

**MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII  
AL REPUBLICII MOLDOVA**

**Universitatea Tehnică a Moldovei  
Facultatea Energetică și Inginerie Electrică  
Departamentul Energetică**

**Admis la susținere**

**Șef departament:**

**HLUSOV Viorica, conf. univ., dr.**

**” \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2022**

# **Optimizarea consumului de energie a întreprinderilor în baza implementării principiului de cogenerare/trigenerare în baza panourilor fotovoltaice**

**Student:** \_\_\_\_\_ **CHIRIȚA Alexandru,**  
gr. EE-20M

**Conducător:** \_\_\_\_\_ **TÎRȘU Mihai,**  
conf. cercet., dr.

**Chișinău, 2021**

## ADNOTARE

**Autor** – CHIRIȚA Alxenadru. **Titlul** – *Optimizarea consumului de energie a întreprinderilor în baza implementării principiului de cogenerare/trigenerare în baza panourilor fotovoltaice.*

**Structura lucrării:** lucrarea conține o introducere, trei capitole, concluzii, bibliografie din 43 titluri inclusiv și link-uri utilizate, 64 pagini, 47 figuri, 3 tabele.

**Cuvinte-cheie:** photovoltaic panels, thermal conversion, electrical conversion, hybrid photovoltaic panels PVT.

**Problematika studiului:** determinarea sistemelor ce țin de îmbunătățirea eficienței energetice și optimizarea consumului de energie electrică.

**Obiectivele studiului:** minimizarea consumului de energie, creșterea randamentului panourilor fotovoltaice hibride PVT, dezvoltarea și implementării principiului de cogenerare/trigenerare în baza panourilor fotovoltaice.

**Rezultate obținute:** în urma studiului s-a demonstrat posibilitatea creșterii eficienței energetice prin implementarea principiului de cogenerare/trigenerare în baza panourilor fotovoltaice și a diferitor metode de acest tip.

## ABSTRACT

**Author** – CHIRIȚA Alexandru. **Title** – *Enterprises energy consumption optimization based on the implementation of cogeneration / trigeneration principle based on photovoltaic panels*

**Thesis structure:** the paper contains an introduction, three chapters, conclusions, bibliography of 43 titles and links used, 66 pages, 47 figures, 4 table.

**Keywords:** photovoltaic panels, thermal conversion, electrical conversion, hybrid photovoltaic panels PVT.

**Study issues:** determining the systems related to improving energy efficiency and optimizing electricity consumption.

**The study's objectives:** minimizing energy consumption, increasing the efficiency of PVT hybrid photovoltaic panels, developing and implementing the principle of cogeneration / trigeneration based on photovoltaic panels.

**Result obtained:** The study demonstrated the possibility of increasing energy efficiency by implementing the principle of cogeneration / trigeneration based on photovoltaic panels and various such methods.

## CUPRINS

Pag.

<b>INTRODUCERE</b> .....	8
<b>1. CONVERSIA ENERGIEI SOLARE IN ENERGIE TERMICA</b> .....	12
1.1. Generalități.....	12
1.2. Conversia energiei solare în energie termică, sisteme solare active și pasive.....	12
1.3. Suprafețe selective.....	15
1.4. Colectoare plane.....	16
1.5. Colectoare cu tuburi vidate.....	18
<b>2. CONVERSIA ENERGIEI SOLARE IN ENERGIE ELECTRICA, CELULELE FOTOVOLTAICE</b> .....	22
2.1. Generalități.....	22
2.2. Celula fotovoltaica.....	24
2.3. Principiul de functionare.....	24
2.4. Materialele utilizate și eficiența celulelor fotovoltaice.....	27
2.5. Caracterizarea electrică a celulei solare.....	30
2.6. Elemente de eficiență a sistemelor fotovoltaice.....	36
2.7. Influența factorilor externi asupra funcționării celulelor fotovoltaice.....	38
2.8. Estimarea performanțelor sistemelor fotovoltaice.....	38
<b>3. SISTEMELE FOTOVOLTAICE-TERMICE CU PANOURI HIBRIDE PVT</b> .....	41
3.1 Generalități.....	41
3.1. Principiul de funcționare al panourilor fotovoltaice – termice (PVT).....	43
3.2. Producători de panouri fotovoltaice – termice.....	46
3.3. Încălzirea solară a apei menajere cu ajutorul panourilor fotovoltaice-termice.....	49
3.4. Generarea energiei electrice și apei calde de PVT.....	53
3.5. Tri-generarea solară.....	56
3.6. Avantajele și dezavantajele competitive al răcirii adsorbție față de răcirea convențională prin compresie.....	56
3.7. Acționarea surselor de căldură pentru răcirea termică.....	58
3.8. Sistem de panouri fotovoltaice-termice cu pompă de căldură.....	59
3.9. Exemple de utilizare a modulelor PVT în diverse sectoare economice.....	64
3.10. Dependența implementării PVT față de poziția geografică și climă.....	66
3.11. Progresul și oportunitățile PVT.....	67
3.12. Problema deșeurilor PV și prezentarea a unei soluții de rezolvare.....	69
3.13. Avantajele și dezavantajele sistemelor fotovoltaice – termice hibride.....	70
3.14. Avantajele sistemelor PVT hibride.....	70
3.15. Dezavantajele sistemelor PVT hibride.....	70
<b>CONCLUZII</b> .....	71
<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	73

## INTRODUCERE

Republica Moldova depinde în proporție mare de resursele energetice importate, prin urmare, are nevoie stringentă de resurse de energie regenerabilă pe care să le utilizeze mai intens. Într-o țară în care trei sferturi din necesitățile energetice sunt acoperite din import, implementarea consecventă a unei strategii de valorificare a energiei regenerabile are o importanță semnificativă pentru securitatea energetică a Republicii Moldova.

Domeniul energiei electrice Republicii Moldova (cu excepția regiunii transnistrene) își asigură necesitățile de energie electrică în proporție de 30% din surse interne, restul 70% fiind importate. Sursele interne pe malul drept al Nistrului sunt centrale raionale și industriale, care dispun de o capacitate de cca 443,5 MW, fiind vorba despre Centrale electrice cu termoficare (CET) 1, 2 și Nord (330 MW, zece centrale electrice cu termoficare ale fabricilor de zahăr (97,5 MW) și Centrala Hidroelectrică de la Costești (16 MW). Pe malul stâng al Nistrului infrastructura energiei electrice este constituită din Centrala Electrică Raională de Stat Moldovenească (2500 MW) (care lucrează în baza gazului natural, petrolului și păcurii) și Centrala Hidroelectrică de la Dubăsari (48 MW) (care lucrează în baza energiei apelor Nistrului).

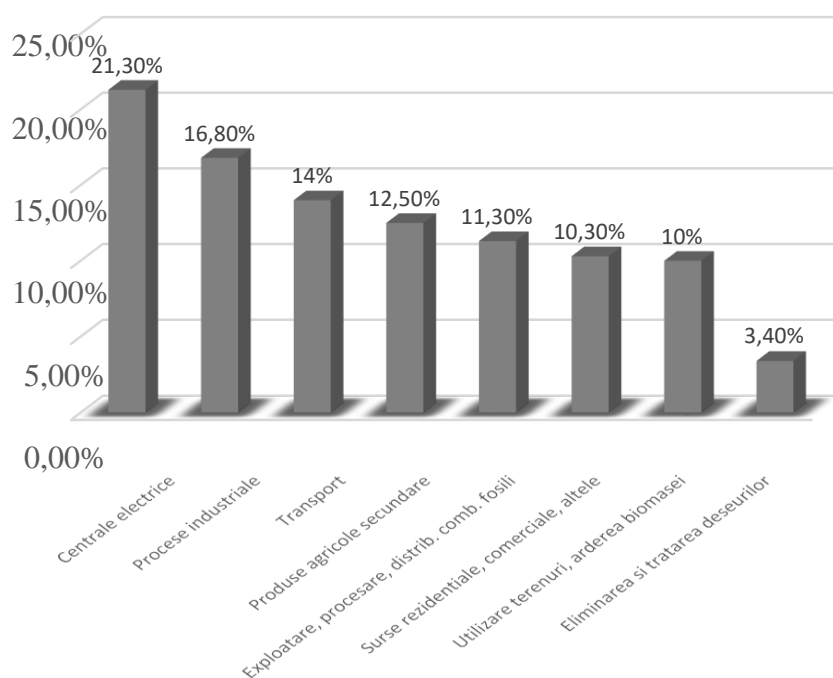
Prin urmare, pilonii și vectorii principali ai politicilor energetice naționale sunt acum orientarea spre îmbunătățirea securității energetice și securitatea în alimentarea cu energie, reducerea emisiilor de CO<sub>2</sub> și dezvoltarea durabilă a economiei. În contextul acestui rol fundamental pentru energia regenerabilă în tranziția spre o economie mai competitivă și spre asigurarea unui sistem energetic mai sigur și mai durabil, Ministerul Economiei și Infrastructurii depune eforturi semnificative pentru a amplifica prezența energiei regenerabile în balanța energetică a țării.

Obiectivul al acestei lucrări l-a constituit cercetarea sistemelor care utilizează surse regenerabile de producere a energiei electrice prin implementarea principiului de cogenerare/trigenerare în baza panourilor fotovoltaice, pentru clădiri civile și pentru întreprinderi industriale pentru optimizarea consumului de energie electrică. S-a urmărit să se stabilească soluțiile optime, minimizând consumul de energie primară, în condițiile asigurării necesarului de energie. S-a conceput și studiat în principal sisteme care să folosească o eficiență maximă a procesului de conversie fotovoltaică a energiei.

Fotovoltaicele au fost descoperite de fizicianul francez Edmond Becquerel în anul 1839. El a făcut niște experimente cu ceea ce este cunoscut sub numele de "baterii umede" și a aflat că de tensiunea pe plăcile sale a crescut atunci când acestea au fost expuse la lumina soarelui. Deși descoperirea lui nu a fost inovatoare în domeniul fotovoltaic, acesta a pus bazele moderne pentru fotografie. O

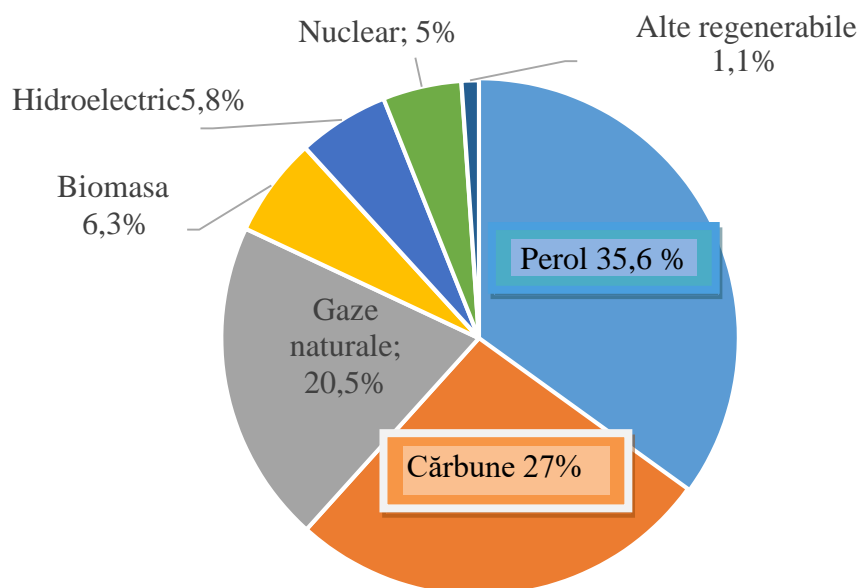
descoperire în domeniul fotovoltaic nu a venit până în anul 1950, atunci când materiale semiconductoare au devenit un domeniu popular de interes pentru ingineria electrică

Energia regenerabilă provine din resurse naturale care se reînnoiesc în mod constant în intervale de timp relativ scurte. În prezent funcționarea economiei mondiale se bazează în cea mai mare parte pe energia provenită din resurse neregenerabile (cărbune, petrol, gaze naturale). Factori precum emisiile de gaze de seră care favorizează încălzirea globală (figura 1), poluarea, ploile acide, toate datorate utilizării acestor resurse convenționale, dar și semnalele de alarmă care atrag atenția asupra faptului că petrolul – principala sursă de combustibili pentru transport – este pe cale de a se epuiza, au declanșat un proces de investiții semnificative la nivel global pentru a pune în valoare resursele regenerabile de energie. Conform ultimelor rapoarte acestea au contribuit cu aproximativ 22% la producția de energie electrică și au reprezentat 19% din consumul total de energie la nivel global (figura 2).

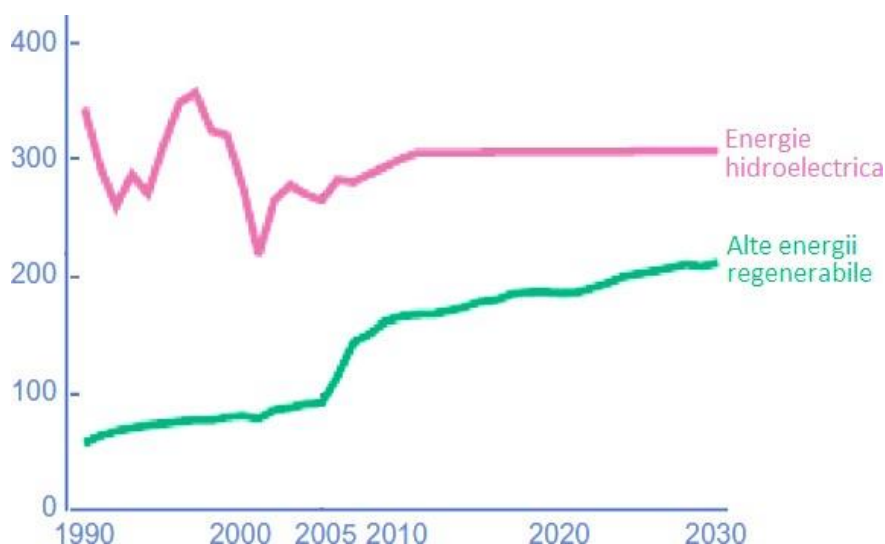


**Figura 1.1.** Emisii anuale de gaze de seră (CO<sub>2</sub>, metan, N<sub>2</sub>O) ca urmare aexploatării resurselor convenționale de energie

O presiune suplimentară asupra dezvoltării sectorului de energii regenerabile este adăugată și de creșterea continuă, prefigurată, a necesarului de energie datorită expansiunii economiei mondiale precum și ca urmare a creșterii continue a populației.



**Figura 1.2.** Repartizarea consumului global de energie, pe tipuri de surse



**Figura 1.3.** Istoricul și tendința de dezvoltare a energiei electrice din surse regenerabile până în anul 2030 (în mld. kWhs)

Sursele regenerabile sunt utilizate pentru a genera energie electrică, căldura, dar și pentru producția de combustibili pentru transport. În cele ce urmează sunt prezentate câteva exemple de conversie a resurselor/energiilor regenerabile în combustibili sau energii cu utilitate practică, cu precizarea că, datorită intensificării cercetărilor în acest domeniu, există diverse alte sisteme aflate la nivel de laborator sau în stații pilot demonstrative, cu șanse reale de preluare pe piață în viitorul apropiat.

Radiația solară poate fi folosită pentru producerea în mod direct de energie electrică cu ajutorul panourilor fotovoltaice, sau indirect prin utilizarea căldurii generate (căldura → apă → vapori → turbină → generator; motoare Stirling etc.). De asemenea, radiația solară este folosită pe scară relativ largă pentru producerea de apă caldă menajeră sau chiar industrială.

Turbinele eoliene cu ax vertical sau orizontal transformă energia cinetică a curenților de aer în mișcare (denumită energie eoliană) în energie electrică. În unele cazuri energia eoliană este folosită pentru pomparea apei din puțuri.

Cea mai comună utilizare a unei energii naturale regenerabile, fără a avea un caracter de noutate, o constituie energia cinetică a apelor curgătoare, care este transformată în energie electrică prin acționarea unor sisteme turbină-generator electric. Mai nou, sisteme similare valorifică energia mareică produsă de deplasarea apelor oceanice datorită mareelor, dar există și tehnologii aflate momentan în stadiul de cercetare sau demonstrare, care valorifică energia valurilor transformand-o în energie electrică.

În unele zone geografice cum ar fi Islanda, energia termică generată și stocată în interiorul Pamântului se află în apropierea suprafeței, ceea ce permite captarea acesteia și convertirea în energie electrică sau utilizarea ca sursă de încălzire rezidențială, pentru procese industriale, pentru desalinizarea apei sau în agricultură. Este cunoscută sub denumirea de energie geotermală.

Biomasa este reprezentată de materialele organice recente, de origine vegetală sau animală și este disponibilă sub formă de produse agricole, forestiere, diverse tipuri de deșeuri și reziduuri. Datorită abundenței acesteia, biomasa capătă o pondere este din ce în ce mai însemnată atât pentru producerea de energie termică (în general prin arderea directă sau gazeificarea unor materiale de natura vegetală), electrică, cât și pentru producerea de biocombustibili ecologici (biodiesel, bioetanol, biogaz, biobutan, bio-hidrogen etc.). Deși arderea sau conversia biomasei generează CO<sub>2</sub>, procesul este considerat neutru din punct de vedere al emisiei de gaze de seră datorită faptului că aceeași cantitate de CO<sub>2</sub> a fost absorbită de plante din atmosferă pe parcursul ciclului de viață al acestora. Se poate considera că cercetările în acest domeniu sunt încă în faza incipientă și vor continua în vederea optimizării tehnologiilor de conversie, reducerii costurilor de producție a energiilor și combustibililor regenerabili, creșterii factorului de sustenabilitate, precum și identificării și eliminării riscurilor potențiale asociate implementării acestora pe scară largă.

## BIBLIOGRAFIE

- 1 The Effect of Temperature on Photovoltaic Cell Efficiency V. Jafari Fesharaki, Majid Dehghani, J. Jafari Fesharaki, Department of Electrical Engineering, Najaf Abad Branch, Islamic Azad University, Najaf Abad, Iran. Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation - ETEC, Tehran, Tehran, Iran, 20-21 November 2011
- 2 T. Letcher, "Introduction with a Focus on Atmospheric Carbon Dioxide and Climate Change," in Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet, Elsevier Ltd., 2013, pp. 3-16
- 3 Temperature Dependent Photovoltaic (PV) Efficiency and Its Effect on PV Production in the World A Review Swapnil Dubey, Jatin Narotam Sarvaiya, Bharath Seshadri, PV Asia Pacific Conference 2012
- 4 K. Hudon, T. Merrigan, J. Burch and J. Maguire, "Low-Cost Solar Water Heating Research and Development Roadmap," 2012.
- 5 N. Brian, "Solar Energy," Thermopedia, February 2011. [Online]. Available: <http://www.thermopedia.com/content/1136/>.
- 6 M. Rahou, M. Y. Othman, S. Mat and A. Ibrahim Performance Study of a  
7 Photovoltaic Thermal System with an Oscillatory Flow Design
- 8 U.S. Photovoltaic Prices and Cost Breakdowns: Q1 2015 Benchmarks for Residential, Commercial, and Utility-Scale Systems. Technical report, September 2015
- 9 Solar Cooling Used for Solar Air Conditioning - A Clean Solution for a Big Problem  
10 Stefan Bader – 10p.
- 11 Тригенерація – источник енергосбереження в малой енергетики для аграрного производства Л. И. Морозюк, С. В. Гайдук, Б. Г. Грудка Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, г. Одесса, 65039, Украина
- 12 J. Peng and L. Lu, "Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 19, pp. 255-274, 2013.
- 13 M. de Wild-Scholten, "Renewable and Sustainable Energy Reviews," Solar Energy Materials and Solar Cells, vol. 119, pp. 296-305, 2013.



- 14 FirstSolar, "First Solar Builds the Highest Efficiency Thin Film Pv Cell on Record," First Solar, 5 August 2014. [Online]. Available: <http://investor.firstsolar.com/releasedetail.cfm?releaseid=864426>.
- 15 PVEducation, "Surface texturing," PVEducation, [Online]. Available: <http://pveducation.org/pvcdrom/design/surface-texturing>.
- 16 NASA, National Aeronautics and Space Administration, 2014. [Online]. Available: [www.nasa.gov](http://www.nasa.gov).
- 17 A. Brooks, "Solar Energy: Photovoltaics," in *Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for our Planet*, London, London Elsevier, 2013, p. 738.
- 18 NREL, "PWWatts," National Renewable Energy Laboratory, 2014. [Online]. Available: <http://rredc.nrel.gov/solar/calculators/pvwatts/version1/>.
- 19 European Union. Directive (EU) 2018/844 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 Amending Directive 2010/31/EU on the Energy Performance of Buildings. Off. J. Eur. Union 2018. Available online: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L\\_.2018.156.01.0075.01.ENG](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv%3AOJ.L_.2018.156.01.0075.01.ENG).
- 20 Esfe, M.H.; Kamyab, M.H.; Valadkhani, M. Application of nanofluids and fluids in photovoltaic thermal system: An updated review. *Sol. Energy* 2020, 199, 796–818. [Google Scholar] [CrossRef]
- 21 Yazdanifard, F.; Ameri, M.; Ebrahimnia-Bajestan, E. Performance of nanofluid-based photovoltaic/thermal systems: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 76, 323–352. [Google Scholar] [CrossRef]
- 22 Huang, G.; Curt, S.R.; Wang, K.; Markides, C.N. Challenges and opportunities for nanomaterials in spectral splitting for high-performance hybrid solar photovoltaic-thermal applications: A review. *Nano Mater. Sci.* 2020, 2, 183–203. [Google Scholar] [CrossRef]
- 23 Shah, T.R.; Ali, H.M. Applications of hybrid nanofluids in solar energy, practical limitations and challenges: A critical review. *Sol. Energy* 2019, 183, 173–203. [Google Scholar] [CrossRef]
- 24 Said, Z.; Arora, S.; Bellos, E. A review on performance and environmental effects of conventional and nanofluid-based thermal photovoltaics. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 94, 302–316. [Google Scholar] [CrossRef]

- 25 Shan, F.; Tang, F.; Cao, L.; Fang, G. Performance evaluations and applications of photovoltaic–thermal collectors and systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2014, 33, 467–483. [Google Scholar] [CrossRef]
- 26 Kasaeian, A.; Nouri, G.; Ranjbaran, P.; Wen, D. Solar collectors and photovoltaics as combined heat and power systems: A critical review. *Energy Convers. Manag.* 2018, 156, 688–705. [Google Scholar] [CrossRef]
- 27 Brahim, T.; Jemni, A. Economical assessment and applications of photovoltaic/thermal hybrid solar technology: A review. *Sol. Energy* 2017, 153, 540–561. [Google Scholar] [CrossRef]
- 28 Wu, J.; Zhang, X.; Shen, J.; Wu, Y.; Connelly, K.; Yang, T.; Tang, L.; Xiao, M.; Wei, Y.; Jiang, K.; et al. A review of thermal absorbers and their integration methods for the combined solar photovoltaic/thermal (PV/T) modules. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 75, 839–854. [Google Scholar] [CrossRef]
- 29 Sharaf, O.; Orhan, M.F. Concentrated photovoltaic thermal (CPVT) solar collector systems: Part II—Implemented systems, performance assessment, and future directions. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, 50, 1566–1633. [Google Scholar] [CrossRef]
- 30 Sharaf, O.; Orhan, M.F. Concentrated photovoltaic thermal (CPVT) solar collector systems: Part I—Fundamentals, design considerations and current technologies. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, 50, 1500–1565. [Google Scholar] [CrossRef]
- 31 George, M.; Pandey, A.; Rahim, N.A.; Tyagi, V.; Shahabuddin, S.; Saidur, R. Concentrated photovoltaic thermal systems: A component-by-component view on the developments in the design, heat transfer medium and applications. *Energy Convers. Manag.* 2019, 186, 15–41. [Google Scholar] [CrossRef]
- 32 u, X.; Xu, C.; Liao, Z.; Du, X.; Wei, G.; Wang, Z.; Yang, Y. A review of concentrated photovoltaic-thermal (CPVT) hybrid solar systems with waste heat recovery (WHR). *Sci. Bull.* 2017, 62, 1388–1426. [Google Scholar] [CrossRef]
- 33 Ju, X.; Xu, C.; Han, X.; Du, X.; Wei, G.; Yang, Y. A review of the concentrated photovoltaic/thermal (CPVT) hybrid solar systems based on the spectral beam splitting technology. *Appl. Energy* 2017, 187, 534–563. [Google Scholar] [CrossRef]

- 34 Shittu, S.; Li, G.; Akhlaghi, Y.G.; Ma, X.; Zhao, X.; Ayodele, E. Advancements in thermoelectric generators for enhanced hybrid photovoltaic system performance. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2019, 109, 24–54. [Google Scholar] [CrossRef]
- 35 Indira, S.S.; Vaithilingam, C.A.; Chong, K.-K.; Saidur, R.; Faizal, M.; Abubakar, S.; Paiman, S. A review on various configurations of hybrid concentrator photovoltaic and thermoelectric generator system. *Sol. Energy* 2020, 201, 122–148. [Google Scholar] [CrossRef]
- 36 Babu, C.; Ponnambalam, P. The role of thermoelectric generators in the hybrid PV/T systems: A review. *Energy Convers. Manag.* 2017, 151, 368–385. [Google Scholar] [CrossRef]
- 37 Wysocki, J.J.; Rappaport, P. Effect of Temperature on Photovoltaic Solar Energy Conversion. *J. Appl. Phys.* 1960, 31, 571–578. [Google Scholar] [CrossRef]
- 38 Preet, S. Water and phase change material based photovoltaic thermal management systems: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 82, 791–807. [Google Scholar] [CrossRef]
- 39 Islam, M.; Pandey, A.; Hasanuzzaman, M.; Rahim, N. Recent progresses and achievements in photovoltaic-phase change material technology: A review with special treatment on photovoltaic thermal-phase change material systems. *Energy Convers. Manag.* 2016, 126, 177–204. [Google Scholar] [CrossRef]
- 40 Browne, M.C.; Norton, B.; McCormack, S.J. Phase change materials for photovoltaic thermal management. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2015, 47, 762–782. [Google Scholar] [CrossRef]
- 41 Lamnatou, C.; Chemisana, D. Concentrating solar systems: Life Cycle Assessment (LCA) and environmental issues. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 78, 916–932. [Google Scholar] [CrossRef]
- 42 Lamnatou, C.; Chemisana, D. Photovoltaic/thermal (PVT) systems: A review with emphasis on environmental issues. *Renew. Energy* 2017, 105, 270–287. [Google Scholar] [CrossRef]
- 43 Elbreki, A.; Alghoul, M.; Al-Shamani, A.; Ammar, A.; Yegani, B.; Aboghrara, A.M.; Rusaln, M.; Sopian, K. The role of climatic-design-operational parameters on

combined PV/T collector performance: A critical review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 57, 602–647. [Google Scholar] [CrossRef]

44 Debbarma, M.; Sudhakar, K.; Baredar, P. Thermal modeling, exergy analysis, performance of BIPV and BIPVT: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2017, 73, 1276–1288. [Google Scholar] [CrossRef]

45 [https://burnit.bg/ro/project/panou\\_solar\\_hibrid\\_pvt\\_240/](https://burnit.bg/ro/project/panou_solar_hibrid_pvt_240/)

46 <https://www.google.com/search?q=harta+solara+a+moldovei>