

PANOURILE FOTOVOLTAICE – SOLUȚII PENTRU UN ORAȘ INTELIGENT

Șef lucrări dr. ing. Laurențiu ALBOTEANU¹, Prof. dr. ing. Gheorghe MANOLEA¹

¹ Universitatea din Craiova, Facultatea de Inginerie Electrică, Craiova, România

REZUMAT. De-a lungul ultimelor decenii, din cauza poluării și a gradului de conștientizare a resurselor limitate de combustibili fosili, surse regenerabile de producere a energiei au înregistrat o continuă creștere și s-au dovedit o soluție adecvată pentru omenire. Orașele inteligente ale lumii utilizează frecvent energia provenită din surse regenerabile. În lucrare sunt prezentate câteva aplicații tipice ce utilizează panourile fotovoltaice ca surse de energie. Conceptul de rețea inteligentă este de asemenea parte componentă a unui oraș inteligent. Rețelele inteligente sunt capabile să integreze sursele de energie distribuite. În acest sens, în lucrare este prezentat un sistem hibrid de generare a energiei electrice integrate într-o microrețea inteligentă.

Cuvinte cheie: panouri fotovoltaice, oraș inteligent, rețele inteligente, eficiență energetică.

ABSTRACT. Over the last decades, because of pollution and awareness of limited resources of fossil fuels, renewable sources of energy production gained increasing confidence as an appropriate solution for humankind. Smart cities of the world frequently use energy from renewable sources. The paper presents some typical applications that use photovoltaic panels as power sources. The concept of smart grid is also part of a smart city. Smart grids are able to integrate distributed energy sources. In this regard, the paper presents a hybrid power supply system integrated into a micro smart grid.

Keywords: photovoltaic panels, smart city, smart grids, energy efficiency

1. INTRODUCERE

Conceptul de "oraș inteligent" (Smart City) are la bază următoarele aspecte:

- un oraș care monitorizează starea de funcționare a infrastructurilor sale critice cu scopul de a optimiza utilizarea resurselor sale, de a planifica activitățile de mentenanță și prevenție, de a monitoriza starea de securitate, etc. cu scopul de a maximiza calitatea serviciilor asigurate cetățenilor săi [5];
- un oraș care integrează tehnologiile informației și comunicațiilor pentru utilizarea eficientă a resurselor și infrastructurilor în scopul asigurării necesităților cetățenilor săi [5].

Energia electrică este esențială pentru dezvoltarea unui oraș inteligent.

Sistemele energetice din întreaga lume sunt supuse astăzi unor provocări datorate, pe de o parte, creșterii populației și a consumului de energie, a schimbărilor climatice și a dorinței de protejare a mediului înconjurător, a promovării surselor regenerabile de energie în cantități mari, iar pe de altă parte datorită crizei economice mondiale și instabilității politice în unele zone de pe glob.

În acest context sunt necesare tehnologii și instrumente pentru îmbunătățirea eficienței energetice și integrarea surselor regenerabile de energie pentru dezvoltarea conceptului de "rețea inteligentă" (Smart grid), ca și componentă a unui oraș inteligent.

Rețele electrice inteligente integrează comportamentul și acțiunile tuturor utilizatorilor conectați la aceasta – generatoare, consumatori și aceia care îndeplinesc ambele roluri – pentru asigurarea unui proces de alimentare cu energie electrică sustenabil, economic și sigur [4].

Lucrarea prezintă câteva aplicații tipice, specifice unui oraș inteligent, care utilizează surse regenerabile de energie, și anume panourile fotovoltaice.

Aplicațiile respective combină elemente de protecția mediului, eficiență energetică și design arhitectural.

În ultima parte a lucrării se prezintă un studiu de caz al unui sistem hibrid de producere a energiei electrice din surse regenerabile. Sistemul respectiv poate fi privit ca o aplicație de referință pentru o locuință individuală sau un ansamblu rezidențial.

2. APLICAȚII CU PANOURI FOTOVOLTAICE PENTRU UN ORAȘ INTELIGENT

2.1. Parcări auto

Soluția iluminatului solar pentru parcările auto presupune o economie de timp și bani [9]. Nu este nevoie de o infrastructură subterană sau supraterană

SOLUȚII PENTRU UN ORAȘ INTELIGENT

de rețele electrice, în cazul în care iluminatul este necesar pentru a oferi siguranța vehiculelor și a oamenilor din parcare.

Panourile fotovoltaice PV (fig. 1) au un dublu rol, atât al producerii energiei electrice, necesare pentru iluminatul parcării, dar și pentru asigurarea

adăpostului vehiculelor. De asemenea, împreună cu echipamentele specifice, panourile PV pot asigura încărcarea acumulatorilor vehiculelor electrice sau a celor hibride. Energia produsă de panourile PV în timpul zilei este stocată în acumulatori și utilizată pe timpul nopții pentru iluminatul parcării.

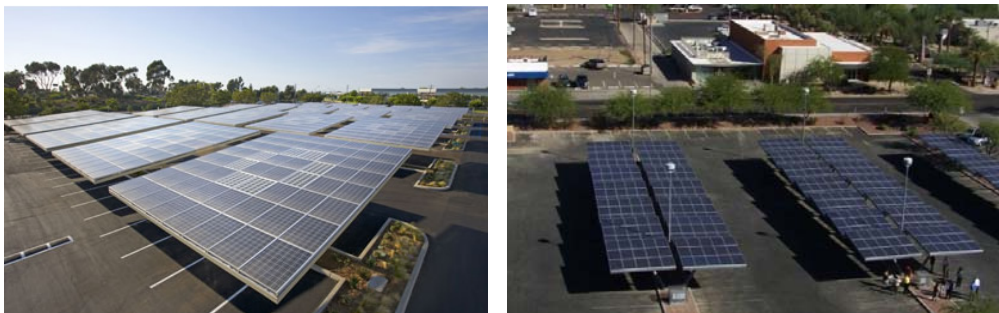


Fig. 1. Parcare solară [9].

Sistemul de iluminat bazat pe tehnologia LED prezintă o eficiență energetică ridicată. Prin tehnologia avansată, sistemul de iluminat solar nu necesită întreținere. Prin consumul redus de energie se asigură o autonomie mai bună a sistemului și oferă o viață lungă a bateriilor. Lămpile au o durată de viață de aproximativ 15 ani.

Iluminatul solar este cunoscut peste tot în lume, lămpile sunt disponibile pe piață într-o mare varietate, cu sau fără detector de mișcare cu infraroșu - PIR.

2.2. Iluminat stradal

Iluminatul fotovoltaic stradal este din ce în ce mai popular și utilizat în întreaga lume. Folosind o sursă durabilă de energie pentru iluminat, locuitorii arată că le pasă de viitorul lor. Cu cât mai multe orașe și municipii se orientează spre practici durabile, iluminatul fotovoltaic stradal poate aduce contribuții, în viitor, la un consum redus de combustibili fosili și creșterea globală a durabilității economice, de mediu și sociale.

Există două tipuri de sisteme de iluminat fotovoltaice de tip stradal:

- sisteme autonome;
- sisteme conectate la rețeaua electrică.

Un sistem de iluminat stradal fotovoltaic autonom (fig. 2) este o unitate de iluminat exterior utilizată pentru iluminarea unei străzi sau o zonă deschisă.

Se compune din module fotovoltaice (PV), lampa cu LED-uri, baterie plumb-acid, elemente de comandă, cabluri de comunicație/ cabluri electrice, modulul de montaj pe stâlp, inclusiv hardware-ul și caseta de baterie. LED-ul este fixat în interiorul unui corp de iluminat, care este montat pe stâlp. Modulul fotovoltaic este amplasat în partea superioară a stâlpului la un unghi pentru a maximiza radiația solară incidentă, iar bateria este plasată într-o cutie atașată la stâlp. Modulul este montat orientat spre sud, astfel încât acesta primește radiația solară pe tot parcursul zilei, fără nici o umbră. Energia electrică generată de modulele fotovoltaice va încărca bateria în timpul zilei. Acest sistem funcționează de la amurg până în zori.

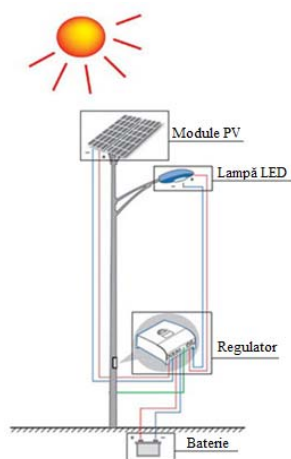


Fig. 2. Iluminat fotovoltaic stradal [10].

2.3. Panouri fotovoltaice integrate în clădiri

Panourile PV pot fi integrate în clădiri într-o mare varietate de moduri. Ele pot fi introduse de la început în proiectele clădirilor noi sau îndeplinesc funcții suplimentare cum ar fi cel de înveliș de protecție, umbrire, protecție la supraîncălzire și la radiația directă a soarelui și setarea caracteristicilor arhitecturale. De asemenea pot fi integrate în clădirile deja existente.

Integrarea de module fotovoltaice în clădire ca element arhitectural (acoperișuri, acoperișuri din sticlă, fațade, copertine, jaluzele solare), ca urmare a varietății de modele, culori și transparențe a panourilor fotovoltaice, fac fiecare clădire unică, permițând arhitecților să evidențieze sau să ascundă utilizarea de module fotovoltaice. Panourile pot fi utilizate și în lucrările de restaurare, inclusiv a clădirilor de patrimoniu.

Sistemele de producere a energiei electrice prin instalații fotovoltaice amplasate pe suprafața clădirilor pot fi combinate cu alte funcții ale clădirilor ce necesită consum de energie electrică. Utilizarea producției locale de energie, contribuie direct la acoperirea necesarului de electricitate al clădirii, evitând în același timp pierderile legate de distribuție, reducând investiția cât și costurile de întreținere pentru utilități.

În prezent există o multitudine de aplicații bazate pe tehnologiile fotovoltaice în clădiri. Acestea nu se limitează la transformarea acoperișului sau a fațadei pentru producerea de energie, ci aduc și altfel de beneficii: protecție împotriva intemperiilor, izolare termică, protecție fonică sau solară și utilizarea inteligentă a luminii naturale. Folosite ca și materiale de construcție, sistemele fotovoltaice pot să economisească banii proprietarului, prin înlocuirea materialelor de construcție tradiționale.

De regulă, sistemele fotovoltaice integrate în clădiri au o capacitate instalată între 5 kWp și 200 kWp și, în situații speciale, cum ar fi blocurile de locuințe, de până la 2MWp. Instalațiile rezidențiale

sunt de obicei mai mici de 10 kWp putere instalată iar cele comerciale se situează între 10kWp - 100kWp.

Există două tipuri de sisteme fotovoltaice:

- sistemul Fotovoltaic Adaptat la Clădire (BAPV);
- sistemul Fotovoltaic Integrat în Clădire (BIPV).

BAPV constă în suprapunerea arhitecturală a sistemului fotovoltaic peste elementele clădirii: acoperiș, fațadă etc. Elementele fotovoltaice sunt paralele cu anvelopa clădirii sau folosesc o structură care le permite să își schimbe în mod optim înclinația.

Din punct de vedere electric, BIPV se referă la încorporarea unui sistem fotovoltaic într-o clădire pentru producerea de electricitate.

Din perspectiva arhitecturală, BIPV înseamnă înlocuirea elementelor constructive ale clădirii cu module fotovoltaice, care îndeplinesc diferite funcții arhitecturale. Economia realizată astfel poate fi substanțială.

Există diferite modalități de a integra fotovoltaice în clădiri, dar în general ne referim la trei părți ale clădirii unde se pot integra cu ușurință modulele fotovoltaice [2]:

- *Acoperișul clădirii.* Acoperișul este zona ideală pentru amplasarea de module PV. De obicei, acoperișul este mai puțin umbrat decât solul, iar pe acoperiș dispunem de o suprafață mare, nefolosită care poate fi ușor transformată (fig. 3.a).

- *Acoperișul de sticlă sau luminatorul.* Aceste tipuri de structuri sunt, de obicei, zonele cele mai interesante pentru integrarea sistemelor fotovoltaice. Ele combină avantajul de difuziune a luminii în clădire în același timp oferind o suprafață liberă pentru instalarea de module fotovoltaice sau laminate (fig. 3.b).

La acest tip de aplicație, elementele fotovoltaice asigură atât energie cât și iluminat pentru clădire. Elementele structurale, care nu ies în evidență privite din exterior, produc efecte de lumină spectaculoase pentru holuri, spații comune și birouri, pentru arhitecți în termeni de lumini și umbre.

- *Fațada.* Există câteva alternative pentru a integra module solare în fațadă cum ar fi o cortină de sticlă, fațadă ventilată etc (fig. 4).



Fig. 3. Sistem PV integrat în clădiri: a) BAPV; b) BIPV [2].



Fig. 4. Panouri PV integrate în fațada clădirii [11].

• *Componentele de umbrire.* Datorită tendinței actuale din arhitectură de a utiliza suprafețe vitrate mari și pereți cortină este nevoie din ce în ce mai des de sisteme de umbrire proiectate cu atenție. Module fotovoltaice de diferite forme pot fi folosite ca elemente de umbrire prin montarea deasupra geamurilor (fig. 5). Din moment ce în multe clădiri există elemente de umbrire a suprafețelor vitrate, utilizarea modulelor fotovoltaice nu ar trebui să implice nici o sarcină suplimentară asupra structurii clădirii.



Fig. 5. Integrare PV de tip umbrar mobil [2].

Utilizarea în sinergie a funcțiilor unui modul fotovoltaic duce la reducerea costurilor totale ale instalației și creează valoare adăugată pentru sistemul PV, clădire și elementele de umbrire.

Sistemele fotovoltaice care sunt utilizate și ca elemente de umbrire pot fi dotate cu echipamente de urmărire a radiației solare unidirecționale care modifică înclinarea modulului pentru atingerea nivelului maxim de producție și oferind în același timp un grad variabil de umbrire.

Un exemplu, din România, de sistem PV integrat în clădire este Amfiteatrul Solar de la Universitatea „Valahia” din Târgoviște, Facultatea de Inginerie Electrică.

Pentru realizarea fațadei sudice a Amfiteatrului Solar, materialele obișnuite au fost înlocuite prin integrarea a 65 de module PV semitransparente Optisol SFM72 Bx, desfășurate pe o suprafață de 100 m² și 24 de module PV cu straturi subțiri (CIS) Siemens ST40, costurile de construcție fiind reduse

prin utilizarea ramelor de lemn. Astfel, fațada sudică a Amfiteatrului Solar (fig.6) nu constituie doar suportul structural de amplasare a modulelor PV ci interacționează în mod activ cu climatul interior al clădirii.



Fig. 6. Amfiteatrul Solar al Universității „Valahia” – Târgoviște [11].

Modulele PV semitransparente, de tip OPTISOL SFM 72Bx, produse de firma germană Pilkington Solar International, conțin 72 de celule policristaline, realizate cu tehnologii moderne.

3. STUDIU DE CAZ. SISTEM HIBRID DE ALIMENTARE CU ENERGIE ELECTRICĂ BAZAT PE SURSE REGENERABILE

La Universitatea din Craiova există un sistem hibrid de producere a energiei electrice pentru alimentarea clădirii INCESA.

Echipamentele detaliate mai jos alcătuiesc un sistem hibrid de producere a energiei electrice din surse regenerabile cu puterea maximă de 4 kW și asigură o independență energetică a laboratorului de „Tehnici și procese inovative în domeniu sistemelor electromecanice complexe”, din cadrul INCESA.

Echipamentele integrate în acest sistem produc energie electrică într-o micro rețea inteligentă cu funcționare automată [3].

Configurația sistemului este prezentată în figura 7, iar în figura 8 sunt prezentate echipamentele ce alcătuiesc sistemul hibrid.

Această opțiune permite controlul conectării surselor de energie la o singură rețea de tensiune de curent alternativ de unde sunt alimentați direct consumatorii.

Avantajul acestei soluții este faptul că bateriile pot fi reîncărcate de la oricare dintre sursele de energie. Invertorul de baterii este un dispozitiv bidirecțional, jucând atât rolul de inverter cât și de redresor.

Contactorul K_1 (fig. 8) conectează rețeaua electrică (sursa principală) la rețeaua inteligentă, iar contactorul K_2 interconectează surse de energie regenerabile la rețeaua inteligentă.

PANOURILE FOTOVOLTAICE – SOLUȚII PENTRU UN ORAȘ INTELIGENT

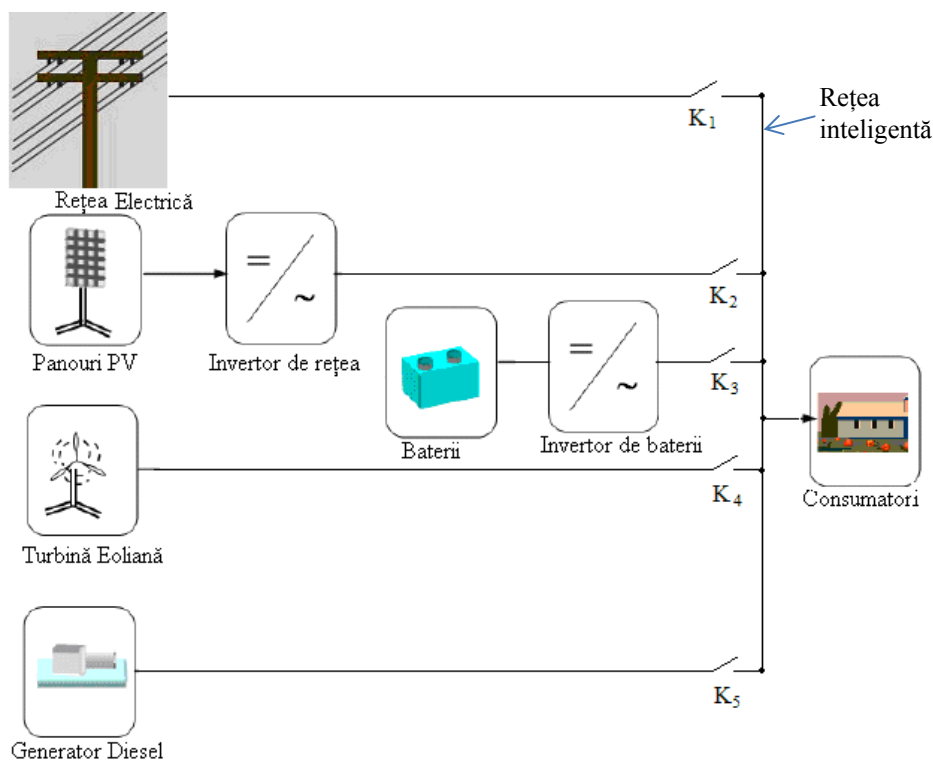


Fig. 7. Schema de principiu a sistemului hibrid de producere a energiei electrice.



Fig. 8. Sistemul hibrid de producere a energiei electrice din surse regenerabile: a) panouri fotovoltaice; b) turbină eoliană; c) generator diesel; d) invertor de rețea; e) banc de baterii și invertor de baterii; f) tablou electric; 1- contactoare pentru conectarea surselor de energie (K1 și K2); 2- elemente de protecție; 3-lămpi de semnalizare stare surse de energie; 4- riglete de conexiuni.

Principiul de comandă a celor două contactoare constă în evaluarea energiei stocată în bancul de baterii. Tensiunea de comandă este 48Vcc, tensiunea furnizată de baterii.

În cazul în care starea de încărcare a bateriilor este sub 40%, contactorul K₂ decuplează sursele rege-

nerabile de energie de la rețeaua inteligentă. Sursele regenerabile de energie (panourile fotovoltaice și generatorul eolian), în acest caz, încarcă bateriile.

În acest moment contactorul K₁ conectează rețeaua electrică la rețeaua inteligentă, care, alimentează consumatorii.

SOLUȚII PENTRU UN ORAȘ INTELIGENT

În cazul în care starea de încărcare a bateriei este peste 80%, iar sursele de energie regenerabile produc energie, contactorul K_2 este reconectat și K_1 este deconectat.

În cazul în care sursele regenerabile și rețeaua principală nu sunt disponibile, generatorul diesel se conectează automat la rețeaua inteligentă.

Atunci când rețeaua principală și sursele regenerabile de energie sunt disponibile, generatorul diesel este deconectat automat.

Echipamentele inteligente care asigură funcționarea automată a sistemului hibrid sunt cele două invertoare (invertorul de rețea, respectiv invertorul de baterii). Acestea fac parte din gama profesională oferită de firma SMA Technology, Germania [12] și pot fi utilizate pentru aplicații casnice și rezidențiale.

Urmărirea funcționării echipamentelor se face cu un sistem de monitorizare locală, dar și la distanță, via Internet. Sistemul de monitorizare la distanță Sunny Webbox achiziționează date în timp real de la următoarele echipamente din componența sistemului fotovoltaic: de la senzorii de irradiație, temperatura mediului ambiant, temperatura panourilor fotovoltaice, respectiv viteza vântului; de la invertorul de rețea; de la invertorul de baterii.

Sunny WebBox oferă operatorului toate datele înregistrate printr-o conexiune la Internet. Software-ul de prezentare Flashview și site-ul Portal Sunny poate fi folosit pentru a edita datele sau afișa grafic datele stocate. Ambele programe de prezentare sunt disponibile gratuit [12]. Acest lucru înseamnă că operatorii pot vedea randamentele atât în rețeaua locală și prin intermediul Internetului în orice moment, folosind Flashview și Sunny Portal.

În figurile 9...12 sunt prezentate capturi de ecran cu privire la parametrii monitorizați enumerați mai sus.

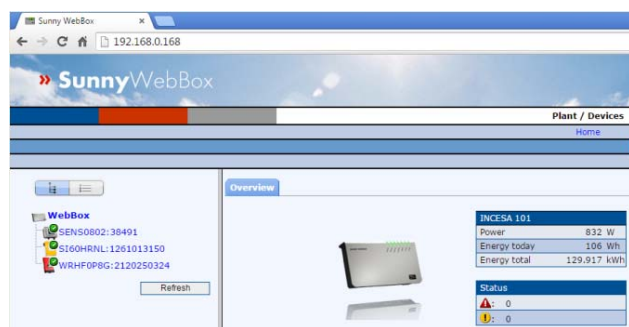


Fig. 9. Puterea instantanee și energia produsă de sistemul fotovoltaic..



Fig. 10. Parametrii de intrare ai sistemului PV măsurăți de senzori.



Fig. 11. Parametrii de ieșire ai invertorului de rețea.



Fig. 12. Parametrii invertorului de baterii.

O altă facilitate oferită de interfața software este faptul că se pot descărca datele monitorizate pe o perioadă mai lungă de timp. Aceste date sunt stocate pe un SD Card.

În figurile 13...15 sunt prezentate câteva grafice reprezentative din datele descărcate pe perioada unei zile. Datele se descarcă în format *CSV care se pot importa cu ușurință cu ajutorul programul Excel și apoi prelucrate în forma dorită.

Graficele (fig.13-fig.15) surprind evoluția parametrilor sistemului fotovoltaic pe durata unei zile, dar pot fi trasate și pe o durată mai lungă de timp (zile, luni, ani). Cu ajutorul graficelor pot fi elaborate prognoze, statistici, diagnoze, proiectare-dimensionare de sisteme și echipamente bazate pe energii regenerabile.

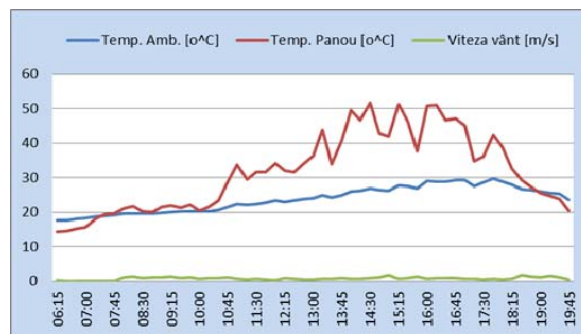


Fig. 13. Graficele temperaturii ambiante, temperaturii panourilor PV, respectiv vitezei vântului din data de 17.06.2015.

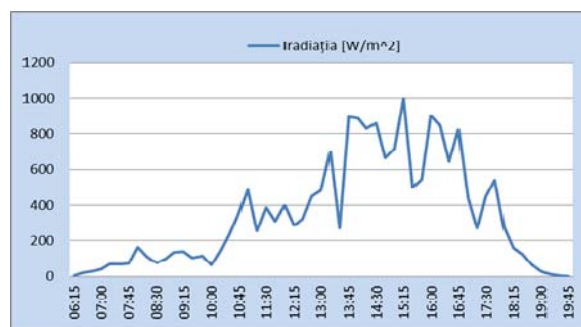


Fig. 14. Graficul irradiației solare din data de 17.06.2015.

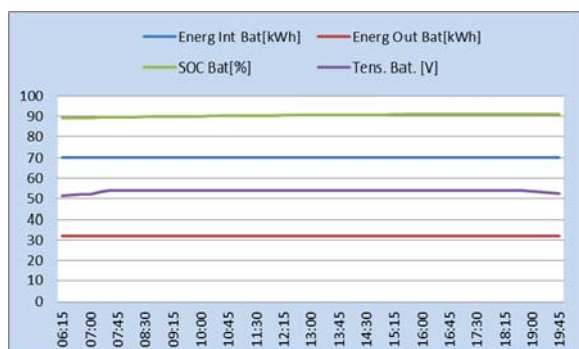


Fig. 15. Parametrii bancului de baterii, monitorizați în data de 17.06.2015.

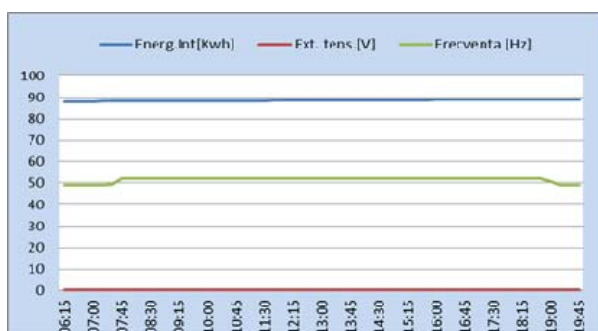


Fig. 16. Parametrii invertorului de rețea, monitorizați în data de 17.06.2015.

4. CONCLUZII

Aplicațiile tipice cu panouri PV, prezentate în lucrare, pot fi considerate referințe pentru primăriile și factorii locali implicați în dezvoltarea orașelor inteligente din România.

Integrarea surselor regenerabile de energie în rețele inteligente constituie o problemă actuală și de perspectivă pentru dezvoltarea orașelor inteligente.

Rețelele inteligente ale viitorului trebuie să fie flexibile, eficiente și fiabile și să asigure siguranța

aprovizionării cu energie. Acestea trebuie să fie capabile de auto diagnoză și de a asigura restabilirea rapidă a puterii în sistem.

Studiul de caz realizat pentru Infrastructura de Cercetare în Științe Aplicate INCESA, din cadrul Universității din Craiova, este un model de sistem distribuit de energie electrică bazat pe surse regenerabile, aplicabil pentru un ansamblu rezidențial.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Alboteanu, L., Manolea, G. *Monitoring and Management of Energy in a Stand Alone Photovoltaic System*, Advances in Environment Technologies, Agriculture, Food and Animal Science, 2013, ISBN: 978-1-61804-196-8, pp. 107-111.
- [2] Alboteanu, L., *Sisteme fotovoltaice autonome performante*. Editura Universitaria Craiova, România, 2013.
- [3] Alboteanu, L., Manolea, G., Ivanov, S., *Management of Renewable Energy Sources Integrated in a Micro Smart Grid*. Analele Universității din Craiova. Seria Inginerie electrică, **Numărul 39**, 2015, Craiova, România.
- [4] Eremia, M., Toma, L., Bulac, C., Triștiu, I., "Smart Grids", WEC Regional Forum FOREN2008, Neptun, Romania, 16-19 June, 2008.
- [5] Eremia, M., Toma, L., *Către orașele inteligente ale viitorului – „Smart Cities”*. Buletinul AGIR, **Numărul 2**, 2013, București, România.
- [6] Marzband, M., Sumper, A., Chindris, M., Tomoioga, B., *Energy management system of hybrid microgrid with energy storage*, Buletinul AGIR, **Numărul 3**, 2012, București, România.
- [7] Pavan Kumar, Y., Bhimasingu, R., *Renewable energy based microgrid system sizing and energy management for green buildings*. Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, Volume 3, Issue 1, 2015.
- [8] *** "Smart Grids", Strategic Deployment Document for Europe's Electricity Networks of the Future. European Technology Platform, April. 2010.
- [9] *** <http://www.odmotoring.com/>
- [10] *** http://www.hyenergy.com.cn/a/English/Solar_Street_Lighting_System/
- [11] *** <https://www.reynaers.ro/ro-RO/sisteme-de-panouri-fotovoltaice-integrate-cladire-bipv>
- [12] *** <http://www.sma.de>.

Despre autori

Șef. lucr. dr. ing. **Laurențiu ALBOTEANU**
Universitatea din Craiova, România

Absolvent al Universității din Craiova, Facultatea de Electromecanică – 2004; doctor inginer din anul 2009; în prezent cadru didactic la Universitatea din Craiova, Facultatea de Inginerie Electrică. Domenii de competență: sisteme fotovoltaice, hidraulică și climatizare, sisteme automate de acționare.

Prof. dr. ing. **Gheorghe MANOLEA**
Universitatea din Craiova, România

Absolvent al Universității din Petroșani – 1970, doctor inginer din anul 1981, profesor la Universitatea din Craiova; (Inginerie electrică). Conducător de doctorat în domeniul „Inginerie electrică”. Director al Centrului de Inovare și Transfer Tehnologic. Domenii de competență: sisteme automate de acționare electromecanică, transfer tehnologic; proprietate industrială.