

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Уређаји и постројења за грејање и климатизацију

Број индекса: 311/2015

Милош Р. Проковић

**Анализа коришћења воденог хибридног
пријемника сунчеве енергије за припрему топле
потрошне воде једнопородичног стамбеног
објекта**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

- | | |
|------------------------------------|----------------------|
| • Др Новак Николић, доцент– ментор | Датум одбране: _____ |
| • _____ | Оцена: _____ |
| • _____ | |

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да спроведе прорачун укупних топлотних губитака једнопородичног стамбеног објекта, и да спроведе анализу коришћења водених хибридних пријемника сунчеве енергије за припрему топле потрошне воде. Анализа подразумева димензионисање хибридног соларног система и одређивање периода повраћаја инвестиционих трошкова истог.

Препоручена литература:

- [1] Правилник о енергетској ефикасности зграда, Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре РС, Београд, 2011.
- [2] Небојша Лукић, Милун Бабић, Соларна енергија, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2008.
- [3] Reknagel, Šprenger, Šramek, Čeperković, Grejanje i klimatizacija sa pripremom tople vode i rashladnom tehnikom, INTERKLIMA, Vrnjačka Banja, 2002.

Крагујевац, новембар 2017.

Ментор:
Др Новак Николић, доцент

Резиме

У оквиру овог рада извршен је прорачун укупних топлотних губитака једнопородичног стамбеног објекта, усвојена су грејна тела и котло. Сprovedена је и анализа коришћења водених хибридниx пријемника сунчеве енергије (ХПСЕ) за припрему топле потрошне воде. Анализа подразумева димензионисање хибридног соларног система и одређивање периода повраћаја инвестиционих трошкова истог. Хибридни соларни систем се састоји из ХПСЕ-а, акумулатора топлоте без допунског електричног грејача (250 l) и акумулатора топлоте са допунским електричним грејачем (4 kW, 80 l). Симулација рада овог система је спроведена уз помоћ софтвера EnerguPlus, за реалне временске податке за град Крагујевац. Разматрана су четири сценарија повраћаја инвестиционих трошкова овог система. Најисплативији сценарио (13,7 година) се односи на систем без соларних батерија под условом добијања статуса повлашћеног произвођача електричне енергије.

Кључне речи: грејање, топла потрошна вода, хибридни пријемник сунчеве енергије.

Abstract

This paper is related to the calculation of the total heat losses of a single family residential building, the sizing of the heaters and boiler. Also, the analysis of the use of the water hybrid solar collectors (HPSE) for the domestic hot water preparation was conducted. The analysis includes the sizing of the hybrid solar system and the determination of the return period of the investment costs of the same system. The hybrid solar system consists of the HPSE, the heat storage without additional electric heater (250 l) and the heat storage with an additional electric heater (4 kW, 80 l). The simulation of the operation of this system was carried out by using the EnerguPlus software, for real weather data for the city of Kragujevac. Four scenarios for the return on investment costs of this system were considered. The most cost-effective scenario (13.7 years) refers to a system without solar batteries under the condition of obtaining the status of a privileged electricity producer.

Keywords: heating, domestic hot water, hybrid solar collector.

Садржај:

1	Увод	4
1.1	Обновљиви енергетски ресурси.....	4
1.2	Енергија Сунца	4
1.3	Потенцијал сунчеве енергије	6
1.3.1	Климатске карактеристике Србије	6
1.3.2	Енергетски потенцијал сунчевог зрачења у свету	7
1.3.3	Енергетски потенцијал Сунца у Србији	9
2	Основни принципи коришћења сунчеве енергије	11
2.1	Преглед технологија	11
2.2	Положај и усмерење пријемника сунчевог зрачења	12
2.3	Соларне фотонапонске технологије	14
2.4	Загревање воде помоћу равног застакљеног пријемника сунчеве енергије	15
2.5	Хибридни пријемници сунчеве енергије	16
3	Грађевинска физика једнопородичног стамбеног објекта.....	18
4	Прорачун топлотних губитака према стандарду SRPS EN 12831:2003	23
4.1	Трансмисиони топлотни губици $\Phi_T(W)$	23
4.1.1	Коефицијент трансмисионих топлотних губитака $H_{T,ie}(W/K)$	24
4.1.2	Коефицијент трансмисионих топлотних губитака $H_{T,iue}(W/K)$	24
4.1.3	Коефицијент трансмисионих топлотних губитака $H_{T,ig}(W/K)$	24
4.1.4	Коефицијент трансмисионих топлотних губитака $H_{T,ij}(W/K)$	25
4.2	Вентилациони губици топлоте $\Phi_{V,i}(W)$	25
4.3	Грејање са прекидима $\Phi_{RH,i}(W)$	25
4.4	Укупни пројектни губици топлоте за грејану просторију $\Phi_{HL,i}(W)$	26
4.5	Табеле топлотних губитака за описани стамбени објекат	27
5	Припрема топле санитарне воде	38
6	Симулација рада хибридног соларног система	41
6.1	Хибридни пријемници сунчеве енергије	42
6.2	Акумулатори топлоте	45
7	Резултати	46
	Закључак	49
	Литература.....	50

1 Увод

1.1 Обновљиви енергетски ресурси

Клима је примарни енергетски ресурс чијим дејством су настали и фосилни ресурси угаљ и нафта. Актуелно испољавање климе као ресурса представљају соларна и еолска енергија, као и енергија биомасе. Данашње човечанство углавном енергију производи сагоревањем угља, градњом великих брана или из нуклеарних централа и на тај начин троши необновљиве ресурсе, загађује околину и живи у сталном страху од могућих нових нуклеарних катастрофа. Глобално посматрано, можемо рећи да је у "својој енергетској историји" свет дошао до краја једне епохе када необновљиви извори енергије не могу бити основа за планирање будућег развоја и када се поставља питање – шта даље?

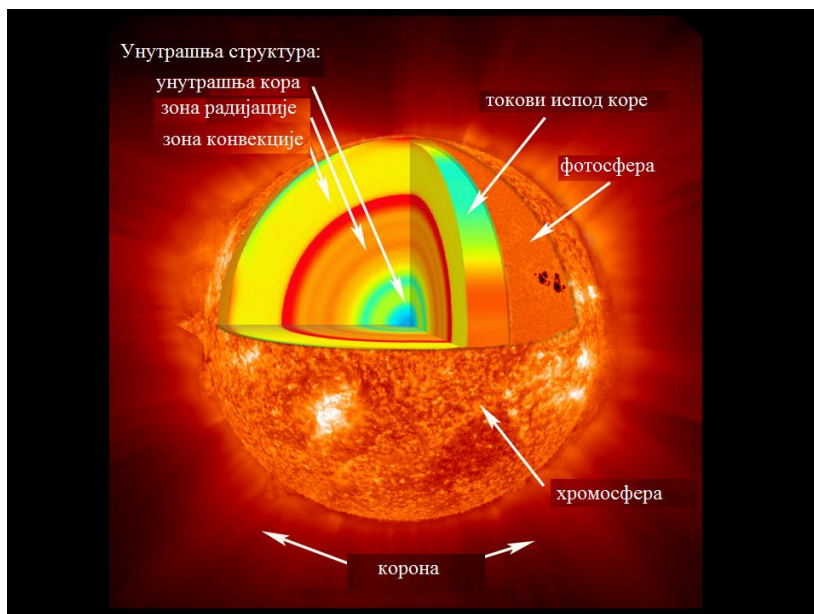
Одговор се може потражити у обновљивим изворима енергије. Карактеристика обновљивих извора енергије је да се током коришћења њихове залихе не смањују као код фосилних горива, има их у огромним количинама и, што је веома важно, не загађују околину. Енергија ветра и Сунца спадају у највише коришћене обновљиве енергије данас у свету. Поред тога што се ради о еколошки чистим енергијама, битан фактор за значајну експанзију је и чињеница да је експлоатација извора обновљиве енергије постала и економски конкурентна. Последњих година је у читавом свету, а нарочито у Европској унији дошло до наглог пораста примене свих облика обновљиве енергије. Директно коришћење извора обновљиве енергије није једини пут ка побољшању енергетске ситуације. Све већи значај у новије време добија и унапређивање енергетске ефикасности са ослоном на стратегију рационалног коришћења енергије. Принципијално, ради се о коришћењу прилива соларне енергије и истовременом смањивању губитака енергије.

Могућности добијања енергије из обновљивих енергетских извора још нису до краја испитане, али покушајмо сагледати колики је тај потенцијал. На питање колико то енергије можемо добити, кратак одговор гласи: и више него што нам је потребно. Међутим, да бисмо појаснили присетимо се колико енергије трошимо и колико нам различитих енергетских извора стоји на располагању. У свим рекама света има управо толико енергетског потенцијала колике су наше тренутне потребе. Енергетски потенцијал океанских таласа, насталих утицајем плиме и осеке, довољан је да произведе дупло више енергије него што нам је потребно. Геотермални потенцијал је пет пута већи, док је светски потенцијал биомасе око двадесет пута већи од наших потреба. Двеста пута већи је потенцијал ветра, а потенцијал Сунчеве енергије на нашој планети је 2850 пута већи од тренутних годишњих енергетских потреба [1].

1.2 Енергија Сунца

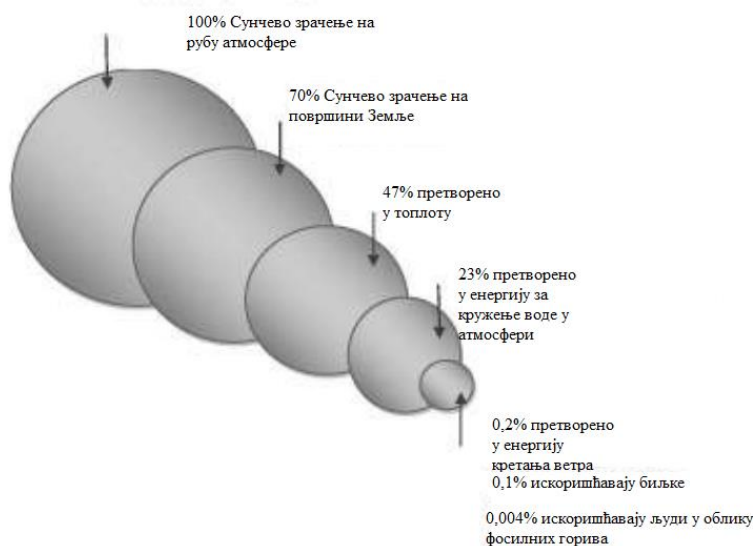
Сунце (слика 1) је Земљи најближа звезда и захваљујући његовој гравитацији, наша планета по елиптичној путањи кружи око њега. Наша звезда се око своје осе окрене за 25 дана (екватор), односно за 33 дана на половима, што указује на њено флуидно стање (заправо стање плазме). Сунце је ужарена лопта, масе од $1,99 \times 10^{30}$ kg, средње густине од 1410 kg/m^3 и пречника 1 391 980 km (фотосфера), која у спољашњем слоју садржи око 75% водоника, који се у унутрашњости, под високим притиском и температуром која достиже десетине милиона Келвина (процена је 13,600,000 K), у току процеса термонуклеарне фузије претвара у хелијум. Та термонуклеарна фузија производи огромну количину енергије која се изручује у Космос. Сунчева луминисценција (исијавање) износи $3,83 \times 10^{33} \text{ erg/s}$ или $3,83 \times 10^{20} \text{ MW}$. Средња температура површине Сунца (далеко од „термонуклеарног реактора,, у унутрашњости) износи 5800 K.

После брзином светлости пређеног пута од 149 597 892 km (средње удаљење Земље од Сунца), Сунчево зрачење стиже до Земље. Од укупне Сунчеве енергије, на горњу границу Земљине атмосфере стигне $174,3 \times 10^9$ MW, што представља њен $4,55 \times 10^{-9}$ део [2].



Слика 1. Пресек Сунца са позицијама [3]

Топлота која зрачењем са Сунца долази на Земљу је највећи извор, при чему човек путем фосилних горива располаже са само врло малим делом те енергије (слика 2). Занимљиво је при томе како од Сунчеве енергије, уствари, потиче већина других извора енергије, као што су на пример енергија фосилних горива, водних токова, ветра, итд.



Слика 2. Расподела топлоте која на Земљу долази са Сунца [1]

Савремена научна достигнућа и стечена искуства на пољу технологије коришћења Сунчеве енергије показала су да се соларна енергија може користити у трансформисаном облику који може успешно заменити коришћење класичних облика

енергије. Из фазе експерименталног коришћења соларне енергије многе привредно развијене земље у свету су прешле на масовно коришћење соларне енергије (активно и пасивно), нарочито у задовољењу потреба становништва и привреде код загревања, климатизације и осветљавања стамбених и пословних просторија. Поред тога, веома је изражен тренд пројектовања енергетски ефикасних зграда.

Конверзија сунчеве енергије се врши помоћу термичких соларних пријемника и помоћу фотонапонских ћелија. Термички соларни пријемници служе за добијање топле воде и загревање простора, а фотонапонске ћелије се користе за директно добијање електричне енергије од сунчеве енергије. Експанзија фотонапонских ћелија омогућена је значајним технолошким напретком у току последње деценије. Коефицијент корисног дејства је удвостручен, са око 7% на 15%.

Помоћу соларних пријемника сунчева енергија се може користити као неисцрпни извор енергије. Сунчево зрачење било да је директно или индиректно чак и у магловитим данима допире до површине пријемника и извор је соларне енергије. Може се уштедети на драгоценом гориву и тиме снижити трошкови, али и емисије штетних састојака у околину. Код површине пријемника од само 6 m² избегава се ослобађање до 1000 kg CO₂ годишње. Коришћењем соларне технике пружају се велике могућности, без обзира да ли се планира производња електричне енергије или жели повећати вредност инсталације грејања, да ли се жели само припремати топла вода или провести и подршка систему грејања.

1.3 Потенцијал сунчеве енергије

1.3.1 Климатске карактеристике Србије

Клима Србије се може описати као умерено континентална са мање или више израженим локалним карактеристикама. Просторна расподела параметара климе условљена је географским положајем, рељефом и локалним утицајем, као резултатом комбинације рељефа, расподеле ваздушног притиска већих размера, експозицијом терена, присуством речних система, вегетацијом, урбанизацијом итд. Од географских одредница које карактеришу битне синоптичке ситуације значајне за време и климу Србије треба споменути Алпе, Средоземно море и Ђеновски залив, Панонску низију и долину Мораве, Карпате и Родопске планине као и брдовито планински део са котлинама и висоравнима. Преовлађујући меридионални положај котлина река и равничарски предео на северу земље, омогућују дубоко продирање поларних ваздушних маса на југ.

Најнижа температура од почетка инструменталних мерења на територији Србије је забележена у Карајукића Бунарима (код Сјенице) и износила је -39,5°C (29. јануара 1987. године), а највиша у Смедеревској Паланци 44,9°C (24. јула 2007.)

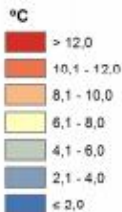
Анализа је урађена на основу мерења у климатолошким терминима 7, 14 и 21 час на главним метеоролошким станицама (30 станица) за најновији стандардни климатолошки период 1981-2010. година.

Средња годишња температура ваздуха у Србији је на највећем делу територије (на 22 главне метеоролошке станице) била од 11°C до 12°C (слика 3).

Најнижа средња годишња температура ваздуха забележена је на Копаонику и износи 3,7°C, у Сјеници 6,7°C, а на Црном Врху 6,6°C. Највишу температуру ваздуха од 12,5°C има Београд, затим Ниш и Вршац 11,9°C, док Неготин има 11,8°C.

У климатолошким обрадама зима почиње 1. децембра а завршава се 28. фебруара (односно 29. фебруара); пролеће почиње 1. марта а завршава се 31. маја; лето почиње

1



2010 [4]

1.3.2 Енергетски потенцијал сунчевог зрачења у свету

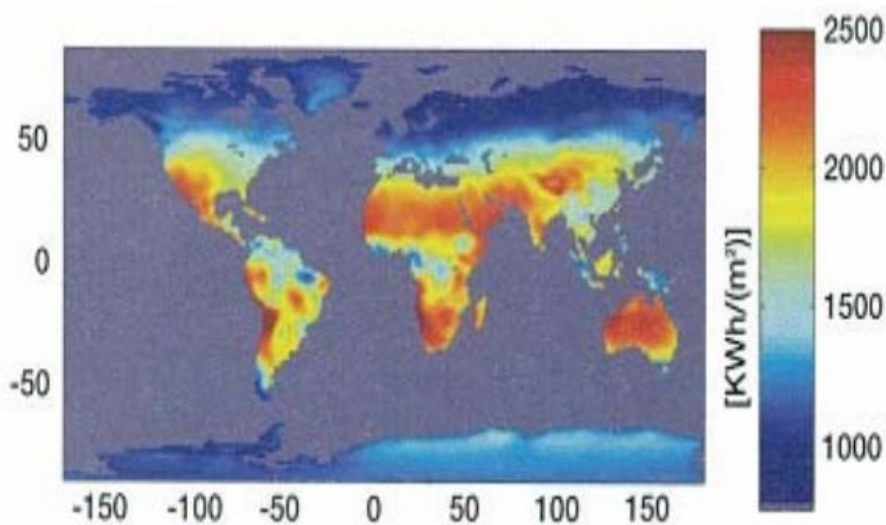
Снага Сунчевог зрачења на површини Земље зависи од више фактора, између осталог од: географске ширине, облачности, годишњег доба, доба дана и др. Атлас годишње енергије Сунчевог зрачења за различите географске ширине на Земљи (kWh/m^2 год.) дат је на слици 4. На слици 5 приказана је количина енергије Сунчевог зрачења (kWh/m^2 год.) на хоризонталној површини тла у региону Европе (Србији одговара око 1450 kWh/m^2 год.). Са слике 5 се такође може уочити да уколико су соларни системи постављени на погодним локацијама (као што су локације у Шпанији, Малти, на југу Италије и Турске итд.) могу произвести двоструко више електричне енергије него у земљама на северу Европе (Шкотска, Скандинавске земље, Русија итд.).

Када се Србија на основу слике 5 упореди са осталим земљама Европе може се уочити да је прилично богата енергијом Сунца. Примера ради Немачка има просечно само 1050 kWh/m^2 енергије Сунца годишње, што је 38% мање него Србија. У Европи су Грчка, Турска, Италија, Шпанија (јужна Европа) богате енергијом Сунца, са више од 1600 kWh/m^2 годишње. Зато су ове земље инсталирале велики број пријемника сунчеве енергије за припрему топле воде. Ови уређаји се исплате за (5 до 9) година у

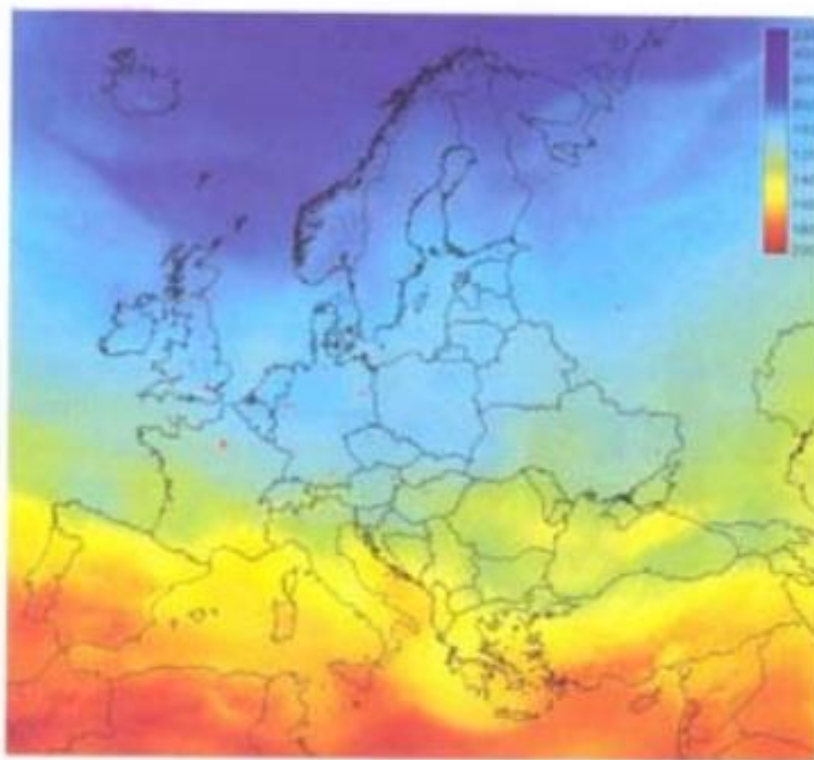
туристичким местима јужне Европе, где је потрошња топле воде (око 40 °C) велика у летњим месецима (више од 60 l по становнику на дан). Чак и Немачка, са 1050 kWh/m² годишње, има велики број фирми које производе пријемнике сунчеве енергије и ФН модуле. Осим тога, Немачка је показала да и на њиховој географској ширини модерни пријемници могу извући (500 до 600) kWh/m² топлотне енергије годишње.

Фотонапонски модули (ФН) су мање ефикасни, са годишњом продукцијом у Немачкој од око 120 kWh/m². И поред тога, Немачка је друга земља у свету са 1500 MW инсталираних ФН модула (стање из 2008. године), са непознатим роком исплативости. Почетком 2009. године у свету је укупно инсталисано око 14,8 GW у ФН модулима (у европским земљама око 81%). Шпанија је прва земља у свету када је у питању инсталисана снага ФН модула (око 2510 MW). После Шпаније и Немачке следе САД (342 MW), Јужна Кореја (274 MW), Италија (258 MW), Јапан (230 MW) итд. Данашњи модерни ФН модули на добрим локацијама могу произвести бар 160 kWh/m² год. електричне енергије. То су локације близу екватора, где је просечна снага Сунчеве радијације 250 W/m² или више (око 2200 kWh/m² год.).

Земље ЕУ генерално посвећују велику пажњу обновљивој (сунчевој) енергији. Само Немачка улаже годишње око 5 милијарди евра у циљу што брже примене енергије Сунца. На бројним конгресима и сајмовима приказују се практични примери сунчевих пријемника, ФН модула, ветрогенератора, пећи и мотора који користе чврсту и течну биомасу и други уређаји за коришћење енергије Сунца. Искуства Немачке, Аустрије, Шпаније и других земаља могу нам користити у развоју стратегије коришћења енергије Сунца, узимајући у обзир да је осунчаност Србије јако добра.



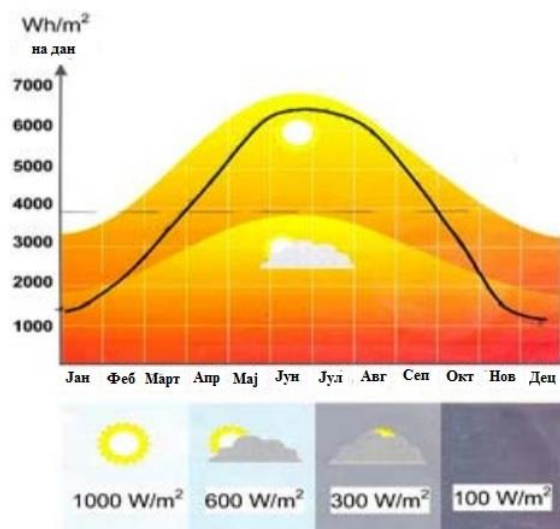
Слика 4. Атлас годишње енергије Сунчевог зрачења за различите географске ширине на Земљи kWh/m² год. [5]



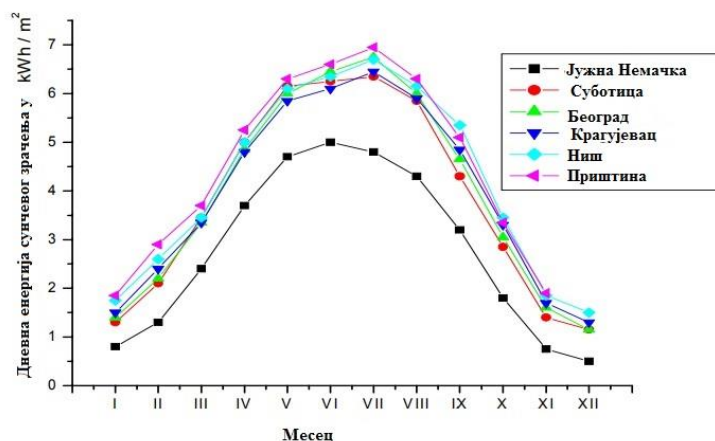
Слика 5. Количина енергије Сунчевог зрачења kWh/m^2 год. на хоризонталној површини у региону Европе [5]

1.3.3 Енергетски потенцијал Сунца у Србији

Соларна енергија конвертована у електричну енергију помоћу ФН модула покрива тек мали део од 1% потрошње електричне енергије у свету. Реално се очекује да ће овај проценат до 2020. године порасти на више од 5%. Шпанија, Немачка и САД су светски лидери у овом сектору. У Србији се соларна енергија углавном користи за стварање топлотне енергије (у јако малом проценту), где је врло исплатива. Зато су пријемници сунчевог зрачења постали релативно популарни у домаћинствима за загревање воде. Коришћење Сунчеве енергије за добијање електричне енергије и употреба фотонапонских модула је симболична, иако за то постоје сви услови. На пример број сунчаних дана у Србији је, према подацима Министарства енергетике Србије, већи од 2000 h. То је већа вредност него у већини европских земаља, али је соларни потенцијал сасвим неискоришћен. Интензивније свеобухватно коришћење соларне енергије зависиће од развоја и спровођења националног програма обновљивих извора енергије. Енергетски потенцијал Сунца за сваки месец у години приказан је на сликама 6 и 7 и табели 1. Изабрано је пет градова у Србији распоређених између 42 °N и 46 °N, јер се вредности радијације за остала места могу интерполирати. Напомињемо да дијаграми нису улазили у детаље, као што су локална облачност и локални ветрови. Ово је могуће приликом одређивања глобалног потенцијала на нивоу године или месеца.



Слика 6. Енергетски потенцијал Сунца у Србији за различите месеце [5]



Слика 7. Осунчаност градова у Србији у односу на јужну Немачку [5]

Укупна годишња Сунчева радијација у јужној Немачкој је, према табели 1, 1015 kWh/m², што је слично вредности из атласа на слици 7. Укупна годишња Сунчева радијација у централној Србији (Крагујевцу) је 1448 kWh/m². Ово показује да је осунчаност Србије знатно већа него осунчаност јужне Немачке (40%).

Табела 1: Средње дневне количине енергије глобалног (директног и дифузног) Сунчевог зрачења на хоризонталној површини у kWh (m²дан) [5]

	Г.шир.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Јуж. Немачка	48N	0.8	1.3	2.4	3.7	4.7	5	4.8	4.3	3.2	1.8	0.75	0.5
Суботица	46N	1.3	2.1	3.45	5	6.15	6.25	6.35	5.85	4.3	2.85	1.4	1.15
Београд	44.7N	1.4	2.2	3.35	4.85	6	6.45	6.75	6	4.65	3.05	1.6	1.15
Крагујевац	44N	1.5	2.4	3.35	4.8	5.85	6.1	6.45	5.9	4.85	3.3	1.7	1.3
Ниш	43.2N	1.75	2.6	3.45	5	6.1	6.35	6.7	6.15	5.35	3.45	1.85	1.5
Приштина	42.3N	1.85	2.9	3.7	5.25	6.3	6.6	6.95	6.3	5.1	3.35	1.9	1.6

У току вегетационог периода (април – септембар) количина добијене енергије од Сунца се креће од 4,9 kWh/m² на западу, до 5,7 kWh/m² на југоистоку Србије. Најниже вредности у Србији подударају се са највећим вредностима у Аустрији и Немачкој, које интензивно користе Сунчеву енергију. Идентификована је чињеница да

су вредности ове енергије у брдским крајевима западне Србије ниске. То је последица повећане дневне облачности у тим крајевима у летњем периоду. Познавање количина Сунчеве енергије у вегетационом периоду је важно и због израчунавања потенцијалне продукције биомасе, тј. утврђивања потенцијалне могућности плантажне производње биомасе [5].

2 Основни принципи коришћења сунчеве енергије

2.1 Преглед технологија

Потреба за енергијом, нарочито електричном у свету се стално повећава. На годишњем нивоу, тренд раста потреба за електричном енергијом износи 2,8%. Примарни извори електричне енергије користе углавном необновљиве изворе енергије. Када би пратили тај тренд раста дошло би до претераног загађивања околине и исцрпљивања постојећих резерви. Ови услови производње и потрошње електричне енергије проузрокују стално повећање цена електричне енергије.

Укључивање обновљивих извора енергије и глобалне стратегије развоја енергетике постало је еколошки и економски оправдано, и високо развијене земље улажу огроман капитал и ангажују велики број стручњака у развој система за коришћење обновљивих извора енергије.

Енергетика будућности у потпуности би се требала окренути према обновљивим изворима енергије чиме ће престати свако неразумно и неповратно „спаљивање“ необновљивих фосилних горива које је управо сунчева енергија стварала милионима година. Необновљиве изворе енергије, као што су угаљ, нафта, гас и нуклеарна енергија, до краја 21. века готово ће сигурно заменити нови, обновљиви, еколошки чисти, природни извори енергије као што су Сунце, ветар, водени токови и биомаса.

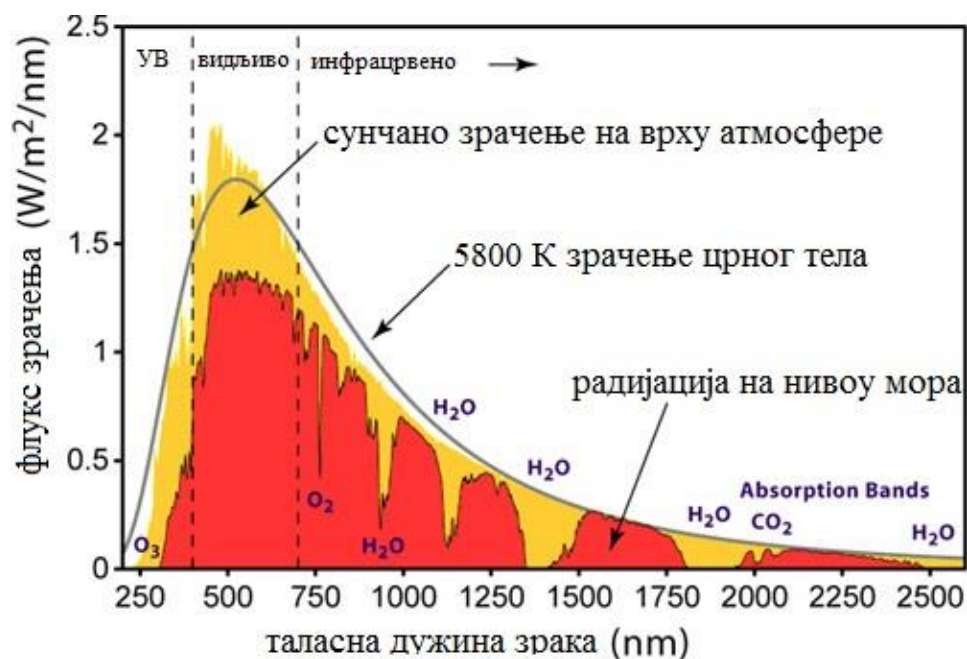
Под појмом искоришћења сунчеве енергије у ужем смислу се мисли само на њено непосредно искоришћавање, у изворном облику, тј. не као на пример, енергија ветра или фосилних горива. Сунчева енергија се при томе може искоришћавати активно или пасивно. Активна примена сунчеве енергије подразумева њено директно претварање у топлотну или електричну енергију. При томе се топлотна енергија од сунчеве добија помоћу пријемника сунчеве енергије, а електрична помоћу фотонапонских ћелија. Пасивна примена сунчеве енергије значи директно искоришћавање сунчеве топлоте одговарајућом изведбом грађевина (смештајем у простору, применом одговарајућих материјала, прикладним распоредом просторија итд.).

Најчешће примењивана технологија за коришћење сунчевог зрачења базирана је на принципу топлотног дејства сунчевог зрачења, при чему се енергија сунчевог зрачења трансформише у топлотну на апсорберу пријемника сунчеве енергије (топлотни пријемници). Код ових типова пријемника остварује се степен ефикасности трансформације дозрачене сунчеве енергије у корисно одведену топлоту од 35 до 55%. У поређењу са добијањем енергије из фотонапонских ћелија или ветрогенератора употреба пријемника сунчеве енергије је најјекономичнија у садашњем тренутку и може се примењивати од индивидуалних корисника до већих система. Сиромашне земље би морале да учине напор да крену у развој производње онога што је најпогодније уместо да скупо плаћају увозне енергенте и ту морају да нађу одређену рачуницу.

Други начин коришћења сунчеве енергије је производња електричне енергије. Електрична енергија се производи из енергије Сунца на два различита начина: посредно преко топлотног кружног процеса у соларним енерганама и директно коришћењем фотоэффекта у соларним панелима. Први је приступ знатно економичнији, али за други приступ постоји веће интересовање и брже се развија. Разлог се огледа у чињеници да је технологија бешумна, еколошки чиста и да нема хабања покретних механичких делова који захтевају честа сервисирања.

2.2 Положај и усмерење пријемника сунчевог зрачења

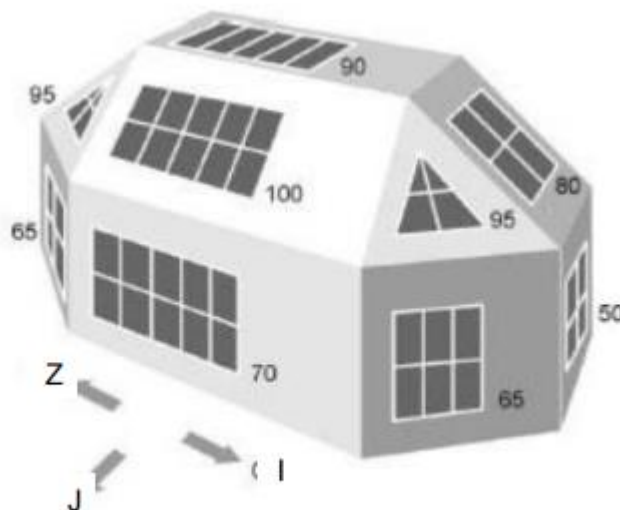
Готово сва енергија од Сунца која долази на земљину површину налази се у подручју таласних дужина од $0,3 \mu\text{m}$ до $2,5 \mu\text{m}$. Максимални интензитет сунчевог зрачења од $2207 \text{ W/m}^2\mu\text{m}$ носе зраци таласне дужине од $0,48 \mu\text{m}$. Предмети на земљиној површини апсорбују ту енергију и реемитују је у инфрацрвеном подручју, тј. у подручју таласних дужина од приближно $2 \mu\text{m}$ до око $30 \mu\text{m}$. Чињеница да се спектар Сунца и спектар панела преклапају у врло уском подручју таласних дужина искоришћава се за добијање селективних апсорбера. Оптичке особине апсорбера, описане помоћу апсорпцијског и трансмисијског фактора, јако утичу на рад и ефикасност панела. Идеални селективни апсорбер требао би готово потпуно апсорбовати упадно сунчево зрачење, а минимално емитовати топлотно (инфрацрвено зрачење).



Слика 8. Екстратерцијални Сунчев спектар [6]

Јачина сунчевог зрачења нормалног на површину спољне границе Земљине атмосфере, при средњој удаљености Сунца, назива се соларна константа. Средња вредност соларне константе износи 1373 W/m^2 и одговара површини испод криве на слици 8. Међутим, на промену интензитета током године утиче и одстојање Сунца, а оно се мења због благо елиптичне путање Земље. Највећа вредност укупног сунчевог зрачења је 1417 W/m^2 при најближем положају Земље у односу на Сунце, а најслабија када је Земља најудаљенија од Сунца и износи 1328 W/m^2 .

У зависности како и где су постављени пријемници (слика 9) (усмеравање, нагиб, засенчење и врста монтаже) мења се и соларни допринос соларног система. Највећи допринос доносе пријемници сунчевог зрачења постављени на коси кров са јужне стране објекта. Панели са источне или западне стране објекта доприносе само око 80 %, док панели постављени на фасаду дају само око 70% [1].



Слика 9. Соларни допринос у зависности од положаја пријемника сунчевог зрачења [1]

Такође сенка смањује добитак енергије, па се панелно поље треба поставити и димензионисати тако да остане мали утицај сенки околних зграда, дрвећа итд. Код монтаже на фасаде или у лежећем положају на равне кровове препорука је да се увећа димензионисана површина панела за 20 до 30%.

Постоје различите могућности изведбе и постављања пријемника сунчевог зрачења. Могу се поставити на коси кров, уградити (интегрисати) у кров, уградити у фасаду, поставити на равни кров или слободно монтирати. Притом се морају држати минимални размаци према ивици крова. Изван тог подручја може доћи до видљиво повишених турбуленција ветра. Осим тога, отежан је и приступ инсталацији за радове одржавања и контроле. Пријемници се могу причврстити и на чврсто монтираној потконструкцији или на бетонској плочи. Код монтаже на бетонске плоче пријемници се морају осигурати од клизања и подизања преко додатних утега при чему је потребан статички прорачун. Клизањем може доћи до померања пријемника на површини крова под утицајем ветра, условљено недовољним статичким трењем између површине крова и причврсног система сунчевог пријемника.

Обично се у нашим географским ширинама одабира нагиб пријемника од 35° до 45° и тако чини компромис којим се постиже да од пролећа до јесени пријемник прима сунчево зрачење просечно 7 до 8 сати дневно. Ако пријемник треба бити ефикаснији зими, а мање ефикасан лети, треба се поставити стрмије. Чак и стрмо постављен пријемник (нпр. на јужни зид зграде) може зими добро деловати. Ипак је најбоље према задатим условима прорачунати оптималан нагиб пријемника. При избору врсте пријемника не сме се заборавити економичност па је потребно наћи компромис између ефикасности и цене пријемника. Притом је потребно посматрати не само цену пријемника сунчевог зрачења него и цену читавог система.

2.3 Соларне фотонапонске технологије

Фотонапонски системи (ФН), такође названи соларне ћелије, представљају електронске уређаје који претварају сунчеву светлост директно у електричну енергију. Модерни облик соларне ћелије је изумљен 1954. године у Bell Telephone Laboratories. Данас, ФН-ски пријемници су једна од најбрже растућих технологија обновљиве енергије и очекује се да ће играти главну улогу у будућој глобалној производњи електричне енергије. Соларни ФН системи су такође једна од највише „демократских“ обновљивих технологија, што се огледа у томе да њихова модуларна величина значи да су унутар досега појединаца, задруге и малих предузећа која желе приступити властитој производњи и стабилним ценама електричне енергије.

Фотонапонска технологија пружа бројне и значајне предности, укључујући:

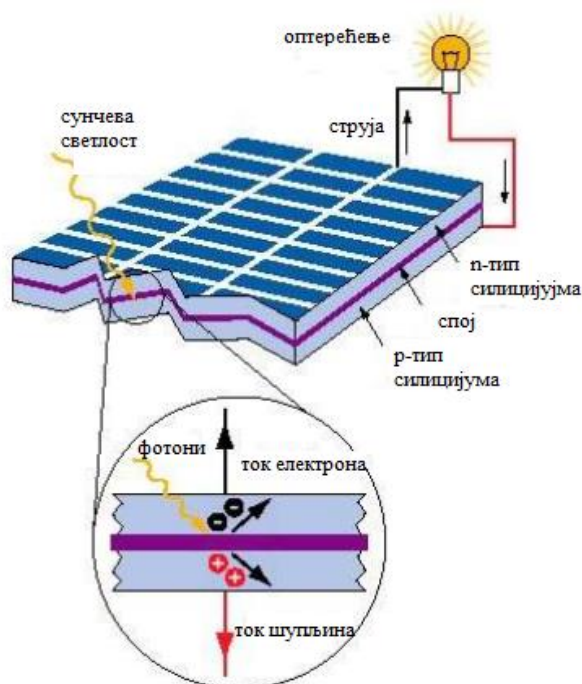
- Соларна енергија је обновљиви извор који је доступан свуда у свету.
- Соларне ФН технологије су мале и високо модуларне и могу се користити готово свуда, за разлику од многих других технологија за производњу електричне енергије,
- За разлику од конвенционалних електрана на угаљ, нафту или гас; соларна ФН нема трошкове за гориво и има релативно ниске оперативне и трошкове одржавања. ФН, дакле, може понудити заштиту од нестабилних цена фосилних горива.

ФН систем (слика 10) се састоји од ФН ћелија које су груписане како би оформиле ФН модул, и помоћних компоненти (тј. баланс система), укључујући инвертор, надзор, итд. Постоји широк распон ФН технологија на тржишту данас, које користе различите врсте материјала, и још већи број ће бити доступан у будућности. ФН технологије су обично подељене у три генерације, у зависности од основног материјала који се користи и нивоу комерцијалне зрелости:

- Прва генерација ФН система (потпуно комерцијална) користи технологију базирану на плочама кристалног силицијума (c-Si), или монокристалног (sc-Si) или поликристалног (mc-Si).
- Друга генерација ФН система (у раном развоју на тржишту) је базирана на танкослојним (енгл. thin-film) технологијама и обично укључује три главне групе: 1) аморфни (a-Si) и микроморфни силицијум (a-Si/μc-Si); 2) кадмиј-телурид (CdTe); и 3) бакар-индиј-селенид (CIS) и бакар-индиј-галиј-диселенид (CIGS).
- Трећа генерација ФН система укључује технологије, као што су концентрисане ФН (КФН) и органске ФН ћелије које се још увек тестирају или још увек нису широко комерцијализоване, као и нови концепти који се тек развијају.

Највећи део фотонапонских ћелија се заснива на монокристалном или поликристалном силицијуму. Ћелија дебљине 0,20 до 0,25 mm обликује се од кристала силицијума врло високе чистоће тако да јој се једна страна обогаћује атомима бора чиме настаје тзв. p страна, док се с друге стране дифузијом фосфора ствара тзв. n страна па се такве ћелије називају p-n фотонапонским ћелијама. Силицијум је на Земљи присутан у врло великим количинама и природни је полупроводник којем је електрична проводност између оне за добре проводнике (нпр. бакар) и оне за лоше проводнике, изолаторе (нпр. пластика или гума). Велики електрични отпор врло чистог кристалног силицијума смањује се у производњи технолошким процесима допинга и дифузије на потребну полупроводничку вредност. Светлост која пада на тако обликовану полупроводничку ћелију ствара парове. Споје ли се p и n електрода проводником занемариво малог отпора, настаје тзв. струја кратког споја соларне ћелије која је

директно пропорционална енергији сунчевог зрачења која пада на п-страну те ћелије [1].



Слика 10 Фотонапонски пријемник сунчевог зрачења [1]

2.4 Загревање воде помоћу равног застакљеног пријемника сунчеве енергије

Овај тип пријемника би се могао назвати класичним. Састоји се (слика 11) из стаклене плоче, апсорбера, изолације и кутије пријемника. Цевни систем је интегрисан (спојен) са телом апсорбера на различите конструктивне начине.



Слика 11. Раван водени пријемник сунчевог зрачења [7]

Принцип функционисања је једноставан. Сунчево зрачење које пада на пријемник, пролази својим највећим делом кроз стаклену плочу и апсорбује се, највећим делом, на површини апсорбера. Провођењем кроз апсорбер и конвекцијом у интегрисаним цевима (или каналима) вода преузима топлотну енергију, на одговарајућем температурском нивоу. Што је радна температура виша, виши су и топлотни губици у околину, што се делимично умањује добром изолацијом која се налази у кутији пријемника иза апсорберске плоче. Изолација не належе са доње стране на плочу апсорбера, већ постоји додатни изолациони ваздушни слој између њих. Природном, или принудном, циркулацијом вода односи апсорбовану количину топлоте и одржава радну температуру пријемника, наравно у условима стационарног зрачења.

Равни соларни пријемници су најкоришћенија врста пријемника, која је такође, најприсутнија на тржишту. Уобичајене радне температуре код ових пријемника иду до 100 °С. Код напредних и специјалних конструкција радне температуре могу ићи и до 200 °С.

Карактеристике типичних равних водених пријемника сунчевог зрачења (једноставног и напредног) су дате у табели 2.

Табела 2: Карактеристике типичних равних водених пријемника сунчевог зрачења [2]

Карактеристика	Једноставни пријемник	Напредни пријемник
Спајање цеви и плоче апсорбера	Коришћењем додатног материјала (лемљење)	Ултрасоничним заваривањем
Превлака апсорбера	Црна мат боја	Хромна селективна превлака
Застакљење	Стакло са ниским садржајем Fe	Стакло са ниским садржајем Fe
Специфични масени проток флуида у тест условима ($\text{kg/s}\cdot\text{m}^2$)	0,015	0,015
Оптичка ефикасност (-)	0,79	0,80
Коефициент K_{g1} ($\text{W/m}^2\text{K}$)	6,67	4,78
Оптимални нагиб пријемника	Географска ширина +5 до 10°	Географска ширина +5 до 10°

2.5 Хибридни пријемници сунчеве енергије

Фотонапонски/термални хибридни пријемници сунчеве енергије (ХПСЕ) представљају комбинацију фотонапонских (ФН) и соларно-термалних компоненти система које производе електричну и топлотну енергију, из једне интегрисане компоненте.

ФН системи претварају у просеку мање од 20% сунчеве светлости у електричну енергију. Остатак се претвара у топлоту. Коришћење ове неискоришћене енергије представља генерални концепт хибридних система. Кроз примену система који могу пружити обоје (топлотну и електричну енергију), енергетски принос по јединици површине крова или фасаде може бити знатно повећан. Даље предности се огледају у коришћењу преноса топлоте из ФН-модула, побољшању ефикасности претварања соларне хелије, повећању електричне производње и слично.

ХПСЕ је најважнија компонента у хибридном ХПСЕ систему и састоји се од соларне ћелије/модула монтираног на врху топлотног апсорбера. Хибридни системи су подељени у две групе:

- Течни ХПСЕ који производе обоје, топлу воду и електричну енергију;
- Ваздушни ХПСЕ-и који су интегрисани у зграду инсталирањем на фасаду или кров зграде како би пружили топли вентилацијски ваздух, као и електричну енергију.

У системима, течни ХПСЕ се може поделити у две категорије: застакљени и незастакљени ХПСЕ-и. Слика 12. приказује основну структуру застакљеног и незастакљеног ХПСЕ-а. Застакљени ХПСЕ са стакленим покровом може произвести више топлотне енергије, али има незнатно нижи електрични допринос, док незастакљени ХПСЕ без стакленог покрова производи мање термалне енергије, али више електричне енергије.

Као што је приказано на слици 12, незастакљени пријемник има једноставнију структуру и састоји се од соларних фотонапонских ћелија или модула на врху и термалног апсорбера на дну. То доноси релативно мање термалне енергије због више топлотних губитака конвекцијом на предњој површини и поседује нижу укупну ефикасност претварања од застакљеног пријемника. Главне предности незастакљеног над застакљеним ХПСЕ-ом су једноставнија структура, једноставнија производња и нижа цена. Једноставност јефтиног незастакљеног ХПСЕ-а је уравнотежена са обично нижом термалном перформансом због велике термалне резистентности између течности и ФН ћелије (слојеви ламината, адхезијска веза, неправилности у равнини апсорбера, могући межурићи ваздуха или суви контакти, конфигурација измењивача топлоте); док празнине између ФН ћелије у комерцијалним ФН модулима резултирају смањеном апсорпцијом сунчевог зрачења у подручју бленди [8].



Слика 12. Основна структура ХПСЕ пријемника: застакљени (лево) и незастакљени (десно) [8]

Како фотонапонски модул (полупроводнички материјал) нема високе вредности топлотне проводности, апсорбери ХПСЕ-а су најчешће, конструисани тако да радни флуид има што већи контакт са површином апсорбера и практично фотонапонског модула (уместо система цеви, систем канала). Остали делови ХПСЕ-а су слични конструкцији класичног сунчевог пријемника (застакљење, кутија, изолација).

Како ФН модул није конструисан да буде апсорбер, његове апсорберске карактеристике су лошије од класичних апсорбера, што смањује количину топлотне енергије коју пријемник може прихватити. Са друге стране, непосредна близина апсорбера за ФН модул значи вишу температуру и мању ефикасност.

Следи логичан закључак да ХПСЕ-и имају своју примену само у случају функционисања при ниским радним температурама флуида.

Иначе, конструкције ХПСЕ-а могу имати воду као радни флуид, а због услова ниских радних температура, често и ваздух.

Када се говори о укупној ефикасности ХПСЕ модула, онда можемо рећи да се она састоји из две ефикасности, тј. ефикасности ФН панела (η_{pvc}) и ефикасности соларног пријемника (η_{sk}). Следећа формула приказује укупну ефикасност једног ХПСЕ-а [2]:

$$E_f = \eta_{sk} + \frac{\eta_{pvc}}{\eta_{power}} [-]$$

где су:

E_f (-) – ефикасност уштеде енергије ХПСЕ-а,

η_{power} (-) – ефикасност класичног система за производњу електричне енергије ($\eta_{power} = 0,35-0,40$).

У овом раду извршена је анализа коришћења воденог ХПСЕ за припрему топле потрошне воде једнопородичног стамбеног објекта.

3 Грађевинска физика једнопородичног стамбеног објекта

У овом одељку описан је анализирани објекат. Дата је његова локација, описане су просторије, конструкције и материјали конструкција омотача истог.

Једнопородични стамбени објекат, се налази у улици Љубе Вучковића бр. 33, насеље Аеродром, град Крагујевац. На слици 13 приказан је модел куће, моделиран у програму GoogleSketchUp.



Слика 13: *Изометријски изглед анализираног стамбеног објекта*

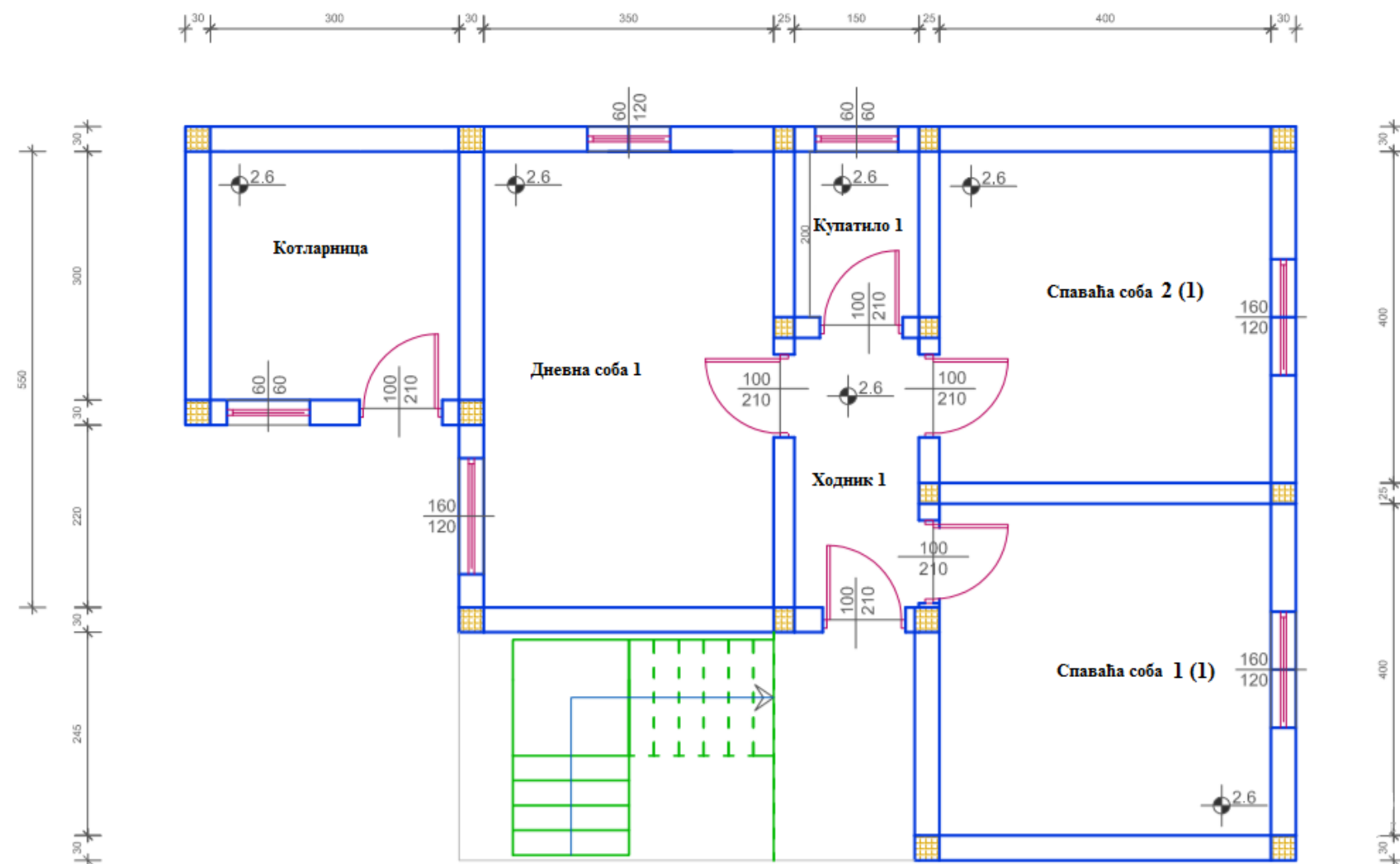
Објекат се састоји од две етаже (приземља и спрата). На приземљу се налазе две спаваће собе, ходник, купатило и дневна соба, чији мањи део представља кухињски део. Друга етажа је спрат, до кога се достиже уз помоћ спољашњег степеништа које се налази на источној страни објекта. Спратни део објекта се такође састоји од пет просторија, а ту спадају две спаваће собе, ходник, купатило и дневна соба која такође мањим делом служи као кухиња. Кровна конструкција је израђена од кровних греда и

кровних летви. Кров је на две воде, и из два дела. Један део покрива дневну собу, ходник и купатило, док други део кровне конструкције покрива спаваће собе. Уз стамбени објекат са западне стране се налази котларница. Она се наслања на стамбени објекат и са њим дели источни зид котларнице. Котларница је изведена са једним прозором и једним вратима са јужне стране. Кровна конструкција котларнице је равна. Површине просторија дате су у табели 3.

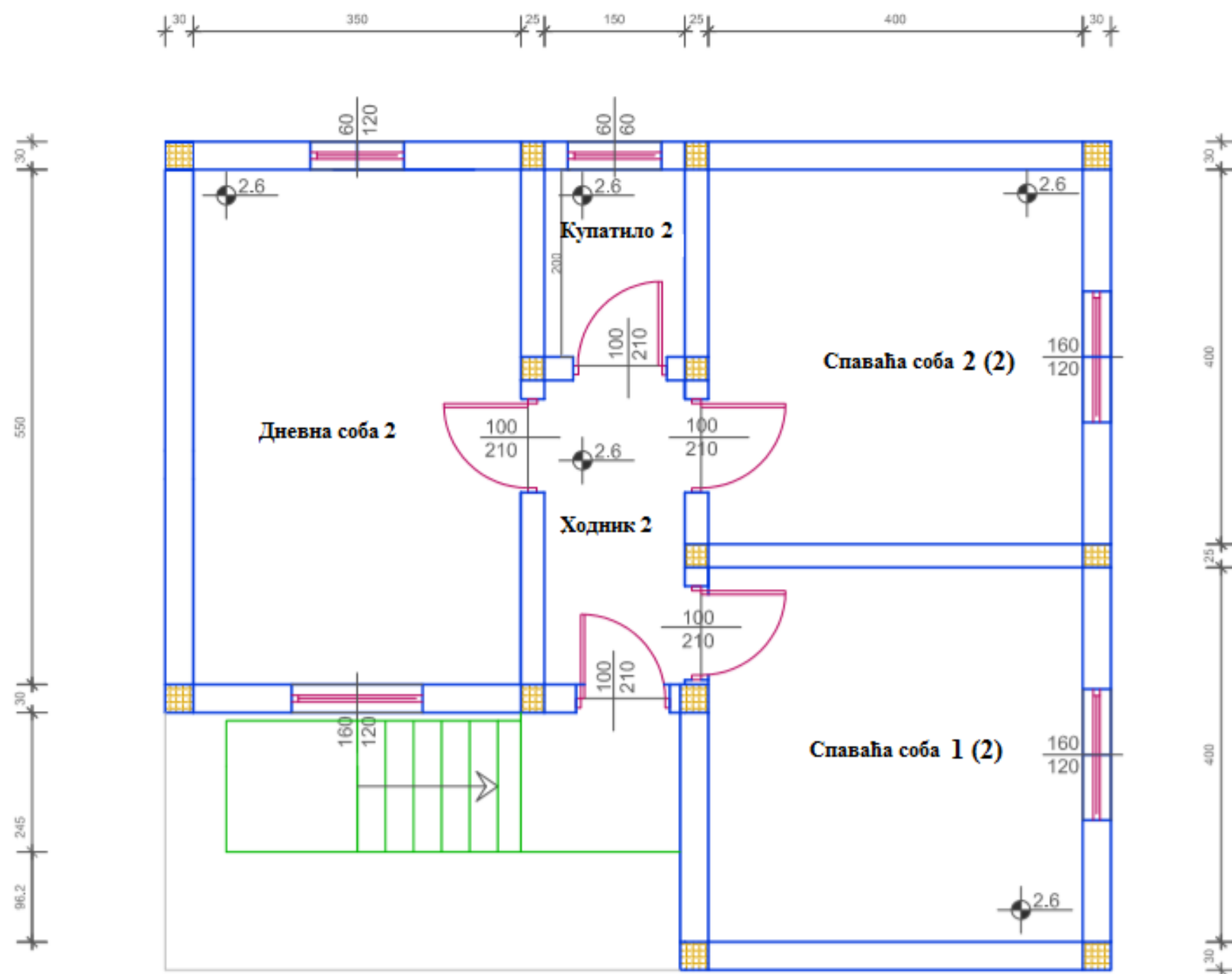
Табела 3: *Ознаке и називи површина просторија проучаваног једнопородичног стамбеног објекта*

Рб.	Ознака просторије	Назив просторије	Површина просторије (m ²)
1	KOT	Котларница	9
2	DS1	Дневна соба - приземље	19,25
3	KUP1	Купатило - приземље	3
4	HOD1	Ходник - приземље	4,8
5	SS2	Спаваћа соба 2 - приземље	16
6	SS1	Спаваћа соба 1 - приземље	16
7	DS2	Дневна соба - спрат	19,25
8	KUP2	Купатило - спрат	3
9	HOD2	Ходник - спрат	4,8
10	SS22	Спаваћа соба - спрат	16
11	SS11	Спаваћа соба - спрат	16

На сликама 14 и 15 су приказани технички цртежи приземља и првог спрата, израђени уз помоћ софтвера AutoCad. Грејана површина приземља и спрата је иста и износи 59,05 m². Објекат садржи 2 спољна (улазна) врата, 8 унутрашњих врата и 10 прозора.



Слика 14: Грађевинска основа приземља анализираниог објекта



Слика 15: Грађевинска основа спрата анализираног објекта

Грађевинске конструкције објекта приказане су у табели 4, док су у табели 5 дати материјали од којих су исте изграђене.

Табела 4: *Састав грађевинских конструкција анализираних објекта*

Грађевинска конструкција	Елементи грађевинске конструкције	Укупни коефицијент пролаза топлоте (W/m^2K)
Спољашњи зид	Полистирен (0,05 m)	0,54
	Фасадни малтер (0,02 m)	
	Шупљи блок (0,2 m)	
	Кречни малтер (0,02 m)	
Унутрашњи зид	Кречни малтер (0,015 m)	1,49
	Шупљи блок (0,22 m)	
	Кречни малтер (0,015 m)	
Под на земљи - плочице	Суви шљунак (0,1 m)	0,63
	Бетон (0,1 m)	
	Битумен (0,001 m)	
	Полистирен (0,05 m)	
	Кер.плочице (0,004 m)	
Под на земљи - ламинат	Суви шљунак (0,1 m)	0,62
	Бетон (0,1 m)	
	Битумен (0,001 m)	
	Полистирен (0,05 m)	
	Даска за под (0,007 m)	
Прозори	-	1,3
Спољашња врата	-	2,3
Унутрашња врата	-	2,3
Међуспратна конструкција (између прве и друге етаже)	-	Темп. прост. на првој етажи су идентичне температурама прост. на спрату.
Међуспратна конструкција (таван друге етаже)	Полистирен (0,05 m)	0,27
	Минерална вуна (0,1 m)	
	Бетон (0,2 m)	
	Кречни малтер (0,02 m)	

Табела 5: Грађевински материјали конструкција објекта [9]

Материјал	Густина (kg/m ³)	Дебљина (m)	Специфична топлота (J/kgK)	Коефицијент топлотне проводивости (W/mK)
Кречни малтер	1600	0,02	1050	0,81
Фасадни малтер	1500	0,02	920	0,70
Шупљи блок	1400	0,25	920	0,61
Полистирен	20	0,05	1260	0,041
Битумен	1100	0,001	1050	1200
Бетон	2400	0,1	960	2,04
Суви шљунак	1700	0,1	840	0,81
Даска за под	500	0,007	2090	0,14
Кер. плочице	2300	0,004	920	1,28

4 Прорачун топлотних губитака према стандарду SRPS EN 12831:2003

У овом раду спроведен је и прорачун укупних топлотних губитака објекта и димензионисана су и одабрана грејна тела и извор топлоте (котао).

Како би се систем грејања стамбеног објекта могао исправно димензионисати потребно је прорачунати топлотне губитке објекта. Прорачун се изводи према Европском стандарду SRPS EN 12831:2003. Стандард дефинише прорачун потребног топлотног учинка за одржавање унутрашње пројектне температуре просторије при спољашњим пројектним условима. Спољашњи пројектни услови нису дефинисани у стандарду него се узимају зависно од локације објекта (за Крагујевац она износи -15 °C). Пројектни топлотни губици се рачунају за сваку грејну просторију, па се затим сабирају и на тај начин се добијају укупни топлотни губици зграде.

4.1 Трансмисиони топлотни губици Φ_T (W)

Прорачун трансмисионих губитака подразумева прорачун измене топлоте кроз све грађевинске елементе просторије према спољној околини, према суседним негрејаним просторијама, према суседним просторијама грејаним на нижу температуру, као и према тлу. За одређивање укупних трансмисионих губитака топлоте грејне просторије користи се следећа формула:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} + \theta_{int,e}) \text{ (W)}$$

где су:

$H_{T,ie}$ (W/K) – коефицијент трансмисионих топлотних губитака из грејане просторије (i) у спољашњу средину (e) кроз омотач зграде;

$H_{T,iue}$ (W/K) – коефицијент трансмисионих топлотних губитака из грејане просторије (i) у спољашњу средину (e) кроз негрејану просторију (u);

$H_{T,ig}$ (W/K) – коефицијент топлотних губитака услед стационарне трансмисије из грејане просторије (i) ка тлу (g);

$H_{T,ij}$ (W/K) – коефицијент трансмисионих губитака из грејане просторије (i) у суседну грејану просторију (j), грејану на знатно различиту температуру, тј. у суседну грејану просторију у оквиру једне целине зграде или у грејану просторију суседне целине исте зграде;

$\theta_{int,i}$ (°C) – унутрашња пројектна температура грејане просторије;

θ_e (°C) – спољна пројектна температура.

4.1.1 Коефицијент трансмисионих топлотних губитака $H_{T,ie}$ (W/K)

За прорачун губитака топлоте кроз елементе зграде који су у контакту са спољним ваздухом користимо следећи образац:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_1 \Psi_1 \cdot l_1 \cdot e_1 \text{ (W/K)}$$

где је:

A_k (m²) – површина елемента (k) зграде;

e_k, e_1 (-) – корекциони фактори изложености који узимају у обзир климатске утицаје као што су различита изолација, апсорпција влаге од стране елемената зграде, брзина ветра и температура, под условом да ови утицаји нису били већ узети у обзир при одређивању U - вредности;

U_k (W/m²K) – коефицијент пролаза кроз елемент (k) зграде;

l_1 (m) – дужина линијског топлотног моста (1) између унутрашњости и спољашњости;

Ψ_1 (W/mK) – коефицијент линијске топлотне проводљивости линијских топлотних мостова (1).

4.1.2 Коефицијент трансмисионих топлотних губитака $H_{T,iue}$ (W/K)

Ако се између грејане просторије (i) и околине (e) налази негрејана просторија (u), коефицијент пројектних трансмисионих топлотних губитака из грејане просторије у спољашњост се рачуна на следећи начин:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot b_u + \sum_1 \Psi_1 \cdot l_1 \cdot b_u \text{ (W/K)}$$

где је:

A_k (m²) – површина елемента (k) зграде;

b_u (-) – фактор смањења температуре који узима у обзир разлику између температуре негрејане просторије и спољне пројектне температуре;

U_k (W/m²K) – коефицијент пролаза кроз елемент (k) зграде;

l_1 (m) – дужина линијског топлотног моста (1) између унутрашњости и спољашњости;

Ψ_1 (W/mK) – коефицијент линијске топлотне проводљивости линијских топлотних мостова (1).

4.1.3 Коефицијент трансмисионих топлотних губитака $H_{T,ig}$ (W/K)

Коефицијент пројектних трансмисионих топлотних губитака у стационарном стању из грејане просторије (i) кроз тло (g), $H_{T,ig}$ рачуна се на следећи начин:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot G_w \text{ (W/K)}$$

где је:

f_{g1} (-) – корекциони фактор који узима у обзир утицај годишњег колебања спољашње температуре;

f_{g2} (-) – фактор редукције температуре који узима у обзир разлику између просечне годишње температуре и спољне пројектне температуре;

A_k (m²) – површина елемента (k) зграде у додиру са земљом;

G_w (-) – корекциони фактор који узима у обзир утицај подземних вода;

4.1.4 Коефицијент трансмисионих топлотних губитака $H_{T,ij}$ (W/K)

$H_{T,ij}$ изражава топлоту пренету трансмисијом из једне грејане просторије (i) у суседну грејану просторију (j), загрејану на знатно другачију температуру. Ово може бити суседна соба унутар истог дела зграде (купатило, соба за медицинске прегледе) или соба која припада суседном делу зграде, (стан) или соба која припада суседној згради која може бити негрејана. $H_{T,ij}$ се рачуна на следећи начин:

$$H_{T,ij} = \sum_k f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k \text{ (W/K)}$$

f_{ij} (-) – фактор редукције температуре који узима у обзир разлику између температуре суседне просторије и спољне пројектне температуре;

A_k (m²) – површина елемента (k) зграде;

U_k (W/m²K) – коефицијент пролаза кроз елемент (k) зграде;

4.2 Вентилациони губици топлоте $\Phi_{V,i}$ (W)

За одређивање вентилационих губитака користе се следећа једначина:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \text{ (W/K)}$$

где је:

$H_{V,i}$ (W/K) – коефицијент топлотних вентилационих губитака из грејане просторије (i);

$\theta_{int,i}$ (°C) – унутрашња пројектна температура грејане просторије;

θ_e (°C) – спољна пројектна температура.

4.3 Грејање са прекидима $\Phi_{RH,i}$ (W)

Грејни капацитет потребан да компензује ефекте грејања са прекидима, $\Phi_{RH,i}$, у грејаној просторији (i), рачуна се на следећи начин:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \text{ (W/K)}$$

где је:

A_i (m²) – површина пода грејане просторије;

f_{RH} (W/m²) – корекциони фактор који зависи од времена узгревања и претпостављеног снижења унутрашње температуре током обуставе грејања.

4.4 Укупни пројектни губици топлоте за грејану просторију $\Phi_{HL,i}$ (W)

За грејану просторију (i), укупни пројектни губици топлоте, $\Phi_{HL,i}$, и рачунају се на следећи начин:

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} + \Phi_{RH,i} \text{ (W)}$$

где су:

$\Phi_{T,i}$ (W) – трансмисиони топлотни губици грејане просторије (i);

$\Phi_{V,i}$ (W) – вентилациони топлотни губици грејане просторије (i);

$\Phi_{RH,i}$ (W) – грејни капацитет потребан да компензује ефекте грејања са прекидима грејане просторије (i).

4.5 Табеле топлотних губитака за описани стамбени објекат

Прорачун топлотних губитака															
Просторија: Дневна соба - приземље															
Редни број	Скраћена ознака	Стране света	Дужина или ширина [m]	Висина [m]	Површина [m ²]	Количина	Смањење [m ²]	Површина за обрачун [m ²]	Ht,ie [W/K]	Ht,iue [W/K]	Ht,ig [W/K]	Ht,ij [W/K]	Φ _{T,i} [W]	Φ _{V,i} [W]	Φ _{RH,i} [W]
1	DS1_ZS_W	3	2,5	2,6	6,5	1	1,92	4,58	2,70	0	0	0	-	-	-
2	DS1_PR_W	3	1,6	1,2	1,92	1	0	1,92	2,49	0	0	0	-	-	-
3	DS1_ZS_N	C	3,5	2,6	9,1	1	0,72	8,38	4,94	0	0	0	-	-	-
4	DS1_PR_N	C	1,2	0,6	0,72	1	0	0,72	0,93	0	0	0	-	-	-
5	DS1_ZS_S	J	3,5	2,6	9,1	1	0	9,1	5,36	0	0	0	-	-	-
6	DS1_ZU_W	C	3	2,6	7,8	1	0	7,8	0	2,31	0	0	-	-	-
7	DS1_ZU1_E	И	2,39	2,6	6,22	1	0	6,22	0	0	0	1,32	-	-	-
8	DS1_ZU2_E	И	2	2,6	5,2	1	0	5,2	0	0	0	-0,88	-	-	-
9	DS1_VR_E	И	1	2	2,1	1	0	2,1	0	0	0	0,69	-	-	-
10	Под	-	-	-	19,25	1	0	19,25	0	0	2,80	0	-	-	-
11	Плафон	-	-	-	19,25	1	0	19,25	0	0	0	0	-	-	-
Укупно									16,44	2,31	2,80	1,12	794,16	297,79	211,75
Укупна енергија за загревање просторије [W]					1303,71										

Прорачун топлотних губитака															
Просторија: Купатило - приземље															
Редни број	Скраћена ознака	Стране света	Дужина или ширина [m]	Висина [m]	Површина [m ²]	Количина	Смањење [m ²]	Површина за обрачун [m ²]	H _{t,ie} [W/K]	H _{t,iue} [W/K]	H _{t,ig} [W/K]	H _{t,ij} [W/K]	Φ _{T,i} [W]	Φ _{V,i} [W]	Φ _{RH,i} [W]
1	KUP1_ZS_N	C	1,5	2,6	3,9	1	0,36	3,54	2,08	0	0	0	-	-	-
2	KUP1_PR_N	C	1,2	2,6	0,6	1	0	0,36	0,46	0	0	0	-	-	-
3	KUP1_ZU_W	3	2	2,6	5,2	1	0	5,2	0	0	0	0,79	-	-	-
4	KUP1_ZU_E	И	2	2,6	5,2	1	0	5,2	0	0	0	0,79	-	-	-
5	KUP1_ZU_S	J	1,5	2,6	3,9	1	2,1	1,8	0	0	0	0,61	-	-	-
6	KUP1_VR_S	J	1	2,1	2,1	1	0	2,1	0	0	0	1,11	-	-	-
7	Под	-	-	-	3	1	0	3	0	0	0,56	0	-	-	-
8	Плафон	-	-	-	3	1	0	3	0	0	0	0	-	-	-
Укупно									2,55	0	0,56	3,32	251,60	155,14	33
Укупна енергија за загревање просторије [W]					439,75										

Прорачун топлотних губитака															
Просторија: Ходник - приземље															
Редни број	Скраћена ознака	Стране света	Дужина или ширина [m]	Висина [m]	Површина [m ²]	Количина	Смањење [m ²]	Површина за обрачун [m ²]	H _{t,ie} [W/K]	H _{t,iue} [W/K]	H _{t,ig} [W/K]	H _{t,ij} [W/K]	Φ _{T,i} [W]	Φ _{V,i} [W]	Φ _{RH,i} [W]
1	HOD1_ZS_S	J	1,5	2,6	3,9	1	2,1	1,8	1,06	0	0	0	-	-	-
2	HOD1_VR_S	J	1	2,1	2,1	1	0	2,1	4,83	0	0	0	-	-	-
3	HOD1_ZU_N	C	1,5	2,6	3,9	1	2,1	1,8	0	0	0	-0,62	-	-	-
4	HOD1_VR_N	C	1	2,1	2,1	1	0	2,1	0	0	0	-1,12	-	-	-
5	HOD1_ZU_W	3	3	2,6	7,8	1	2,1	5,7	0	0	0	-1,54	-	-	-
6	HOD1_VR_W	3	1	2,1	2,1	1	0	2,1	0	0	0	-0,80	-	-	-
7	HOD1_ZU2_E	И	1,75	2,6	4,55	1	2,1	2,45	0	0	0	-0,60	-	-	-
8	HOD_VR2_E	И	1	2,1	2,1	1	0	2,1	0	0	0	-0,80	-	-	-
9	HOD1_ZU1_E	И	1,25	2,6	3,25	1	2,1	1,15	0	0	0	-0,28	-	-	-
10	HOD1_VR1_E	И	1	2,1	2,1	1	0	2,1	0	0	0	-0,80	-	-	-
11	Под	-	-	-	4,8	1	0	4,8	0	0	0,34	0	-	-	-
12	Плафон	-	-	-	4,8	1	0	4,8	0	0	0	0	-	-	-
Укупно									5,89	0	0,34	-6,61	-11,20	63,64	52,8
Укупна енергија за загревање просторије [W]					105,23										

Прорачун топлотних губитака															
Просторија: Спаваћа соба 2 - приземље															
Редни број	Скраћена ознака	Стране света	Дужина или ширина [m]	Висина [m]	Површина [m ²]	Количина	Смањење [m ²]	Површина за обрачун [m ²]	H _{t,ie} [W/K]	H _{t,iue} [W/K]	H _{t,ig} [W/K]	H _{t,ij} [W/K]	Φ _{T,i} [W]	Φ _{V,i} [W]	Φ _{RH,i} [W]
1	SS2_ZS_N	С	4	2,6	10,4	1	0	10,4	6,13	0	0	0	-	-	-
2	SS2_ZS_E	И	4	2,6	10,4	1	1,92	8,48	5	0	0	0	-	-	-
3	SS2_PR_E	И	1,6	1,2	1,92	1	0	1,92	2,49	0	0	0	-	-	-
4	SS2_ZU2_W	3	2	2,6	5,2	1	0	5,2	0	0	0	-0,88	-	-	-
5	SS2_ZU1_W	3	2	2,6	5,2	1	2,1	3,1	0	0	0	1,10	-	-	-
6	SS2_VR_W	3	1	2,1	2,1	1	0	2,1	0	0	0	0,69	-	-	-
7	Под	-	-	-	16	1	0	16	0	0	2,33	0	-	-	-
8	Плафон	-	-	-	16	1	0	16	0	0	0	0	-	-	-
Укупно									13,63	0	2,33	0,91	590,63	247,52	176
Укупна енергија за загревање просторије [W]					1014,15										

Прорачун топлотних губитака															
Просторија: Спаваћа соба 1 - приземље															
Редни број	Скраћена ознака	Стране света	Дужина или ширина [m]	Висина [m]	Површина [m ²]	Количина	Смањење [m ²]	Површина за обрачун [m ²]	Ht,ie [W/K]	Ht,iue [W/K]	Ht,ig [W/K]	Ht,ij [W/K]	Φ _{T,i} [W]	Φ _{V,i} [W]	Φ _{RH,i} [W]
1	SS1_ZS_N	С	4	2,6	10,4	1	0	10,4	6,13	0	0	0	-	-	-
2	SS1_ZS_E	И	4	2,6	10,4	1	1,92	8,48	5,00	0	0	0	-	-	-
3	SS1_PR_E	И	1,6	1,2	1,92	1	0	1,92	2,49	0	0	0	-	-	-
4	SS1_ZS_W	З	2,4	2,6	6,25	1	0	6,25	3,68	0	0	0	-	-	-
5	SS1_ZU_W	З	1,6	2,6	4,16	1	2,1	2,06	0	0	0	0,43	-	-	-
6	SS1_VR_W	З	1	2,1	2,1	1	0	2,1	0	0	0	0,69	-	-	-
7	Под	-	-	-	16	1	0	16	0	0	2,33	0	-	-	-
8	Плафон	-	-	-	16	1	0	16	0	0	0	0	-	-	-
Укупно									17,31	0	2,33	1,12	727,25	238	176
Укупна енергија за загревање просторије [W]					1141,25										

Прорачун топлотних губитака															
Просторија: Дневна соба - спрат															
Редни број	Скраћена ознака	Стране света	Дужина или ширина [m]	Висина [m]	Површина [m ²]	Количина	Смањење [m ²]	Површина за обрачун [m ²]	Ht,ie [W/K]	Ht,iue [W/K]	Ht,ig [W/K]	Ht,ij [W/K]	Φ _{T,i} [W]	Φ _{V,i} [W]	Φ _{RH,i} [W]
1	DS2_ZS_W	З	5,5	2,6	14,3	1	0	14,3	8,43	0	0	0	-	-	-
2	DS2_ZS_N	С	3,5	2,6	9,1	1	0,72	8,38	4,94	0	0	0	-	-	-
3	DS2_PR_N	С	1,2	0,6	0,72	1	0	0,72	0,93	0	0	0	-	-	-
4	DS2_ZS_S	Ј	3,5	2,6	9,1	1	1,92	7,18	4,23	0	0	0	-	-	-
5	DS2_PR_S	Ј	1,6	1,2	1,92	1	0	1,92	2,49	0	0	0	-	-	-
6	DS2_ZU2_E	И	2,39	2,6	5,2	1	0	5,2	0	0	0	-0,88	-	-	-
7	DS2_ZU1_E	И	2	2,6	8,32	1	2,1	6,22	0	0	0	1,32	-	-	-
8	DS2_VR_E	И	1	2,1	2,1	1	2,1	2,1	0	0	0	0,69	-	-	-
9	Под	-	-	-	19,25	1	0	19,25	0	0	0	0	-	-	-
10	Плафон	-	-	-	19,25	1	0	19,25	0	5,07	0	0	-	-	-
Укупно									21,04	5,07	0	1,12	953,74	297,79	211,75
Укупна енергија за загревање просторије [W]					1463,29										

Прорачун топлотних губитака															
Просторија: Купатило - спрат															
Редни број	Скраћена ознака	Стране света	Дужина или ширина [m]	Висина [m]	Површина [m ²]	Количина	Смањење [m ²]	Површина за обрачун [m ²]	Ht,ie [W/K]	Ht,iue [W/K]	Ht,ig [W/K]	Ht,ij [W/K]	Φ _{T,i} [W]	Φ _{V,i} [W]	Φ _{RH,i} [W]
1	KUP2_ZS_N	C	1,5	2,6	3,9	1	0,36	3,54	2,08	0	0	0	-	-	-
2	KUP2_PR_N	C	1,2	2,6	0,36	1	0	0,36	0,46	0	0	0	-	-	-
3	KUP2_ZU_W	3	2	2,6	5,2	1	0	5,2	0	0	0	0,79	-	-	-
4	KUP2_ZU_E	И	2	2,6	5,2	1	0	5,2	0	0	0	0,79	-	-	-
5	KUP2_ZU_S	J	1,5	2,6	3,9	1	2,1	1,8	0	0	0	0,61	-	-	-
6	KUP2_VR_S	J	1	2,1	2,1	1	0	2,1	0	0	0	1,11	-	-	-
7	Под	-	-	-	3	1	0	3	0	0	0	0	-	-	-
8	Плафон	-	-	-	3	1	0	3	0	0,79	0	0	-	-	-
Укупно									2,55	0,79	0	3,32	260,26	51,71	33
Укупна енергија за загревање просторије [W]					344,97										

Прорачун топлотних губитака															
Просторија: Ходник - приземље															
Редни број	Скраћена ознака	Стране света	Дужина или ширина [m]	Висина [m]	Површина [m ²]	Количина	Смањење [m ²]	Површина за обрачун [m ²]	Ht,ie [W/K]	Ht,iue [W/K]	Ht,ig [W/K]	Ht,ij [W/K]	Φ _{T,i} [W]	Φ _{V,i} [W]	Φ _{RH,i} [W]
1	HOD2_ZS_S	J	1,5	2,6	3,9	1	2,1	1,8	1,06	0	0	0	-	-	-
2	HOD2_VR_S	J	1	2,1	2,1	1	0	2,1	4,83	0	0	0	-	-	-
3	HOD2_ZU_N	C	1,5	2,6	3,9	1	2,1	1,8	0	0	0	-0,62	-	-	-
4	HOD2_VR_N	C	1	2,1	2,1	1	0	2,1	0	0	0	-1,12	-	-	-
5	HOD2_ZU_W	3	3	2,6	8,32	1	2,1	6,22	0	0	0	-1,54	-	-	-
6	HOD2_VR_W	3	1	2,1	2,1	1	0	2,1	0	0	0	-0,8	-	-	-
7	HOD2_ZU2_E	И	1,75	2,6	4,55	1	2,1	2,45	0	0	0	-0,6	-	-	-
8	HOD2_VR2_E	И	1	2,1	2,1	1	0	2,1	0	0	0	-0,8	-	-	-
9	HOD2_ZU1_E	И	1,25	2,6	3,25	1	2,1	1,15	0	0	0	-0,28	-	-	-
10	HOD2_VR1_E	И	1	2,1	2,1	1	0	2,1	0	0	0	-0,8	-	-	-
11	Под	-	-	-	4,8	1	0	4,8	0	0	0	0	-	-	-
12	Плафон	-	-	-	4,8	1	0	4,8	0	1,26	0	0	-	-	-
Укупно									5,89	1,26	0	-6,61	16,4	63,64	52,8
Укупна енергија за загревање просторије [W]					132,84										

Прорачун топлотних губитака

Просторија: Спаваћа соба 2 - спрат

Редни број	Скраћена ознака	Стране света	Дужина или ширина [m]	Висина [m]	Површина [m ²]	Количина	Смањење [m ²]	Површина за обрачун [m ²]	H _{t,ie} [W/K]	H _{t,iue} [W/K]	H _{t,ig} [W/K]	H _{t,ij} [W/K]	Φ _{T,i} [W]	Φ _{V,i} [W]	Φ _{RH,i} [W]
1	SS22_ZS_N	С	4	2,6	10,4	1	0	10,4	6,13	0	0	0	-	-	-
2	SS22_ZS_E	И	4	2,6	10,4	1	1,92	8,48	5	0	0	0	-	-	-
3	SS22_PR_E	И	1,6	1,2	1,92	1	0	1,92	2,49	0	0	0	-	-	-
4	SS22_ZU2_W	3	2	2,6	5,2	1	0	5,2	0	0	0	-0,88	-	-	-
5	SS22_ZU1_W	3	2	2,6	5,2	1	2,1	3,1	0	0	0	1,10	-	-	-
6	SS22_VR_W	3	1	2,1	2,1	1	0	2,1	0	0	0	0,69	-	-	-
7	Под	-	-	-	16	1	0	16	0	0	0	0	-	-	-
8	Плафон	-	-	-	16	1	0	16	0	4,22	0	0	-	-	-
Укупно									13,63	4,22	0	0,91	656,71	247,52	176
Укупна енергија за загревање просторије [W]					1080,23										

Прорачун топлотних губитака															
Просторија: Спаваћа соба 1 - спрат															
Редни број	Скраћена ознака	Стране света	Дужина или ширина [m]	Висина [m]	Површина [m ²]	Количина	Смањење [m ²]	Површина за обрачун [m ²]	Ht,ie [W/K]	Ht,iue [W/K]	Ht,ig [W/K]	Ht,ij [W/K]	Φ _{T,i} [W]	Φ _{V,i} [W]	Φ _{RH,i} [W]
1	SS11_ZS_N	С	4	2,6	10,4	1	0	10,4	6,13	0	0	0	-	-	-
2	SS11_ZS_E	И	4	2,6	10,4	1	1,92	8,48	5	0	0	0	-	-	-
3	SS11_PR_E	И	1,6	1,2	1,92	1	0	1,92	2,49	0	0	0	-	-	-
4	SS11_ZS_W	З	2,4	2,6	6,25	1	0	6,25	3,68	0	0	0	-	-	-
5	SS11_ZU_W	З	1,6	2,6	4,16	1	2,1	2,06	0	0	0	0,43	-	-	-
6	SS11_VR_W	З	1	2,1	2,1	1	0	2,1	0	0	0	0,69	-	-	-
7	Под	-	-	-	16	1	0	16	0	0	0	0	-	-	-
8	Плафон	-	-	-	16	1	0	16	0	4,22	0	0	-	-	-
Укупно									17,31	4,22	0	1,12	793,34	238	176
Укупна енергија за загревање просторије [W]					1207,34										

Прорачун грејних тела							
Објекат: Породични стамбени објекат							
Редни број	Назив просторије	t	V	Q	Усвојени тип грејног тела	Радијатори	
		°C	m ³	W		Број ребара	Топлотна снага грејног тела
1	Дневна соба - приземље	20	50,05	1303,72	FOKUS F500	14	1353,43
2	Купатило - приземље	24	7,8	439,75	FOKUS F500	6	506,63
3	Ходник - приземље	15	11,7	105,24	FOKUS F500	1	112,57
4	Спаваћа соба 2 - приземље	20	41,6	1014,15	FOKUS F500	11	1063,41
5	Спаваћа соба 1 - приземље	20	41,6	1141,26	FOKUS F500	12	1160,08
6	Дневна соба - спрат	20	50,05	1463,29	FOKUS F500	16	1546,77
7	Купатило - спрат	24	7,8	344,98	FOKUS F500	5	422,19
8	Ходник - спрат	15	11,7	132,85	FOKUS F500	2	225,15
9	Спаваћа соба 2 - спрат	20	41,6	1080,24	FOKUS F500	12	1160,08
10	Спаваћа соба 1 - спрат	20	41,6	1207,34	FOKUS F500	13	1256,75
Укупна снага грејних тела [W]				8807,07			
Потребна снага котла [W]				9687,77			

На основу израчунатих топлотних губитака у посматраном објекту, усвојен је гасни котао произвођача Vaillant, модел atmoTEC/turboTEC pro VUW 180/5-3, чија се снага креће у опсегу од 7,6 до 18 kW [10]. Усвојен је температурски режим 70/55/20 °C. Одабрана грејна тела су грејна тела произвођача CINI [11].

5 Припрема топле санитарне воде

Загревање топле потрошне воде врши се локалним или централним путем. Код локалног загревања свако потрошно место има свој акумулатор топлоте док централна припрема подразумева један акумулатор топлоте за више потрошних места. Системи са хибридным соларним системом се могу извести као акумулациони, проточни или комбиновани. Код проточних система вода се загрева тренутно, што значи да се загрејана вода одмах троши, док се код акумулационих система, вода припрема унапред према предвиђеној потрошњи. Акумулациони системи захтевају мању снагу извора топлоте јер се може рачунати са фактором истовремености, што значи да се претпоставља да неће сви потрошачи користити воду истовремено. Рециркулациона пумпа се уграђује како би се на свим местима потрошње осигурала топла вода одмах након отварања славине. Њено укључивање се регулише временски, најчешће сваких 15 минута. Цевоводи за развод морају бити изоловани како би се спречили губици топлоте те тиме осигурала потребна температура воде на потрошном месту.

Како би се што ефикасније искористила „бесплатна,, дозрачена енергија од Сунца данас су у све већој употреби нискотемпературни топоводни системи загревања топле потрошне воде. Припрема топле потрошне воде је прва по важности примена инсталација са соларним пријемницима. Лети се потреба енергије за припрему топле потрошне воде може у целости покрити соларном инсталацијом, док се у зимским месецима, првенствено користе други извори топлоте.

У овом раду је вода загревана помоћу ХПСЕ-а коришћена за потребе домаћинства као топла санитарна вода. У табелама су приказани запремински протоци и временски интервали коришћења топле санитарне воде на потрошним местима у испитиваном објекту. Протоци су одређени коришћењем препорука из [19].

Табела 6: Запремински проток топле санитарне воде (40 °C) на славинама у купатилу и кухињи (прање руку, умивање, прање зуба, прање судова и припрема оброка) у функцији од временског интервала потрошње

Намена	Временски интервал потрошње	Количина воде (l)	Запремински проток воде (m ³ /s)
Умивање, прање судова, кување кафе	06:00-06:03	12	0,0000666667
Умивање, прање зуба, кување кафе	07:00-07:03	12	0,0000666667
Умивање, прање зуба	08:00-08:05	7	0,0000233333
Припрема оброка	11:00-11:05	5	0,0000166667
Прање судова	16:00-16:05	30	0,0001000000
Умивање, прање зуба	22:00-22:06	6	0,0000166667

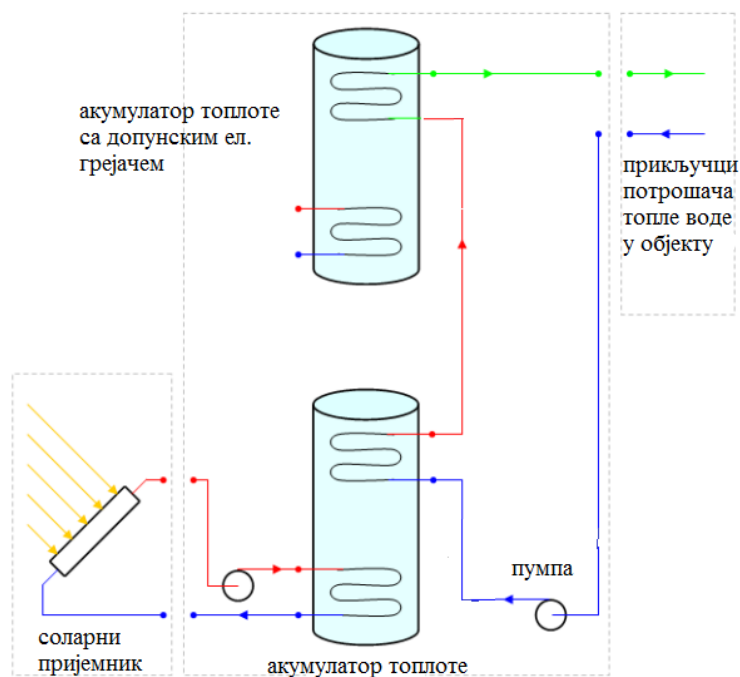
Табела 7: Запремински проток топле санитарне воде (40 °C) на тушу (купатило) у функцији од временског интервала потрошње

Намена	Временски интервал потрошње	Количина воде (l)	Запремински проток воде (m ³ /s)
Туширање	19:00-19:06	50	0,0001388889
	19:30-19:36	50	0,0001388889
	19:54-20:00	50	0,0001388889

Табела 8: Запремински проток топле санитарне воде (50 °C) за прање веша у функцији од временског интервала потрошње

Намена	Временски интервал потрошње	Количина воде (l)	Запремински проток воде (m ³ /s)
Прање веша	21:00-23:27	49	0,0000055556

Шема хибридног соларног система чији је рад симулиран у софтверу EnergyPlus је приказан на слици 16.



Слика 16. Систем загревања воде са два резервоара [13]

Систем се састоји из ХПСЕ-а који могу бити везани паралелно или на ред у једном циркулационом кругу. Циркулацију радног флуида кроз ХПСЕ омогућава пумпа. Топла вода из ХПСЕ-а доспева у измењивач топлоте преко кога се топлота предаје води у акумулатору топлоте (без допунског грејача), која доспева из водовода. Топла вода из овог акумулатора топлоте одлази у акумулатор топлоте са допунским електричним грејачем који по потреби загрева воду на жељену температуру.

За измењивач топлоте уграђен у примарни круг треба изабрати такве димензије, да се обезбеди брза измена топлоте између њега и воде у акумулатору топлоте (резервоару).

При малим димензијама нема довољно времена да измењивач топлоте пренесе своју топлоту на воду у резервоару, тако да се у соларни пријемник враћа још доста топла вода. Коефицијент корисног дејства акумулатора топлоте тада опада због инерције кружног тока флуида и прегрејаности соларних пријемника. Измењивач топлоте може се изградити у облику цилиндра са двоструким зидовима тако да радни флуид протиче између зидова чији је размак око 5 mm. Међутим, измењивач топлоте од спиралних цеви је бољи јер успорава термосифонски процес и омогућује дуже трајање преноса топлоте од измењивача ка резервоару.

Опасност од замрзавања воде на ниским температурама избегава се мешањем воде као радног флуида у примарном кружном току са средством против замрзавања, на пример антифризом. У овом случају треба обезбедити да вода са антифризом из измењивача топлоте не доспе на неки начин у хигијенску воду резервоара намењену потрошачу, јер у противном може доћи до тровања људи. Разумљиво је да се у овом као у претходном случају замрзавање воде може избећи пражњењем примарног круга воде при ниским температурама од неколико степени изнад 0°C. Пражњење се може вршити и аутоматски уградњом термостатских вентила који се на ниским температурама аутоматски отварају и тако омогућују пражњење воде из примарног круга акумулатора топлоте. Међутим, честа пражњења и пуњења новом водом, повећава издвајање каменца у систему, због чега се ефикасност акумулатора топлоте смањује. Ово се може избећи и уградњом посебног резервоара за сакупљање воде из примарног круга и њено поновно враћање [18].

Користећи литературу [17], израчуната је потребна топлотна снага за загревање воде у акумулационом систему, према следећем обрасцу:

$$\dot{Q} = \dot{V}_h \cdot \rho \cdot c_p \cdot (t_i - t_u) \cdot \frac{g}{\eta}$$

где су:

$\dot{Q}$ (W) – потребна топлотна снага за загревање воде у акумулатору топлоте,

$\dot{V}_h$ (m³/s) – максималана потребна количина топле потрошне воде у току једног сата (0,00004166 m³/s),

c_p (J/kgK) – специфична топлота воде при константном притиску,

t_u (°C) – дозвољена најнижа температура воде у акумулатору топлоте (10 °C),

t_i (°C) – средња температура воде на местима потрошње (45 °C),

g (-) – коефицијент топлотних губитака акумулатора топлоте (1,1),

η (-) – степен ефикасности електричног грејача акумулатора топлоте (0,9),

ρ (kg/m³) – густина воде.

Капацитет грејача који је потребан за догревање воде се одређује уз помоћ следеће једначине:

$$\dot{Q}_{grejac} = \frac{\dot{Q} \cdot z_b}{z_a + z_b}$$

где су:

$\dot{Q}_{grejac}$ (W) – топлотна снага грејача за загревање воде у акумулатору топлоте,

z_a (h) – број часова загревања воде у акумулатору топлоте (1 h),

z_b (h) – број часова погона акумулатора топлоте (1 h).

Као последњи потребни податак за димензионисање акумулатора топлоте, његова запремина, се може израчунати коришћењем следећег обрасца:

$$V_s = \frac{C}{c \cdot (t_o - t_u)} \cdot b$$

где су:

V_s (l) – запремина суда,

$C = z_a \dot{Q}_{grejac}$ (kWh) – капацитет резервоара,

c (kWh/Kl) – специфични топлотни капацитет воде,

t_o (°C) – средња највиша температура воде у акумулатору топлоте (60 °C),

b (-) – фактор додатка због мртвог простора испод грејне површине акумулатора топлоте (1,1).

Израчунате вредности предходно објашњених величина износе: $\dot{Q} = 7,46$ kW; $\dot{Q}_{grejac} = 3,73$ kW; $C = 3,73$ kWh; $V_s = 70,82$ l. Усвојена је вредност снаге грејача од 4 kW, и запремина акумулатора топлоте са допунским грејачем од 80 l. Усвојена запремина акумулатора топлоте без допунског грејача износи 250 l.

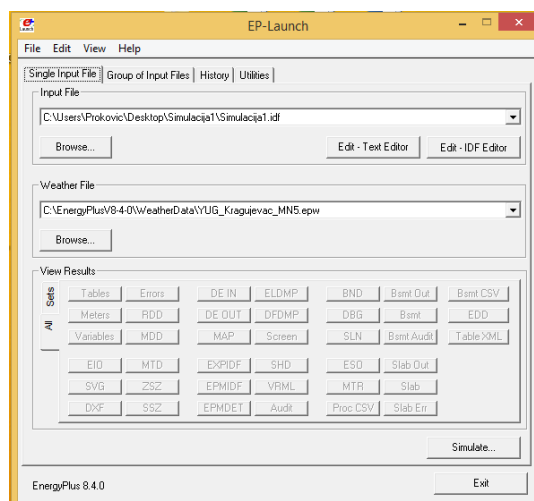
6 Симулација рада хибридног соларног система

Овај софтвер служи за симулање рада система грејања, хлађења, климатизације, рада осветљења, вентилације, топле санитарне воде, као и многих других енергетских токова. Укључује многе иновативне способности симулације као што су временски размаци мањи од једног сата, аутоматски системи, топлотно балансиране зоне симулације, проток ваздуха кроз све термичке зоне, термичку удобност, коришћење воде, као и природну вентилацију.

EnergyPlus (слика 17) има своје корене у BLAST и DOE-2 програмским пакетима. Оба ова пакета, BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics- термичка анализа зграда и система термодинамике) и DOE-2, развијени су и објављени у касним седамдесетим и раним осамдесетим годинама XX века, као алати за термичке и енергетске симулације. Корисници ових алата били су инжењери дизајна и архитекте који би на прави начин одредили неопходну опрему за грејање, хлађење и климатизацију, развијали различите студије о анализи животног циклуса, оптимизовали енергетске перформансе, итд.

Из потребе коју је изазвала енергетска криза раних седамдесетих година и самог сазнања да је потрошња енергије за загревање просторија највећа компонента статистике потрошње енергије у Америци, ова два програма су покушала да реше исти проблем из две мање-више различите перспективе.

Као и његови претходници, и EnergyPlus је програм за енергетску и термичку анализу и симулацију. Заснован на корисничковој дефиницији куће (зграде), у смислу физичких ограничења и зависних механичких параметара, EnergyPlus ће израчунати неопходне грејне и расхладне параметре који су неопходни како би се одржала термичка контрола на специфичним тачкама куће [12].



Слика 17. Радно окружење EnergyPlus програма

Комплетна симулација рада хибридног соларног система је спроведена уз помоћ овог програмског алата. Самој анализи хибридног система у овом програму је предходило 3D моделирање објекта у Google Sketchup-у.

6.1 Хибридни пријемници сунчеве енергије

ХПСЕ (енг. Photovoltaic-Thermal solar collectors) су комбинација електричних фотонапонских ћелија и соларних водених пријемника, конструисаних тако да прикупљају истовремено и електричну и топлотну енергију. Због ниског степена комерцијализације хибридних соларних пријемника, не постоје стандарди или класирање система, као што је то случај код фотонапонских или термичких пријемника.

Картица SolarCollector:FlatPlate:PhotovoltaicThermal омогућава унос података као што су назив пријемника, врста радног флуида, као и опцију дефинисања прикључних тачака панела (улаз и излаз радног флуида), као што је то приказано на слици 18.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Collector 1	Collector 2	Collector 3	Collector 4
Surface Name		CollectorSurface1	CollectorSurface2	CollectorSurface3	CollectorSurface4
Photovoltaic-Thermal Model Performance Name		30percentEHPVhalf	30percentEHPVhalf	30percentEHPVhalf	30percentEHPVhalf
Photovoltaic Name		Collector 1 PV	Collector 2 PV	Collector 3 PV	Collector 4 PV
Thermal Working Fluid Type		Water	Water	Water	Water
Water Inlet Node Name		Collector 1 Inlet No	Collector 2 Inlet No	Collector 3 Inlet No	Collector 4 Inlet No
Water Outlet Node Name		Collector 1 Outlet No	Collector 2 Outlet No	Collector 3 Outlet No	Collector 4 Outlet No
Air Inlet Node Name					
Air Outlet Node Name					
Design Flow Rate	m3/s	0.0000237	0.0000237	0.0000237	0.0000237

Слика 18. Изглед картице SolarCollector:FlatPlate:PhotovoltaicThermal уз помоћ које је вршено моделирање термичких карактеристика ХПСЕ-а

За проток воде кроз ХПСЕ усвојена је вредност $0,015 \text{ kg/sm}^2$.

Топлотна снага ХПСЕ-а се израчунава коришћењем следеће једначине [14]:

$$Q_{therm} = A_{surf} \cdot f_{activ} \cdot G_T \cdot \eta_{thermal}$$

где је:

Q_{therm} (W) – топлотна снага ХПСЕ-а,

A_{surf} (m²) – укупна површина ХПСЕ-а (2 m²),

f_{activ} (-) – удео активне површине у укупној површини ХПСЕ-а (1,58 m²),

$\eta_{thermal}$ (-) – ефикасност трансформације соларне у топлотну енергију (0,3),

G_T (W/m²) – укупно дозрaчено соларно зрачење.

Температура радног флуида на излазу из ХПСЕ-а се рачуна по обрасцу:

$$T_{out} = T_{in} + \frac{Q_{therm}}{\dot{m}c_p}$$

где је:

T_{out} (K) – температура радног флуида који напушта ХПСЕ,

T_{in} (K) – температура радног флуида који улази у ХПСЕ,

$\dot{m}$ (kg/s) – масени проток радног флуида који пролази кроз ХПСЕ,

c_p (J/kgK) – специфична топлота радног флуида.

У овом раду су коришћени подаци о ХПСЕ-у марке DualSun (слика 19). Његове техничке карактеристике су дате табелом 9.



Слика 19. Приказ постављених хибридниx соларних пријемника на крову објекта [15]

Табела 9: Електричне и термичке карактеристике анализираног хибридног соларног пријемника [15]

Електричне карактеристике	
Број ћелија у модулу	60
Тип ћелије (димензије)	монокристалне (156 mm*156 mm)
Номинална снага	250 Wp
Ефикасност модула	15,40%
Толеранција снаге	-0/+3%
Напон	30,7 V
Струја	8,15 A
Напон отвореног кола	38,5 V
Максимални напон система	1000 V DC
Повратно струјно оптерећење	15 A
НОСТ	49 °C
Конектори	MC4 PLUS
Класа апликације	Класа А
Термичке карактеристике	
Укупна површина	1,66 m ²
Пријемна површина	1,58 m ²
Запремина радне течности у модулу	1,70 l
Максимална температура	74,7 °C
Максимални радни притисак	1,2 bar
Пад притиска пријемника	6000 Pa на 200 l/h
Хидраулични прикључци	1/5 inch (15/21 mm)

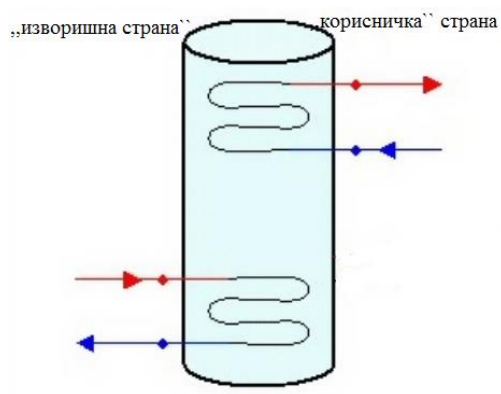
Хибридни соларни пријемници поред загревања воде, имају могућност да произведу електричну енергију трансформацијом соларне енергије. Модел оваквог генерисања електричне енергије се врши у картици Generator:Photovoltaic (слика 20) где је потребно одредити које површине ће се користити за постављање ХПСЕ-а као и колика је електрична ефикасност ХПСЕ-а. Пријемници су постављени под углом од 37,6° у односу на хоризонталну раван и њихова укупна површина износи 6,32 m².

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Collector 1 PV	Collector 2 PV	Collector 3 PV	Collector 4 PV
Surface Name		CollectorSurface1	CollectorSurface2	CollectorSurface3	CollectorSurface4
Photovoltaic Performance Object Type		PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform	PhotovoltaicPerform
Module Performance Name		15percentEffPVhalf	15percentEffPVhalf	15percentEffPVhalf	15percentEffPVhalf
Heat Transfer Integration Mode		PhotovoltaicTherm	PhotovoltaicTherm	PhotovoltaicTherm	PhotovoltaicTherm
Number of Series Strings in Parallel	dimensionless	1	1	1	1
Number of Modules in Series	dimensionless	1	1	1	1

Слика 20. Изглед картице Generator:Photovoltaic уз помоћ које је вршено моделирање електричних карактеристика ХПСЕ-а

6.2 Акумулатори топлоте

Ако је акумулатор топлоте прикључен на неки систем који садржи циркулациону пумпу, онда он има два прикључка са стране „извора“ и два прикључка са „корисничке“ стране, као што је то приказано на слици 21. Са изворишне стране налази се ХПСЕ. Корисничка страна повезује акумулатор топлоте са потрошачима. Ако је систем креиран тако да му треба само једна страна, било да је то изворишна или корисничка, акумулатор топлоте се може повезати тако да му друга страна остане слободна, а да му се не наруши функционалност, тако што ће програм препознати да је у питању електрични грејач за припрему воде [13].



Слика 21. Графички приказ акумулатора топлоте са карактеристичним тачкама повезивања

EnergyPlus картица у којој је вршено моделирање акумулатора топлоте је дата на слици 22, где се може видети да постоје два акумулатора топлоте, као што је то поменуто у поглављу 5 овог рада.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		SHW/Sys1 Water Heater	Instantaneous Water Heater
Tank Volume	m3	0.25	0.08
Setpoint Temperature Schedule Name		SHW/Sys1 Water Heater Setpoint	SHW/Sys1 Water Heater Setpoint
Deadband Temperature Difference	deltaC	57	0
Maximum Temperature Limit	C	65	65
Heater Control Type		CYCLE	MODULATE
Heater Maximum Capacity	W		4000
Heater Minimum Capacity	W		
Heater Ignition Minimum Flow Rate	m3/s		
Heater Ignition Delay	s		
Heater Fuel Type		Electricity	Electricity
Heater Thermal Efficiency		1	1
Part Load Factor Curve Name			
Off Cycle Parasitic Fuel Consumption Rate	W		
Off Cycle Parasitic Fuel Type			
Off Cycle Parasitic Heat Fraction to Tank			
On Cycle Parasitic Fuel Consumption Rate	W		
On Cycle Parasitic Fuel Type			
On Cycle Parasitic Heat Fraction to Tank			
Ambient Temperature Indicator		Schedule	Schedule
Ambient Temperature Schedule Name		Gubici - boiler	Gubici - boiler

Слика 22. Изглед картице WaterHeater:Mixed уз помоћ које је вршено моделирање акумулатора топлоте

Први акумулатор топлоте ($0,25 \text{ m}^3$) је преко измењивача топлоте повезан са ХПСЕ-ом. Вода из ХПСЕ-а загрева воду у истом акумулатору. Тако загрејана вода се затим шаље у други акумулатор топлоте ($0,08 \text{ m}^3$) где се по потреби догрева на жељену температуру (60°C).

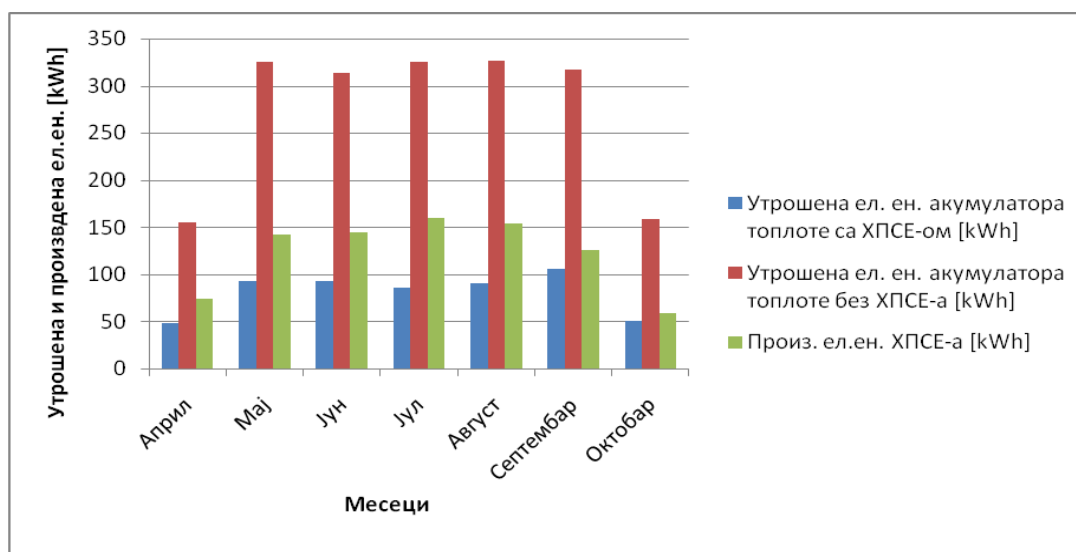
У програму EnergyPlus је неопходно дефинисати и распоред коришћења топле потрошне воде уз помоћ картице Schedule:Compact, у којој су уписиване фракције и временски интервали потрошње воде на сваком потрошном месту засебно, као што је то приказано на слици 23.

Field	Units	Obj44	Obj45	Obj46	Obj47
Name		VMasina_DEFAULT	Hours_of_operation_Slavina	Hours_of_operation_Tus	Hours_of_operation_VMasina
Schedule Type Limits Name		Temperature	Fraction	Fraction	Fraction
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 24:00	Until: 06:00	Until: 19:00	Until: 21:00
Field 4	varies	60	0	0	0
Field 5	varies		Until: 06:03	Until: 19:06	Until: 23:27
Field 6	varies		6.66666667E-01	1	1
Field 7	varies		Until: 07:00	Until: 19:30	Until: 24:00
Field 8	varies		0	0	0

Слика 23. Изглед картице Schedule:Compact уз помоћ које је вршено уношење распореда потрошње топле воде

7 Резултати

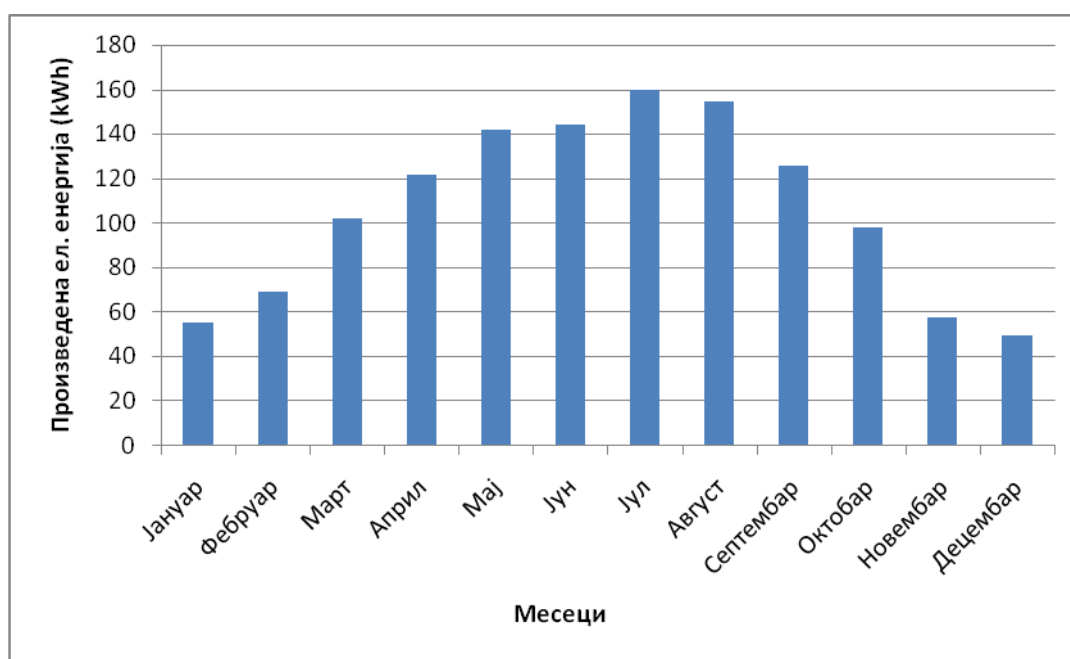
У овом раду извршена је анализа коришћења воденог ХПСЕ за припрему топле потрошне воде једнопородичног стамбеног објекта за целу годину. Треба нагласити да су, због чињенице да је радни медијум ХПСЕ-а вода односно због опасности од мржњења воде, и термички и фотонапонски модули овог система били у погону у периоду од 15. априла до 15. октобра. Другим речима, током зимске сезоне у погону је искључиво фотонапонски модул. За симулацију су коришћени реални временски подаци за град Крагујевац. Анализирана су два случаја: када је инсталиран ХПСЕ (случај 1) и када није инсталиран ХПСЕ (случај 2).



Слика 24. Дијаграм утрошене и произведене ел.ен. система за припрему топле потрошне воде за летњу сезону

Са слике 24 се може видети да је највеће искоришћење ХПСЕ-а у јулу месецу када је сунчево зрачење највеће и када сунчеви зраци падају на пријемник под најмањим углом у односу на осу нормале на површину пријемника. Април и октобар су месеци када ХПСЕ даје најмање уштеде у погледу енергије, из разлога мање осунчаности пријемника као и краћег периода симулације (симулација почиње 15.04., и завршава се 15.10.). Ако се погледа дијаграм, запажа се да систем за припрему топле потрошне воде (акумулатор топлоте) троши приближно исту количину енергије кроз месеце. То се објашњава чињеницом да је током симулације претпостављено да је динамика потрошње топле потрошне воде иста сваког дана током посматраног периода за коју је вршена симулација. Како ХПСЕ производи и електричну енергију, може се приметити да је највећи износ произведене електричне енергије такође у јулу месецу.

С друге стране, на слици 25 дати су износи произведене електричне енергије ХПСЕ-а у току целе године укључујући и зимску сезону када је активан искључиво фотонапонски модул. Износи произведене електричне енергије од стране ХПСЕ-а су већи од износа утрошене електричне енергије система у току летње сезоне (слике 24 и 25).



Слика 25 . Дијаграм произведене електричне енергије система током целе године

Што се тиче исплативости употребе ХПСЕ-а, извршена је економска анализа. Инвестициони тошкови система су дати у табели 10. Треба напоменути да трошкови не укључују трошкове транспорта и царине ХПСЕ-а.

Табела 10: *Инвестициони трошкови хибридног соларног система за припрему топле потрошне воде*

Р.б	Назив	Цена (€)
1	Инвертор	100 [20]
2	Акумулатор топлоте	657 [21]
3	ХПСЕ (4 ком.)	2440 [15]
4	Контролер напона	190 [22]
5	Пумпна група	321 [23]
6	Соларне батерије JYC (8 x 100 Ah)	1360
7	Уградња	850
Укупно без батерија:		4558
Укупно са батеријама:		5918

Погледом на електричну енергију добијену ХПСЕ-ом разматрана су четири сценарија по којима би се енергија добијена радом ХПСЕ-а продавала јавном предузећу „Електропривреда Србије”, и то:

1. По просечној цени утрошене електричне енергије анализираног објекта током године од 6,05 РСД/kWh (систем без батерија) (сценарио 1) (1 € = 118,87 РСД);
2. По цени повлашћених произвођача електричне енергије од 20,66 с€/kWh (систем без батерија) (сценарио 2);
3. По просечној цени утрошене електричне енергије анализираног објекта током године од 6,05 РСД/kWh (систем са батеријама) (сценарио 3);
4. По цени повлашћених произвођача електричне енергије од 20,66 с€/kWh (систем са батеријама) (сценарио 4).

Период повраћаја инвестиционих трошкова хибридног соларног система за припрему топле потрошне воде је израчунат и приказан у табели 11. Код сценарија који укључују систем са батеријама електрична енергија неопходна за рад грејача акумулатора се преузима из батерија, док се вишак продаје.

Табела 11: *Период повраћаја инвестиционих трошкова хибридног соларног система за припрему топле потрошне воде*

	Сценарио 1	Сценарио 2	Сценарио 3	Сценарио 4
Цена инвестиције (€)	4558	4558	5918	5918
Уштеда ел.ен. (kWh)	1356,14	1356,14	1921,15	1921,15
Уштеда ел.ен. (€)	69,02	69,02	97,78	97,78
Произведена ел.ен. (kWh)	1277,25	1277,25	712,24	712,24
Произведена ел.ен. (€)	65	263,88	36,25	147,15
Укупна нов. уштеда (€)	134,02	332,9	134,03	244,93
Период отплате (год.)	34	13,7	44,2	24,16

Лако је закључити да је најисплативији сценарио онај који подразумева хибридни соларни систем без соларних батерија под условом добијања статуса повлашћеног произвођача електричне енергије. Разлог се огледа, пре свега, у чињеници да је цена електричне енергије ниска и да су трошкови инвестиција релативно високи.

Закључак

Погледом на обновљиве изворе енергије стиче се утисак да се они све више користе, и да ће у будућности у највећој мери заменити традиционалне необновљиве изворе енергије. У раду је било речи о добијању сунчеве енергије, њене трансформације у топлотну и електричну енергију и њеног финалног искоришћења. Клима је примарни енергетски ресурс чијим дејством су настали фосилни ресурси, угаљ и нафта. Енергија ветра и Сунца спадају у највише коришћене обновљиве енергије данас у свету. Савремена научна достигнућа и стечена искуства на пољу технологије коришћења Сунчеве енергије показала су да се соларна енергија може користити у трансформисаном облику који може успешно заменити коришћење класичних облика енергије. Снага Сунчевог зрачења на површини Земље зависи од више фактора, између осталог од: географске ширине, облачности, годишњег доба, доба дана и др. Немачка има просечно само 1050 kWh/m^2 енергије Сунца годишње, што је 38% мање него Србија. У Србији се соларна енергија углавном користи за стварање топлотне енергије (у јако малом проценту), где је врло исплатива. Зато су пријемници сунчевог зрачења постали релативно популарни у домаћинствима за загревање воде. У зависности како и где су постављени пријемници (усмеравање, нагиб, засенчење и врста монтаже) мења се и соларни допринос соларног система. Највећи допринос доносе пријемници сунчевог зрачења постављени на коси кров са јужне стране објекта. При избору врсте пријемника не сме се заборавити економичност па је потребно наћи компромис између ефикасности и цене пријемника. Равни соларни пријемници су најкоришћенија врста пријемника, која је такође, најприсутнија на тржишту. Уобичајене радне температуре код ових пријемника иду до 100°C . У раду је анализиран једнопородични стамбени објекат. Објекат се састоји од две етажe (приземља и спрата). На приземљу као и на спрату се налазе две спаваће собе, ходник, купатило и дневна соба, чији мањи део представља кухињски део. Корисна површина приземља и спрата је иста и износи $59,05 \text{ m}^2$. У овом раду спроведен је и прорачун укупних топлотних губитака објекта и димензионисана су и одабрана грејна тела и извор топлоте (котао). Укупни топлотни губици једнопородичног стамбеног објекта су $8807,07 \text{ W}$. Усвојен је котао произвођача Vaillant, модел *atmoTEC/turboTEC pro VUW 180/5-3*, чија се снага креће у опсегу од $7,6$ до 18 kW . У раду је извршено димензионисање воденог хибридног соларног система за припрему топле потрошне воде. Хибридни соларни систем се састоји из хибридних пријемника сунчеве енергије (ХПСЕ), акумулатора топлоте без допунског електричног грејача и акумулатора топлоте са допунским електричним грејачем. Усвојена је вредност снаге грејача од 4 kW , запремина акумулатора топлоте са допунским грејачем од 80 l и запремина акумулатора топлоте (без допунског грејача) од 250 l . Комплетна симулација рада хибридног соларног система је спроведена уз помоћ софтвера *EnerguPlus*. За симулацију су коришћени реални временски подаци за град Крагујевац. Анализирана су два случаја: када је инсталиран ХПСЕ (случај 1) и када није инсталиран ХПСЕ (случај 2). После извршених симулација се може видети да је највеће искоришћење ХПСЕ-а у јулу месецу када је сунчево зрачење највеће и када сунчеви зраци падају на пријемник под најмањим углом у односу на осу нормале на површину пријемника, а да су април и октобар месеци када ХПСЕ даје најмање уштеде у погледу енергије, из разлога мање осунчаности пријемника као и кратког периода симулације. Разматрана су и четири сценарија повраћаја инвестиционих трошкова овог система. Најисплативији сценарио се односи на хибридни соларни систем без соларних батерија под условом добијања статуса повлашћеног произвођача електричне енергије. За овај сценарио период повраћаја инвестиција износи 13,7 година.

Литература

- [1] Марин Петровић, Адмер Болић, Златка Сјенар: Студија изводљивости о могућностима коришћења соларне енергије за потребе добијања топлотне и електричне енергије на подручју града Бјељина и општине Богатић, Град Бјељина, 2013.
- [2] Небојша Лукић, Милун Бабић, Соларна енергија, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац, 2008.
- [3] http://www.khadley.com/courses/Astronomy/ph_206/topics/sun/images/slide10.png?crc=4144629964 (приступљено: 08.08.2017)
- [4] Климатске карактеристике Србије, Републички хидрометеоролошки завод, Београд.
- [5] Бранко Радичевић, Душан Микичић, Ђукан Вукић, Енергетски потенцијал Сунца у Србији и примена енергије Сунца у пољопривреди, Београд, 2009.
- [6] <http://www.solarnipaneli.org/wp-content/uploads/2010/09/Spektralna-raspodela-.jpg> (приступљено 09.08.2017.)
- [7] <https://wiki.bath.ac.uk/download/attachments/51642865/flat.jpg?version=1&modificationDate=1290877557000&api=v2> (приступљено 15.08.2017)
- [8] Toh Peng Seng, Jiang Fan, Goh Leag Huab, Solar Photovoltaic/Thermal (PVT) Test-bed, International Congress on Informatics, Environment, Energy and Applications-IEEA, Singapore, Singapore, 2012, pp.1-5.
- [9] Правилник о енергетској ефикасности зграда, Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре РС, Београд, 2011.
- [10] <https://www.vaillant.rs> приступљено: (20.09.2017.)
- [11] <http://www.cini.rs/en/aluminijumski-radijatori/fokus> (приступљено: 20.09.2017.)
- [12] EnergyPlus Documentation, v8.4.0, Getting started with EnergyPlus
- [13] EnergyPlus Documentation, v8.4.0, Input Output Reference
- [14] EnergyPlus Documentation, v8.4.0, Engineering Reference
- [15] www.dualsun.fr (приступљено: 11.10.2017.)
- [16] http://www.grejanje.com/cms_upload/pages/files/86_slika_61.jpg (приступљено: 10.10.2017.)
- [17] <http://www.kompresor.me/img/preview/solarno3.jpg> (приступљено: 10.10.2017.)
- [18] Слободан Зрнић, Живојин Ћулум, Грејање и климатизација са применом соларне енергије, Научна књига Београд
- [19] Reknagel, Šprenger, Šramek, Čeperković, Grejanje i klimatizacija sa pripremom tople vode i rashladnom tehnikom, INTERKLIMA, Vrnjačka Banja, 2002.
- [20] <http://www.solarni.rs/invertor.htm> (приступљено: 01.11.2017.)
- [21] <https://www.suncica.rs/solarni-kolektori-oprema/prohromski-solarni-bojler-250-l-elit-inox.html> (приступљено: 01.11.2017.)
- [22] <http://www.solarni.rs/kontroler.htm> (приступљено: 01.11.2017.)
- [23] <http://www.etazgrejanje.com/katalog/solarna-pumpna-grupa-269-caleffi/> (приступљено: 01.11.2017)