



QUYOSH FOTOELEKTRIK MODULLARINI HAVOLI SOVITISH ORQALI SAMARADORLIGINI OSHIRISH USULLARI

A.B. Nusratov

Buxoro davlat universiteti.

U.X. Ibragimov

Buxoro davlat universiteti.

J.R. Qodirov

Qarshi davlat texnika universiteti.

Annotatsiya. Quyosh fotoelektrik modullarini havoli sovitish orqali samaradorligini oshirish usullari afzalliklari va kamchiliklarini o'z ichiga oladi. Ularning samaradorligini oshirish uchun to'g'ri usullarni tanlash va sharoitlarni hisobga olish muhimdir. Ushbu maqolada Quyosh fotoelektrik modullarini turli xil usullar yordamida sovitish metodlari, bunda olingan issiq havo binolarni isitishda va quritish qurilmalarida issiqlik manbai sifatida xizmat qilishi, ularning istiqbollari haqida dunyo olimlari tomonidan olib borilgan ilmiy tadqiqot ishlari taxlil qilingan.

Kalit so'zlar: quyosh fotoelektrik modul, sovutish, kollektor, passiv, aktiv, radiator, samaradorlik, quvvat.

Абстрактный. Методы повышения эффективности солнечных фотоэлектрических модулей за счет воздушного охлаждения включают преимущества и недостатки. Для повышения их эффективности важно правильно подобрать методы и учесть условия. В данной статье анализируются научно-исследовательские работы ученых всего мира по методам охлаждения солнечных фотоэлектрических модулей различными способами, в которых полученный горячий воздух служит источником тепла при отоплении зданий и в осушительных установках, их перспективность.

Ключевые слова: солнечный фотоэлектрический модуль, охлаждение, коллектор, пассивный, активный, радиатор, эффективность, мощность.

Abstract. Methods for increasing the efficiency of solar photovoltaic modules by air cooling include advantages and disadvantages. To increase their efficiency, it is important to choose the right methods and take into account the conditions. This article analyzes the research work of scientists around the world on methods for cooling solar photovoltaic modules in various ways, in which the resulting hot air serves as a heat source for heating buildings and in dehumidification units, their prospects.

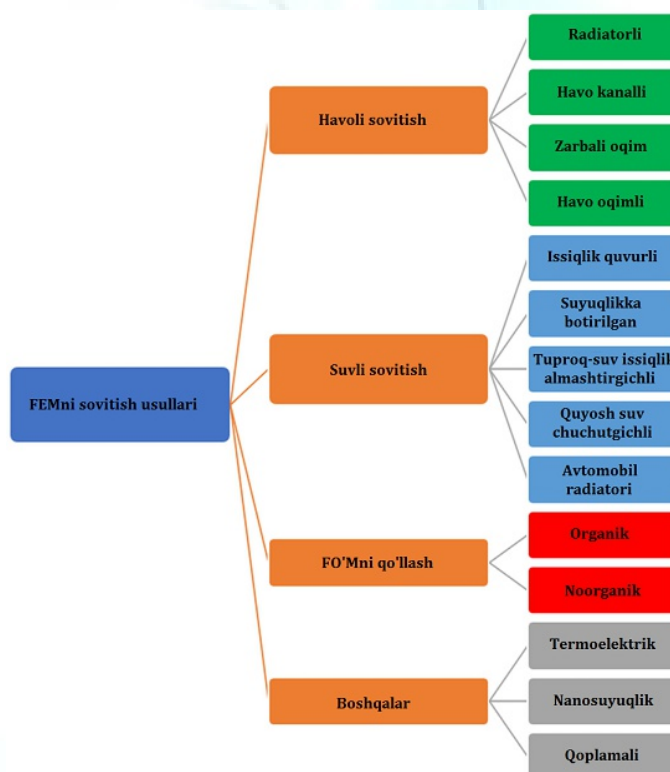
Keywords: solar photovoltaic module, cooling, collector, passive, active, radiator, efficiency, power.

KIRISH. Quyosh fotoelektrik modullari (FEM) yordamida elektr energiyasini ishlab chiqarish eng tejamkor va samarador texnologiya hisoblanib, ushbu texnologiya butun dunyoda rivojlanib bormoqda. 2023 yilda 447 GVt quyosh elektrik quvvati dunyo elektr tarmog'iga ulandi va bu qiymat jami qayta tiklanadigan energiya quvvatlarining 78% ini tashkil etdi. Shuningdek, bu

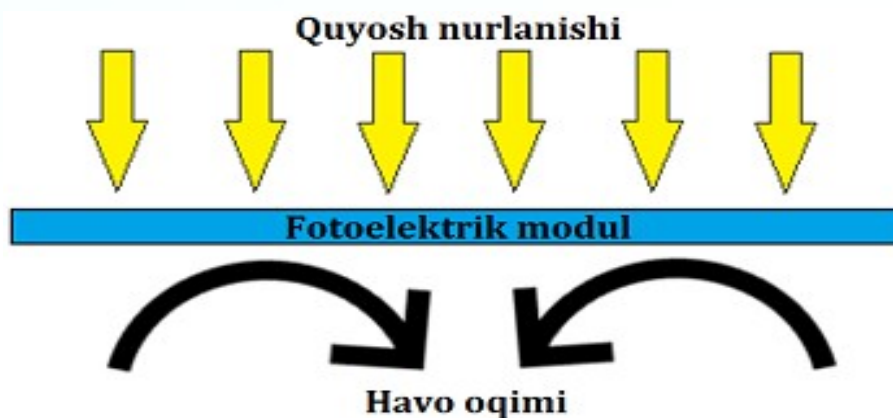


ko'rsatkich 2022 yilga nisbatan 12% ga, 2021 yilga nisbatan 56% ga yuqoridir [1]. Xalqaro energetika agentligining (XEA) ma'lumotiga ko'ra, 2024 yildan 2028 yilgacha quyosh fotoelektrik quvvatining o'sishi taxminan 544 dan 876 GVt gacha yetadi. Quyosh FEMlaridan foydalanish ko'lamini kengayishida, FEMning samaradorligini oshirish bo'yicha amalga oshirilayotgan tadqiqotlarning salmog'ini yuqoriligidir.

Ma'lumki, FEMlarning unumdorligiga tashqi muhit parametrlari, quyosh nurlanish energiyasi, tashqi havo harorati va shamol tezligi sezilarli ta'sir ko'rsatadi [2]. Tashqi muhit haroratini ortishi FEMning haroratini ortishida va unumdorligini pasayishida muhim rol o'ynaydi [3, 4], ya'ni FEMning harorati 1°C ga oshganda, uning samaradorligi 0,5% ga kamayadi [5, 6]. Ushbu muammoni hal etish uchun ko'p sonli tadqiqotchilar FEMning haroratini pasaytirish imkonini beradigan turli usullarni taklif etishgan. FEMlarni sovitish usullarining tasnifi 1-rasmda ko'rsatilgan. Keltirilgan barcha sovitish usullari aktiv va passiv sovitish usullariga ajratiladi [7, 8]. Aktiv sovitish usulida sovituvchi muhit (suv yoki havo) nasos yoki ventilyator yordamida harakatlantiriladi, bu esa qo'shimcha elektr energiyasini talab etadi [9]. Passiv sovitish usulida qo'shimcha jihozlar bo'lmaganligi sababli, aktiv usulga nisbatan oson, biroq samaradorlik kichik bo'ladi [10]. Tadqiqot ishlarining aksariyatida FEMni sovitish uchun havo va suvdan foydalanilgan. Havoli sovitish usuli nisbatan sodda va tejamkor bo'lganligi sababli eng ko'p tarqalgan (2-rasm).



1-rasm. FEMni sovitish usullarining tasnifi



2-rasm. FEMni havoli sovitish usuli

ADABIYOTLAR TAHLILI. Havo bilan sovitish samaradorligi tashqi havo harorati, namligi va tezligiga bogʻliq. Hozirgi kunda FEMlarni aktiv sovitish tizimi-bu gibriz tizim boʻlib, bunda FEM va quyosh kollektori bitta blokda birlashtiriladi (PV/T), natijada, bir vaqtning oʻzida elektr va issiqlik energiyasi ishlab chiqarilganligi sababli, juda yuqori samaradorlikka erishiladi [11]. Patil va boshqalar [12] orqa tomoni havo bilan sovitiladigan va sovitilmaydigan nazorat FEMni tajribaviy tadqiqot qilishgan.

Havo oqimining turli tezliklarida FEMning samaradorligi va chiqish quvvati mos ravishda 7% va 12,6% ga oshgan. Elminshawy va boshqalar [13] FEMni sovitish uchun dastlabki sovitilgan havodan foydalanishni tajribaviy tadqiqot qilishgan. Oʻlchashlar havo oqimining turli tezlik va haroratlarida amalga oshirilgan. Bunday tizimdan foydalanish sovitilayotgan FEMning oʻrtacha samaradorligini taxminan 30% gacha oshirgan. Hussien va boshqalar [14] FEMning orqa tomonini sovitish uchun kichik ventilyatorlardan foydalanish imkoniyatini tadqiqot qilishgan, natijalarga koʻra, elektr energiyasini ishlab chiqarish samaradorligi 2,1% ga oshgan.

Mittelman va boshqalar [15] tomonidan radiatorlar asosidagi passiv sovitish tizimi tadqiqot qilingan. Tadqiqot ishida FEMning orqa tomoniga teshikchali qovurgʻali alyuminiy plastik shakldagi radiatorlardan foydalanilgan. FEM va sirkulyatsiyalanayotgan havo oʻrtasidagi issiqlik uzatishga radiatorning taʼsiri tahlil qilingan. Radiator teshik qovurgʻali alyuminiy plastinadan tayyorlangan va FEMning orqa tomoniga mahkamlangan.

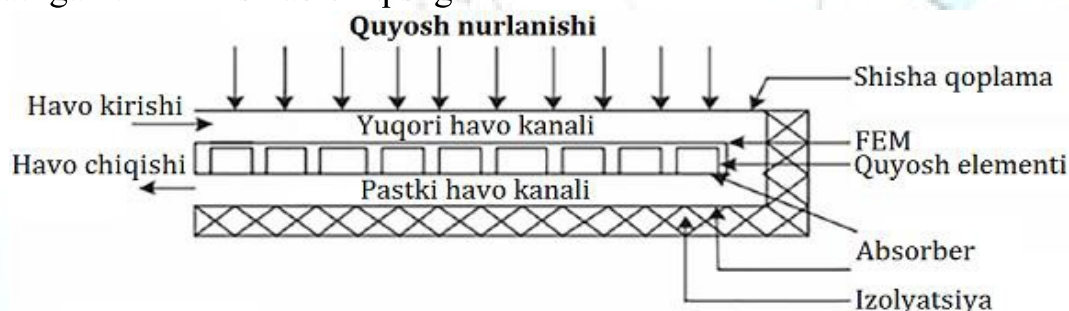
Panel atrofida havo sirkulyatsiyasini yaxshilash va FEMdagi issiqlikni koʻproq yutilishi uchun qovurgʻalar teshikcha qilingan. Natijalarga koʻra, FEMning ishchi harorati sezilarli kamaygan va elektrik samaradorligi oshgan. Haroratni pasayishi kuchlanish va maksimal ishchi tokni mos ravishda 10% va 18,67% ga oshirgan. Ushbu sovitish tizimining umumiy koʻrinishi 3-rasmida koʻrsatilgan.



3-rasm. Radiatorlarni qo'llash orqali havoli FEMni sovitish usuli

Amber va boshqalar [16] passiv sovitishning ikkita usulini unumdorlikka ta'sirini tajribaviy tadqiqot qilishgan. Birinchi usulda FEMni sovitish uchun to'rtburchak qovurg'adan, ikkinchi usulda dumaloq qovurg'adan foydalanilgan. Tadqiqotlar to'rt oy davomida o'tkazilgan. Tadqiqot natijalariga ko'ra, to'rtburchak qovurg'adan foydalanilganda eng yuqori samaradorlikka erishilgan, bunda etalon modulga qaraganda 155% ga ko'p issiqlik qabul qilingan, shuningdek, FEMning harorati 10,6% ga kamayganda, samaradorlik 14,5% ga oshgan. Kaewchoothong va boshqalar [17] FEMning orqa tomonida qovurg'ali turbulizatorlar o'rnatilgan bir nechta FEMni tadqiqot qilishgan. Turbulizatorlarni qo'llash orqali FEMni bir xilda sovitish va unumdorligini oshirishga erishilgan. Ularning havo bilan sovitiladigan konstruksiyasi orqali FEMning o'rtacha chiqish quvvati 13,97% ga oshgan.

Kim va boshqalar [18] PV/T kollektor tizimi bo'yicha tajribalar o'tkazishgan. Ushbu tadqiqotda monokristal FEMli va havoli PV/T kollektor loyihalangan. Uning elektrik va issiqlik xarakteristikasi tajribaviy tadqiqot qilingan. Natijalarga ko'ra, PV/T kollektorning issiqlik va elektrik samaradorliklari mos ravishda 22% va 15% ni tashkil etgan. Sajjad va boshqalar [19] majburiy havoli sovitish usulidan foydalanish orqali FEMning unumdorligini oshirishni tadqiqot qilishgan. Olingan natijalar, sovitilmaydigan FEMning natijalari bilan taqqoslangan. Taqqoslash natijalariga ko'ra, havoli sovitish usulidan foydalanish, elektrik samaradorlikni 7,2% ga va quvvat koeffitsiyentini 6% ga oshirgan. Kumar va Rosenlar [20] havo oqimidan foydalanib FEMni sovitish uchun 1.4-rasmda ko'rsatilgan tizimni ishlab chiqishgan.

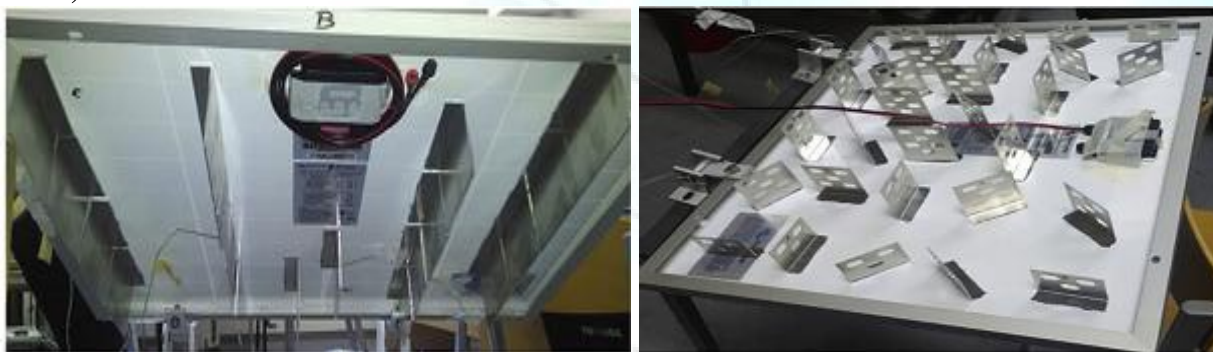


4-rasm. Havo bilan sovitiladigan FEM



Ularning tadqiqot ishida tizimning samaradorligiga havoning massaviy sarfini va quyosh nurlanishini ta'siri, bundan tashqari, tizimning issiqlik va elektrik samaradorligiga qovurg'aning ta'siri o'rganilgan. Ularning natijalariga ko'ra, qovurg'adan foydalanish tizimning elektrik va issiqlik samaradorliklarini mos ravishda 10,5% va 15% ga oshirgan. Shuningdek, havoning massaviy sarfini 0,03 dan 0,5 kg/s gacha o'zgarishi elektrik samaradorlikini ham sezilarli oshirgan. Sahay va boshqalar [21] havoning majburiy konveksiyasi hisobiga FEMni sovitishni tadqiqot qilishgan. Havo dastlab tuproq issiqlik almashinuv qurilmasi orqali o'tkaziladi, keyin FEMning ostidan o'tib FEMni sovitgan. Mualliflar har birining quvvati 100 Vt bo'lgan o'nta FEM o'rnatishgan. Havo bitta ventilyator orqali haydaladi, sovuq havo esa har bir FEMga quvur orqali taqsimlanadi. Quvurlarning uchiga soplo mahkamlangan bo'lib, oqimni yo'naltirish imkoniyati mavjud.

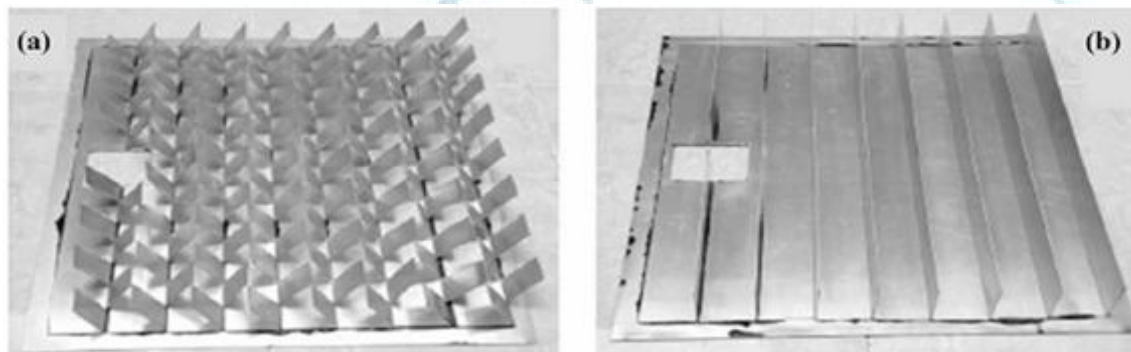
Bayrak va boshqalar [22] FEMni qovurg'alarni qo'llash orqali sovitish bo'yicha amaliy tajribalar o'tkazishgan, bunda qovurg'aning o'nta turli geometriyasidan foydalanishgan. Quyosh nurlanishi 772 Vt/m^2 bo'lganda, maksimal haroratlar farqi $3,39^\circ\text{C}$ ni tashkil etgan. Ushbu farq ishlab chiqarilayotgan quvvatni 6,84 Vt ga oshirgan. Ushbu holda elektrik FIK qiymati 11,55%, eksergetik FIK qiymati 10,91% ni tashkil etgan. Grubisic-Cabo va boshqalar [23] FEMni qovurg'alar yordamida sovitish bo'yicha tajriba tadqiqotlarini o'tkazish uchun FEMning ikkita modulini ishlab chiqishgan (5-rasm).



5-rasm. FEMni qovurg'alar yordamida sovitishning tajriba qurilmasi

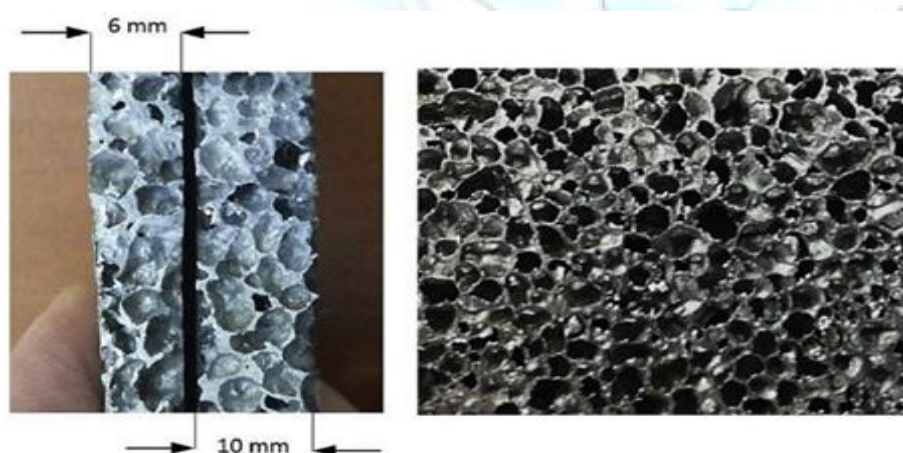
Birinchi FEMning orqasiga bo'ylama va bir tekis alyuminiy qovurg'alar o'rnatilgan, ikkinchi FEMning orqasiga betartib va turlicha joylashgan alyuminiy qovurg'alar o'rnatilgan. Natijalarga ko'ra, ikkinchi FEM birinchi FEMga qaraganda yaxshi natija bergan va samaradorligi 2% ga yuqori bo'lgan. El Mays va boshqalar [24] oldi tomonida parallel qovurg'ali alyuminiy plastinadan tayyorlangan radiator o'rnatilgan FEMni tajribaviy tadqiqot qilishgan. Qovurg'ali plastinaning mavjudligi hisobiga yuzadagi harorat o'rtacha $6,1^\circ\text{C}$ ga pasaygan, natijada, elektrik samaradorlik va chiqish quvvati mos ravishda 1,75% va 1,8 Vt ga ortgan.

Hernandez-Perez va boshqalar [25] FEMni sovitish uchun qovurg'alari turlicha joylashgan alyuminiy radiatorlarni tadqiqot qilishgan: oddiy tekis qovurg'a va segmentli qovurg'a (6-rasm). Tajribaviy tadqiqotlarni amalga oshirishda eng yuqori unumdorlikka ega radiatorni aniqlash uchun CFD dasturiy vositasidan foydalanilgan va normal ish sharoitida radiatorlar baholangan.



6-rasm. FEMni alyuminiy radiator orqali sovitish

Natijalarga ko'ra, segmentli radiator eng yuqori unumdorlikka ega bo'lib, ularda bosim yo'qotilishi eng kam bo'lgan, najada tezlik yo'qotilishi kamaygan, turbulentlik va konvektiv issiqlik uzatish sezilarli ortgan. Ikkala radiatorida haroratni maksimal pasayishi 9,4 va 10°C ni tashkil etgan, bunda FEMning o'zgartirish samaradorligi taxminan 4% ga oshgan. Selimefendigil va boshqalar [26] g'ovaklilik xarakteristikasi juda yuqori bo'lgan alyuminiyli metal penadan tayyorlangan yopiq g'ovak qovurg'ali FEMning samaradorligini tajribaviy va nazariy tadqiqot qilishgan (7-rasm).



7-rasm. Yopiq g'ovakli alyuminiy penaning umumiy ko'rinishi

Natijalarga ko'ra, qalindiligi 10 mm bo'lgan g'ovak qovurg'a unumdorlikni sezilarli yaxshilagan va quvvatlarning maksimal farqi 7,26 Vt ni tashkil etgan. Amori va Mustafalar [27] tomonidan havoli gibrid PV/T kollektorlarning turli konfiguratsiyalari taqqoslangan. Havoning tezligi 0,0991 kg/s bo'lganda FEMning harorati o'rtacha 15,52°C ga pasaygan. Issiqlik, elektrik va umumiy



samaradorliklar mos ravishda 46%, 9,4% va 55% ni tashkil etgan. Amori va Husseinlar [28] Iroqning iqlim sharoitida havoli gibril PV/T kollektorning issiqlik va elektrik xarakteristikalarini tadqiqot qilishgan. Natijalarga ko'ra, elektrik, issiqlik va umumiy samaradorliklar mos ravishda 9...12,3%, 19,4...22,8% va 47,8...53,6% oralig'ida o'zgargan. Ahmadinejad va Arianlar [29] PV/T kollektorning chiqish quvvatini oshirish uchun to'siqlar asosidagi yangi kollektorni taklif etishgan. Kollektorda o'rnatilgan to'siqlar issiqlik uzatish yuzasini va konvektiv issiqlik uzatish koeffitsiyentini oshiradi, natijada FEM va sovituvchi muhit o'rtasida issiqlik uzatish sezilarli jadallashadi. To'siqlardan foydalanish FEMning haroratini 3,89% ga pasaytirgan, havoning chiqishdagi harorati, elektrik va issiqlik samaradorliklari mos ravishda 1,63%, 0,83% va 4,39% ga ortgan.

XULOSA. Yuqorida keltirilgan adabiyotlar tahlilidan ko'rinib turibdiki, FEMlarni havoli sovitish FEMning elektrik samaradorligini sezilarli darajada oshiradi. Biroq FEMni sovitish natijasida isigan havodan foydalanish masalalari yetarlicha o'rganilmagan. Bunda olingan issiq havo binolarni isitishda va quritish qurilmalarida issiqlik manbai sifatida xizmat qilishi mumkin. Shu nuqtai nazardan FEMni sovitishda olingan dastlabki qizdirilgan havoni quyosh quritgichlarida foydalanish istiqbolli yo'nalishlardan biri hisoblanadi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI:

1. Global Market Outlook for Solar Power 2024-2028. Solar Power Europe (2024). June 2024. www.solarpowereurope.org.
2. Garcia M.A., Balenzategui J. Estimation of photovoltaic module yearly temperature and performance based on nominal operation cell temperature calculations. *Renew Energy* 29, 2004. – p. 1997-2010.
3. Maur M.A., Moses G., Gordon J.M. et al. Temperature and intensity dependence of the open-circuit voltage of InGaN/GaN multi-quantum well solar cells. *Sol Energy Mater Sol Cells* 2021, 230:111253. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.111253>.
4. Cotfas D.T., Cotfas P.A., Kaplanis S. Methods to determine the dc parameters of solar cells: a critical review. *Renew Sustain Energy Rev.* 23, 2013. – p. 588-596.
5. Penmetsa V., Holbert K.E. Climate change effects on solar. Wind and hydro power generation. 2019 North American Power Symposium (NAPS), 2019. – p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/NAPS46351.2019.9000213>.
6. Rahman M.M., Hasanuzzaman M., Rahim N.A. Effects of various parameters on PV module power and efficiency. *Energ Conver Manage*, 103, 2015. – p. 348-358.
7. Hasanuzzaman M., Malek A.B.M.A., Islam M.M., Pandey A.K., Rahim N.A. Global advancement of cooling technologies for PV systems: A review. *Sol. Energy* 137, 2016. – p. 25-45.



8. Khordehghah N., Zabnienska-Gora A., Jouhara H. Energy performance analysis of a PV/T system coupled with domestic hot water system. *Chem Engineering*, 4(2): 22, 2020. <https://doi.org/10.3390/chemengineering4020022>.
9. Sato D., Yamada N. Review of photovoltaic module cooling methods and performance evaluation of the radiative cooling method. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 104, 2019. – p. 151-166.
10. Mariam E., Ramasubramanian B., Reddy V.S., Dalapati G.K., Ghosh S., Pa T.S., Chakraborty S., Motapothula M.R., Kumar A., Ramakrishna S., et al. Emerging trends in cooling technologies for photovoltaic systems. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 192, 2024, 114203.
11. Alshibil A.M.A., Farkas I., Vig P. Sustainability contribution of hybrid solar collector towards net-zero energy buildings concerning solar cells wasted heat. *Energy Sustain. Dev.* 74, 2023. – p. 185-195.
12. Patil M., Sidramappa A., Shetty S.K., Hebbale A.M. Experimental study of solar PV/T panel to increase the energy conversion efficiency by air cooling. *Mater. Today Proc.* 92, 2023. – p. 309-313.
13. Elminshawy N.A.S., El Ghandour M., Gad H.M., El-Damhogi D.G., El-Nahas K., Addas M.F. The performance of a buried heat exchanger system for PV panel cooling under elevated air temperatures. *Geothermics* 82, 2019. – p. 7-15.
14. Hussien A., Eltayesh A., El-Batsh H.M. Experimental and numerical investigation for PV cooling by forced convection. *Alex. Eng. J.*, 64, 2023. – p. 427-440.
15. Mittelman G., Alshare A., Davidson J.H. A model and heat transfer correlation for rooftop integrated photovoltaics with a passive air cooling channel. *Sol Energy* 83, 2009. – p. 1150-1160.
16. Amber K.P., Akram W., Bashir M.A., Khan M.S., Kousar A. Experimental performance analysis of two different passive cooling techniques for solar photovoltaic installations. *J. Therm. Anal. Calorim.* 143, 2021. – p. 2355-2366.
17. Kaewchoothong N., Sukato T., Narato P., Nuntadusit C. Flow and heat transfer characteristics on thermal performance inside the parallel flow channel with alternative ribs based on photovoltaic/thermal (PV/T) system. *Applied Thermal Engineering*, 185, 2021, 116237. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116237>.
18. Kim J.H., Park S.H., Kim J.T. Experimental performance of a photovoltaic thermal air collector. *Energy Proc.* 48, 2014. – p. 888-894.
19. Sajjad U., Amer M., Ali H.M., Dahiya A., Abbas N. Cost effective cooling of photovoltaic modules to improve efficiency. *Case Stud Therm Eng.*, 2019, 14:100420. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100420>.
20. Kumar R., Rosen M.A. Performance evaluation of a double pass PV/T solar air heater with and without fins. *Appl Therm Eng.*, 31, 2011. – p. 1402-1410.



21. Sahay A., Sethi V.K., Tiwari A.C., Pandey M. A review of solar photovoltaic panel cooling systems with special reference to ground coupled central panel cooling system. *Renew Sustain Energy Rev.*, 42, 2015. – p. 306-312.
22. Bayrak F., Oztop H.F., Selimefendigil F. Effects of different fin parameters on temperature and efficiency for cooling of photovoltaic panels under natural convection. *Sol Energy* 188, 2019. – p. 484-494.
23. Grubisic-Cabo F., Nizetic S., Coko D., Marinic Kragic I., Papadopoulos A. Experimental investigation of the passive cooled free-standing photovoltaic panel with fixed aluminum fins on the backside surface. *J Clean Prod* 176, 2018. – p. 119-129.
24. El Mays A., Ammar R., Hawa M., Akroush M.A., Hachem F., Khaled M., Ramadan M. Improving photovoltaic panel using finned plate of aluminum. *Energy Procedia* 119, 2017. – p. 812-817.
25. Hernandez-Perez J.G., Carrillo J.G., Bassam A., Flota-Banuelos M., Patino-Lopez L.D. A new passive PV heatsink design to reduce efficiency losses: a computational and experimental evaluation. *Renew Energy* 147, 2020. – p. 1209-1220.
26. Selimefendigil F., Bayrak F., Oztop H.F. Experimental analysis and dynamic modeling of a photovoltaic module with porous fins. *Renew Energy* 125, 2018. – p. 193-205.
27. Amori K.E., Mustafa A.A.R. Field study of various air based photovoltaic/thermal hybrid solar collectors. *Renewable Energy* 63, 2014. – p. 402-414.
28. Amori K.E., Hussein M.T.N. Analysis of thermal and electrical performance of a hybrid (PV/T) air based solar collector for Iraq. *Applied Energy* 98, 2012. – p. 384-395.
29. Ahmadinejad M.A.S., Arian G. The effects of a novel baffle-based collector on the performance of a photovoltaic/thermal system using SWCNT/Water nanofluid. *Thermal Science and Engineering Progress* 34, 2022:101443. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2022.101443>.