

ILUMINAT FOTOVOLTAIC ÎN COMUNITĂȚILE URBANE ȘI RURALE

Drd. ing. Ionuț CIOBANU¹, Prof. dr. ing. Radu PENTIUC²

¹Universitatea „Politehnica“ – București, ²Universitatea „Ștefan cel Mare” din Suceava

REZUMAT. Prezenta lucrare scoate în evidență modul de alegere corectă și dimensionare eficientă a elementelor componente ale sistemelor de iluminat fotovoltaice amplasate în comunitățile urbane dar și rurale. Rolul sistemelor de iluminat fotovoltaic în cadrul comunităților urbane este atât unul de asigurare a iluminării necesare pe timp de noapte pentru pietoni și participanți la trafic, cât și de provovare a energiei regenerabile și a unui mediu curat, în armonie cu arhitectura urbană. Alegerea unui sistem de iluminat fotovoltaic optim amplasării în comunitățile urbane presupune parcurgerea a două etape de dimensionare: a) dimensionare din punct de vedere luminotehnic; b) dimensionare din punct de vedere al autonomiei în funcționare. În cadrul realizării primei etape de dimensionare se vor determina caracteristicile luminotehnice ale corpului de iluminat și modul de amplasare în zona străzilor sau a aleilor necesare a fi iluminată, în conformitate cu standardul european CEN/TR 13201 pentru iluminat. Etapa a 2-a de dimensionare pleacă de la puterea corpului de iluminat și modul de amplasare pentru a dimensiona corect panoul fotovoltaic și acumulatorul în condițiile păstrării autonomiei de o zi și ținând cont de umbrirea care poate apărea asupra panoului fotovoltaic, realizată de elementele de arhitectură amplasate în apropierea panoului fotovoltaic.

Cuvinte cheie: energie fotovoltaică, sistem de iluminat, arhitectură urbană.

ABSTRACT. This paper wants to highlight the appropriate election and efficient sizing of components of photovoltaic lighting systems located in urban but also rural communities. The role of photovoltaic lighting systems in urban communities is to ensure nighttime illumination for pedestrians and road users, but also provoting renewable energy and a clean environment, in harmony with urban architecture. Choosing optimal photovoltaic lighting systems for locations in urban communities involves two sizing stages: a) sizing in terms of the lighting; b) sizing in terms of autonomy in operation. Implementing the first stage of sizing is to be determined the lighting characteristics of the lighting system and the needed placement in the street or driveway, in accordance with European standard CEN / TR 13201 for lighting. Phase 2 of sizing goes from the strength of the lighting system and the placement, to properly size the photovoltaic panel and battery in terms of keeping autonomy one day and considering the shadowing that can occur on solar panel because of architectural elements placed near the photovoltaic panel.

Keywords: photovoltaic energy, lighting, urban architecture.

1. ASPECTE GENERALE

Iluminatul exterior în comunitățile urbane este utilizat atât pentru orientarea și deplasarea în siguranță pe timp de noapte a pietonilor și a participanților la trafic cât și asigurarea unui mediu ambiant corespunzător în orele fără lumina naturală.

Sistemele de iluminat exterior într-un oras trebuie să asigure satisfacerea unor cerințe și nevoi de utilitate publică ale comunităților locale, și anume:

- ridicarea gradului de civilizație, a confortului și a calității vieții;
- creșterea gradului de securitate individuală și colectivă în cadrul comunităților locale, precum și a gradului de siguranță a circulației rutiere și pietonale;
- punerea în valoare, prin iluminat adecvat, a elementelor arhitectonice și peisagistice ale localității;
- creșterea gradului de atractivitate a orașelor și comunităților;

Iluminatul exterior trebuie să îndeplinească condiții luminotehnice, fiziologice, de siguranță a circulației,

de estetica arhitectonică și de norme tehnice, în condițiile utilizării raționale a energiei electrice, a reducerii costului investițiilor și a cheltuielilor anuale de exploatare a instalațiilor. Prin numărul mare al acestora, este de dorit ca instalațiile electrice de iluminat artificial să nu constituie un factor de alterare a calității energiei electrice. Ameliorarea factorului de putere și reducerea armonicilor sunt cerințe importate impuse acestor echipamente.

Necesitățile obiective acceptate internațional privind reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră, reducerea consumului final de energie, prin creșterea eficienței energetice și creșterea ponderii surselor regenerabile, a condus la apariția și dezvoltarea sistemelor de iluminat exterior fotovoltaice cu surse de iluminat economice în localitățile urbane, dar și rurale, în iluminatul rutier, arhitectural și decorativ.

Sistemele de iluminat fotovoltaice mai poartă denumirea de sisteme off-grid sau sisteme autonome, acestea producându-și singură energie electrică necesară pentru utilizarea în scopul iluminatului exterior.

2. STRUCTURA CONSTRUCTIVA A UNUI SISTEM DE ILUMINAT EXTERIOR FOTOVOLTAIC

Sistemul de iluminat exterior fotovoltaic are în componența următoarele elemente:

- panou fotovoltaic;
- acumulatori;
- controller de încărcare a acumulatorului;
- corp de iluminat;
- stalp de susținere a echipamentelor, consola.

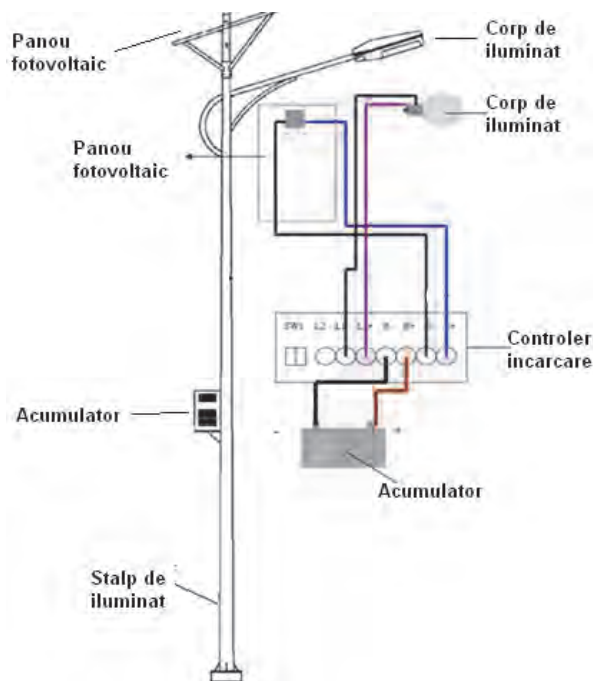


Fig. 1. Structura sistemului de iluminat fotovoltaic.

a. Panourile fotovoltaice. Un panou fotovoltaic reprezintă un ansamblu de mai multe celule fotovoltaice după cum sugerează și numele (foto=lumina, voltaic=electricitate), care captează lumina solară și o transformă în energie electrică.

Celulele fotovoltaice sunt create din materiale speciale, semiconductori cum este și cazul siliciului, utilizat în mod curent. În momentul în care lumina este incidentă la celulă, un anumit procent din ea este absorbit în interiorul materialului semiconductor. La incidenta fluxului luminos electronii celulelor fotovoltaice își modifică poziția în nucleu prin cedarea unei cuante de energie, generează curent electric. Acest curent împreună cu voltajul celulei (care este rezultatul unui câmp sau câmpuri electrice formate în interior) definesc puterea specifică pe care o poate produce o anumită celulă solară.

La nivel internațional se produc următoarele tipuri de panouri fotovoltaice:

- monocristaline (un singur cristal de siliciu) și eficiența a tehnologiei de maxim 18%;

- policristaline (mai multe cristale de siliciu) și eficiența a tehnologiei de maxim 15%;
- amorfă (thin-film) și eficiența a tehnologiei de maxim 10%.

b. Acumulatorul. Acumulatorii au rolul de a stoca energia electrică provenită de la panourile fotovoltaice.

Sistemele de iluminat fotovoltaice sunt sisteme cu configurație off-grid și utilizează acumulatorii cu tehnologia deep-cycle sau altfel spus acumulatori „cu descărcare adâncă”.

Există două tipuri de acumulatori pe baza de Pb-acid. Aceștia sunt fie cu electrolit lichid și necesită întreținere, fie în tehnologie GEL/AGM care nu necesită această mentenanță.

Acumulatorii pentru sistemele de iluminat fotovoltaice pot fi fixați în cutii metalice pe stalpi (a), în subteran (b) sau la baza stâlpilor la nivelul solului (c) conform figurii 2.



Fig. 2. Posibilități de amplasare a acumulatorilor.

c. Controlerul de încărcare al acumulatorului. Controlerul de încărcare are rolul de a regla curentul și tensiunea în timpul încărcării acumulatorului. Acesta verifică atât supraîncărcarea acumulatorului dar poate și să deconecteze consumatorii atunci când acumulatorul atinge un nivel minim de tensiune.

Tehnologiile utilizate pentru controller sunt: sunt, serie, PWM sau MPPT.

Controlerul de încărcare de tip sunt reglează curentul de încărcare prin scurtcircuitarea panourilor având schema de montaj ca în figura 3.

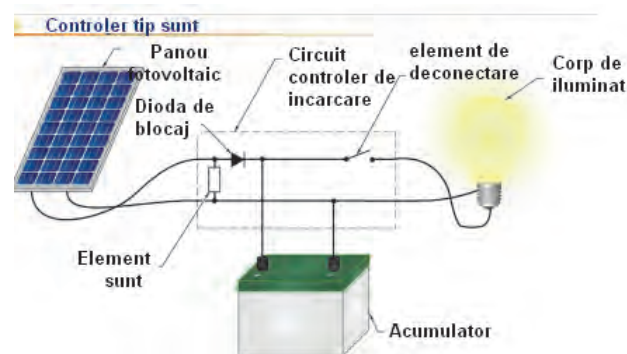


Fig. 3. Schema de montaj utilizând controlerul de încărcare de tip sunt.

Un **controler de încărcare serie** este un controler care limitează curentul de încărcare a sistemului de acumulatori prin deschiderea circuitului de panouri PV și are schema de montaj ca în figura 4.

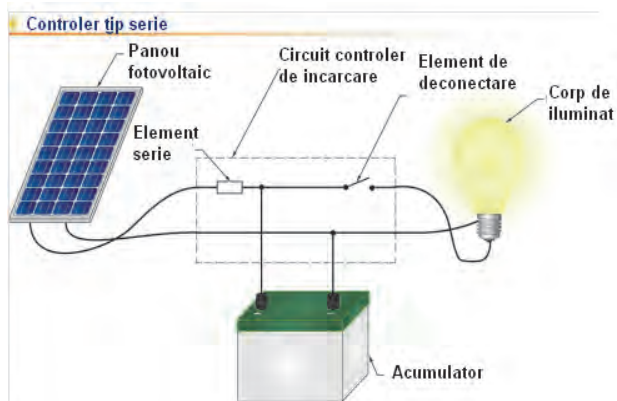


Fig. 4. Schema de montaj utilizând controlerul de încărcare de tip serie.

Controlerul de încărcare cu modularea lățimii pulsului PWM este un controler care simulează un curent de încărcare variabil prin comutarea unui element serie ON și OFF la înaltă frecvență și pentru lungimi variabile de timp ca în figura 5.

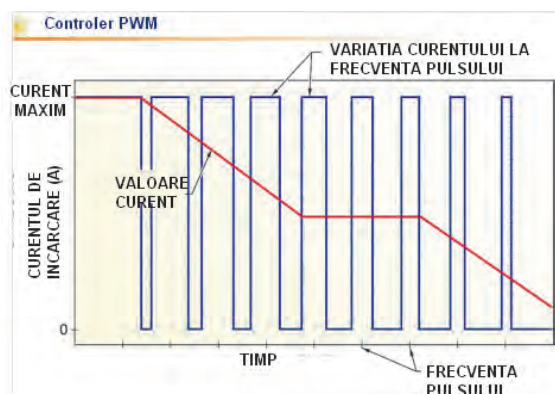


Fig. 5. Funcționarea controlerului de tip PWM.

Controlerul MPPT (de urmărire a punctului de putere maximă) reglează sarcina sau tensiunea de ieșire a unui panou, în scopul de a menține funcționarea la sau lângă punctul de putere maximă în conformitate cu modificarea condițiilor de temperatură și iluminare ca în figura 6.

d. Corp de iluminat. Corpul de iluminat este dispozitivul care servește la distribuția, filtrarea sau transmiterea luminii produse de la una sau mai multe lampi către exterior.

Corpurile de iluminat modern utilizează surse de iluminat cu LED care au următoarele avantaje comparativ cu sursele clasice de lumină:

- utilizează o cantitate mai redusă de energie, ceea ce le recomandă în sistemele fotovoltaice pentru dimensionarea întregului ansamblu;

- eficacitate luminoasă ridicată 100-165 lm/W;
- durată de viață ridicată a LED-urilor (35.000-100.000 ore);
- aprindere instantanee;
- capacitate de a rezista la numeroase cicluri aprindere-stingere;
- controlabilitate prin posibilitatea de ajustare a nivelului de iluminare dar și al culorilor.

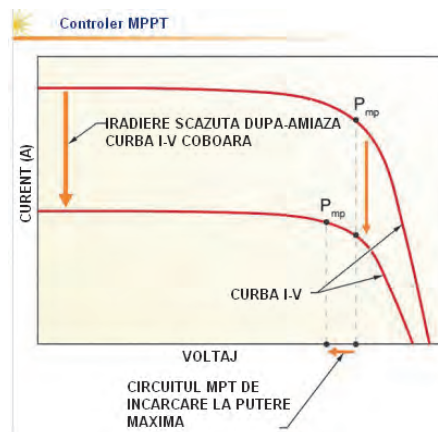


Fig. 6. Funcționarea controlerului de tip MPPT.

e. Stalp de susținere a echipamentelor. Pe stalpul de susținere al echipamentelor se fixează panourile fotovoltaice, corpurile de iluminat, controlerul de încărcare și/sau acumulatorii. Stalpii sunt în general construcții metalice dar pot fi întâlnite și variante din beton sau lemn.

3. DIMENSIONAREA SISTEMELOR DE ILUMINAT FOTOVOLTAICE

Alegerea unui sistem de iluminat fotovoltaic optim amplasării în comunitățile urbane dar și rurale presupune parcurgerea a două etape:

- a) dimensionare din punct de vedere luminotehnic;
- b) dimensionare din punct de vedere al autonomiei în funcționare.

a) Dimensionare din punct de vedere luminotehnic. Standardul european CEN/TR 13201 aprobat în 2003 cuprinde patru părți independente care trebuiesc parcurse pentru dimensionarea corectă a sistemului de iluminat adoptat:

- Partea 1: Selecția claselor de iluminat;
- Partea 2-a: Cerințe cu privire la performanță;
- Partea 3-a: Calcularea performanței sistemului de iluminat strădală;
- Partea 4-a: Metode de măsurare a performanței sistemului de iluminat.

Alegerea claselor de iluminat depinde de următoarele criterii generale:

- viteza principalului utilizator (în km/h);
- tipul utilizatorului principal;

- alte tipuri de utilizatori admisi;
- tipuri de utilizatori excluși;

Alegerea claselor de iluminat depinde de următorii parametri specifici:

- zona (separarea sensurilor, densitatea intersecțiilor, dispozitive de încetinire);
- valori de trafic (densitatea traficului auto, a celui de bicicliști și a celui pietonal, risc de agresiune);
- influențe de mediu (nivel de iluminare al ambiențului, condiții atmosferice);
- zone de risc da/nu;
- condiții atmosferice principale uscad/ud.

Alegerea claselor de iluminat depinde de următoarele criterii de performanță:

- luminanță medie L_{med} (cd/m^2), care reprezintă o valoare minimă solicitată;
- uniformitatea generală U_{0min} (%) = L_{min}/L_{med} ;
- uniformitate longitudinală U_{1min} (%) = L_{min}/L_{max} ;
- orbirea fiziologică maximă T_i (%);
- raport de zonă alăturată S_R (valori minime impuse).

În urma identificării clasei de iluminare conform cerințelor anterioare (criterii generale, parametri specifici, criterii de performanță) se va trece la alegerea tipului corpului de iluminat, temperatura de culoare a acestuia și modalitatea de amplasare a corpului de iluminat (înălțimea de montaj, unghiul de înclinare al aparatului, distanța față de bordura străzii).

Pentru realizarea rapidă a calculelor luminotehnice se pot utiliza programe specializate cum este și Dialux care conține baza de date a principalilor producători de corpuri de iluminat.

În urma acestor etape de dimensionare vom cunoaște:

- tipul corpului de iluminat (caracteristici fotometrice ale lui și puterea electrică a acestuia);
- înălțimea de montaj pe stalp;
- unghiul de înclinare față de orizontală;
- distanța de montaj între doi stalpi având corpuri de iluminat amplasate pe ei;
- tipul străzii conform claselor de iluminare;
- parametrii de calitate ai iluminării (nivel de iluminare, uniformitate generală).

Exemplu calcul luminotehnic pentru o stradă având următoarele date de intrare:

a) pentru stradă:

- stradă de tip ME4a conform CEN/TR 13201;
- lățime stradă 8m;
- 2 benzi de circulație.

b) pentru corpul de iluminat

- corp de iluminat cu LED având puterea totală consumată 60W;
- flux luminos corp de iluminat 5405 lm;
- flux luminos sursă de lumină 5459 lm;
- curba fotometrică a corpului de iluminat este prezentată în figura 7.

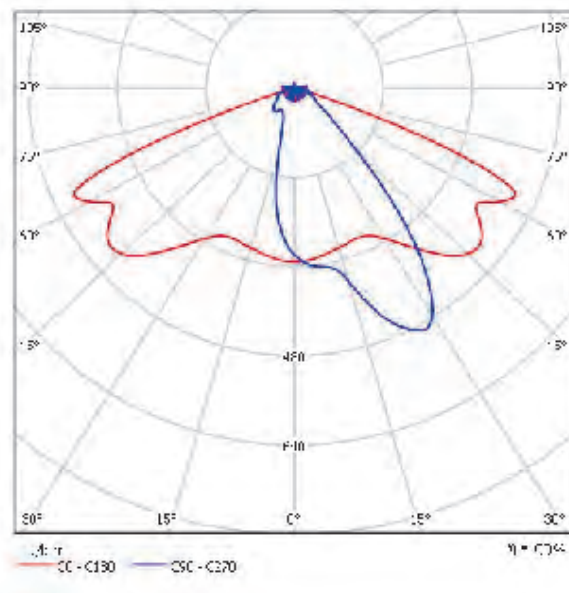


Fig. 7. Curba fotometrică a corpului de iluminat utilizat în calculul luminotehnic.

c) modul de amplasare al corpurilor de iluminat corespunde figurii numărul 8 a) și b):

- aranjament corpuri de iluminat: pe o singură parte a străzii;
- distanță între corpuri de iluminat: 20 m;
- înălțime de montaj corp de iluminat (1) 8,34 m;
- înălțime stalp 8,01 m;
- distanță între bordura și corpul de iluminat (2) 0,59 m;
- unghiul de înclinare al corpului de iluminat 15,0° (dat de consola);
- lungime consola fixare corp de iluminat 0,5m.

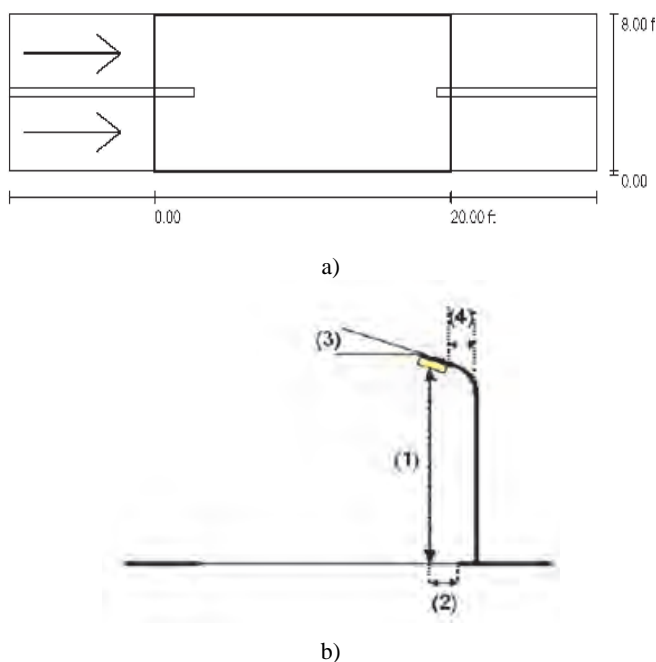


Fig. 8. Dimensiunile străzii utilizate în calculul luminotehnic a) și modul de amplasare al corpului de iluminat b).

Rezultate fotometrice calculate cu ajutorul programului Dialux pe baza datelor de intrare este prezentat în tabelul 1:

Tabelul 1. Rezultatele luminotehnice utilizând programul Dialux

	L_{av} [cd/m ²]
Valori calculate	8,70
Valorile necesare în funcție de clasa	≥ 0.75
Îndeplinit/Neîndeplinit	✓

Din tabelul anterior rezulta îndeplinirea condițiilor luminotehnice aferente clasei luminoehnice ME4a.

b. Dimensionare în raport cu/ autonomia de funcționare. La dimensionarea din punct de vedere al autonomiei în funcționare trebuie să ținem seama de locul de amplasare al panourilor fotovoltaice care pot fi afectate de umbră.

Având în vedere că sistemele de iluminat fotovoltaice pentru comunitățile urbane sunt amplasate în zona cu clădiri, elemente de arhitectură urbană și vegetație, apare în mod frecvent un fenomen foarte important care trebuie luat în calculul funcționării sistemelor de iluminat fotovoltaice și anume umbră.

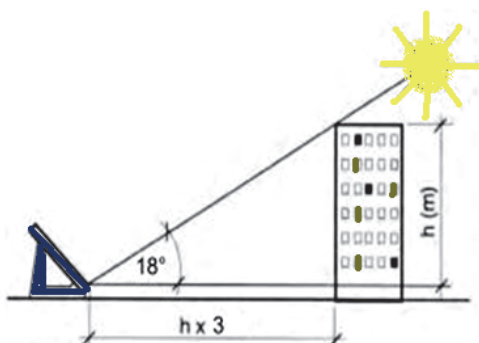


Fig. 9. Distanța minimă între panoul fotovoltaic și clădiri pentru evitarea umbririi.

Aceasta conduce la limitarea orelor de expunere la soare și implicit producția de energie electrică se diminuează.

O amplasare optimă a panoului fotovoltaic față de vecinătăți este conform figurii 9 la o distanță de minim trei ori mai mare decât înălțimea clădirilor din jur sau a altor elemente care pot produce umbră.

La dimensionarea sistemului de iluminat fotovoltaic în raport cu autonomia lui de funcționare avem câteva limite preidentificate din etapa anterioară de dimensionare luminotehnică și anume: puterea corpului de iluminat, înălțimea de montaj al acestuia și distanța între doi stalpi de iluminat.

În această etapă de dimensionare corpului de iluminat este prezentat ca un utilizator al energiei electrice înmagazinate în acumulatori.

În România durata medie de funcționare a sistemului de iluminat public este de 4000 ore/an.

Perioada critică pentru care trebuie dimensionat sistemul de iluminat fotovoltaic este iarna, când durata de funcționare a sistemului de iluminat fotovoltaic este mare, iar durata de ore cu soare este scăzută.

Un calcul efectuat cu ajutorul programului disponibil pe site-ul <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php> pentru București utilizând un sistem de producție a energiei fotovoltaice cu o putere instalată de 1 kWp arată o producție medie zilnică de energie electrică pentru luna decembrie de 1,37 kWh, la un unghi de înclinare de 35° conform figurii 10.

Sistem fix : înclinare 35 grad. orientare: 0 grad.				
Luna	Ed	Em	Hd	Hm
Ian	1.59	49.2	1.91	59.1
Febr	2.44	68.3	3.00	84.1
Mart	3.69	114	4.78	148
Apr	4.08	122	5.50	165
Mai	4.41	137	6.07	188
Iun	4.51	135	6.32	190
Iul	4.68	145	6.60	204
Aug	4.58	142	6.43	199
Sept	3.82	114	5.22	157
Oct	3.12	96.7	4.10	127
Noie	2.00	60.1	2.51	75.2
Dec	1.37	42.4	1.65	51.2
An	3.36	102	4.52	137
Total un an		1230		1650

Fig. 10. Cantitatea medie de energie electrică produsă de sistemul fotovoltaic în fiecare lună a anului pentru zona București.

Semnificația notațiilor este:

– E_d : Producția medie de energie electrică zilnică de la sistemul dat (kWh);

– E_m : Producția medie de energie electrică lunară din sistemul dat (kWh);

– H_d : Suma medie zilnică a iradierii la nivel mondial pe metru pătrat primite de module ale sistemului dat (kWh / m²);

– H_m : Suma medie de iradiere la nivel mondial pe metru pătrat primite de module ale sistemului dat (kWh / m²).

Necesarul de energie electrică pentru un corp de iluminat cu LED având o putere instalată de 60W la 24 V, care funcționează în București în cea mai scurtă zi din luna decembrie între ore 16,40 ÷ 07,40, respectiv o durată de 15 ore este de 900 Wh.

Capacitatea acumulatorului ($Ah = Wh/V$) este calculată astfel:

$$C_a = C_s \times A / G_r \times T$$

unde: C_a este capacitatea acumulatorului în Ah; C_s – capacitatea de energie electrică stocată în Wh; A –

autonomia in zile; G_r – gradul de descarcare al acumulatorului in procente; T – tensiunea in V.

In cazul unei utilizari regulate pentru sistemul de iluminat fotovoltaic, autonomia se alege o zi și un grad de descarcare de 75% rezulta urmatoarea capacitate a acumulatorului:

$$C_a = 900 \text{ Wh} \times 1 \text{ zi} / 0,75 \times 24 \text{ V} = 50 \text{ Ah}$$

Dupa cum s-a vazut anterior pentru luna decembrie un sistem de panouri fotovoltaice cu o putere instalata de 1kWp amplasat optim spre sud la un unghi de inclinare de 35° produce zilnic 1,37 kWh, iar in cazul nostru avem nevoie de 900 Wh. Prin urmare rezulta o putere instalata a panoului/panourilor fotovoltaice de 657 Wp.

In mod uzual exista panouri fotovoltaice de 300 Wp la 24V, ceea ce conduce la necesitatea utilizarii pentru cazul nostru a doua panouri fotovoltaice de 300 Wp.

Se poate realiza o optimizare a sistemului de iluminat fotovoltaic prin reducerea intensitatii luminoase (dimming) pe perioada noptii, in orele cu trafic redus conform figurii 11.

Practic in aceasta perioada se trece la o clasa de iluminare inferioara (in cazul nostru de la clasa ME4a la ME5), dar cu respectarea standardelor de iluminat aferente noii clase in care a fost incadrata.

Prin aceasta optimizare se poate reduce cantitatea de energie electrica utilizata de catre corpul de iluminat cu peste 30% și implicit se reduce și costul sistemului fotovoltaic.

In situatia noastra putem utiliza doua panou fotovoltaice de 225 Wp fiecare.

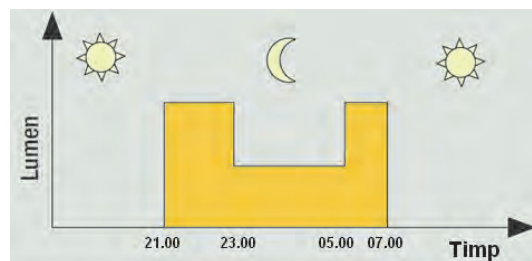


Fig. 11. Perioade indentificate in cursul noptii pentru reducerea intensitatii luminoase a corpului de iluminat.

4. EXEMPLE DE UTILIZARE A SISTEMELOR DE ILUMINAT FOTOVOLTAICE

Principala zone in care se utilizeaza sistemelor de iluminat fotovoltaice aferente comunitatilor urbane sunt:

- pentru iluminatul public al strazilor (fig. 12);
- pentru iluminatul ambiental al parcurilor (fig. 13);
- element de arhitectura urbana (fig. 14); acest arbore solar iluminat cu LED-uri și alimentat cu panouri solare lumineaza noaptea Piata Sf. Ioan din Londra;
- iluminat in zona statiilor de transport in comun (fig. 15);
- iluminat și semnalizare pentru trecerile de pietoni (fig. 16);



Fig. 12. Sisteme de iluminat fotovoltaice utilizate pentru iluminatul strazilor cu trafic auto.



Fig.13. Sisteme de iluminat fotovoltaice utilizate pentru iluminatul aleilor parcurilor.



Fig. 14. Soluție de iluminat fotovoltaice cu valoare de arhitectura urbana.



Fig. 15. Soluție de iluminat fotovoltaice pentru stațiile de autobuz.

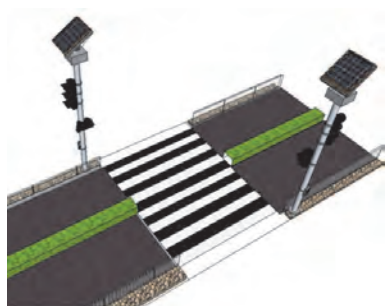


Fig. 16. Soluție de iluminat fotovoltaice pentru trecerile de pietoni.

5. CONCLUZII

Utilizarea sistemelor de iluminat fotovoltaic în cadrul comunităților urbane și rurale îmbină necesitatea orientării și deplasării în siguranță pe timp de noapte a pietonilor și a participanților la trafic dar și provovarea energiei regenerabile și a unui mediu curat.

Sistemele de iluminat fotovoltaice pot constitui în unele situații o alternativă la sistemele clasice de iluminat în situația în care amplasarea unor rețele electrice este greu de realizat sau distanțele de la care trebuie aduse bransamentele sunt foarte mari și costurile de realizate sunt crescute.

De asemenea sistemele fotovoltaice pot funcționa în paralel cu sistemele clasice de iluminat, în zonele importante ale comunităților urbane cum este cazul trecerilor de pietoni, zona școlilor și a spitalelor, asigurând un iluminat de orientare și siguranță în cazul în care rețeaua electrică de alimentare a sistemului de iluminat clasic are avarii.

O dimensionare corectă a sistemului de iluminat public trebuie să țină cont de atât de cerințe de calitate luminoasă în urma cărora vom alege tipul corpului de iluminat și modul de amplasare pe stalpi, dar și o dimensionare a autonomiei energetice a sistemului fotovoltaic corespunzător locației alese și în condițiile cu dificultăți evidente din lunile de iarnă.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Standardul pentru iluminat public CEN/TR 13201-2004 1, 2, 3, 4.
- [2] C. Bianchi, N. Mira, D. Moroldo, A. Georgescu, H. Moroldo, *Sisteme de iluminat interior și exterior*, ediția a III-a, Matrix Rom, București, 2001.
- [3] R. D. Pentiuc, D. Ioachim, *Utilizările Energiei Electrice. Instalații electrice de joasă tensiune*, Editura Universității Suceava, Tipografia Poligraf, 1997.
- [4] www.dial.de.
- [5] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis>