

## STUDIUL IMPACTULUI SISTEMELOR SOLARE ASUPRA MEDIULUI

Visarion-Cătălin IFRIM

Departamentul de Electrotehnică, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor,  
Universitatea "Ștefan cel Mare", Suceava, România

Autorul corespondent: Visarion-Cătălin IFRIM, [ifrim.visarion@usm.ro](mailto:ifrim.visarion@usm.ro)

**Rezumat.** Cererea ascendentă de sisteme care utilizează ca și sursă de energie primară radiația solară și aduc beneficii semnificative forțează, dacă putem spune așa, direcția cercetărilor, dezvoltatorilor și producătorilor spre îmbunătățirea tehnologiilor existente sau spre dezvoltarea unor tehnologii noi. Aceste tehnologii vin cu provocări noi în ceea ce privește scoaterea pe piață a unui produs revoluționar, deoarece implică prelucrarea și utilizarea unor metale rare sau dezvoltarea de noi materiale, care la rândul lor implică costuri suplimentare și efecte asupra mediului neștiute încă. Această lucrare prezintă o analiză generală asupra impactului sistemelor solare asupra mediului înconjurător. Impactul asupra mediului în domeniul sistemelor solare pleacă de la cercetare și proiectare care implică costuri, producere care implică materiale rare și materiale vitale, funcționarea și scoaterea din funcțiune cu implicații directe asupra mediului înconjurător. Dintre efectele negative amintim: efectul de seră, afectarea stratului de ozon, acidificarea, poluarea cu metalele grele și agenții cancerigeni, afectarea zonelor împădurite și a zonelor agricole, smog și deșeuri nereciclabile. De asemenea lucrarea prezintă oferă soluții tehnice și ecologice de minimizare a impactului negativ produs de sistemele solare cu implicații în stadiile de producere respectiv eliminare.

**Cuvinte cheie:** sisteme solare, impact, efecte, minimizarea impactului, reciclare

### Introducere

Sistemele solare au fost considerate o perioadă lungă de timp tehnologii care oferă energie gratuită, regenerabilă, curată, sustenabilă și nu în ultimul rând o energie fără impact negativ asupra mediului înconjurător. Sistemele solare de energie: sisteme fotovoltaice cu celule solare, sisteme solare de încălzire cu aer cald, sisteme solare de încălzire a apei calde cu tuburi vidate, concentratoare solare termale (CSP), participă din ce în ce mai mult la dezvoltarea activităților umane. Deși oferă beneficii semnificative față de sursele de energie convenționale, sistemele solare pot avea și consecințe negative asupra mediului înconjurător. Din acest motiv unii investitori sunt încă reticenți atunci când vine vorba de instalarea unor sisteme solare [1].

Impactul sistemelor solare se regăsește în: poluarea aerului, utilizarea unor cantități mari de apă, poluarea vizuală, ocuparea unor suprafețe de teren, consecințe negative asupra florei și faunei din zonele ocupate cu sisteme și utilizarea unor materiale și substanțe chimice neprietenoase cu mediul [2].

### Poluarea aerului

Sistemele solare contribuie la eliminarea numeroaselor probleme create de utilizarea combustibililor fosili pentru producerea energiei. De exemplu, prin producerea unui kWh din sisteme solare se evită poluarea cu 0.53 Kg emisii de CO<sub>2</sub> din surse convenționale [3]. În timpul funcționării sistemele solare emit zero emisii de metan (CH<sub>4</sub>), dioxid de carbon (CO<sub>2</sub>), oxizi de sulf (SOX) sau oxizi de nitrogen (NOX) și au efecte neglijabile asupra încălzirii globale și a poluării aerului. Totuși, aceste afirmații sunt valabile pentru perioada de funcționare și nu includ ciclul de viață complet al sistemelor solare. Pentru o evaluare completă a efectului asupra mediului înconjurător al sistemelor solare trebuie considerate emisiile de la producere, transport, instalare, funcționare până la eliminarea sau dezafectarea lor [2].

Emisiile rezultate în urma producerii sistemelor solare sunt atribuite fabricării oțelului și aluminiului utilizat pentru rame, producției de sticlă și reducerii nisipului de silicat în siliciu utilizat

pentru celulele de siliciu. De asemenea, amplitudinea poluării este strâns legată de tipul de combustibil utilizat la prelucrarea materialelor. Spre exemplu, emisiile de Kg CO<sub>2</sub> pe kWp rezultate în etapa de producere a celulelor fotovoltaice mono-cristaline au fost de 2186 Kg/kWp, reprezentând 93.7 procente din totalul emisiilor cu efect de seră. Restul emisiilor sunt atribuite astfel: pentru transport 0.9%, pentru funcționare 3.5% și pentru dezafectare 1.9% [4].

### Utilizarea apei

Consumul de apă este critic în special pentru țările care duc lipsă de apă, cum sunt Arabia Saudită, Libia, Iordan și Singapore. Pentru locațiile cu deficit de apă se impune utilizarea unor sisteme de consum și tratament a apei, durabile și eficiente. În timpul producerii sistemelor solare consumul de apă este considerabil mai mare față de consumul de apă utilizat în timpul funcționării sistemelor. Procesul de producere a sistemelor include procesarea mineralelor, extragere, purificare și gravare chimică [2]. De exemplu: consumul de apă în timpul producerii celulelor de siliciu este de 180 kg/Kg iar consumul de apă pentru conversia în celule multe-cristaline este de aproape 470 Kg/Kg, rezultând pentru fiecare kWp un necesar de apă între 3.7 și 5.2 tone [5]. Fără îndoială la un consum atât de mare de apă și la reziduurile rezultate în apă după procesul de fabricație se impune tratarea apei și reutilizarea acesteia [2]. Pentru tratarea apei se realizează următoarele etape: etape biologice, absorbție, oxidare avansată [6], coagulare și separare cu ajutorul unor membrane [7]. S-a demonstrat prin studii că sistemele solare au cea mai mică amprentă în utilizarea apei comparate cu alte tehnologii, consumul de apă este dependent de zona geografică și variază de la o locație la alta. Se observă consumul de apă în funcție de tehnologie în Tab. 1 [8].

Tabelul 1.

Consumul mediu de apă într-un ciclu de viață pentru tehnologiile de producere a energiei [8]

Tehnologia de producere a energiei electrice	Consumul mediu de apă (L/MWh)
Biomasă	85100
Hydroenergia	4961
Petrol	3220
Nuclear	2290
Cărbune	2220
Concentratoare solare (CSP)	1250
Geotermal	1022
Gaz natural	596
Fotovoltaice	330
Eolian	43

### Suprafața de teren ocupată

Tipul terenului și distribuția potrivită sunt importante pentru o utilizare eficientă a sistemelor fotovoltaice și pentru evitarea competiției cu alte activități importante cum ar fi agricultura [2]. Terenurile propice dezvoltării agriculturii au scăzut cantitatea de energie solară care ar putea fi utilizată pentru a produce energie regenerabilă. Studiile recente au arătat faptul că sistemele fotovoltaice și sistemele solare concentrate (CSP) ocupă cel mai mult teren în comparație cu alte tehnologii de producere a energiei electrice [9]. Terenul total utilizat pentru sistemul solar este reprezentat de tot terenul aflat în limitele amplasamentului proiectului iar terenul direct utilizat este terenul ocupat de toate infrastructurile fizice: rețeaua de panouri solare, clădirile cu instalații și drumurile de acces [2].

Pentru a evita ocuparea suprafețelor de teren se pot utiliza și sisteme fotovoltaice plutitoare (FPV). Sistemele sunt construite pe structuri care plutesc pe apă cu avantajul producerii unei cantități mai mari de energie datorită unei răcirii continue cauzată de evaporarea apei din spatele panourilor. Astfel sistemele utilizate sunt eficiente și au randament ridicat. Utilizarea sistemelor solare pe ape previne evaporarea apei. De exemplu: canalul Gujarat din India a fost acoperit cu panouri solare plutitoare cu putere de 1 MW, reducându-se astfel evaporarea apei cu aproape 9000 de metri cubi [10].

Suprafețele necesare instalării unor sisteme fotovoltaice pot fi reduse prin utilizarea unor sisteme hibride de producere a energiei. Introducerea unui sistem hibrid eolian – fotovoltaic reduce suprafața de teren de la 1.5 ha/MW la 0.4 ha/MW [11].

Utilizarea limitată a suprafețelor și competiția cu activitățile agricole nu se aplică pentru țările unde marea majoritate a suprafețelor sunt ocupate de deșert. Deșertul și suprafețele sterpe sunt locul ideal pentru amplasarea unor mega sisteme fotovoltaice [2].

### **Poluarea vizuală**

Impactul estetic al sistemelor solare este evident o problemă ce ține de preferințele și gusturile individuale deși sistemele solare plate sunt construite în așa manieră încât să se potrivească arhitecturii acoperișurilor deja existente și să aducă o mică strălucire acestuia. Echipamentele moderne permit producătorilor de sisteme solare integrarea cu ușurință în zonele rezidențiale într-o manieră estetică și plăcută [12].

Impactul vizual depinde de schema utilizată, de tipul panoului solar utilizat și de împrejurimile locului de dispunere. Este evident că montarea unor sisteme solare în zonele cu frumusețe naturală duce la un impact vizual semnificativ de negativ. De asemenea, montarea sistemelor pe fațadele clădirilor rezidențiale sau culturale poate avea un impact vizual pozitiv dacă soluțiile arhitecturale integrează estetica clădirilor cu structura sistemelor solare [12].

Progresele în dezvoltarea sistemelor solare montate pe fațade, efectele estetice și funcțiile practice, oferă un stimul important expresiei arhitecturale.

### **Flora, fauna și habitatul**

Impactul asupra ecosistemelor de origine vegetală și animală reprezintă un obstacol major pentru primirea autorizărilor de construire a centralelor solare. Unele proiecte aflate în SV Statelor Unite ale Americii, deși construite în zone deșertice, creează controverse în ce privește perturbarea vieții sălbatice și a habitatului. Discuții recente asupra impactului sistemelor solare în aceste zone estimează eforturi extinse pentru atenuarea efectelor negative produse de acestea [13].

Majoritatea impactelor asupra vieții sălbatice au loc datorită ocupării și închiderii cu gard de protecție a suprafețelor, limitând astfel accesul animalelor. Habitatul prezent în zonă se schimbă semnificativ. Locurile ascunse de vânătoare, strategiile de vânătoare și disponibilitatea hranei vor fi afectate într-o măsură mai mare sau mai mică în funcție de complexitatea sistemului solar construit. Solul prezent este curățat la zero în timpul construcției și stropit cu ierbicide, în timp ce în unele cazuri vegetația este lăsată să crească dar curățată pentru a nu afecta producția sistemelor solare [14]. În orice caz are loc o alterare a vegetației prezente. Inclusiv sistemele montate la sol pot schimba microclimate datorită umbririi cu efecte încă nestudiate asupra vegetației.

### **Utilizarea materialelor periculoase de la producere până la casare/reciclare**

Fabricarea celulelor solare implică utilizarea unor materiale periculoase pentru extracția celulelor, gravarea semiconducătorilor și curățarea suprafețelor. Materialele utilizate în timpul producției de celule solare sunt: Cupru (Cu), Siliciu (Si), Seleniu (Se), Cadmiu (Cd), Telurid (Te) și Galiu (Ga). Aceste materiale trec la rândul lor prin procese precum extragerea din mine și purificarea. De exemplu Cadmiu se recuperează din procesarea Zincului și a Plumbului cu o puritate de 95%; prin oxidare, leșiere, precipitare și electroextracție se concentrează la o puritate de 99.99%; pentru a atinge puritatea de 99.999% necesară pentru CdTe este distilat în vid. De asemenea teluridul (Te) este un produs secundar obținut din procesarea minereurilor ce conțin Plumb, Cupru și Aur [15]. Teluridul este un metal rar, care poate pune capăt celulelor solare CdTe, dacă nu este recuperat prin reciclarea celulelor [2].

Numeroase substanțe chimice și solvenți sunt utilizați în cantități considerabile pentru procese de separare, extragere, purificare, producere și curățare a diferitelor tipuri de celule solare. Substanțele chimice utilizate în aceste procese sunt: amoniac, hidrogen, acid selenhidric, acid clorhidric, acid azotic și alcool izopropilic. Multe dintre substanțele utilizate în procesele celulelor solare trebuie manipulate cu grijă deoarece sunt inflamabile, corozive, cancerigene sau toxice. Cantitatea de emisii în mediu a acestor gaze toxice și substanțe chimice variază în funcție de celulele solare produse [2].

### Stocarea energiei electrice în baterii

Studiile privind impactul și emisiile sistemelor de stocare a energiei electrice sunt relativ recente datorită interesului în creștere a industriei și a factorilor decizionali pe măsură ce costurile acumulatorilor sunt în scădere. Studiile recente sugerează faptul că sistemele de stocare a energiei conectate la rețea tind să crească emisiile de CO<sub>2</sub> din sectorul energetic [16].

Fabricarea bateriilor utilizare în sistemele solare de producere a energiei electrice necesită cantități consistente de metale și nemetale. Metalele utilizate la fabricarea bateriilor sunt: Plumb (Pb), Argint (Ag), Crom (Cr), Aluminiu (Al), Cupru (Cu), Litiu (Li), Fier (Fe), Siliciu (Si), Indiu (In), Ceriu (Ce), Antimoniu (Sb), Zinc (Zn), Nichel (Ni), Mercur (Hg), Cobalt (Co), Cadmiu (Cd), Mangan (Mn), Vanadiu (V), Staniu (Sn), Titan (Ti) și Potasiu (K). Materialele nemetalice utilizate sunt: Brom (Br), Carbon (C), Germaniu (Ge), Fluor (F), Sulf (S) și Clor (Cl) [17].

### Concluzii

Reducerea amprentei de carbon a sistemelor solare asupra mediului înconjurător poate fi realizată prin adoptarea în fazele de proiectare și implementare a unor practici menite să îmbunătățească performanțele și să reducă emisiile totale. Pentru a atinge niveluri scăzute de emisii se pot lua în considerare acțiunile: creșterea capacității panourilor solare utilizate la realizarea sistemului, creșterea duratei de viață prin îngrijirea panourilor, evitarea montării la sol prin sisteme supraetajate sau montare pe suprafețe inutile, utilizarea sistemelor hibride de producere a energiei electrice.

Următoarele recomandări pot fi adoptate pentru a face industria energiei solare mai prietenoasă cu mediul înconjurător [18]:

- Reducerea și eliminarea materialelor riscante utilizate în procesele chimice ale materialelor semiconductoare;
- Creșterea perioadei de funcționare a sistemelor pentru reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub>;
- Îmbunătățirea eficienței panourilor solare pentru a ocupa suprafețe de teren cât mai mici;
- Pentru evitarea interpunerii cu agricultura centralele solare pot fi construite pe clădiri industriale, centre comerciale și în zone deșertice.
- Analiză eficientă a impactului sistemelor solare în diferite medii locuite;
- Studiu pentru identificarea unor semiconductoare și substanțe chimice cu impact redus asupra mediului;
- Respectarea unor reguli stricte în timpul producției pentru protejarea personalului;
- Tratarea chimică a deșeurilor înainte de aruncarea în ape, pentru protejarea vieții acvatice;
- Producerea unor module ușor de dezamblat, pentru a reduce costurile de reciclare;
- Dezvoltarea unor substanțe pe bază de apă pentru curățarea panourilor;
- Utilizarea unor baterii cu protoni, care în momentul de față sunt un domeniu nou, neexplorat [19];
- Utilizarea panourilor solare transparente [20].

### Referințe

1. TSOUTSOS, T.; FRANTZESKAKI, N.; GEKAS, V.; *Environmental Impacts from The Solar Energy Technologies*, Energy Policy, 33 (3), 2005, Pp. 289-296, SSN 0301-4215, [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00241-6).
2. TAWALBEH, M.; AL-OTHMAN, A.; KAFIAH, F.; ABDELSALAM, E.; ALMOMANI, F.; ALKASRAWI, M.; *Environmental Impacts of Solar Photovoltaic Systems: A Critical Review of Recent Progress and Future Outlook*, Science of the Total Environment, 759, 2021, 143528, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143528>.
3. CHENG, J.; YEH, C.; TU, C.; *Trust and Knowledge Sharing in Green Supply Chains*, Supply Chain Management, 2008, 13 (4), Pp. 283–295, <https://doi.org/10.1108/13598540810882170>.
4. CUCCHIELLA, F.; DADAMO, I.; *Estimation of The Energetic and Environmental Impacts of a Roof-Mounted Building-Integrated Photovoltaic Systems*, 2012, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16 (7), 5245–5259, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.034>.

5. YANG, D.; LIU, J.; YANG, J. and DING, N.; *Life-Cycle Assessment of China's Multi-crystalline Silicon Photovoltaic Modules Considering International Trade*, 2015, Journal of Cleaner Production, 94, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.003>.
6. ALMOMANI, F.; AL KETIFE, A.; JUDD, S.; SHURAIR, M.; BHOSALE, R.; ZNAD, H.; TAWALBEH, M.; *Impact of CO2 Concentration and Ambient Conditions on Microalgal Growth and Nutrient Removal from Wastewater by A Photobioreactor*, Science of The Total Environment, 662, 2019, Pp. 662-671, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.144>.
7. TAWALBEH, M.; AL MOJJLY, A.; AL-OTHMAN, A.; HILAL, N.; *Membrane Separation as A Pre-Treatment Process for Oily Saline Water, Desalination*, 447, 2018, Pp. 182-202, ISSN 0011-9164, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2018.07.029>.
8. JIN, Y.; BEHRENS, P.; TUKKER, A.; SCHERER, L.; *Water Use of Electricity Technologies: A Global Meta-Analysis*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 115, 2019, 109391, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109391>.
9. PEARLMUTTER, D.; THEOCHARI, D.; NEHLS, T.; PINHO, P.; PIRO, P.; KOROLOVA, A.; PAPAETHIMIOU, S.; MATEO, M. C. G.; CALHEIROS, C.; ZLUWA, I.; PITHA, U.; SCHOSSELER, P.; YAAKOV, F.; OUANNOU, S.; GAL, E.; AICHER, A.; ARNOLD, K.; IGONDOVÁ, E.; PUCHER, B.; *Enhancing The Circular Economy With Nature-Based Solutions In The Built Urban Environment: Green Building Materials, Systems And Sites*, Blue-Green Systems, 1 January 2020, 2 (1): 46–72, <https://doi.org/10.2166/bgs.2019.928>.
10. SANTAFÉ, Miguel Redón; GISBERT, Pablo S. Ferrer; ROMERO, Francisco Javier Sánchez; SOLER, Juan Bautista Torregrosa; GOZÁLVEZ, José Javier Ferrán; GISBERT, Carlos M. Ferrer; *Implementation of A Photovoltaic Floating Cover for Irrigation Reservoirs*, Journal of Cleaner Production, 66, 2014, Pages 568-570, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.11.006>.
11. AL-AJMI, M. S.; MUSTAPHA, F.; YUNUS, N. A. M.; HALIN, I. A.; *A True Hybrid Solar Wind Turbine Electric Generator System for Smaller Hybrid Renewable Energy Power Plants*, In MATEC Web of Conferences, 2018, 215, p. 01015, EDP Sciences, <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821501015>.
12. TSOUTSOS, T.; FRANTZESKAKI, N.; GEKAS, V.; *Environmental Impacts from The Solar Energy Technologies*, Energy Policy, 33(3), 2005, Pages 289-296, ISSN 0301-4215, [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(03\)00241-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(03)00241-6).
13. US-BLM; *Final Staff Assessment and Draft Environmental Impact Statement and Draft California Desert Conservation Area Plan Amendment: Ivanpah Solar Electric Generating System*, Sacramento, CA, U.S. BLM, California-Energy-Commission, [online]. 2009, [accesat 2.22.2022]. Disponibil: [https://eplanning.blm.gov/public\\_projects/nepa/65894/79903/92668/Supplemental-DEIS-IvanpahSolar.pdf](https://eplanning.blm.gov/public_projects/nepa/65894/79903/92668/Supplemental-DEIS-IvanpahSolar.pdf).
14. US-BLM, US-DOE; *Final Programmatic Environmental Impact Statement for Solar Energy Development in Six Southwestern States*, 2010, 1 (1-7), Pp. 14-16, [online]. [accesat 2.22.2022]. Disponibil: [https://www.energy.gov/sites/default/files/EIS-0403-FEIS-Volume1-2012\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/default/files/EIS-0403-FEIS-Volume1-2012_0.pdf).
15. FTHENAKIS, V.; WANG, W.; KIM, H. C.; *Life Cycle Inventory Analysis of The Production of Metals Used in Photovoltaics*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13 (3), 2009, Pages 493-517, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.11.012>.
16. BISTLINE, E.T.; YOUNG, T.; *Emissions impacts of future battery storage deployment on regional power systems*, Applied Energy, 264, 2020, 114678, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114678>.
17. DEHGHANI-SANIJ, A.R.; THARUMALINGAM, E.; DUSSEAULT, M.B.; FRASER, R.; *Study of energy storage systems and environmental challenges of batteries*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 104, 2019, Pages 192-208, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.023>.
18. AMAN, M.M.; SOLANGI, K.H.; HOSSAIN, M.S.; BADARUDIN, A.; JASMON, G.B.; MOKHLIS, H.; BAKAR, A.H.A.; KAZI, S.N.; *A review of Safety, Health and Environmental (SHE) issues of solar energy system*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 2015, Pages 1190-1204, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.086>.
19. FUTURISM; *What's A Proton Battery? Three Things You Need to Know*, No, it's not from Star Trek, [online]. [accesat 2.22.2022]. Disponibil: <https://futurism.com/proton-battery>.
20. SOLAR, Magazine; *Transparent Solar Panels: Reforming Future Energy Supply*, Feb. 2020, [online]. [accesat 2.22.2022]. Disponibil: <https://solarmagazine.com/solar-panels/transparent-solar-panels/>.