Коришћење TRNSYS софтвера као алата у димензионисању и оптимизацији система за соларно загријавање топле потрошне воде

Диана Богдан[1,2,3], Петар Гверо[2] , Милован Котур[3]
[1]Универзитет у Бањој Луци, Машински факултет, Бања Лука, Република Српска
[2]Универзитет у Бањој Луци, Машински факултет, Бања Лука, Република Српска
[3]Универзитет у Бањој Луци, Машински факултет, Бања Лука, Република Српска

rtrs.diana@gmail.com, petar.gvero@mf.unibl.org, milovan.kotur@mf.unibl.org

Сажетак— TRNSYS је савремени и прихваћени алат који се користи у пројектовању, димензионисању и оптимизацији сложених система за снабдијевање енергијом зграда. За очекивати је да соларни системи sa загријавање топле потрошне воде у будућности играју велику улогу и у нашем региону, имајући у виду тенденцију пораста цијене електричне енергије као енергента који се тренутно највише користи у те сврхе. Овај рад анализира систем sa соларно загијавање топле потрошне воде у једном конкретном и великом систему који има континуирану и значајну потребу за топлом потрошном водом. На примјеру ЈУ „Дом за лица са инвалидитетом“ у Приједору помоћу TRNSYS алата анализирано је неколико сценарија соларних система за снабдијевање топлом потрошном водом објекта и одабрано трошковно-оптимално рјешење које је детаљно презентовано у овом раду.

Кључне ријечи—TRNSYS; соларни системи; топла потрошна вода; трошковно-оптимално рјешење;

I. Увод

Енергија је разлог због којег велики број научника усмјерава своја истраживања са мотивом да је сачува и искористи на оптималан начин. Посљедњих неколико година расте удио обновљивих извора енергије у укупној светској производњи енергије, посебно у сектору електричне енергије. Међутим, обновљиви извори енергије још увијек чине око 10% од свјетске финалне потрошње енергије [1], док су фосилна горива доминантна у енергетском сектору. Бројни су начини искоришћавања обновљивих извора енергије. Соларни колектори и системи за складиштење топлотне енергије примјери су коришћења обновљивих извора енергије у топлотне сврхе. У том контексту, анализирају се концепти аутономних техничких система заснованих на коришћењу енергије сунца. Један од примјера система у којима се врши конверзија соларне енергије у топлотну, је соларни систем за снабдијевање топлом потрошном водом SHWS (енг. *Solar Water Heating System*). Највећи проблем при искоришћавању енергије сунчевог зрачења је осцилацијска природа извора енергије. Моделирање соларног система који ће бити ефикасан у датим условима окружења и симулација параметара таквог система помоћу рачунарских софтвера један је од начина за анализу, и постизање оптималног дизајна његових компонената. Софтвер TRNSYS (енглески акроним за ***TRaNsient System Simulation***) одабран је као алат за симулацију соларних система. Многа истраживања потврдила су да је разлика између експерименталних резултата и резултата добијених симулацијом параматера соларног система помоћу TRNSYS-а мања од 10 % [2].

II. Историја симулација соларних система помоћу TRNSYS софтвера

Соларни системи за загријавање топле потрошне воде захтијевају адекватно димензионисање компоненти система као и тачно предвиђање испоручене корисне енергије и темепературе воде на излазу. Оптимизација параметара важан је сегмент за постизање одговарајућих перформанси соларних система и предмет је теоријског и експерименталног проучавања током протеклих неколико деценија. TRNSYS је програмски пакет за симулацију система који је дизајнирао *Duffy Beckman* 1935.године. Почетне студије које су користиле TRNSYS, углавном су оптимизирале различите параметре TSHW (енгл. *Thermosyphon Solar Water Heating*). Нпр., *Morisson* и *Braun* (1985) проучавали су ефекте примјене хоризонталних и вертикалних акумулатора топлоте и просјечну соларну фракцију, *Shariah* и *Ecevit* (1995) анализирали су утицаје промјена температура воде спремне за употребу у TSHW са помоћним електричним гријачем као додатним извором енергије. *Kaligorou* и *Papamaracou* (2000) упоређивали су резултате TRNSYS симулација са експериметалним вриједностима. Такође, TRNSYS је коришћен за анализу соларних система са принудном циркулацијом. *Buckles* и *Klein* (1980), и *Michaelis* и *Vilson* (1996), оптимизирали су критеријуме активног SHWS-а [3]. У овом раду коришћен

је TRNSYS 18 који су креирали су стручњаци *Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison*.

III. TRNSYS АПЛИКАЦИЈЕ

TRNSYS је комплетно и флексибилно симулацијско окружење за пролазну симулацију система укључујући и вишезонске зграде. Теоријска основа TRNSYS-а је моделирање појединачних компоненти енергетског система као индивидулних црних кутија. За математичко моделирање соларних система у TRNSYS-у углавном се користе програмски језици FORTRAN, C/C++ и JAVA. TRNSYS апликације укључују [4]:

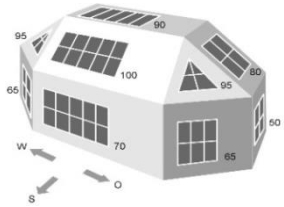
- Системе обновљивих извора енергије као што су соларни модули за производњу електричне енергије PV (енгл. *Photo Voltaic*).
- Соларни топлотни системи за гријање и хлађење: HVAC (енгл. *Heating Ventilation and Cooling*) и SHWS.
- Нискоенергетске зграде и HVAC са напредним дизајнерским карактеристикама за примјену у архитектури (природна и принудна вентилација, загријавње и хлађење плоча, дупла фасада,итд.).
- Когенерацију и гориве ћелије.
- Све што захтијева динамичку симулацију.

IV. SHWS

Димензионисање SHWS-а, зависно од намјене, захтијева што прецизнији прорачун енергетских потреба за гријањем, хлађењем или тачне податке о потрошњи санитарне топле воде. Ове податке најбоље је одредити мјерењем потрошње у дужем временском периоду. Међутим, због скупе мјерне опреме и немогућности одређивања вриједности параметара система у сваком тренутку, посебно за соларне системе који раде у режиму 24 сата, овакава мјерења су ограничена. У соларним системима може доћи до појаве стагнације система. Ова појава настаје због престанка напајања електричном енергијом или непостојања топлотног понора,односно акумулатора топлоте који би примио сву количину топлоте коју производи колектору који је стално изложен сунчевом зрачењу. Посљедице стагнације су максимална температура у колектору која узрокује кључање радног флуида, генерисање паре и раст притиска у систему. Негативан утицај на радни флиуд у колектору јавља се код температура t >180°C [5]. Да би се ове појаве избјегле димензинисање соларних система увијек се врши према индикаторима потрошње у љетном периоду. Годишњи или мјесечни соларни степен покривања система је бољи инидикатор перформаси система у односу на друге индикаторе као што су ефикаснот колектора η , фактор преноса топлоте са колектора на флуид F_R и фактор израде колектора F'. Соларни степен покривања система рачуна се према једначини [5]:

$$f = \frac{Q_{Load} - Q_{Auxiliary}}{Q_{Load}}. \qquad (1)$$

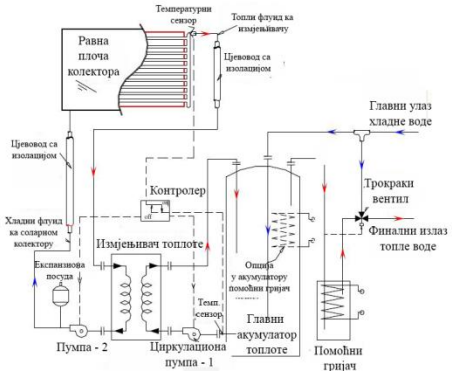
Приликом пројектовања соларних система тежи се да соларни степен покривања система буде 100%. Највеће соларне добитке даје колектор који је постављен на коси кров са јужне стране објекта. Колектори на источној или западној страни објекта постижу соларни степен покривања око 80%, а колектори постављени на фасаду објекта око 60% соларног степена покривања система[35]. На слици 4 представљен је процентуални соларни степен покривања система у зависности од положаја поља колектора према странама свијета.



Сл.1. Соларни степен покривања система у зависности од положаја колекторског поља [6]

V. TRNSYS СИМУЛАЦИЈЕ СОЛАРНИХ СИСТЕМА

Предвиђање понашања соларног система, прије него што је инсталисан, врши се на математичким и физичким моделима система. Математички модели у програмским пакетима представљени су једном или више алгебарских, трансцендентних и диференцијалних једначина. Реалан систем идеализован је и замијењен апстрактним математичким моделом. Шема SHWS-а који је моделиран у TRNSYS-у приказана је на слици 2.



Сл.2. Шема SHWS-а са индиректном циркулацијом моделиран у TRNSYS-у [7]

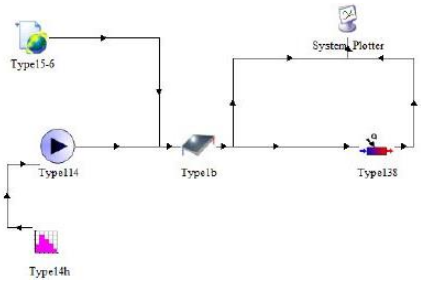
A. Модел потостојећег система система за снабдијевање топлом потрошном водом и TRNSYS модели соларних система за снабдијевање топлом потрошном водом

На примјеру ЈУ "Дом за лица са инвалидитетом" у Приједору анализирају се различити сценарији TRNSYS соларних система за снабдијевање топлом потрошном водом објекта:

- Сценарио 0 – постојеће стање система за снабдијевање топлом потрошном водом у Дому за лица са инвалидитетом базиран искључиво на електричним бојлерима. У објекту борави 180 корисника 24 часа. Годишња потрошња електричне енергије за загријавање воде је 140160 kWh.
- Сценарио 1 – TRNSYS модел соларног система са помоћним гријачем.
- Сценарио 2 - TRNSYS модел SHWS-а са акумулатором топлоте и електричним гријачем као додатним извором енергије.
- Сценарио 3 - TRNSYS модел SHWS-а са акумулатором топлоте и котлом као додатним извором енергије.

B. Симулације TRNSYS модела соларних система за снабдијевање топлом потрошном водом

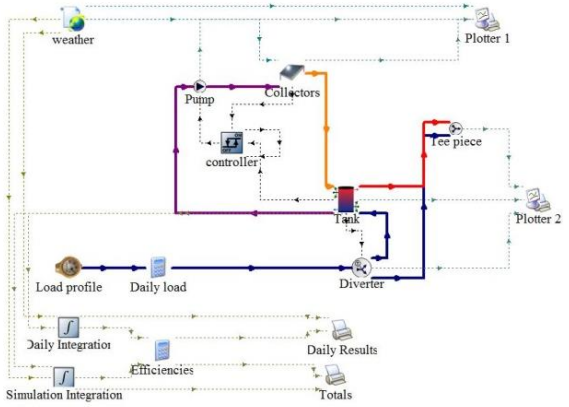
SHWS - Сценарио 1 је TRNSYS модел са електричним гријачем и представљен је на слици 3. Компоненте система су: колектор, пумпа, електрични гријач, компонента са метеоролошким подацима, штампачи дневних и укупних резултата симулација. Задатак система је да обезбједи константну темепературу радног флуида у колекторском пољу од 60℃. Параметар оптимизације SHWS - Сценарио 1 је површина колектора AColl. Симулације соларног система изводе се за AColl (4, 8, 16, 32, 64 m^2). у периоду од 01.јануара до 31. децембра, и у периоду од 15. априла до 15.октобра.



Сл.3. TRNSYS модел SHWS- Сценарио 1[4]

Излази SHWS-а су количина топлоте коју произведе колектор дате површине и потребна додатна количина топлоте електричног гријача непоходна за одржавање константне температуре воде од 60℃.

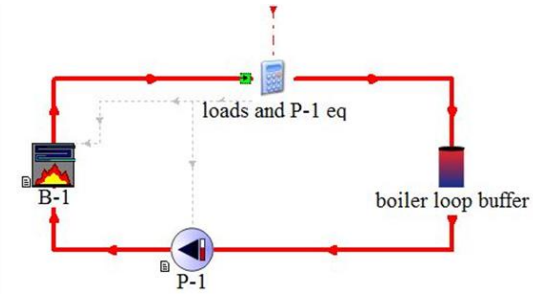
SHWS - Сценарио 2 је TRNSYS модел SHWS-а са акумулатором топлоте у који је интегрисан електрични гријач за подршку систему у вријеме смањеног сунчевог зрачења. Задатак система приказаног на слици 4 је да обезбједи дневну количину санитарне топле потрошне воде за потребе корисника у објекту. Први сет симулација SHWS-Сценарио 2 изводи се за AColl=32 m^2 и AColl=64 m^2 , и дневном потрошњом санитарне топле воде од 4000 литара и период симулације од годину дана. Други сет симулација односи се на AColl (40, 42, 44, 48, 52, 56, 58, m^2). Период симулације је 01.јули до 01.септембар током којег се очекује највећи соларни степен покривања система.



Сл.4. TRNSYS модел SHWS - Сценарио 2 [4]

Излази соларног система који се добију симулацијом параметара SHWS - Сценарио 2 су: мјесечне вриједности соларног степена покривања FSol, мјесечне вриједности ефикасности колектора EtaColl, корисна количина топлоте QUSEFUL, односно количина топлоте соларног флуида коју произведе колектор површине AColl за дневну потрошњу санитарне топле воде од 4000 и 5000 литара; потребна додатна количина топлоте електричног гријача QAUX непоходна за одржавање константне температуре од 60°C воде у акумулатору топлоте током смањеног сунчевог зрачења, количина акумулиране топлоте QSTORE и губици акумулатора топлоте QTANK

SHWS - Сценарио 3 је модел соларног система који за припрему топле потрошне воде користи два обновљива извора енергије: биомасу и енергију сучевог зрачења. SHWS - Сценарио 3 чини соларни система SHWS-Сценарио 2 и TRNSYS модел са котлом. Флуид у SHWS - Сценарио 3, топлотну енергију прима од колектора и електричног гријача. Током зимског периода искључује се учешће електричног гријача, а уводи се котао као додатни извор енергије Задатак котла је да током зимског периода надомјести количину топлоте коју је SHWS-Сценарио 2 предао електричи гријач система. TRNSYS модел сегмента SHWS - Сценарио 3 са котлом дат је на слици 5.



Сл.5. TRNSYS модел SHWS- Сценарио 3 са котлом[4]

VI. Оптимизација параметара SHWS-а

C. Анализа резултата симулације SHWS - Сценарио 1

Резултати за годишњи и љетни период симулације SHWS - Сценарио 1 показали да са повећањем површине колектора расте и количина топлоте соларног флуида у колекторском пољу, а смањује се учешће електричног гријача што је и очекиван резултат. Међутим, модел SHWS - Сценарио 1 нема акумулатора топлоте, односно топлотног понора који би примио вишак акумулиране енергије, а произведена количина топлоте у колекторском пољу искључиво зависи од метеоролошких услова у посматраном периоду симулације. Модел SHWS - Сценарио 1 може се описати као соларни систем који није реалан.

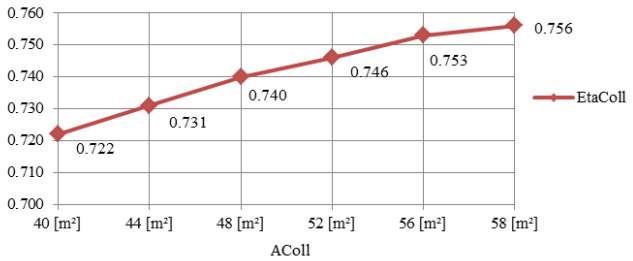
D. Анализа резултата симулације SHWS - Сценарио 2

Параметри оптимизације SHWS - Сценарио 2 су површина колектора AColl, за усвојене дневну потрошњу топле воде од 4000. Анализа параметара симулације односи се резултате симулације SHWS-Сценарио 2 у период симулације од годину дана уз просјечну годишњу температуру околине у којој се колектор налази од 15℃. Перформансе плочастог колектора (нагиб колектора, коефицијент прелаза топлоте и селективни премаз колектора, и специфична топлота гликола) су константне током симулације. Ефикасност колектора EtaColl један је од индикатора према којем се могу одредити карактеристике соларног система. Резултати првог сета симулација SHWS-Сценарио 2 (усвојена је запремина акумулатора топлоте VSTORAGE=2.5 m^3) показали су да колектор AColl=32 m^2 има вриједнст EtaCol= 0.695, и EtaCol= 0.755 за AColl=64 m^2 и дневну потрошњу топле воде од 4000 литара. Ефикасност колектора односи се само на једну компоненту соларног система. Соларни степен покривања система FSol је бољи индикатор перформанси SHWS-а у односу на ефикасност колектора, јер се односи на систем у цјелини. Максималана вриједност соларног степена покривања је 1, и тежи се да соларни систем има вриједност FSol што је могуће ближе максималној вриједности, јер се претпоставља да се на тај начин избјегава појава стагнације система у вријеме највећег сунчевог зрачења. Резултати симулације показали су да је просјечна вриједност FSol=0,981 за AColl=32 m^2 и дневну потрошњу топле воде 4000 литара, а просјечна вриједност FSol=0,99 за AColl=64 m^2 и дневну потрошњу топле воде 4000 литара. TRNSYS оптимизира вриједности запремине акумулатора VSTORAGE тако да већим вриједностима AColl одговарају веће вриједности VSTORAGE. Резултат анализе губитака QTANKLOSS два акумулатора топлоте (VSTORAGE=1,92 m^3; AColl=32 m^2 и VSTORAGE=3,84 m^3; AColl=64 m^2; дневна потрошња топле воде 4000 литара) показује да су за 37% већи укупни губици акумулатора топлоте запремине 3,84 m^3 у односу укупне губитке акумулатора топлоте запремине 1,92 m^3.

Претходна анализа првог сета симулација показале је:

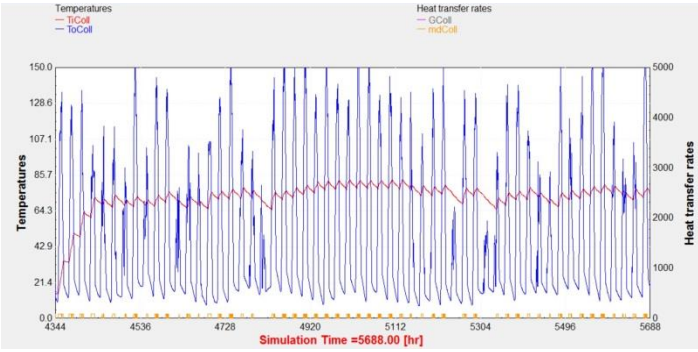
- да су блиске вриједности соларног степена покривања посматраних колектора ,и да је да је колектор AColl=32 m^2 и дневном потрошњом воде од 4000 боље рјешење за SHWS - Сценарио 2 , у односу на колектор AColl=64 m^2 за исту дневну потрошњу топле воде и
- да је за проналажење оптималне површине колектора и запремине акулуматора топлоте SHWS - Сценарио 2 потребан и други сет симулација у интервалу AColl (32 − 64 m^2).

Други сет симулација односи се на површине колектора у интервалу AColl (32 − 64 m^2), дневном потрошњом топле воде од 4000 литара у периоду симулације од 01. јула до 01. септембра када се очекује највећи соларни степен покривања система. Резултати симулације у периоду од 01.јуна до 01. септембра графички су представљени на слици 6. Колектори AColl (40, 44, 48, 52, 56, 58 m^2) имају блиске просјечне мјесечне вриједности ефикасности колектора за дневну потрошњу топле воде 4000 литара.



Сл. 6. Ефикасност колектора SHWS-Сценарио 2 за дневну потрошњу топле воде од 4000 литара

Соларни степен покривања FSol=1 има колектор AColl=40 m^2, запремина акумулатора топлоте SHWS - Сценарио 2 VSTORAGE=2.5 m^3 и дневна потрошња топле воде од 4000 литара у периоду симулације од 01. јуна до 01. септембра . Графички приказ резултата симулације у периоду јули и август за AColl=40 m^2 дат је на слици 7.

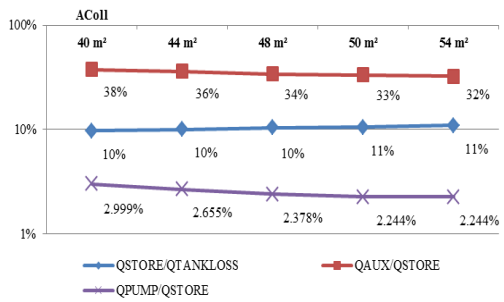


Сл. 7. Дијаграм промјене улазних и излазних температура, и протока SHWS-Сценарио 2 , AColl=40 m^2 и дневниу потрошњу топле воде од 4000 литара

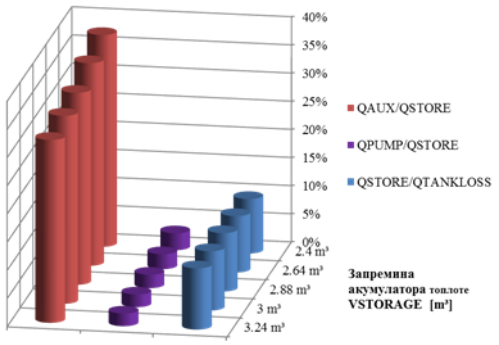
Међутим, да би се пронашло оптимално рјешење за површину колектора и дневну потрошњу воде од 4000 литара потребно је пронаћи минималну површину колектора која ће обезбједити поуздан систем и минималну потрошњу енергије. Према томе, за даљу анализу, у циљу селекције најповољније површине колектора SHWS-Сценарио2, уводе се нови критеријуми:

- QAUX /QSTORE; однос додатне количине топлоте електричног гријача и акумулиране топлоте у акумулатору топлоте.
- QSTORE/ QTANKLOSS; однос акумулиране количине топлоте и топлотних губитака акумулатора топлоте.
- QPUMP/QSTORE; однос количине топлоте за рад пумпе и акумулиране топлоте у акумулатору топлоте.

Према графиконима приказаним на сликама 8 и 9. може се уочити да са повећањем и површине колектора и запремине акумулатора топлоте опада процентуално учешће количина топлоте електричног гријача QAUX и пумпе QPUMP у акумулираној топлоти QSTORE. Удио губитака акумулатора топлоте QTANKLOSS у акумулираној топлоти QSTORE акумулатора топлоте је константан у интервалу површина колектора (40 – 48 m²), након чега расте са повећањем површине колектора Према томе, колектор AColl= 48 m² може се посматрати као гранична површина до које би се могла вршити селекција најповољније површине колектора.



Сл.8. Међусобни односи количина топлоте SHWS-Сценарио 2 за дневну потрошњу топле воде од 5000 литара



Сл. 9. Међусобни односи количина топлоте SHWS-Сценарио 2 за оптималне запремине акумулатора топлоте

Задатак SHWS- Сценарио 2 је да за дату површину колектора обезбједи потребне дневне количине топле воде, уз што мање учешће електричног гријача. Према резултатаима симулације у интервалу површина колектора (40 – 48 m²), најмању вриједност додатне количине топлоте електричног гријача има колектор AColl=40 m^2.

На основу претходне анализе SHWS- Сценарио 2 оптимална је површина колектора 40 m^2. За ту вриједност површине колектора и дневну потрошњу топле воде 4000 литара, постигнут је степен соларног покривања FSol=1. Колектору AColl=40 m^2 TRNSYS додјељује оптималну запремину акумулатора топлоте VSTORAGE=2,4 m^3. Усваја се оптимална запремина акумулатора топлоте 2,5 m^3.

Излаз TRNSYS симулације SHWS - Сценарио 3 су вриједности фактора PLR (енгл. *Part Load Ratio*) од којег зависи расположиви капацитет котла qRtdBoiler. Ако се узме да је PLR=1, расположиви капацитет котла је 100 % од називног капацитета (количина топлоте која се уноси у флуид). Ако је PLR=0,75 контролни сигнал је 0,6262, односно qRtdBoiler испуњава 62,62% од називног капацитета. количина топлоте електричног гријача у зимском периоду У том периоду искључује се електрични гријач SHWS- Сценарио 2, а додатну количину топлоте количине топлоте обезбјеђује котао. Ефекти те промјене анализирају се у економској анализи.

VII. Анализа емисија угљен-диоксида

Анализа емисија угљен-диоксида (CO_2) за постојећи конвенционални систем, SHWS - Сценарио 2 и SHWS - Сценарио 3 односи се на одређивање: индиректних емисија CO_2 постојећег конвенционалног система насталих као посљедица коришћења електричне енергије за припрему топле потрошне воде и директних емисија насталих усљед коришћења пелета као допунског извора енерије у SHWS - Сценарио 3.

На основу резултата проведене анализе емисија CO_2 може се закључити да су годишње индиректне емисије CO_2 постојећег конвенционалног система за загријавање санитарне воде који је базиран искључиво на коришћењу

електричне енергије око 19 пута веће у односу на годишње директне емисије које настају коришћењем пелета у SHWS - Сценарио 3.

VIII. ЕКОНОМСКА АНАЛИЗА

Анализа трошкова SHWS-а за наведене сценарије показала је да се највеће уштеде током године постижу комбиновањем соларног система и котла на пелет. Примјеном SHWS- Сценарио 3 за загријавање потрошне воде трошкови се смањују за 64 % у односу на постојеће стање трошкова електричне енергије за припрему топле потрошне воде. Инвестиција у SHWS- Сценарио 3 ће се исплатити у току техничког и економског вијека трајања јер је период поврата инвестиције мањи од 3 године. Такође, пројекат инвестирања у SHWS- Сценарио 3 има позитивну нето садашњу вриједност и на тај начин је испуњен и услов профитабилности пројекта и оправдано је кренути у инвестицију.

IX. ЗАКЉУЧАК

Соларна енергија представља чист и обновљив извор енергије. Коришћење обновљивих извора енергије и улагање у савремене технологије, омогућава сигурно и одрживо снадбијевање енергијом. Циљ овог рада је дефинисање трошковно-оптималног рјешења SHWS-а које ће одговарати капацитету система за снабдијевање топлом потрошном водом у објекту. TRNSYS софтвер одабран је за моделирање оптималног SHWS-а, а на примјеру Дома за лица са инвалидитеом у Приједору. Аналитички и графички резултати TRNSYS симулације соларних система коришћени су као основа за техничку анализу предложених сценарија SHWS-а. Резултати су показали да је симулација SHWS-а помоћу TRNSYS софтвера моћан алат који пружа бројне могућности приликом селекције најповољнијег рјешења.

ЛИТЕРАТУРА

[1] https://www.iea.org/topics/renewables

[2] R.L.Shristava, Kumar, V., & Utavale, S. (2016). Modeling and simulation of solar wate heater:A TRNSYS perspective. Preuzeto sa *Elsevier*, www.elsevier.com/locate/rser

[3] -[7] Hobbi, A., & Siddiqui, K. (2008). Optimal design of a forced cirkulation solar water heating system for a residental unit in cold climate using TRNSYS. *Elsevier*. Preuzeto sa www.elsevier.com/locate/solener

[4] TRNSYS18 (2017). Mathematical Reference, Volume 1,2,3,4,5,6,7 (Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison and Thernal Energy System Specialists,LLC). Madisson, United States of America. Preuzeto sa http://sel.me.edu/trnsys

[5] Majdandžić, LJ (2010). Solarni sustavi. Zagreb: Graphis d.o.o

[6] Upute za projektovanje. (2006, 8). Preuzeto sa www.viessmann.rs

ABSTRACT

TRNSYS is a modern and accepted software tool used in the design, sizing and optimization of complex building energy supply systems. It should be expected that solar hot water heating systems play a big role in our region in the future as well, given the tendency of increasing the price of electricity as currently the most used energy source for these purposes. This paper analyzes the solar hot water heating system in one concrete and large system that has a continuous and significant need for hot sanitary water. With the example of the Public Institution “Home for Persons with Disabilities” in Prijedor, several scenarios of solar systems for supplying hot water to the facility were analyzed using the TRNSYS tool and a cost-optimal solution was selected,which is presented in detail in this paper.

USING TRNSYS SOFTVER AS A TOOL IN SIZING AND OPTIMIZING SOLAR HOT WATER SYSTEMS

Diana Bogdan, Petar Gvero, Milovan Kotur