

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Ниво студијског програма: Урбано инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Предмет: Енергетска ефикасност објеката

Број индекса: 920/2016

Игор М. Танасијевић

Примена фотонапонских система у зградарству

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Данијела Николић – ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране:

Оцена: _____

У дипломском раду кандидат треба описати врсте фотонапонских ћелија, дати приказ поделе фотонапонских система и описати ФН системе за конверзију соларне у електричну енергију. Кроз илустроване примере приказати различите начине примене фотонапонских панела на стамбеним и нестамбеним зградама.

Препоручена литература:

- [1] Проф. Др Данијела Николић, доцент; Соларни системи; Факултет инжењерских наука; Крагујевац
- [2] Проф. Љубомир Мајданџић; дипл.инг; Фотонапонски системи, Техничка школа Руђера Бошковића, Загреб
- [3] Др Милан Плазинић, доцент; Фотонапонски системи; Факултет техничких наука, Чачак

Крагујевац, 2020.

Ментор:

Др Данијела Николић, доцент

Резиме

У оквиру овог дипломског представљене су фотонапонске ћелије, начин њихове израде, фактори који утичу на њихову ефикасност, као и врсте фотонапонских ћелија које су у употреби у модерним фотонапонским технологијама. Такође су описани фотонапонски модули и фотонапонски системи, затим подела фотонапонских система за претварање соларне енергије у електричну енергију. У посебном поглављу је описана примена фотонапонских система у зградарству кроз илустроване примере из праксе.

Кључне речи: соларна енергија, фотонапонски системи, фотонапонска ћелија

Abstract

This diploma presents photovoltaic cells, the way they are made, the factors that affect their efficiency, as well as the types of photovoltaic cells that are used in modern photovoltaic technologies. Also described are photovoltaic modules and photovoltaic systems, then the division of photovoltaic systems for converting solar energy into electricity. A special chapter describes the application of photovoltaic systems in buildings through illustrated examples from practice.

Keywords: solar energy, photovoltaic systems, photovoltaic cell

Садржај:

Увод.....	1
1. Соларна енергија.....	2
1.1 Потенцијал соларне енергије у свету.....	3
1.2 Потенцијал соларне енергије у Србији.....	5
2. Начин израде и типови фотонапонских ћелија.....	7
2.1 Силицијумске фотонапонске ћелије.....	8
2.1.1 Монокристални силицијум.....	8
2.1.2 Поликристални силицијум.....	10
2.1.3 Аморфни силицијум.....	11
2.1.4 Хибридне фотонапонске ћелије.....	13
2.2 Халкогене (несицилијумске) фотонапонске ћелије.....	13
2.3 Фотонапонске ћелије треће генерације.....	15
3. Ефикасност соларних ћелија.....	17
4. Фактори који утичу на ефикасност соларне ћелије.....	19
4.1 Утицај температуре.....	19
4.2 Утицај прашине.....	20
4.3 Појава „Hot Spots“.....	20
4.4 Повећање соларног зрачења.....	22
5. Фотонапонски модули.....	23
5.1 Везивање фотонапонских ћелија.....	24
5.2 Монтажа ћелија.....	25
6. Фотонапонски системи.....	26
6.1 Самостални фотонапонски системи.....	27
6.2 Мрежно повезани фотонапонски системи.....	28
6.3 Пасивни и активни мрежни фотонапонски системи.....	29
6.4 Хибридни фотонапонски системи.....	30
6.5 Фотонапонски системи прикључени на јавну електроенергетску мрежу.....	31
7. Примена фотонапонских система у зградарству.....	34
7.1 Спољашњи зидови.....	34
7.2 Кровови.....	36
7.3 Настрешнице.....	38
7.4 Фотонапонски системи интегрисани у омотач зграде.....	39
Закључак.....	41
Литература.....	42

Увод

Обновљиви извори енергије представљају неисцрпне изворе енергије из природе који се обнављају у одређеном временском интервалу, у целости или делимично. ОИЕ се експлоатишу с циљем производње електричне, топлотне и механичке енергије, а њихова значајна одржива карактеристика јесте нешкодљивост за околину, са смањеном или редукованом емисијом CO_2 у процесу производње енергије.

Република Србија располаже обновљивим изворима енергије Сунца, воде, ветра, геотермалне енергије и биомасе. [1]

Највећи део технологија обновљивих извора енергије се директно или индиректно напаја из Сунца. Земљина хидросфера односно вода упија највећи део долазећег зрачења. Количински највише зрачења се апсорбује на малој географској ширини у подручју око екватора, али путем ветрова и морских струја та енергија распршује по читавој планети.

Сунчева светлост представља извор енергије који је заслужан за повољне климатске услове и постојање екосистема на нашој планети. Већина енергије која је доступна на Земљи долази нам од Сунца, а чак и енергија коју црпимо из ветра, воде, биомасе и свих фосилних горива заправо потиче из овог извора. Одговарајућом технологијом можемо искористити овај бесплатан, еколошки и вечан извор енергије.



Слика 1. Обновљиви извори енергије

1. Соларна енергија

Соларна технологија већ се користи за унапређење животног стандарда. Она пре свега представља логичан избор у објектима на удаљеним подручјима где је могућност прикључења на електродистрибутивну мрежу било само отежана или пак уопште не постоји. Али то није једини разлог њене примене. Соларна технологија омогућава такође и енергетску независност од електродистрибутивне мреже у објектима са већ постојећим прикључком. Коришћењем ове енергије можемо обезбедити добијање топле воде и струје из обновљивог извора енергије који не емитује штетне гасове, а тиме такође утичемо и на ублажавање насталих климатских промена [1].

Земља добија више енергије од Сунца у току само једног сата него што људска популација употреби за једну годину. Укупна соларна енергија апсорбована у Земљиној атмосфери, океанима и копну износи око 3.850.000 ЕЈ годишње. Количина Сунчеве енергије која стиже на површину планете је огромна, толика да је у једној години два пута већа од свих Земљиних необновљивих извора енергената [2].

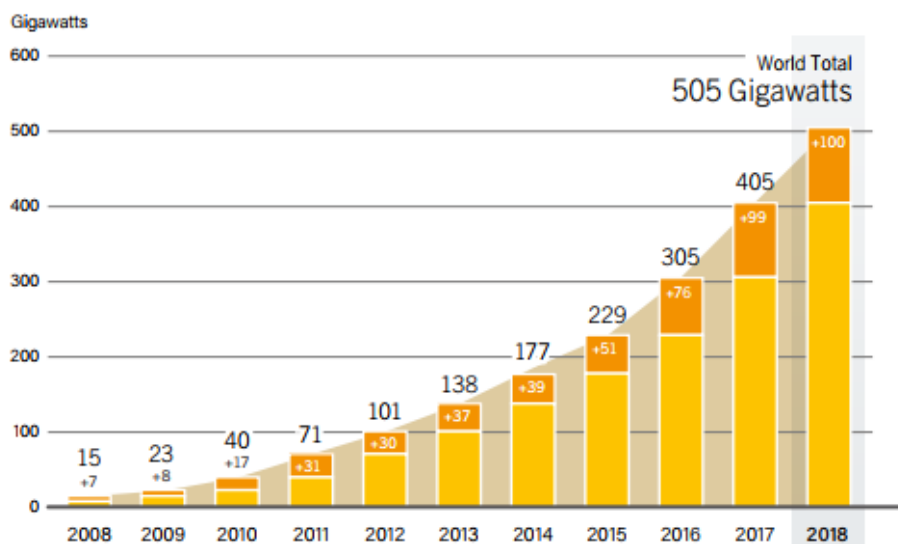
Због практично неисцрпне количине енергије Сунчевог зрачења, које представља основни извор живота на Земљи и великог броја предности у односу на све остале коришћене изворе, данас се са изузетном пажњом врше истраживања у циљу развоја ефикасних технологија коришћења енергије Сунчевог зрачења за задовољавање човекових, сваким даном све израженијих, енергетских потреба [3].



Слика 2. Огроман потенцијал енергије сунчевог зрачења пада на сваку грађевину [3]

1.1 Потенцијал соларне енергије у свету

Годишње глобално тржиште соларних фотонапонских система (ФС) се повећавало само мало у 2018. години, али довољно да премаши ниво од 100GW (укључујући капацитет на мрежи и ван ње) по први пут. Кумулативни капацитет се повећао за приближно 25% на најмање 505 GW; ово упоређује са глобалном укупном снагом од око 15 GW само деценију раније. (Слика 3.)



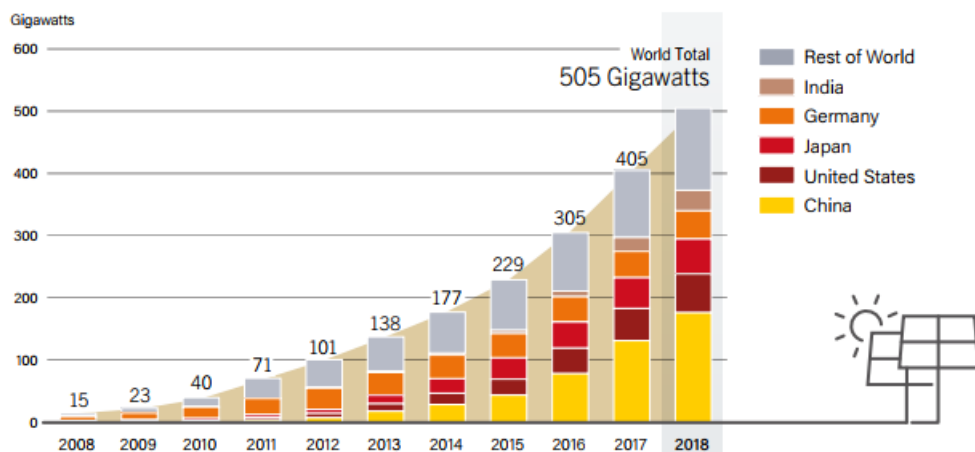
Слика 3. Глобални капацитет соларне енергије и додаци 2008-2018 [4]

Већа потражња на тржиштима у развоју и у Европи је, углавном због сталних смањења цена, надокнадила за значајан пад тржишта у Кини који је имао последице широм света. Упркос једноцифреној стопи раста глобалног тржишта у 2018. соларни ФС постала је енергија која се најбрже развија на свету технологија, са тржиштима величине гигавата у порасту број земаља. Потражња за соларним ФС се шири и шири се како постаје најконкурентнија опција за производње електричне енергије на све већем броју тржишта – за стамбене и комерцијалне примене и све више за комуналне пројекте - чак и без обрачуна екстерних трошкова фосилних горива. Једанаест земаља је током године додало више од 1 GW нових капацитета године, у односу на 9 земаља у 2017. и 7 земаља у 2016., и тржишта широм света су почела значајно да доприносе до глобалног раста. До краја 2018. најмање 32 земље имале су кумулативни капацитет од 1 GW или више, у односу на један из 29 земаља годину раније. Још увек постоје изазови на које треба обратити пажњу како би соларни ФС могли постати главни извор електричне енергије широм света, укључујући политику и регулаторну нестабилност у многим земљама, финансијски и банкарски изазови и потреба да се соларни ФС интегришу у електричну енергију тржишта и система на поштен и одржив начин. Али соларни ФС већ играју значајну и растућу улогу у електричној енергији генерације у неколико земаља. У 2018. години то је чинило 12,1% укупне производње у Хондурасу и значајан удео такође у Италија (скоро 8,2%), Грчка (8,2%), Немачка (7,7%) и Јапан (6,5%) [4]. До краја 2018. године радио је довољан капацитет широм света да произведе близу 640 TWh

електричне енергије годишње, или процењује се 2,4% годишње глобалне производње електричне енергије. У већини земаља још увек постоји потреба за шемама подршке за соларну енергију ФС, као и за одговарајуће регулаторне оквире и политике који управља мрежним везама. Владине политике – посебно тендера и, у мањој мери, традиционалних ФИТ-ова - наставили су да покрећу већину глобалног тржишта у 2018. години. Куповина предузећа соларних ФС се знатно проширила, а самопотрошња је била значајан покретач тржишта нових дистрибуираних система у Европи и Сједињеним Државама. Иако још увек занемарљив удео од годишњег тржишта, број чисто конкурентних („несубвенционисаних“) система су се градили у 2018. години; интересовање за овај сегмент је значајан и брзо расте.

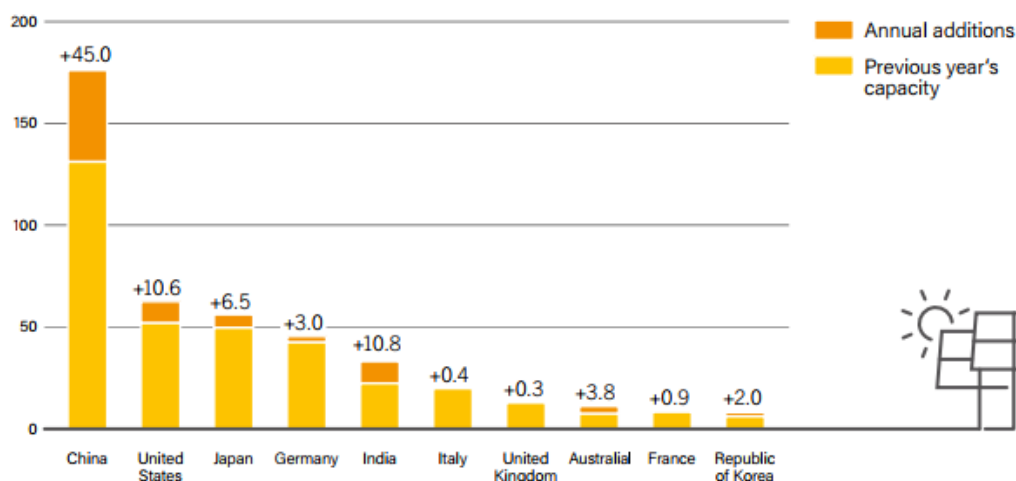
Шесту годину заредом Азија је помрачила све остале регионе за нове инсталације, упркос паду на прва три тржишта у региону (Кина, Индија и Јапан). Само Кина је отприлике чинила 45% глобалних додатака, али ово је било мање са скоро 54% у 2017. Азију је пратила Америка. Првих пет националних тржишта - Кина, Индија, Сједињене Државе, Јапан и Аустралија - били су одговорни за око три четвртине новоинсталираних капацитета (пад са око 84% у 2017. години); наредних пет тржишта биле су Немачка, Мексико, Република Кореја, Турска и Холандија. Годишња величина тржишта потребна за рангирање првих 10 земаља наставило је да расте, достигавши 1.330 MW у 2018. (у односу на 954 MW у 2017.)

На крају године, водеће земље за кумулативне соларне ФС капацитета су биле Кина, Сједињене Државе, Јапан, Немачка и Индија. (Слика 4.) [4].



Слика 4. Соларни глобални капацитет према земљама и регионима [4]

Кинеско годишње тржиште соларних фотонапонских система опало је први пут од 2014. године али земља је имала другу по величини годину до сада, са 45 GWновоинсталираних. Иако мањи за више од 15% у односу на 2017. годину, обим нових инсталација био је већи од очекиваног након значајних смањења субвенција од стране централне владе маја 2018. године, а додаци у земљи били су више од четири пута већи од оне на следећем највећем тржишту. (Слика 5.)



Слика 5. Капацитет и додаци соларних система 10 најбољих земаља у 2018. години [4]

До краја године кинески кумулатив капацитета 176,1 GW био је далеко изнад националног циља 105 GW до 2020. који је успостављен 2016.

1.2 Потенцијал соларне енергије у Србији

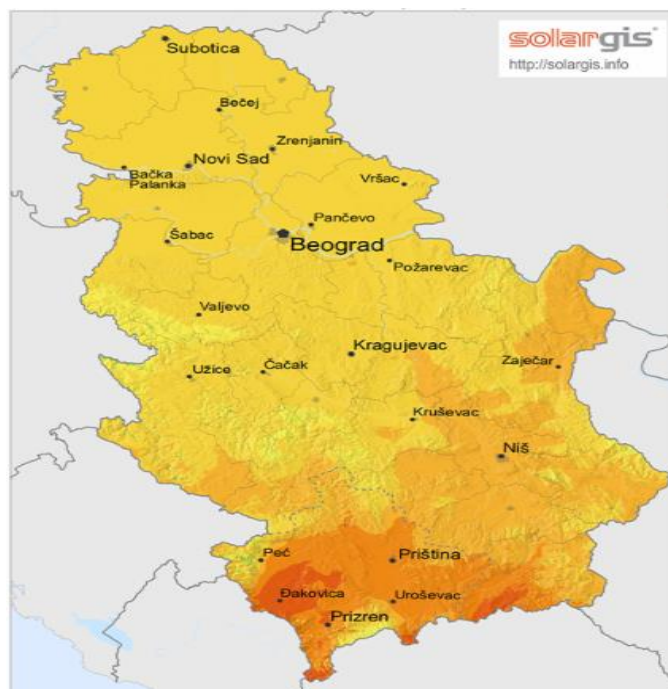
Просечан интензитет сунчевог зрачења на територији Републике Србије се креће од 1,1 kWh/m²/дан на северу до 1,7 kWh/m²/дан на југу – током јануара, а од 5,9 до 6,6 kWh/m²/дан – током јула. На годишњем нивоу, просечна вредност енергије глобалног зрачења за територију Републике Србије износи од 1200 kWh/m²годишње у северозападној Србији, до 1550 kWh/m²/годишње у југоисточној Србији, док у средњем делу износи око 1400 kWh/m²/годишње.

Степен искоришћења зрачења зависи од карактеристика уграђеног пријемника топлоте, тако да се може усвојити просечна вредност расположиве корисне енергије у Републици Србији од 700 kWh/m² годишње.

У Републици Србији према попису из 2002. године има око 2,5 милиона домаћинстава.

Ако би у просеку свако пето домаћинство уградило соларни пријемник површине 4m^2 , годишње би се произвело око 1750 GWh/god топлотне енергије која би највећим делом заменила потрошњу електричне енергије, а делом фосилна горива која се користе за загревање санитарне воде, и омогућила смањење емисија угљен-диоксида за 2,3 милиона тона годишње. У наредном периоду је потребно спровести активности усмерене на промоцију коришћења соларне енергије за загревање санитарне воде и просторија, и развој соларних електрана за производњу електричне енергије. Енергија коју сунце током године емитује на 1 m^2 крова куће у Србији је једнака енергији која се добије сагоревањем 130 литара нафте – а при томе је потпуно бесплатна.

Највећи потенцијал за коришћење соларне енергије имају градови у јужном делу Србије – Ниш, Куршумлија, Врање [5].



Слика 6. Потенцијал соларне енергије у Србији [5]

2. Начин израде и типови фотонапонских ћелија

Прве соларне ћелије су развијане 1950.-их година за потребе свемирске индустрије, и то су биле силицијумске соларне ћелије са ефикасношћу 6 – 10 %. Енергетска криза седамдесетих година прошлог века стимулисала је истраживања и развој ФН технологије. Силицијум је водећи материјал у технологији фотонапонских соларних ћелија због своје високе ефикасности. Истраживање соларних ћелија базираних на полупроводницима (III-V и II-VI групе) је почело 1960. Године, тако да су развијани нови типови соларних ћелија. Последње две деценије су развијене фотонапонске ћелије тзв. ``треће генерације``. ФН ћелије су подељене у 3 велике групе [6].

I група - силицијумске фотонапонске ћелије:

- ФН ћелије од кристалног силицијума:
 - Монокристалне силицијумске ћелије (mc-Si)
 - Поликристалне силицијумске ћелије (pc-Si)
- ФН ћелије од аморфног силицијума (a-Si)
- Хибридне соларне ћелије

II група – Халкогене фотонапонске ћелије (несилицијумске технологије):

- ФН ћелије од кадмијум-телурида (CdTe) и кадмијум-сулфида (CdS)
- CIGS/CIS ФН ћелије типа бакар/индијум/галијум/селенид и
- бакар/индијум/селенид
- ФН ћелије са фотоосетљивим пигментима (DSSC)

III група - фотонапонске ћелије треће генерације:

- Наноцеви (Nanotubes-CNT)
- Quantum dots - (QDs)
- HC (hot carrier)

2.1 Силицијумске фотонапонске ћелије

Силицијум (Si) је после кисеоника најзаступљенији елемент у земљиној кори (27.6 %). Највише га има у виду оксида SiO_2 који се јавља као кварц, аметист, калцедон, ахат, опал итд. Силицијум припада IV-групи периодног система елемената и представља најпознатији полупроводнички елемент, који има најзначајнију улогу у изради и развоју соларних ћелија. Силицијум се лако добија и прерађује, није токсичан и не гради једињења која су штетна по околину. Са кисеоником силицијум гради SiO и SiO_2 , који спадају у диелектричне материјале. То је материјал чија се специфична отпорност налази између специфичних отпорности проводника и изолатора. Атоми силицијума су правилно распоређени у простору тако да формирају кристалну решетку. Електрична проводност чистих полупроводника јако је мала. Због тога се у практичним применама они користе са додацима других елемената, чиме се побољшавају њихове особине.

Силицијумска технологија је доминантна у фотонапонским ћелијама. Електронске компоненте од силицијума стабилне су на температурама до 200 °C. Просечна дебљина силицијумске соларне ћелије износи 300 μm , а полупроводнички слој има дебљину само 2 μm . Класична силицијумска ФН ћелија има димензије 10x10 cm, а радни напон је око 0,5 V. У поређењу са свим осталим соларним ћелијама, ћелије од кристалног силицијума имају највећу ефикасност.

Ове ћелије се редно повезују у соларне модуле да би се добио радни напон 12 V. Даље се модули паралелно повезују и добијају се ФН панели. ФН ћелија даје једносмерну струју (DC) која се инвертером преводи у наизменичну струју одговарајућих карактеристика (AC). Постоје три основне врсте соларних ћелија од кристалног силицијума: монокристалне силицијумске ћелије, поликристалне силицијумске ћелије и ћелије од аморфног силицијума а развијају се и хибридне соларне ћелије [6].

2.1.1 Монокристални силицијум

Соларне ћелије израђене од монокристалног силицијума имају тзв. једнослојну структуру, што значи да се састоје од истог материјала који је модификован, тако да је на једној страни ћелије *p*-слој, а на другој *n*-слој *Si* полупроводника. Унутар ћелије, *p-n* спој лоциран је тако да се максимум сунчевог зрачења апсорбује близу споја. Површина таквих ћелија зависи од пресека монокристала од којег се производе, износи 5 - 10 cm, дебљина им је 200 - 300 mm. Напон таквих ћелија је од 0.55 до 0.70 V. Теоријска ефикасност им је око 22 %, док је стварна ефикасност око 15 %. Једина мана ћелија израђених од монокристалног силицијума је висока производна цена, због компликованог процеса производње. Најпоузданије методе производње монокристалног силицијума су *Czochralski* (Cz) *Float-zone* (FZ) процеси, док се у задње време све више користи тзв. *Ribbon growth* технологија. *Czochralski* методом, силицијум високе чистоће се загрева на великој температури док се не растали (Слика 7).

Потом се на површински део растопљеног силицијума који се налази у цилиндричном калупу додаје зрнце монокристалног силицијума. Док се зрно полагамо уздиже из калупа, атоми растопљеног силицијума згушњавају се у структуру додатог зрнца, односно монокристалну структуру [6].



Слика 7. Уређај за добијање монокристалног Си методом *Czochralski* [6]

Float-zone процес производи чистију кристалну структуру него *Czochralski* процес будући да не садржи посуду за топљење. У *Float-zone* процесу полуга сачињена од силицијума високе чистоће поставља се изнад монокристалног зрна те се пропушта кроз електромагнетну завојницу. Магнетно поље завојнице индукује електрично поље унутар полуге, последица чега је загревање и топљење површинског споја између полуге и зрна. Пошто се завојница полагамо уздиже, унутар споја полуге и зрна формира се монокристални силицијум који *"расте према горе"*. *Czochralski* и *Float-zone* процеси производе монокристални силицијум у облику калупа или подлоге, које је потребно резати у танке плочице при чему се 20 % скупог материјала губи (пиљевина). Као алтернатива наведеним технологијама појавила се *Ribbon growth* технологија.

Ribbon-growth процес започиње са два монокристална *Si* зрнца који расту те заузимају површину танког оквира док се полагамо извлаче из посуде са течним силицијумом. Када је оквир извучен из посуде, из њега се вади готова танка плочица.

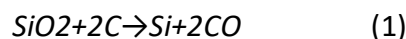
Оваква технологија нема великих губитака материјала, али зато квалитет монокристалног силицијума није на висини *Cz* или *FZ* процеса. Да би произвели монокристалним фотонапонску ћелију, танке плочице добијене било којим од наведених процеса се прво допирају како би добили *p*-тип, односно *n*-тип полупроводника. Потом се пресвлаче антирефлексијским средством те им се додају електрични контакти. На слици 8. приказан је изглед монокристалне фотонапонске ћелије [6].



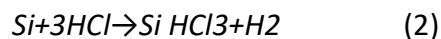
Слика 8. Монокристална фотонапонска ћелија [6]

2.1.2 Поликристални силицијум

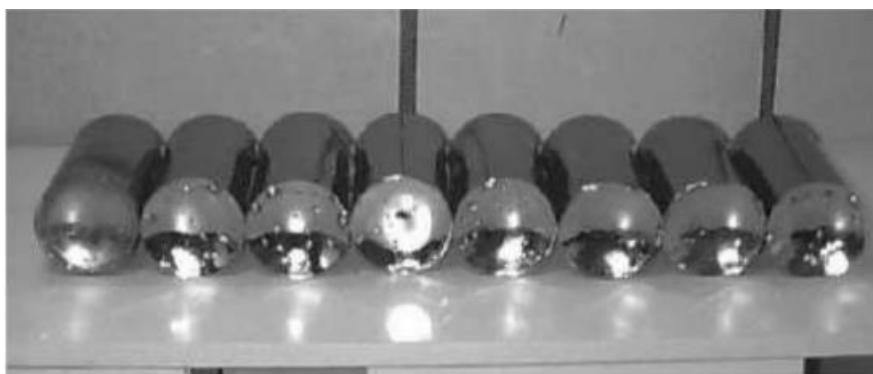
Поликристални силицијум се добија од кварцног песка SiO_2 , редукцијом угљеника на високој температури ($1500 - 1750\text{ }^{\circ}\text{C}$), чиме се добија Si чистоће 99%.



За добијање једног килограма индустријског силицијума потребна су три килограма SiO_2 и 14 kWh електричне енергије. Користи се у индустријске сврхе. Како је чистоћа индустријског Si недовољна за примену у електроници, Si се додатно хемијски пречишћава, чиме се постиже чистоћа од једног примесног атома на милијарду атома Si (односно 9N), то пречишћавање се врши *Сиенсовим* поступком на $300\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Полупроводнички силицијум високе чистоће у виду гранула или штапова (*игнота*) пречника 20 - 200 mm и дужине 0.5 - 1 m, добија се вишеструком фракционом дестилацијом и термичким разлагањем $SiHCl_3$ на $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Слика 9).



Слика 9. Ignoti Si (пречника 140mm) [6]

Поступак добијања поликристалне Si ћелије идентичан је поступку код монокристалних силицијумских ћелија. Једина разлика је у облику ћелија, које су четвртасте (због калупа) и стога се могу боље сложити у (PV) модуле. Процес производње ћелија од поликристалног силицијума је знатно јефтинији од процеса производње монокристалних ћелија. Поликристалне силицијумске фотонапонске ћелије имају мању ефикасност од монокристалних ћелија. Произведена је рс-Si ћелија са текстуром ефикасности чак 19,8 %, а комерцијалне рс-Si ћелије имају ефикасност од 12 - 15% . Изглед поликристалне фотонапонске ћелије приказан је на (Слика 10.).



Слика 10. Поликристална фотонапонска ћелија [6]

2.1.3 Аморфни силицијум

Услед високе цене и дуготрајног поступка производње монокристалног силицијума, и великих губитака сечења Si монокристалних ингота на плочице за соларне ћелије, тражен је нови материјал па је добијен аморфни силицијум. Један од разлога за коришћење аморфног силицијума уместо кристалног за соларне ћелије је у чињеници да је дебљина соларних ћелија од аморфног силицијума 300 С°. мања од дебљине соларних ћелија од монокристалног силицијума.

Основна разлика између аморфног и кристалног силицијума је у уређености њихове структуре. Код кристалног силицијума уређеност структуре је правилна и периодична, а код аморфног неправилна и статистичка. У чистом стању аморфни силицијум није интересантан за полупроводничку индустрију јер нема добру електричну и фотопроводност. Из тога разлога дуги низ година аморфни силицијум није имао већу практичну примену. До нагле промене у примени аморфног силицијума дошло је још 1975.године, када су два научника објавила своје резултате својих истраживања везаних за добијање Si термичким разлагањем силана у тињавом пражњењу са температуром подлоге од 300 степени. Са становишта примене од аморфних слојева се захтева да им структура буде што неуређенија и да имају енергетске зоне, што приближније енергетским зонама кристалних материјала. Густина стања у забрањеној зони недопираних аморфних материјала треба да је што мања, да би допирање имало ефекте на промену њихових проводничких особина.

Аморфни силицијум се може добити термичким разлагањем силана, у тињавом пражњењу, реактивним спатеровањем, хемијским наношењем слојева из парне фазе, фотолитичким поступцима итд. Силицијум не реагује директно са водоником. Посебним поступком могуће је добити једињења силицијума са водоником која су позната под називом силани. Међу силанима је најзначајнији моносилан који је у одсуству ваздуха безбеојан и стабилан гас. Термичким разлагањем добија се чист аморфни силицијум [7].



Слика 11. Структура аморфне a-Si ћелије и њена практична примена у објектима [6]

Предности аморфног силицијума за израду солраних ћелија у односу на монокристални силицијум су следеће:

- аморфни силицијум има већи коефицијент апсорпције сунчевог зрачења од монокристалног силицијума и
- потребна је знатно мања количина материјала у односу на монокристални силицијум.

Недостатци соларних ћелија од аморфног силицијума у односу на соларне ћелије од монокристалног и поликристалног силицијума су:

- Ове ћелије имају мању ефикасност у односу на ефикасност поликристалних и монокристалних соларних ћелија. Неке имају ефикасност и до 8 %,
- Приликом осветљења у дужем временском периоду долази до извесне деградације оптичких и електричних карактеристика соларних ћелија.



Слика 12. ФН ћелија од танкослојног аморфног силицијума [8]

Експериментална испитивања су показала да ефикасност а-Si соларних ћелија не зависи од подлоге, већ од услова и начина формирања полупроводничких слојева. Комерцијалне а-Si соларне ћелије на стаклу, пластичној основи и челичном лиму имају ефикасност 5 - 7 %. Лабораторијске а-Si соларне ћелије имају ефикасност мало изнад 10 %.

2.1.4 Хибридне фотонапонске ћелије

Хибридне соларне ћелије се добијају комбиновањем кристалног силицијума са некристалним силицијумом и са другим типовима ћелија. Још један значајан напредак у развоју је формирање дебело/танког (thick/thin) типа структуре интерфејса (хетероструктуре) између слоја аморфног и кристалног силицијума. Њихова ефикасност је близу 21 % за површину ћелије од 10100 mm². Ове ћелије су показале одличну стабилност.

2.2 Халкогене (несилицијумске) фотонапонске ћелије

Касније су установљене нове не-силицијумске технологије фотонапонских ћелија, засноване на примени елемената 16 групе периодног система који се називају халкогеним елементима. Назив халкогени потиче од грчких речи chalkos (руда) и genesis (постанак) – у слободном преводу то би значило "оно што сачињава руде". Почетком 1960. године развијене су танкофилмне фотонапонске ћелије од кадмијум-телурида и кадмијум-сулфида (CdTe и CdS), бакар-индијум-галијум-селенида/бакар-индијум-селенида (CIGS/CIS) и ћелије са фотоосетљивим пигментима (DSSC). Остварена је ефикасност ових ћелија од преко 10%. Међутим, истраживање и развој ових ћелија су обустављени услед деградације халкогених бакарних слојева.

CdTe/CdS фотонапонске ћелије

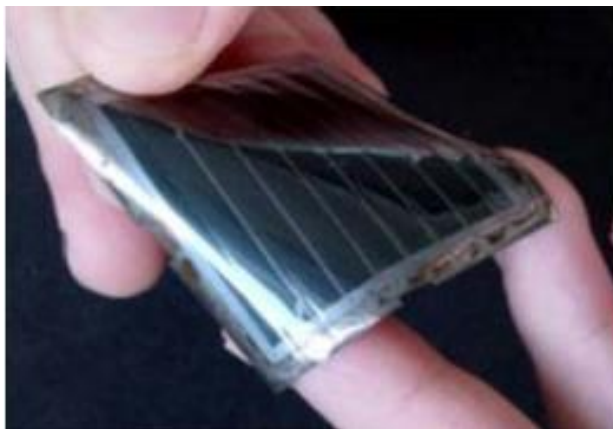
Ова врста соларних ћелија је у употреби од 1970. године, и у поређењу са претходно наведеним врстама јефтинија је. Кадмијум телурид (CdTe) је материјал са директним енергетским процепом. Енергија енергетског процепа CdTe од 1eV је пожељна за претварање соларног зрачења у електрицитет. Његова вредност оптичке апсорбције чини га идеалним материјалом за примену у PV техници. Уобичајена структура CdTe/CdS соларне ћелије танког филма се састоји од CdTe апсорбујућег слоја p-типа и пролазног слоја CdS n-типа који формира хетероспој. Лабораторијске CdTe ћелије имају ефикасност од 16%, за разлику од комерцијалних чија је ефикасност око 8 % [9].

CIGS/CIS фотонапонске ћелије

Галијум-арсенид (GaAs) је полупроводничка форма галијума и арсена која има сличну структуру као силицијум. У поређењу са силиконским ћелијама, галијум-арсенид соларне ћелије имају већу ефикасност и мању дебљину.

Ове ћелије имају велику топлотну отпорност. Поред тога, GaAs је лакши у односу на поликристални и монокристални силицијум. Међутим производња GaAs материјала за соларне ћелије може бити прилично скупа. Полупроводничка једињења као што је бакар-индијум-диселенид (CIS), бакар галијумдиселенид (CGS), и њихова легура бакар-индијум-галијум-селенид (CIGS) се називају халкопиритима због своје тетрагоналне кристалне структуре. Други халкопирити као нпр. CuInSe₂ и CuInTe₂ имају знатно нижу ефикасност од CIS.

Прва CIS ћелија од монокристалног материјала са ефикасношћу од 12 % развијена је 1974. године, а прва соларна ћелија танког филма ефикасности од 4 % процесом испаравања. CIGS/CIS соларне ћелије су још увек у развојној фази. Њихова модулска ефикасност је 13 %, док је ћелијска ефикасност 20 %. Флексибилни CIGS модули танког филма од скоро привлаче велику пажњу на флексибилне соларне ћелије на металним и пластичним фолијама услед своје високе ефикасности, стабилности и флексибилности. Основни прототип мини модула развијен на полимерној фолији приказан је на Слици 13. [9].



Слика 13. Прототип CIGS ФН ћелије на полимерној фолији [10]

Ћелије са фотоосетљивим пигментима

Ћелије са фотоосетљивим пигментима (DSSC) су интензивно проучаване услед својих добрих фотоелектричних конверзионих ефикасности, једноставне технологије израде и потенцијално ниске цене. Осетљивост полупроводника, нпр. ZnO, на органске боје проучавана је од стране неколико група ради примене у електро-фото-хемијским процесима (PEC). Ефикасност конверзије од 1 % у обојено осетљивим ZnO фотоелектордама остварена је 1976. године.

Због повећања ефикасности, смањења трошкова производње и побољшања заштите животне средине, истраживачи су дошли до идеје да се произведе нови тип соларних ћелија под називом ћелија са фото-осетљивим пигментима (DSSC). Ћелије са фото-осетљивим пигментима (DSSC) су интензивно проучаване услед добре ефикасности (чак и до 11 %), једноставне и брзе технологије израде и потенцијално ниске цене.

2.3 Фотонапонске ћелије треће генерације

Са потрагом за материјалом којим би се побољшале карактеристике соларних ћелија, развијене су нове фотонапонске технологије - технологије "треће генерације ФН ћелија".

Овим технологијама је повећана ефикасност конверзије код соларних ћелија. Наноцеви (Nanotubes-CNT), квантне тачке (quantum dots - QDs) и НС (hot carrier) соларне ћелије су три врсте најновијих и најсавременијих технологија у производњи ФН ћелија. Предности коришћења ових технологија су: (1) побољшање механичких карактеристика материјала, (2) ниска цена, (3) мала маса и (4) добре електричне перформансе.

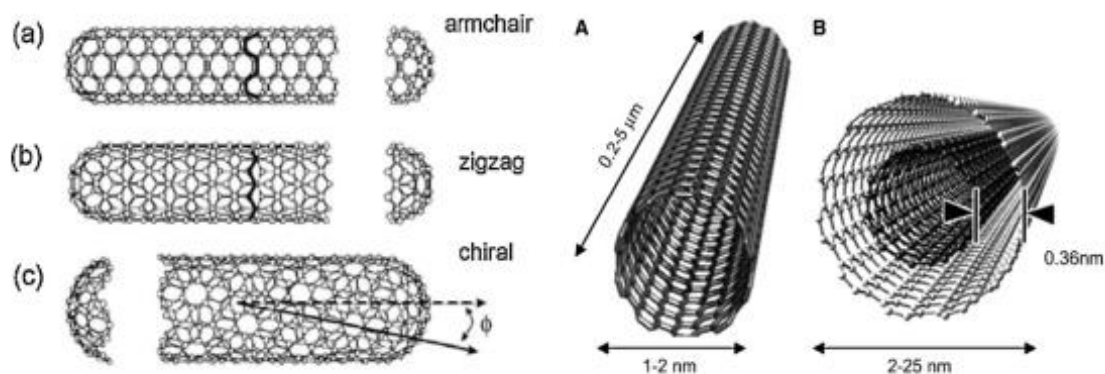
Квантне тачке (QDs)

Quantum dot (QD) су кристални проводници нано величине који се могу произвести различитим методама. Предност QD је способност подешавања прага апсорпције једноставним одабиром пречника dot-а. QD је кристал полупроводничког материјала нанометарске величине.

QD су познати под називом "вештачки атоми" јер дају прилику за контролу енергије носача подешавањем ограничења у све три просторне димензије. Уским паковањем QD-а нивои ограничења се преклапају како би формирале минивезе у QD суперрешетки. Ово побољшава оптичка и електро својства полупроводничког материјала [9].

Наноцеви (CNT)

Наноцеви могу бити или металне или полупроводничке. Угљеникове наноцеви (CNT) су формиране као шестоугаоне решетке атома угљеника са одличним механичким и електричним својствима. Оне обезбеђују највећу апсорпцију у целом соларном опсегу и могу бити израђене у различитим облицима: једнозидне угљеничне наноцеви, угљеничне наноцеви са двоструким зидом и вишеслојне угљеничне наноцеви (Слика 14). Иако има малу ефикасност, свега 3 - 4 %, спровешће се многа нова истраживања како би се унапредила ова технологија [4].



Слика 14. Различите конструкције угљеничних наноцеви [9]

НС соларне ћелије (НС)

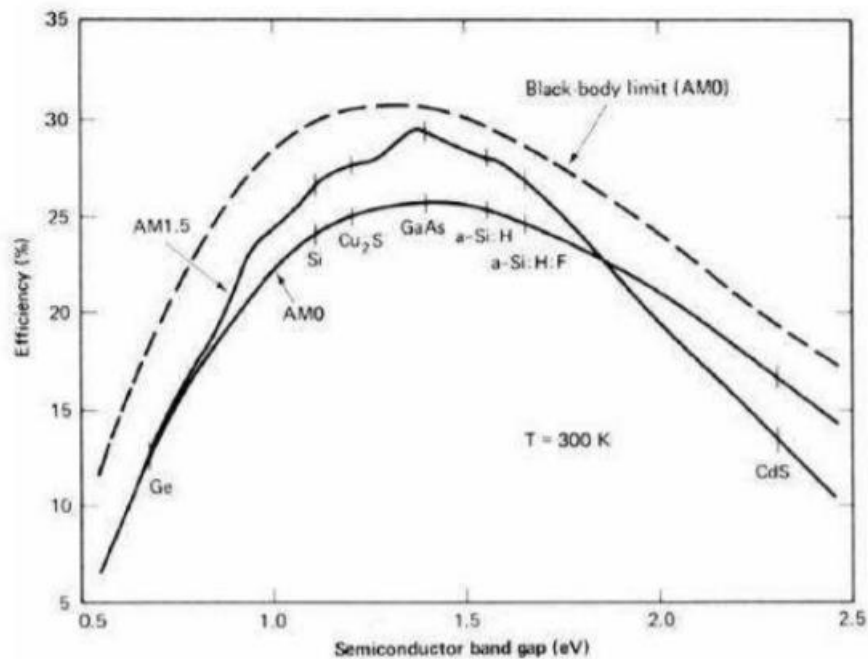
Ова техника је изазовнији метод у односу на квантне тачке и наноцеви, јер користи селективне енергетске контакте за издвајање светлости генерисане помоћу НС ћелије (са електронима и шупљинама) из полупроводничких регија без топлотних губитака. Другим речима, "НС" морају бити сакупљени из апсорбера у веома малом опсегу енергије са селективним енергетским контактима. Ово је најновији тренд у производњи фотонапонских ћелија и омогућава употребу једног материјала апсорбера који даје високу ефикасност. НС соларне ћелије постижу веома високу ефикасност - до 66%, што је три пута веће него код постојећих ћелија од кристалног силицијума. Међутим, док се не пронађе решење за главни материјал, ова технологија се не може развити у потпуности [9].

3. Ефикасност соларних ћелија

Ефикасност ФН соларних ћелија креће се од свега неколико процената до четрдесетак посто. Остатак који се не претвори у електричну енергију углавном се претвара у топлоту и на тај начин загрева ћелију. Уопштено, пораст температуре соларне ћелије утиче на смањене ефикасности ФН ћелије. [11] Ефикасност се може приказати процентуално у односу на идеалан случај у којем је ефикасност 100 %. Силицијумска технологија је водећа у производњи соларних ћелија услед своје велике ефикасности. На Слици 16. дат је преглед ефикасности фотонапонских модула реномираних светских произвођача, уз напомену да ефикасност модула пада (1-2) % годишње. Просечан гарантовани животни век који произвођачи дају износи до 20 година у случају одржања 90 % иницијалне номиналне снаге или 25 година у случају одржања 80 % иницијалне номиналне (максималне) снаге.

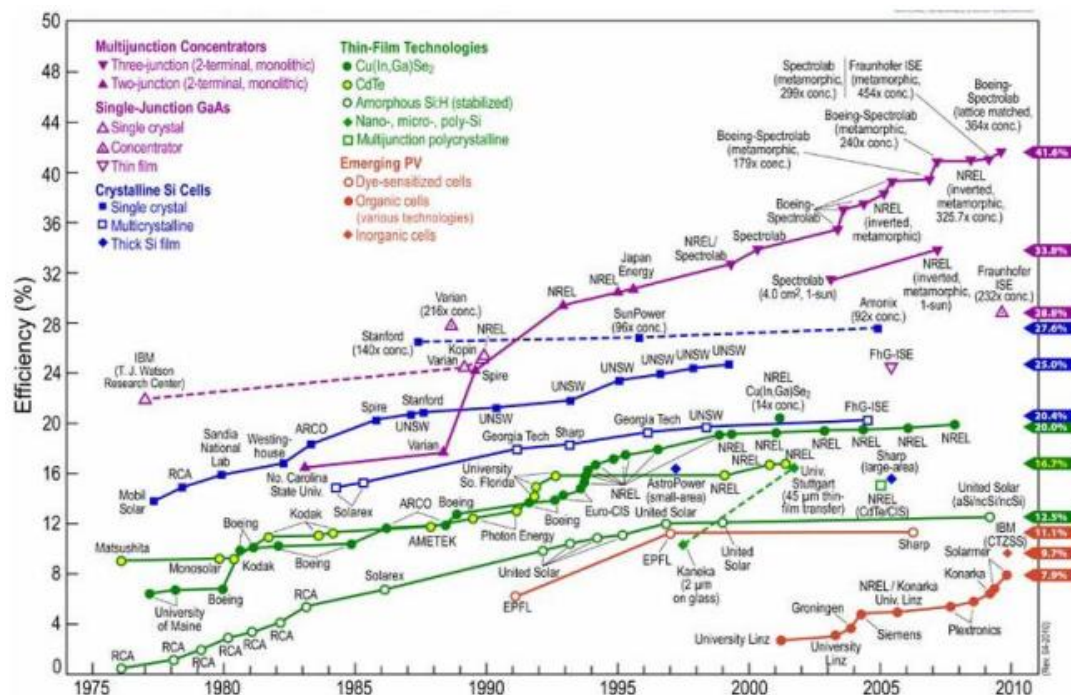
Вредности максималних ефикасности соларних ћелија у зависности од ширине забрањене зоне за материјале од којих могу да се израђују соларне ћелије дате су на слици 16. На слици се види да се ефикасност соларних ћелија у почетку повећава са порастом E_g , да постиже максимум и да се са даљим повећањем E_g смањује. Максимум ефикасности од 20% се постиже за $E_g=1,5\text{eV}$, односно када фотони имају таласну дужину $\lambda = 0,83\mu\text{m}$. У случају монокристалног силицијума ширина забрањене зоне износи $1,1\text{eV}$ што одговара ефикасности око 20%.

Силицијум теоријски није најпогоднији материјал за израду соларних ћелија. Теоријски би најбоље било да се за израду соларних ћелија користе полупроводнички материјали са ширином забрањене зоне између $1,4\text{eV}$ и $1,6\text{eV}$. Међутим, у пракси је са материјалима који имају ову ширину забрањене зоне постигнута мања ефикасност од теоријски предвиђене ефикасности. Зависност максимума снаге идеалних соларних ћелија од ширине забрањене зоне при различитим вредностима интензитета сунчевог зрачења дата је на слици 15. [9].



Слика 15. Максимална ефикасност соларних ћелија у зависности од ширине забрањене зоне [12]

Како је поменуто, ефикасност је један од главних параметара за примену PV технологије.



Слика 16. Преглед ефикасности (PV) модула реномираних произвођача [13]

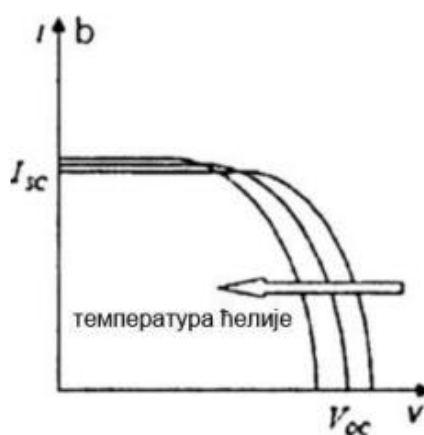
4. Фактори који утичу на ефикасност соларне ћелије

Главни фактори који утичу на ефикасност ћелије су:

- 1) температура соларне ћелије
- 2) утицај задрљања (прашина, инсекти итд.)
- 3) појава "Hot Spot-a "
- 4) соларно зрачење

4.1 Утицај температуре

Опште прихваћено је да ефикасност соларне ћелије опада са порастом температуре, тако да је хлађење неопходно у условима високе изложености осветљењу, концентрисани сунчеви зраци, космички или тропски услови. Температура је критичан фактор који води до пада *PV* ефикасности и излазне снаге. Услед чињенице да са порастом температуре смањује енергетски процеп услед чега се јавља пад у напону отвореног кола. Утицај температуре је знатно већи код монокристалних силицијумских ћелија него код поликристалних силицијумских ћелија и ћелија танког филма. Пад ефикасности од 15 % и 5% јавља се код ћелија од монокристалног силицијума и ћелија танког филма [9].



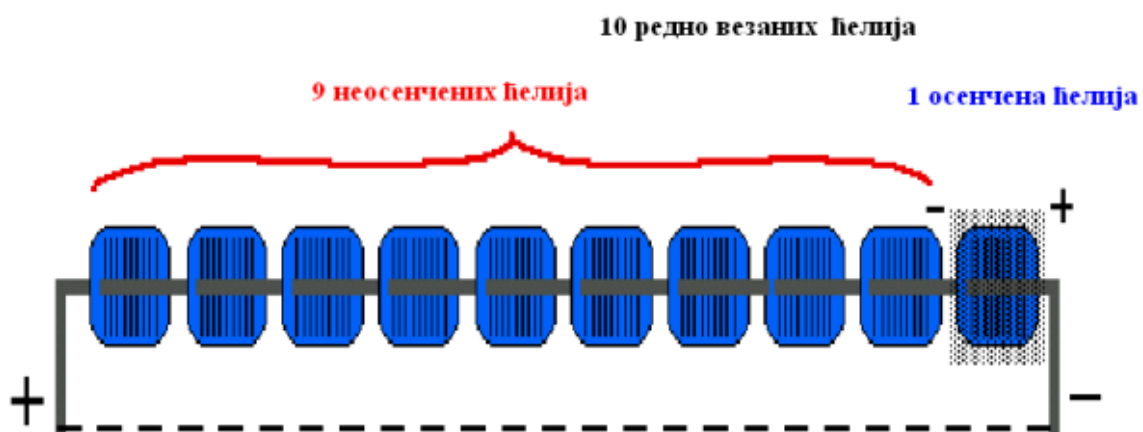
Слика 17. Утицај температуре на карактеристике *PV* ћелија [14]

4.2 Утицај прашине

Такође има негативан утицај на ефикасност PV конверзије услед блокирања долазећег зрачења на PV модуле. Излазна снага опада драстично са порастом густине прашине и порастом брзине ветра. Прашина у ваздуху смањује струју кратког споја и утиче на ефикасност PV модула, која опада линеарно са порастом густине наслага прашине. Са густином наслага прашине од 0 - 22 g/m², одговарајућа редукција излазне ефикасности PV модула се креће од 0 - 26 % [9].

4.3 Појава „Hot Spota“

Се јавља када је соларна ћелија осенчена, у том случају соларна ћелија се загрева до екстремних температура, и такве високе температуре доводе до трајног оштећењем соларне ћелије. Под нормалним условима рада соларна ћелија генерише струју. Насупрот томе осенчена соларна ћелија не генерише струју али кроз њу пролази струја из других ћелија. Струја из других ћелија пролази кроз затамњену ћелију која се у том случају понаша као отпорник, долази до повећања температуре ћелије која на крају доводи до оштећења исте. Појава „Hot Spot-a“ је веома честа, посебно у урбаним срединама [9].



Слика 18. Редно везане соларне ћелије и појава „ Hot Spota“ [15]

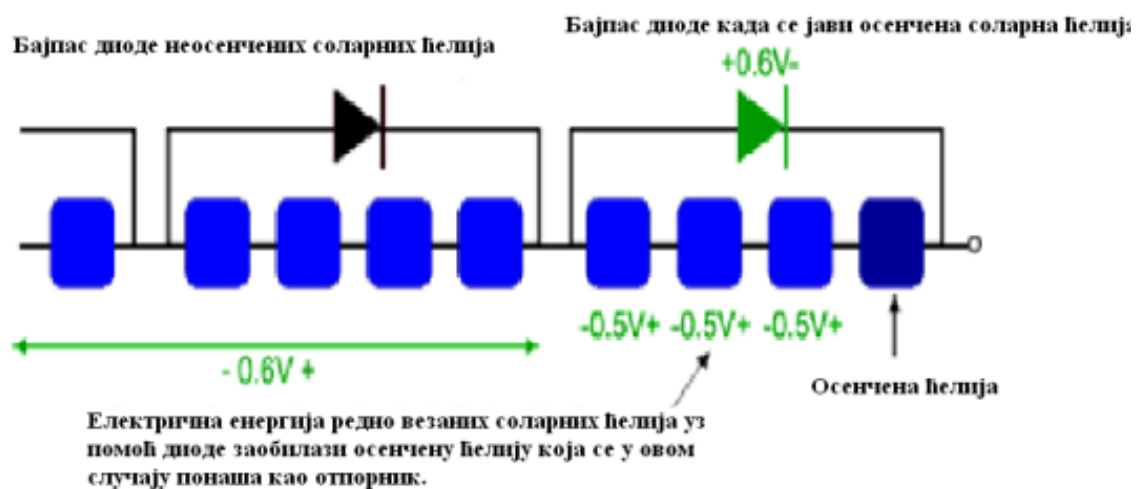
У овом случају осенчена ћелија се понаша као отпорник и кроз њу не може да пролази електрична енергија других редно везаних соларних ћелија.

Појава „ Hot Spota“ доводи до до таквих оштећења материјала које некада могу да резултују и самим паљењем модула, пуцање стакла и топљење соларне ћелије, на Сlici 19. [15]



Слика 19. Оштећење PV модула услед појаве „ Hot Spota “[15]

Да би спречили појаву Hot Spot-а у свим стандардним модулима, користи се премосне (bypass) диоде, слика 20.



Слика 20. Бајпас диоде соларне ћелије [15]

4.4 Повећање соларног зрачења

Има за последицу пораст ефикасности PV модула услед све већег броја фотона који падају на модул. Формира се велики број електронских парова услед повећања зрачења што резултује стварањем електричне енергије. На годишњој основи, најосетљивији материјал је a-Si. Процењено је да корисна фракција a-Si се креће од +6 % до - 9 %, респективно на годишњем просеку. CdTe и CIGS варирају од +4 % до -6 % са ± 1.5 %, респективно годишњем просеку. Што се тиче самих вредности ефикасности, силицијумска технологија је водећа у производњи соларних ћелија услед своје велике ефикасности. На Слици 16. дат је преглед ефикасности фотонапонских модула реномираних светских произвођача, уз напомену да ефикасност модула пада (1-2) % годишње. Просечан гарантовани животни век који произвођачи дају износи до 20 година у случају одржања 90 % иницијалне номиналне снаге или 25 година у случају одржања 80 % иницијалне номиналне (максималне) снаге. Ефикасност монокристалних силицијумских соларних ћелија показује значајан напредак из године у годину. Ефикасност је са 6 % у 1950.-им повећана на 17% у 1970.-им и до данас је континуирано повећавала вредност, чак до 28 % у лабораторијским условима. Монокристалне соларне ћелије су достигле ћелијску ефикасност од 20,3 %, а танкофилмне технологије ефикасност од 19,9 % у 2010.години. Поликристална соларна ћелија је постигла ефикасност 19,8 % до данас, али ефикасност поликристалног силицијума у комерцијалним сврхама је између 12 % и 15%. Највећу ефикасност од свих соларних ћелија данас, има GaAs соларна ћелија – чак до 40,7 % (остварено 2010. години у лабораторијским условима). Ћелије са фото-осетљивим пигментима (DSSC) и даље имају ниску ефикасност и то максимално до 5,4 %. Услед високих трошкова, многи истраживачи покушавају да пронађу нове технологије како би снизили трошкове производње соларних ћелија, и до данас једина пронађена адекватна замена је технологија танког филма. Међутим ефикасност произведених ћелија овом технологијом је још увек ниска. Три материјала на које је обраћена посебна пажња у оквиру технологије кратког филма су аморфни силицијум, кадмијум сулфид, кадмијум телурид (CdS/CdTe) и бакар-индијум-селен (CIS), за које истраживачи улажу велики напор да повећају њихову ефикасност, иако ова врста материјала има негативан утицај на животну средину [9].

5. Фотонапонски модули

Низ фотонапонских ћелија спаја се, најчешће серијски, у фотонапонски модул. Тако нпр. 250W модул има 60 фотонапонских ћелија. Сваки фотонапонски модул карактеристичан је одређеним параметрима који су нам важни у примени [16].

Фотонапонска ћелија је основни градивни блок фотонапонског система. Индивидуалне ФН ћелије су обично малих димензија (1 - 15 cm) и у просеку производе 1 - 2 W. Будући да је излазна снага ћелије премала, електрично се повезују у фотонапонски модул (панел) како би оствариле адекватну излазну снагу. Да би се обезбедила дуготрајнија и поузданија заштита од атмосферских и физичких оштећења, примењује се посебан поступак монтаже ФН модула. Горњи слој ФН модула мора имати високи степен транспарентности, бити отпоран на воду, удар и тиме бити стабилан када је дуже времена изложен ултраљубичастом зрачењу. Материјал који се најчешће користи за израду горњег слоја ФН модула је од каљеног стакла. Доњи слој ФН модула је танки полимерни филм који има добру отпорност на воду и корозију, најчешће тефлон. Тако израђени ФН модул поставља се у алуминијумски оквир чиме се постиже робусност и могућност практичног и једноставног постављања на разне површине [17].

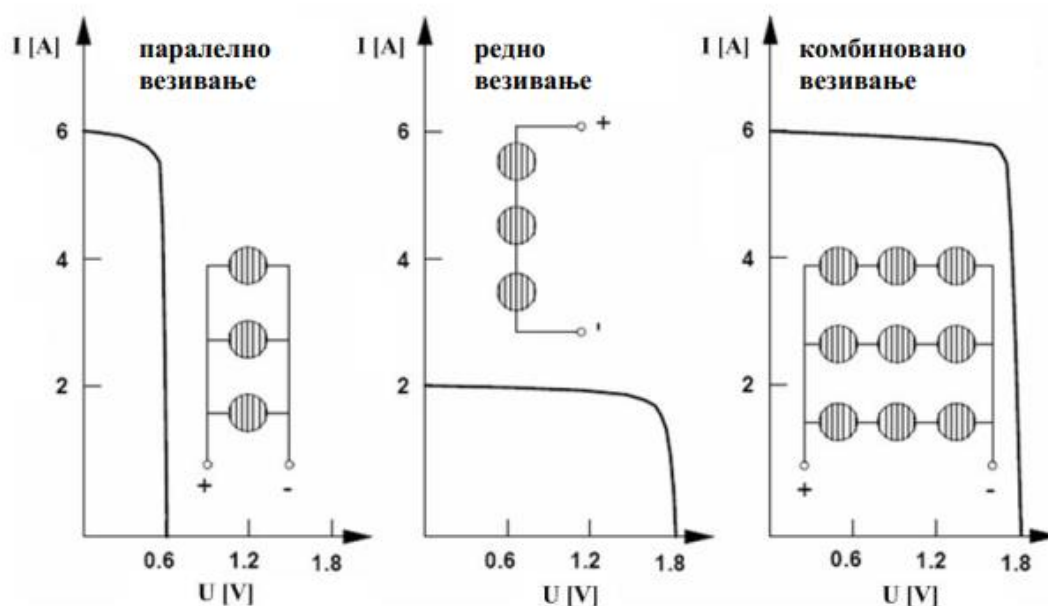
Ефикасности комерцијално расположивих фотонапонских модула различитих технологија приказане су у Табели 1.

Табела 1. Ефикасност соларних фотонапонских модула

тип соларне технологије	типична ефик. фотонап. Модула [%]	максимална ефик. фотонап. модула [%]	максимална ефика. модула у лаб. условима
монокристални силицијум	12-15	22.7	24.7
поликристални силицијум	11-14	15.3	19.8
аморфни-силицијум	5-7	10.1	12.7
кадмијум-телурид	6-8	10.5	16.0
бакар-индијум диселенид	6-8	12.1	18.2

5.1 Везивање фотонапонских ћелија

Није тешко закључити да ако желимо од одабраног броја FN ћелија, да добијемо највећу могућу струју, онда те ћелије треба везати паралелно. Ако је струја 1 ћелије I_1 , а број ћелија n , онда је, у идеалном случају, укупна струја паралелно везаних ћелија $I_{uk}=n \cdot I_1$. Слично важи и за напон. Ако од одабраног броја ћелија, желимо добити што је могуће већи напон, онда дате ћелије треба везати редно. Ако је напон 1 ћелије U_1 , а број ћелија n , онда је укупни напон, редно везаних ћелија $U_{uk}=n \cdot U_1$ (Слика 21.) [17].



Слика 21. Начини повезивања PV ћелија [17]

Тако спојене PV ћелије чине веће фотонапонске модуле (панеле), за обезбеђивање дуготрајније и поуздање заштите од атмосферских и физичких оштећења примењује се у важним фазама поступак монтаже PV ћелија у PV модул Слика 22. Горњи слој PV модула мора имати високи степен транспарентности, бити отпоран на воду, удар и тиме бити стабилан када је дуже времена изложен ултраљубичастом зрачењу. Материјал који се најчешће користи за израду горњег слоја PV модула је од каљеног стакла. Инкапсулант служи као заштита сунчеве ћелије од спољних утицаја, али и као повезница горњег слоја, ћелије и доњег слоја. Инкапсулант мора бити високо транспарентан те стабилан при високим температурама и високим нивоима ултраљубичастог зрачења. Материјал који се најчешће користи за израду инкапсуланта је *ethylene vinyl acetate*, односно (EVA) филм, који се приликом загревања полимезира те учвршћује конструкцију PV модула. Доњи слој PV модула је танки полимерни филм који има добру отпорност против воде и корозије, најчешће тефлар. Тако израђени PV модул урамљује се у алуминијумски оквир чиме се постиже робусност и могућност практичног и једноставног постављања на некакву површину (Слика 23.) [17].

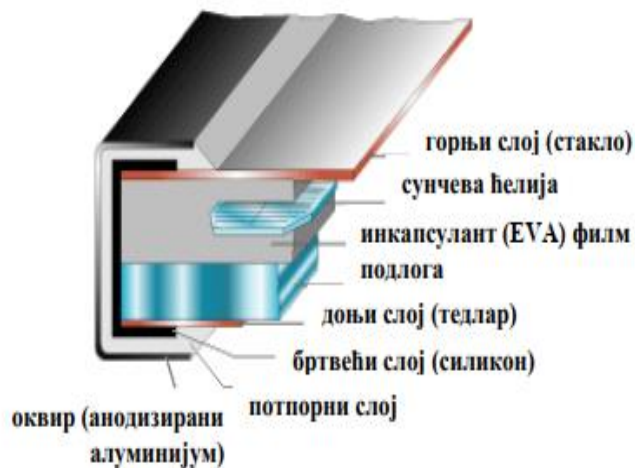
5.2 Монтажа ћелија

На Слици 22. приказан је у важним фазама поступак монтаже PV ћелија у PV модул



Слика 22. Поступак монтаже PV ћелија у PV модул [7]

На Слици 23. приказан је попречни пресек (PV) модула сачињеног од кристаличног силицијума



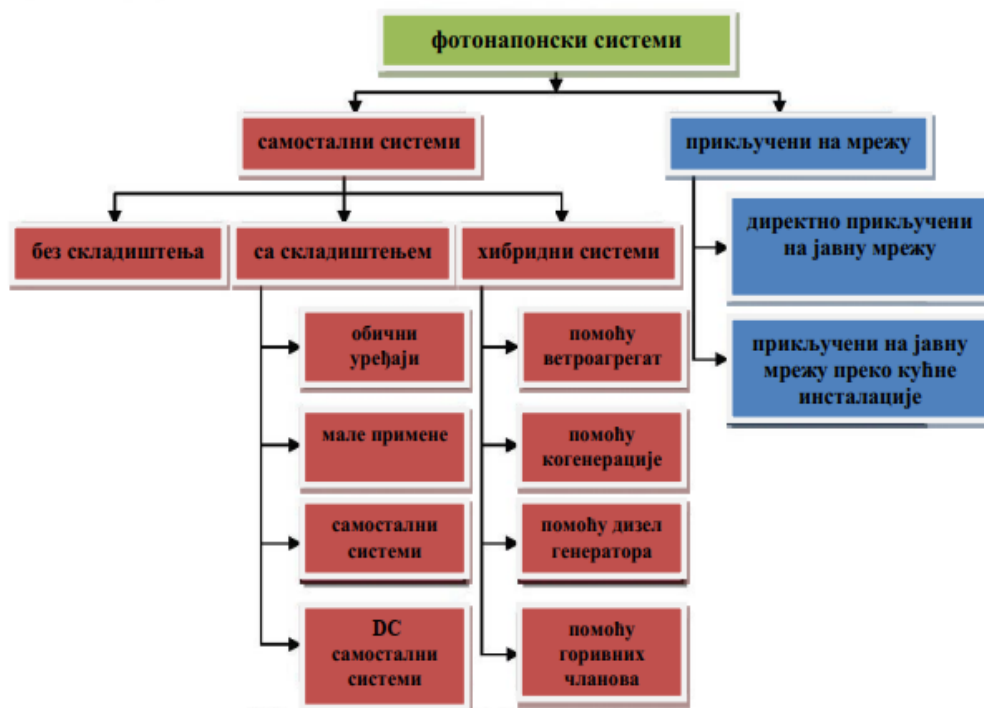
Слика 23. Попречни пресек (PV) модула сачињеног од кристаличног силицијума [6]

6. Фотонапонски системи

Фотонапонски системи раде на принципу фотонапонске конверзије сунчевог зрачења које се врши у соларним ћелијама које се израђују од полупроводничких материјала. Фотонапонски систем подразумева систем помоћу кога се врши снабдевање једносмерном, наизменичном или и једносмерном и наизменичном струјом. Системи на којима се врши конверзија сунчевог зрачења и у електричну и у топлотну енергију се називају мултифункционални или хибриди системи. Фотонапонске системе можемо поделити на три основне врсте, без обзира што је основна сврха све три врсте фотонапонских система је производња електричне енергије.

- самостални соларни системи који се користе где не постоји могућност снабдевања из мреже
- мрежно повезани соларни електрични системи
- помоћни системи.

Пројектовање фотонапонских система захтева комплексну анализу и прорачуне у циљу формирања енергетски ефикасног система на циљаној локацији. Ефикасности фотонапонског система зависи од низа фактора који зависе како од циљне локације за постављање система, где спадају радијација, температура, задржаност атмосфере, тако и од карактеристика самог система. Због веома великог утицаја и радијације и температуре на микролокацији са циљем што прецизније естимације производње будућег система, битно је вршити прорачуне користити реалне мере податке на микролокацији за дужи временски период, најмање једну годину. Најчешће се мерења врше на сваких десет минута што у току године резултује са 52560 мерних података које је потребно анализирати и уврстити у бројне изразе потребне за прорачун производње фотонапонског система. Софтвер омогућева да се овакви прорачуни једноставно изврше. Софтвер је написан у програмском пакету MATLAB и омогућава инжињерима који се баве овом облашћу да проласком кроз логичан след корака изврше максимално комплетно формирање фотонапонског система, процене производњу и анализирају економску исплативост пројекта. Као пример примене софтвера урађен је идејни пројекат фотонапонског система на крову зграде техничког факултета у Београду. Основна идеја је да се формира демонстрациони фотонапонски систем повезан на дистрибутивну мрежу, постављен у експлоатационим условима карактеристичним за Београд, на крову зграде едукативног центра техничких наука. Постављањем два панела са механизмом за праћење путање Сунца, као и видео надзора постављених панела, омогућиће се развој лабораторије за обновљиве изворе енергије [18].



Слика 24. Основна подела фотонапонских система [6]

6.1 Самостални фотонапонски системи

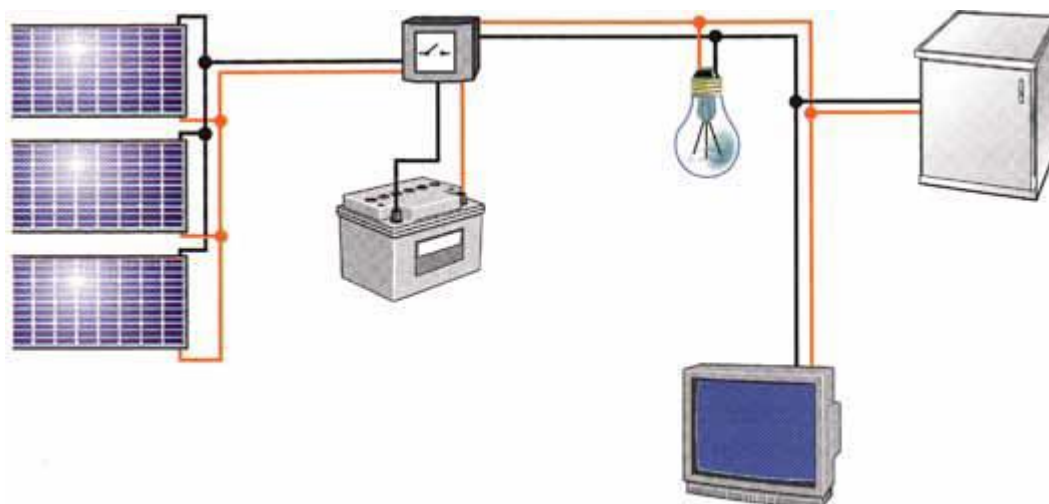
Као што је већ речено, соларни фотонапонски системи који нису прикључени на мрежу (енгл. *off-grid*) често се називају и самосталним системима (енгл. *stand-alone*), а могу бити са или без складиштења енергије, и хибридни системи који могу бити ветрењаче, когенерацијом, горивним елементима, или дизел генератором [6].

Темељне компоненте самосталног фотонапонског система, Слика 25.

1. фотонапонски модули (обично спојени *паралелно* или *серијски-паралелно*)
2. регулатор пуњења
3. акумулатор
4. трошила
5. измењивач (ако потрошачи раде на наизменичну струју)

За такав фотонапонски систем, који се састоји од горе наведених компонената карактеристична су два основна процеса:

- конверзија сунчевог зрачења, односно светлосне енергије у електричну
- конверзија електричне енергије у хемијску и обрнуто, хемијске у електричну

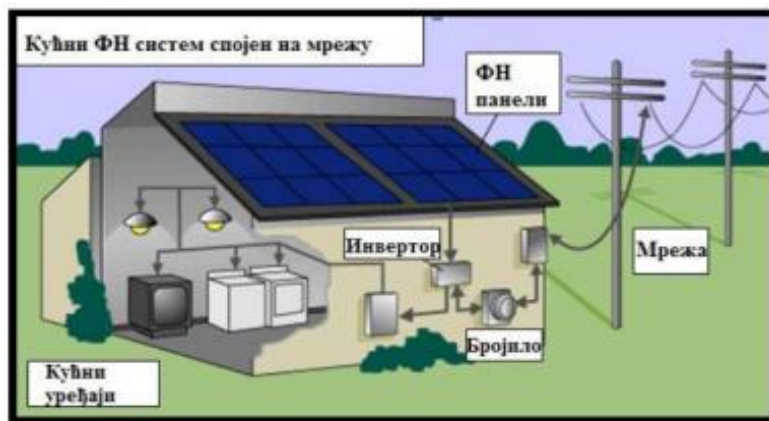


Слика 25. Самостални фотонапонски систем за потрошаче на једносмерну струју [6]

Фотонапонска конверзија енергије сунчевог зрачења, односно светлосне енергије електричну, одвија се у соларној ћелији, док се у акумулатору обавља повратни (реверзибилни) електрохемијски процес конверзије, повезан са набијањем (пуњењем) и избијањем (пражњењем) акумулатора. У потрошачима се електрична енергија претвара у различите облике, као на пример механичку, топлотну, светлосну или неку другу енергију. Потрошач је дефинисан снагом, напоном и струјом.

6.2 Мрежно повезани фотонапонски системи

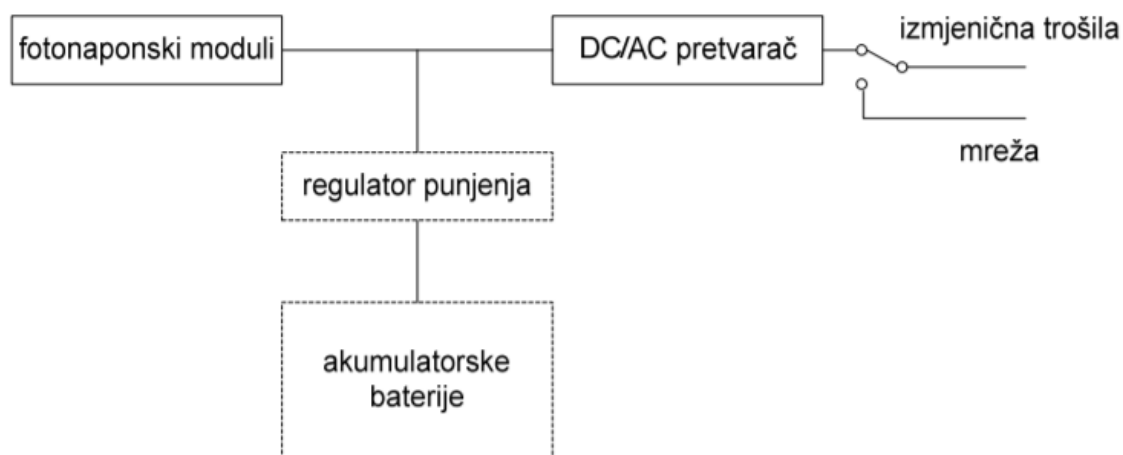
Код мрежно повезаних ФН система (Слика 26.), системи фотонапонских модула су повезани на локалну мрежу електричне енергије. То значи да током дана, електрична енергија коју генерише ФН систем може одмах да се користи, или може бити продата електро-мрежи као вишак (што је случај код домаћих-кућних система где људи током дана не бораве у објектима становања). У вечерњим сатима, када соларни систем није у могућности да обезбеди целокупну потребну количину електричне енергије, она може да се "врати" из мреже. У ствари, мрежа се понаша као енергетски систем за складиштење, што значи да ФН систем не треба да укључује батерије за складиштење електричне енергије [9].



Слика 26. Мрежно спојен ФН систем [9]

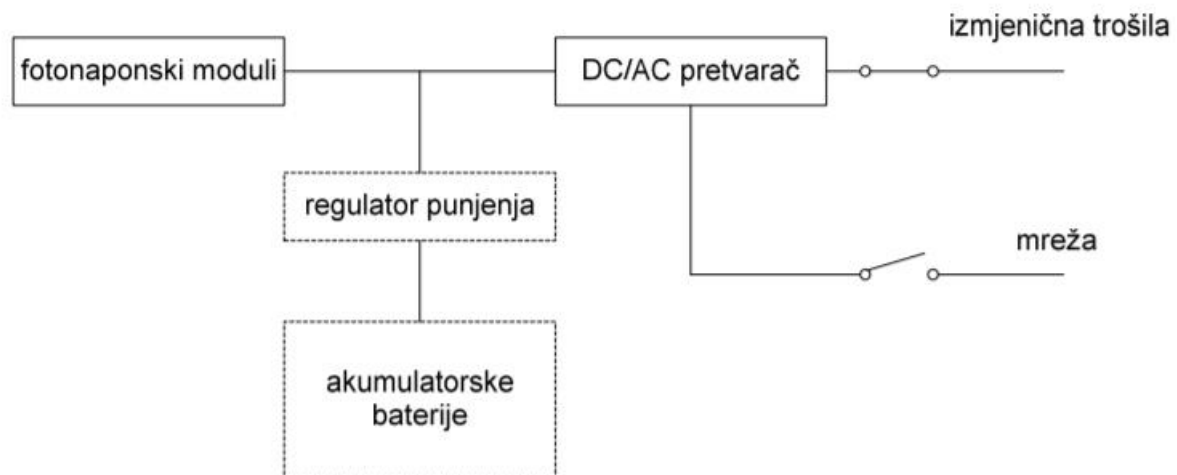
6.3 Пасивни и активни мрежни фотонапонски системи

ФН системи пасивне мреже користе електричну мрежу само условно, у периодима када на пример ФН модули не могу да произведу довољне количине електричне енергије ноћу када су батерије за струју истовремено празне (слика 27.) [19].



Слика 27. Пасивни мрежни фотонапонски системи [19]

Активни или интерактивни мрежни ПВ системи користе мрежу интерактивно, узимање у случају већих потреба или враћање у случају вишка електричне енергије енергија произведена у ФН модулима (слика 28).

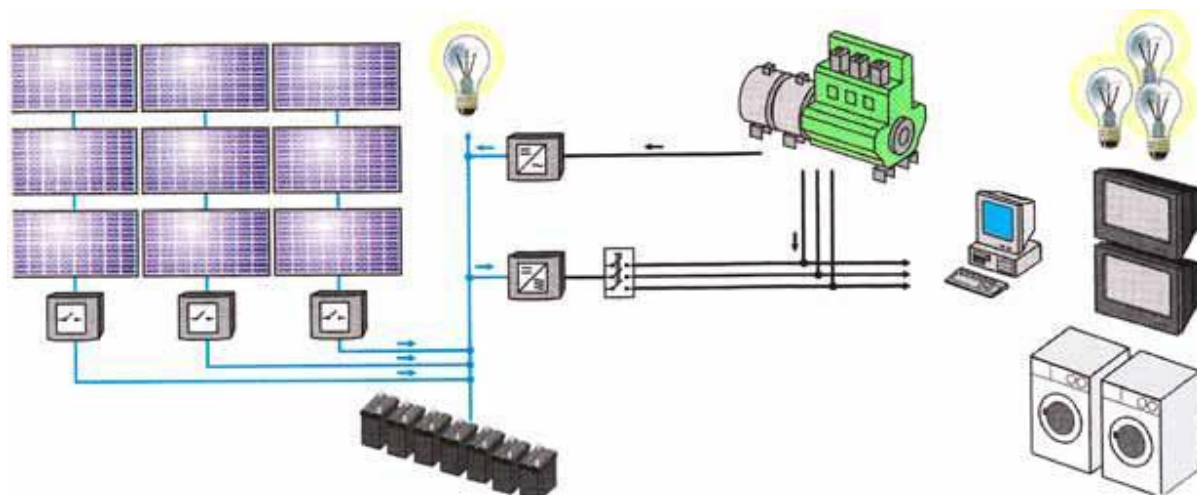


Слика 28. Активни мрежни фотонапонски системи [19]

Оба мрежна система на излазу модула могу такође користити претвараче једносмерног напона који могу подесити ниво напона за потребе потрошача једносмерне струје који раде на напонима различитим од 12V и 24V или могу прилагодити напону батерија које раде на вишим једносмерним напонима. [22]

6.4 Хибридни фотонапонски системи

Соларни фотонапонски системи могу бити изведени и као хибридни системи, когенерацијом, горивним ћелијама или најчешће генератором на дизел или биодизел гориво. Код тих система се електричном енергијом произведеном соларним модулима или ветрењачама, првобитно напајају потрошачи, а вишак енергије се шаље у тзв. соларне акумулаторе. У случају да не постоје услови за производњу електричне енергије соларним модулима или ветрењачама, извор за напајање једносмерних или наизменичних потрошача ће бити акумулатор. У случају да ни у акумулаторима више нема енергије за напајање потрошача, укључује се генератор на дизел или биодизел гориво. На Слици 29. приказана је шема самосталног хибридног фотонапонског система са генератором за напајање потрошача на једносмерну (*dc*) или наизменичну струју (*ac*) [6].

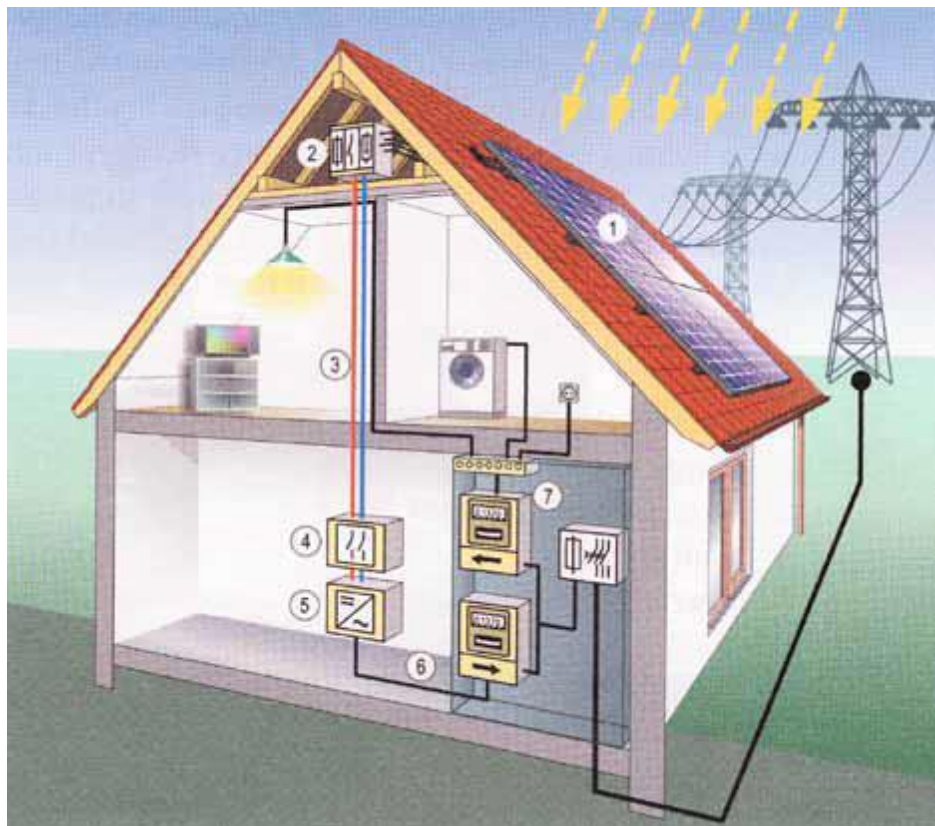


Слика 29. Шема самосталног хибридног фотонапонског система са генератором [6]

6.5 Фотонапонски системи прикључени на јавну електроенергетску мрежу

Фотонапонски системи прикључени на јавну мрежу преко кућне инсталације припадају дистрибуираној производњи електричне енергије. Дакле, они омогућавају повезивање дистрибуираних система на централизоване системе. Темељне компоненте фотонапонског система, повезаног на јавну електроенергетску мрежу преко кућне инсталације приказане су на Слици 30. То су:

1. фотонапонски модули
2. спојна кутија са заштитном опремом
3. каблови једносмерног развода
4. главна склопка за одвајање
5. измењивач
6. каблови наизменичног развода
7. бројила предате и преузете електричне енергије

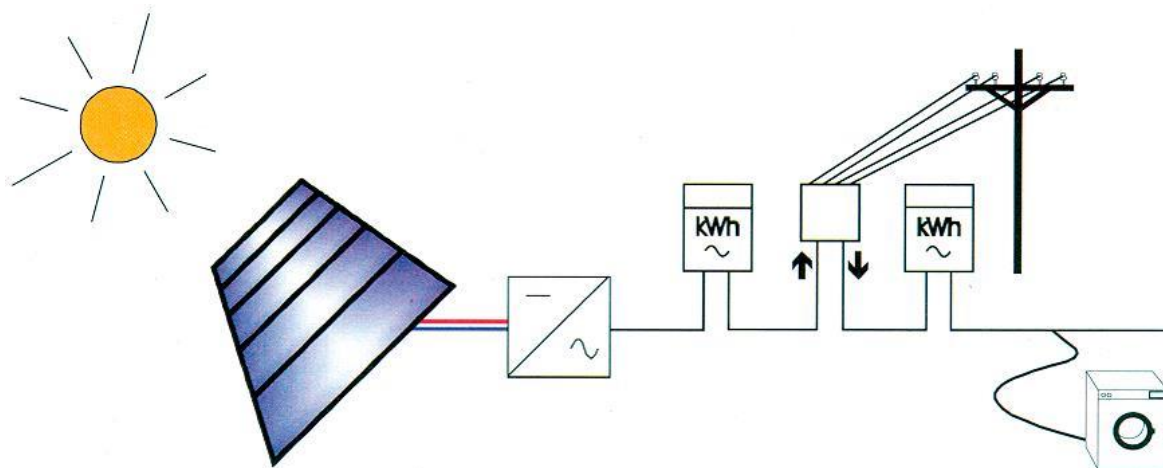


Слика 30. Фотонапонски систем прикључен на јавну мрежу преко кућне инсталације [6]

Фотонапонски модули (1), спојени серијски или серијски-паралелно, производе једносмерну струју и међусобно су повезани кабловима у низове тзв. вишеконтактним конекторским системом. Сви каблови који долазе од низова фотонапонских модула уводе се у разводни ормарић модула (2) односно спојну кутију низова модула са свом заштитном опремом, понајприје одводницима пренапона и једносмерним прекидачима. Из разводног ормарића се доводи од сваке групе фотонапонских модула кабловима једносмерног развода (3) преко главне склопке за одвајање (4) према соларним измењивачима (5). Соларни измењивачи претварају једносмерну струју соларних модула у наизменичне струје регулисаног износа и фреквенције синхронизовано са напонам и фреквенцијом мреже, те се настала наизменична струја преноси кабловима наизменичног развода (6) до кућног прикључка на електроенергетску мрежу, односно електричног ормарића, где су смештена бројила електричне енергије. Бројила електричне енергије (7), смештена у ормарићу бројила, региструју произведену енергију предату у мрежу и потрошену енергију преузету из мреже [6].

Фотонапонски систем прикључен на јавну мрежу преко кућне инсталације је у паралелном погону са дистрибутивном мрежом, а намењен је за напајање потрошача у породичној кући, где вишак електричне енергије одлази у електродистрибуцијску мрежу. Кад соларни модули не производе довољно електричне енергије, напајање потрошача у домаћинству допуњује се преузимањем енергије из мреже, Слика 31.

С обзиром на то да инсталирани фотонапонски системи прикључени на јавну мрежу преко кућне инсталације производе највише електричне енергије средином дана, они подмирују властите потребе и добрим делом растеређују електроенергетски систем, што може бити од велике важности у областима где је слаба електроенергетска мрежа.



Слика 31. Бројила предате и преузете електричне енергије [6]

Предности фотонапонских система, као дистрибуиране производње електричне енергије, спојених на јавну електроенергетску мрежу преко кућне инсталације су следеће:

- производи се еколошки чиста електрична енергија без загађења околине
- сва се конверзија енергије обавља у близини места потрошње
- нема губитака енергије у преносу и дистрибуцији
- поузданост и сигурност снабдевања
- трошкови одржавања постројења знатно су нижи од одржавања централизованих производних објеката
- локације за инсталацију фотонапонских система у односу на велике централизоване производне системе, једноставније је, лакше и брже пронаћи
- једноставна и брза инсталација и пуштање у погон.

Више фотонапонских модула који могу бити серијски и / или паралелно повезани при чему обликују тзв. соларни генератор одређене номиналне снаге која се означава у W_p , kW_p или MW_p . Фотонапонски модули производе једносмерну струју DC (*engl. direct current*), обично са напоном 12 или 24 V, што значи да при стварању ел. струје следи претварање једносмерне струје модула у наизменичну, синхронизовану са напоном и фреквенцијом мреже. У већини се земаља Европске уније, обзиром на инсталирану снагу, фотонапонски системи прикључени на јавну електроенергетску мрежу преко кућне инсталације могу поделити на оне до 30 kW, од 30 kW до 100 kW и преко 100 kW [9].

7. Примена фотонапонских система у зградарству

Фотонапонски системи имају велику примену у зградарству. На сваком делу омотача зграде могуће је инсталирати фотонапонски систем. У даљем раду биће приказани неки од примера из праксе где су уграђени фотонапонски системи.

7.1 Спољашњи Зидови

На слици 32. приказана је интеграција соларних топлотних пријемника у фасаду објекта. На слици је приказан институт *Cern* у Швајцарској.



Слика 32. Пример интеграције пријемника од незастакљених равних плоча у фасади као мултифункционалних елемената омотача, *Institut Cern*, Швајцарска [20]

На слици 33. приказан је фотонапонски зид у средњој школи у Лос Анђелесу. На слици се може приметити да је архитекта дао посебну пажњу изгледу грађевине.



Слика 33. Фотонапонски зид у Лос Анђелесу [20]

На слици 34. такође је приказана уградња фотонапонских система у фасаду објекта. На слици је приказана зграда Титаник центра у Белфасту.



Слика 34. Зграда Титаник центра у Белфасту [20]

7.2 Кровови

Квалитетно интегрисање соларних фотонапонских панела у кров објекта је од изузетне важности [20].

На слици 35. приказана соларни панел на крову једне приградске куће у Мелбурну, Аустралија.



Слика 35. Соларни панел на крову куће, Мелбурн, Аустралија [21]

На слици 36. приказан је велики дом на Флориди са 42 соларна панела постављена на крову.



Слика 36. Велики дом са 42 соларна панела, Флорида, [21]

На слици 37. приказан је град у Немачкој сниман из ваздуха. На крововима објеката има пуно соларних панела.



Слика 37. Насеље са пуно соларних панела, Немачка [21]

Од посебне су важности у архитектури стаклени кровови са интегрисаним фотонапонским модулима. На слици 38. приказан је зимски врт са стакленим кровом [7].



Слика 38. Зимски врт од стакленог крова [7]

7.3 Надстрешнице

Велике слободне неискориштене површине налазе се на паркиралишним местима, а могле би се искористити за постављање надстрешница, које, осим што могу штитити од Сунца, кише, туче и снега, могу послужити и за добијање електричне енергије.

С обзиром на то да се у близини таквих објеката налазе и грађевине које троше електричну енергију, односно већ постоји електродистрибуцијска мрежа, уграђени фотонапонски системи могу се из директно прикључити на јавну електроенергетску мрежу преко тзв. кућне инсталације. Такође је могуће, и о томе се размишља, да возила која имају електрични погон директно пуне своје акумулаторе струјом произведеном с фотонапонске плаћајући одговарајућим жетонима, новцем или картицом [20].

На слици 39. и слици 40. приказане су настрешнице изграђене од фотонапонских модула, за паркирање возила.



Слика 39. Настрешница за паркирање испред великог тржног центра [7]



Слика 40. Настрешница за паркинг возила испред стамбених објеката [9]

7.4 Фотонапонски системи интегрисани у омотач зграде

Фасаде, хоризонтални или коси кровови зграда, хотела и дворана и хала различитих намена представљају површине на које се у сам омотач зграде могу уградити соларни системи – ФН панели (BIPV – Building integrated Photovoltaic) и соларни колектори (BISTS – Building integrated Solar Thermal Collectors). Тада говоримо о соларним системима интегрисаним у омотач зграде. Архитектонска интеграција зависи од структуре, функционалних и естетских варијација соларних система и конфигурације саме зграде. Веома важна особина архитектонске интеграције оваквих система је мулти-функционалност. Развој мулти-функционалних соларних фасада и кровова који производе топлотну и електричну енергију и обезбеђују заштиту од временских непогода, светла и буке је данас веома велики истраживачки изазов. Наведене чињенице су индиковане европском регулативом, према којој ново-изграђене зграде мора приближно да буду зграде нето-нулте потрошње енергије. Ово потврђује потребу за применом соларних система у омотачу зграде. Дизајн мултифункционалног омотача зграде је веома комплексан задатак који захтева мултидисциплинарни приступ [9].

Фотонапонски панели интегрисани у омотач зграде

Соларни панели су примарна компонента соларних енергетских система и доступни су у многим облицима и величинама тако да могу да се уклопе у широк спектар кровних површина. Најбитније разматрање у избору соларних панела јесте количина енергије коју фотонапонске соларне ћелије могу да генеришу. Технологија, квалитет и старост доприносе ефикасности ћелија соларних панела. Најчешћи метод поређења соларних панела је разматрање односа цене према вату.

Соларни панели постављени на кровним површинама су најчешћи, али и друге опције се појављују на тржишту. Соларна шиндра, соларни цреп или флексибилни соларни листови који се постављају на металне кровове нуде додатна средства за прикупљање соларне енергије и генерисање енергије. Стандардни панели могу чак бити постављени на сталак који је на земљи. Почетни трошкови за ове опције могу бити већи, али они вам нуде начине на који соларна енергија ради за вас, нудећи већи повраћај улагања на дужи рок.

Соларни панели су обично причвршћени на шинама које су структурално повезани са кровном конструкцијом. Дизајн система шина треба да буде такав да поставка соларних панела буде изведена под најбољим углом за прикупљање сунчеве енергије. Електрични водови, који се обично постављају у каналима, повезују соларне панеле са инвертером и шаљу соларну енергију у кућни електрични систем [22].

Кровови

Кровови обезбеђују велику површину која се углавном не користи и према томе су идеални за постављање фотонапонских система. Обично је ту боља осветљеност него на нижим нивоима зграде или на тлу. Фотонапонски панели продужавају век трајања кровног покривача штитећи га од ултраљубичастих зрака и утицаја воде. Међутим, мора се направити разлика између равних и косих кровова. Равни кровови имају предност добре доступности, лаке инсталације и обезбеђују слободан избор за орјентацију панела. Мора се водити рачуна приликом монтирања система да се не поремети површина крова и слојеви изолације. Такође се мора узети у обзир тежина инсталираних панела, као и утицај ветра који може да их одува [9].



Слика 41. Фотонапонски модул интегрисан у кровни покривач [9]

Коси кровови су добра подлога за инсталацију фотонапонских система. Често се код породичних кућа они уграђују у облику панела који се монтирају на постојећи кровни покривач. Елегантније решење подразумева употребу фотонапонске шиндре или црепа/плоча. Шиндра је модул дизајниран тако да изгледа и понаша се као обична кровна шиндра, пресвучена танким филмом ћелија. За просторне структуре мембранског система као што су разне настрешнице, развијен је танак филм соларних ћелија интегрисан у флексибилну кровну мембрану од полимера.

Спољашњи зидови

Фотонапонски модули се могу додати на постојеће спољашње зидове дајући им потпуно нови изглед и тако учинити фасаду атрактивнијом. Панели се могу монтирати на постојећу фасаду зграде. У овом случају нема потребе за водонепропусним спојницама, јер је та карактеристика већ обезбеђена претходном фасадом испод панела. Фотонапонски модули могу бити и интегрисани део фасаде. Модули од ламелираног стакла који замењују конвенционалне зид завесе, практично су исти као и затамњено стакло. Они пружају дугорочну заштиту од временских утицаја и могу бити произведени у разним величинама, облицима, шари и боји. [9]

Закључак

Највише заступљен обновљиви извор енергије који се користи је соларна енергија. Енергија коју зграда генерише посредством сопствених соларних система је најчешће електрична енергија која се добија из фотонапонског (ПВ или ФН) система, док се генерисање топлотне енергије врши преко система соларних колектора. Оба поменута система треба да буду постављена у оптималном положају, да би се енергија Сунца искористила на најбољи могући начин.

Брз пораст фотонапонске индустрије у свету уз пораст производних капацитета и позитивну политичку климу у земљама као што су Јапан, Немачка и Шпанија, обећавају добру перспективу фотонапонским технологијама и у Србији. Међутим, фотонапонска индустрија захтева погодне и стабилне политичке услове у Србији за константан и одржив развој. Брзе или нагле промене у условима и износима субвенција затим политичким ставовима, могу да доведу у питање позитиван развојни тренд. Узимајући у обзир данашњи значај фотонапонске технологије, њихове дугорочне потенцијале и време потребно да се овакве технологије развију, развој и примене ових технологија потпуно оправдавају и охрабрују државну подршку и субвенције. Фотонапонска индустрија може знатно да допринесе привреди земље отварањем нових радних места, као и малих и средњих предузећа.

Литература

- [1] Обновљиви извори енергије; Интернет страница:
<https://www.energetskiportal.rs/obnovljivi-izvori-energije/energija-sunca/>
Приступљено:15.09.2020
- [2] Соларни панели, енергија сунца; Интернет страница:
<https://www.solarnipaneli.org/energija-sunca/> Приступљено 15.09.2020
- [3] Green Home; Интернет страница:
<https://www.greenhome.co.me/index.php?IDSP=447&jezik=lat> Приступљено:15.09.2020
- [4] RENEWABLES 2019; GLOBAL STATUS REPORT; https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf Приступљено: 22.09.2020
- [5] Соларна енергија у Србији; Интернет адреса: <http://www.solarisenergy.co.rs/solarna-energija-u-srbiji/> Приступљено: 30.09.2020
- [6] Јеремић, У.: "Фотонапонско претварање енергије (соларне ћелије) ", Косовска Митровица (2007)
- [7] Проф. Љубомир Мајданџић; дипл.инг; Фотонапонски системи, Техничка школа Руђера Бошковића, Загреб
- [8] Чамбер, Д.: "Економска и енергетска анализа коришћења фотонапона у насељима", Загреб (2012)
- [9] Проф. Др Данијела Николић, доцент; Соларни системи; Факултет инжењерских наука; Крагујевац
- [10] Razykov, M., Ferekides, S., Morel, D., Stefanakos, E., Ullal, S., Upadhyaya, M.: "Solar photovoltaic electricity", Solar Energy, (2011) 1580-608
- [11] Соларна фотонапонска енергија; Интернет страница:<http://grejanje.com/strana.php?pID=172> Приступљено 24.09.2020
- [12] Tyagi, V., Nurul, A., Rahim, A., Jeyraj, A., Selvaraj, L.: "Progress in solar PV technology", Research and achievement.
- [13] Интернет страница: <https://pdfslide.net/documents/progress-in-solar-pv-technology-research-and-achievement.html> Приступљено: 26.09.2020
- [14] Singh, P., Ravindra, M.: "Temperature dependence of solar cell performance-analysis", Solar Energy Materials and Solar Cells, (2012) 36-45.
- [15] Christiana, H., Stuart, B.: "PV education".
- [16] Проф. Љубомир Мајданџић; дипл.инг; Фотонапонски системи, Техничка школа Руђера Бошковића, Загреб

- [17] Васиљевић, А.: "Мјерни аквизициони системи за одређивање енергетске ефикасности хибридних Система напајања", Источно Сарајево (2011)
- [18] Др Милан Плазинић, доцент; Фотонапонски системи; Факултет техничких наука, Чачак <http://www.ftn.kg.ac.rs/download/SIR/SIR%20Jacimovic%20Aco.pdf>
Приступљено: 30.09.2020
- [19] Интернет адреса: https://bib.irb.hr/datoteka/504596.Diplimski_rad_br.2295.pdf
Приступљено: 04.10.2020
- [20] Интернет адреса: <https://futura.edu.rs/wp-content/uploads/2019/05/Obrad-Vujovic-master-rad-kona%C4%8Dno.pdf> Приступљено: 04.10.2020
- [21] Интернет адреса: <https://www.shutterstock.com/search/rooftop+solar>
Приступљено: 04.10.2020
- [22] Стамбени соларни енергетски системи; Интернет адреса:
<https://www.gradjevinarstvo.rs/tekstovi/2802/820/stambeni-solarni-energetski-sistemi>
Приступљено: 04.10.2020