓ Piețele de energie electrică,
- ✓ Strategia energetică națională,
- ✓ Planul național integrat în domeniul energiei și schimbărilor climatice (PNIESC)
- ✓ Atuurile și vulnerabilitățile Sistemului Electroenergetic Național,
- ✓ Viziunea echipei privind viitorul energetic al României corelat cu direcțiile în care România trebuie să investească masiv.

Echipele vor prezenta referatele în plenul întregii grupe și pe baza feedbackului și a compromisurilor argumentate se stabilește o viziune unitară privind energetica țării noastre în context european.

## BIBLIOGRAFIE

1. L. Neamț, Alina Neamț, *Generare distribuită. Surse regenerabile de energie. Îndrumător de laborator*, Ed. U. T. Press, Cluj-Napoca, 2020.
2. <https://gefex.ro/ro/blog/principii-ergonomice-postura-corecta-la-birou/>.
3. Robert A. Rohde, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar\\_Spectrum.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_Spectrum.png).
4. European Comission, Joint Research Center, *Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS)*, <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>.
5. Natural Resources Canada, *Softul de Analiză pentru Proiectele de Energie Curată RETScreen*, <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-publications/tools/data-analysis-software-modelling/retscreen/7465>.
6. <https://fr.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/pvarray.html>.
7. Sobor I, Caraghiaur D, Nosadz Ș, ș.a, *Surse regenerabile de energie: Curs de prelegeri*, Min. Educației și Tineretului, Univ. Tehnică a Moldovei, Chișinău: UTM, 2006.
8. D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, D. Ursutiu and C. Samoila, *The methods to determine the series resistance and the ideality factor of diode for solar cells-review*, 2012 13th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), Brasov, pp. 966-972, 2012.
9. D. S. H. Chan, J. R. Phillips, J. C. H. Phang, *A comparative study of extraction methods for solar cell model parameters*, Solid-State Electronics, vol. 29, Issue 3, pp. 329-337, 1986.
10. <https://www.ecosoch.com/grid-solar-pv-system/>.
11. <https://www.ecosoch.com/off-grid-system-2/>.
12. U. Elosegui, I. Egana, A. Ulazia, G. Ibarra-Berastegi, *Pitch Angle Misalignment Correction Based on Benchmarking and Laser Scanner Measurement in Wind Farms*, Energies, 11, 3357, 2018.

13. [https://www.globalspec.com/learnmore/electrical\\_electronic\\_components/power\\_generation\\_storage/alternative\\_power\\_generators/blades\\_wind\\_turbine](https://www.globalspec.com/learnmore/electrical_electronic_components/power_generation_storage/alternative_power_generators/blades_wind_turbine).
14. <https://www.transelectrica.ro/ro/web/tel/home>.
15. <https://www.entsoe.eu/>.
16. <https://www.anre.ro/ro/energie-electrica/rapoarte/rezultate-monitorizare-piata-energie-electrica>.
17. <https://www.anre.ro/ro/energie-electrica/rapoarte/puterea-instalata-in-capacitatile-de-productie-energie-electrica>.
18. <http://energie.gov.ro/programul-de-guvernare-si-prioritatile-din-domeniul-energetic/>.
19. <http://energie.gov.ro/strategia-energetica-nationala/>.
20. <https://energie.gov.ro/wp-content/uploads/2021/10/Anexa-HG-PNIESC.pdf>.
21. L. Neamț, Alina Neamț, Adina Dumitru, *Eficiența energetică - energii regenerabile: ghid pentru profesori*, Editura Matrix Rom București, 2014.
22. A. Badea, H. Necula, s.a., *Surse regenerabile de energie*, Ed. Agir, București, 2013.
23. F. Vatra; P. Postolache; Cristiana Vatra; Ana Poida, *Integrarea și funcționarea centralelor eoliene și a instalațiilor fotovoltaice în sistemul electroenergetic*, Ed. S.I.E.R, București, 2012.
24. L. Victor, *Resurse regenerabile și conversia lor*, Editura MatrixRom, București, 2011.
25. L. Victor, *Surse alternative de energie: ghid practic de proiectare, montaj, exploatare și întreținere a sistemelor de conversie care folosesc resurse regenerabile*, Editura MatrixRom, București, 2011.
26. N. Bizon, *Sisteme optimizate pentru conversia energiei curate*, Editura MatrixRom, București, 2008.
27. N. Bogoevici, *Energia electromagnetică*, Editura Politehnica, Timișoara, 1999.
28. T. Bingen, *Utilizarea rațională și regenerativă a energiei*, Editura MatrixRom, București, 2012.
29. Carmen Mârza, Anca Hotupan, Raluca Moldovan, Georgiana Corsiuc, *Surse neconventionale de energie*, Ed. UTPress, Cluj-Napoca, 2013.