

ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

„Софтвер за дефинисање оптималног капацитета когенерационе јединице приликом примене у зградарству“

Аутори техничког решења

- Др Дубравка Живковић
- Др Давор Кончаловић, доцент
- Др Милун Бабић, редовни професор у пензији
- Др Добрица Миловановић, редовни професор
- Владимир Вукашиновић, мастер инж. маш.

Наручилац техничког решења

- Министарство просвете, науке и технолошког развоја Р. Србије, у оквиру пројекта „Истраживање когенерационих потенцијала у комуналним и индустријским енерганама Републике Србије и могућности за ревитализацију постојећих и градњу нових когенерационих постројења“

Корисник техничког решења

- Град Крагујевац

Година када је техничко решење урађено

- 2015-2016.

Област технике на коју се техничко решење односи

- Машинство, Енергетска ефикасност

1. Опис проблема који се решава техничким решењем

Техничко решење је фокусирано на дефинисање научно засноване, квалитетне, поуздане, и у пракси примењиве методологије за дефинисање оптималног капацитета когенерационе јединице приликом примене у зградама¹.

Када је у питању доношење одлуке за примену когенерационих постројења у зградама, истраживања показују да је за одлуку потребно размотрити више критеријума и да треба узети у обзир читав спектар утицајних фактора међу којима доминантно место заузимају: политички, социјални, економски, технички и еколошки (1). Очигледно је да је за примену когенерације у зградама потребно време, едукација и побољшање техничко-економских параметара микро и мале когенерације пре него што се она нађе у широкој употреби у свакодневном животу.

Кључни фактори који доприносе финансијској атрактивности когенерације су (2):

- истовремена потреба за електричном и топлотном/расхладном енергијом у што дужем временском периоду током године;
- повећана разлика између цене електричне енергије и цене горива, чиме се постижу веће уштеде и смањује период отплате постројења;
- смањење разлике између цене когенерационог постројења и цене конвенционалног постројења, што омогућава веће уштеде, краћи период повраћаја инвестиције, а корисницима је лакше да донесу одлуку да пређу на когенерационо постројење пошто оно доноси финансијске, енергетске и еколошке бенефите и
- поузданост система, која је поготово значајна када је у питању снабдевање комерцијалног и услужног сектора – сваки прекид у испоруци енергије (пре свега електричне, али и топлотне и расхладне) представља финансијски губитак.

С обзиром на могућност смањења трошкова, могућност примене различитих енергената и повољног утицаја на животну средину, у односу на конвенционалне начине производње топлотне и електричне енергије, очекује се пораст тржишта микро и мале когенерације. Остаје дилема како пројектовати, применити и искористити когенерационо постројење тако да технолошки и финансијски најповољније одговори на потребе за електричном, топлотном и, у случају тригенерације, расхладном енергијом.

За дефинисање оптималног капацитета когенерационе јединице у зградама је потребно извојити значајно време за сагледавање и анализу горе побројаних кључних фактора.

Техничко решење је фокусирано на поједностављивање прелиминарног прорачуна и скраћење времена потребног за одабир когенерационе јединице оптималног капацитета.

2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења

Когенерација је у свету раширени концепт, углавном примењен у индустријским објектима, термоелектранама и системима даљинског грејања (ДГ). Конвенционална когенерациона постројења су до сада била велика, централизована постројења са примарном производњом електричне енергије. Пара и топлотна енергија произведене у оваквим постројењима обично се користе за индустријске процесе и системе ДГ, под условом да је температура паре довољно висока. Пројектовање когенерационог постројења у оваквим случајевима захтева сложен и јединствен приступ.

¹ Према Правилнику о енергетској ефикасности зграда Републике Србије (24) у зграде се сврставају резиденцијални и нерезиденцијални објекти.

Нови тренд је имплементација когенерације у дистрибуиране и децентрализоване системе, што значи да је јединица за производњу енергије смештена ближе потрошачима енергије, што има за последицу замену великих, централизованих система мањим. Током претходног периода, мала и микро когенерациона постројења су увођена као помоћни (резервни) системи и као примарни системи у случају удаљених објеката, ван електро мреже.

За пројекте когенерације у зградарству претежно се користе мала когенерациона постројења. Она се користе у болницама, хотелима, јавним и комерцијалним објектима и образовним институцијама, мада има примене малих постројења и у стамбеним објектима (зградама и породичним кућама) и пољопривредним домаћинствима. Примена когенерације и производња енергије у зградарству има значајан потенцијал (3), а мала и микро когенерација у зградарству у РС није заступљена.

Пошто је поље примене мале когенерације у различитим зградама широко (комерцијалним објектима, јавним објектима, образовним институцијама, стамбеним зградама, итд.), али са друге стране омогућава примену типских прелиминарних прорачуна, приликом истраживања је уочен значај коришћења неког од софтверских алата за симулацију (4), (5), (6), (7), (8). Алатима за симулацију или алатима за анализу могу се сматрати сви софтверски алати којима је могуће обавити нумеричко моделирање постојећег објекта, или објекта који тек треба да буде изграђен на основу искустава у раду са објектима сличне намене. Излазни подаци из оваквих програмских модула су од посебне важности приликом испитивања различитих сценарија и приликом одабира мера и доношења одлука за примену неке од тих мера.

Следећа фаза у истраживању се односила на питање: како правилно димензионисати когенерационо постројење? Иако се у литератури може наћи више различитих предлога око избора технолошког решења (гасни мотор, гасна турбина, горива ћелија), у пројектима мале когенерације превладавају истраживања оптималне величине гасних мотора (9), (10), (11), (12), (13). Tuula Savola се најпре бави симулацијом, а након тога и оптимизацијом когенерационог постројења које као гориво користи биомасу, али приступ који нуди могуће је применити на значајно ширу област (14), (15), (16).

Приликом израде овог техничког решења коришћена су два кључна приступа која нису до сада примењивана приликом оптимизације избора когенеративног постројења, а то су пројектовање когенеративног постројења приступом „сиве кутије“ и примена резултата енергетског модела објекта за потребне улазне податке.

Приликом израде софтвера за оптимизацију избора когенерационог постројења коришћен је приступ „сиве кутије“ (17), (18). То значи да се користио поједностављени модел постројења за когенерацију и није се улазило у детаље његовог функционисања, нити параметре рада појединачних компоненти когенерационог модула.

Други сегмент израде модела је примењени приступ коришћења резултата енергетске симулације за оптимизацију избора когенерационог постројења. Овакав приступ је омогућио да се користе подаци за свих 8760 сати рада постројења уместо уобичајеног приступа у моделирању коришћењем типичних (репрезентативних) дана (9), (19), (20). Коришћење типичних (репрезентативних) дана представља приступ поједностављивања математичког програмирања смањењем временског периода за оптимизирање груписањем дана сличних карактеристика, те свођењем године на одређени број дана (један дан по сезони, једна недеља за целу годину, један дан за цео месец, итд.). Shanеb и остали у раду (9) износе значај коришћења већег броја дана за оптимизацију и утицај који има коришћење типичне недеље уместо типичног дана на повећање тачности модела.

Овакав приступ је омогућио израду софтвера који је могуће користити приликом прелиминарних прорачина за примену когенерационих пројеката у зградарству. Применом овог софтвера могуће је спровести методологију која би се примењивала за типске објекте (комерцијалне објекте, јавне објекте, образовне институције, стамбене зграде, итд.) што би скратило време и смањило потребна финансијска средства приликом планирања когенерационих пројеката у зградарству.

3. Суштина техничког решења

Суштина овог техничког решења је ефикасан одабир когенерационе јединице применом развијеног софтвера.

У конкретном случају одређивања оптималног капацитета когенерационе јединице проблем се своди на максимизирање одређене функције (тзв. функција циља), конкретније, на максимизирање годишње добити (€) која је последица имплементације когенерације. Коришћењем овог техничког решења, проблем се може решити и на друге начине, у зависности од циљева управе/менаџмента, нпр.:

- минимизирањем периода отплате опреме (добијају се врло слични резултати),
- максимизирањем броја радних сати опреме,
- минимизирањем еколошког утицаја и сл.

Максимизирање функције, у посматраном случају, своди се на одабир оних улазних вредности које ће применом математичког програмирања резултовати највећом могућом вредношћу функције циља.

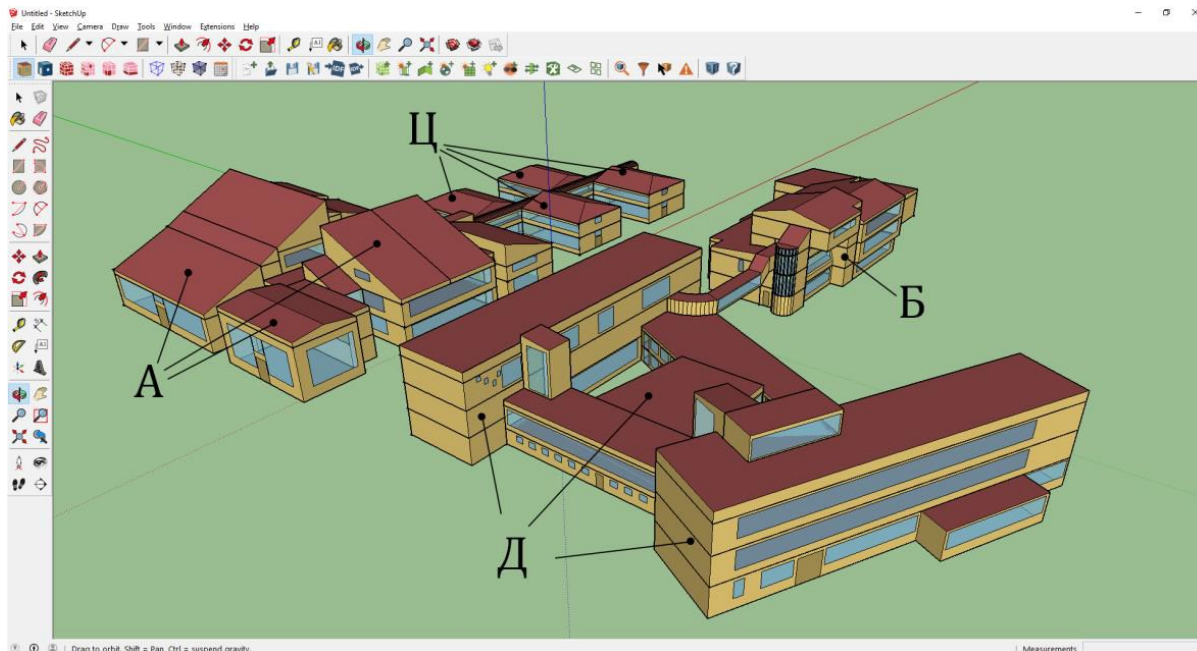
4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже)

За оптимизацију избора когенерационог постројења коришћен је модел заснован на нелинеарном програмирању са дисконтинуираним изводима, тј. на тзв. DNLP програмирању (енг. Nonlinear Programming with Discontinuous Derivatives). Модел је развијен коришћењем програмског језика GAMS (енг. Generic Algebraic Modeling System). Треба напоменути да је уведено седам претпоставки захваљујући којима је модел растерећен и поједностављен. Те претпоставке су изнете у наредном тексту.

1. Когенерациона јединица посматрана је као „сива кутија“. Претпоставка је да у „сиву кутију“ улази гориво одређеним протоком, а из ње излазе топлотна и електрична енергија.
2. Когенерационо постројење ће радити током грејне сезоне, тј. док постоји топлотно оптерећење.
3. Електрична енергија добијена из когенерационог постројења користи се за покривање сопствених потреба објек(а)та. Вршне потребе за електричном енергијом током грејне сезоне, као и потребе за електричном енергијом ван грејне сезоне, обезбеђују се из постојеће електродистрибутивне мреже.
4. Вршне потребе за топлотном енергијом обезбеђују се из постојећег система грејања и/или коришћењем додатног извора топлотне енергије.
5. Електрична и топлотна енергија које се произведу у когенерационом постројењу представљају „добит“ и обрачунавају се по важећим ценама електричне и топлотне енергије. Са друге стране, губитак за модел представља цена природног гаса који се утроши за рад постројења, као и амортизација опреме.
6. Ефикасност когенерационих јединица мања је при раду у режиму делимичног оптерећења у поређењу са радом у пуном оптерећењу. Надаље, однос произведене електричне и топлотне енергије мања се ако постројење ради ван оптималног радног режима. Међутим, анализом криве трајања оптерећења и поређењем исте са предложеним оптималним когенерационим капацитетом, јасно је да ће, у највећем броју разматраних случајева, постројење радити релативно мали број часова у режиму делимичног оптерећења па је, имајући ово у виду, игнорисан пад ефикасности као и промена односа произведене електричне и топлотне енергије когенерационе јединице.

7. Однос произведене електричне и топлотне енергије когенерационе јединице, у очекиваном распону снага, креће се око 0,7 (21).

За проверу софтвера кроз студију случаја коришћен је објекат Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу (ФИНК) (слика 1).

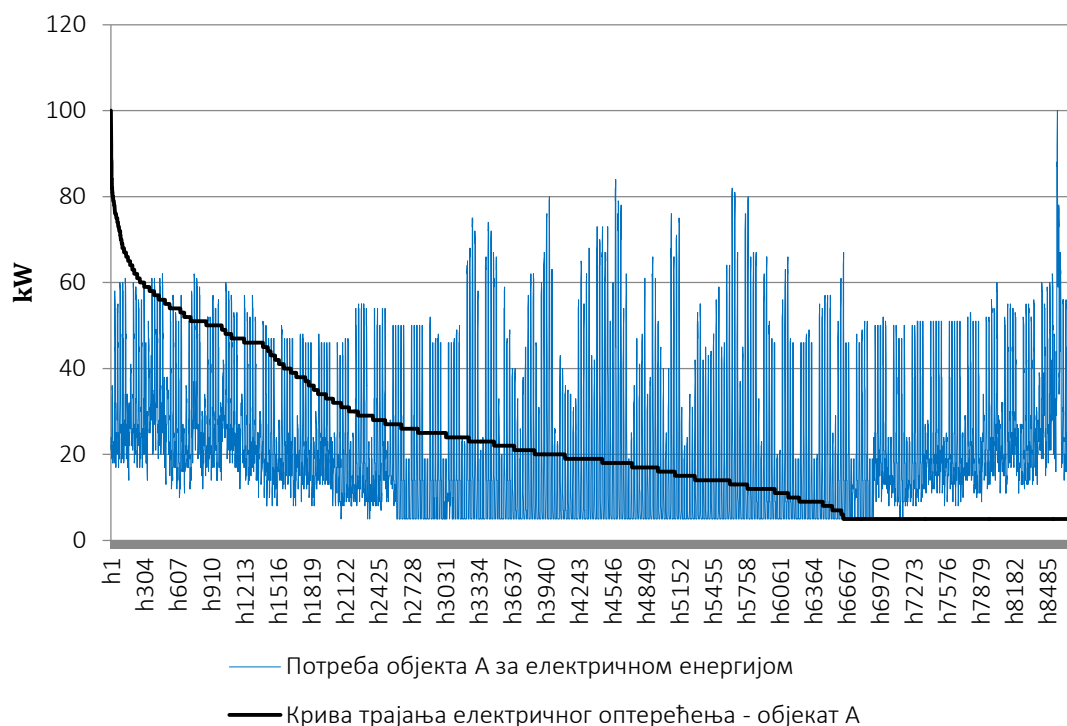


Слика 1 Приказ зграде ФИНК

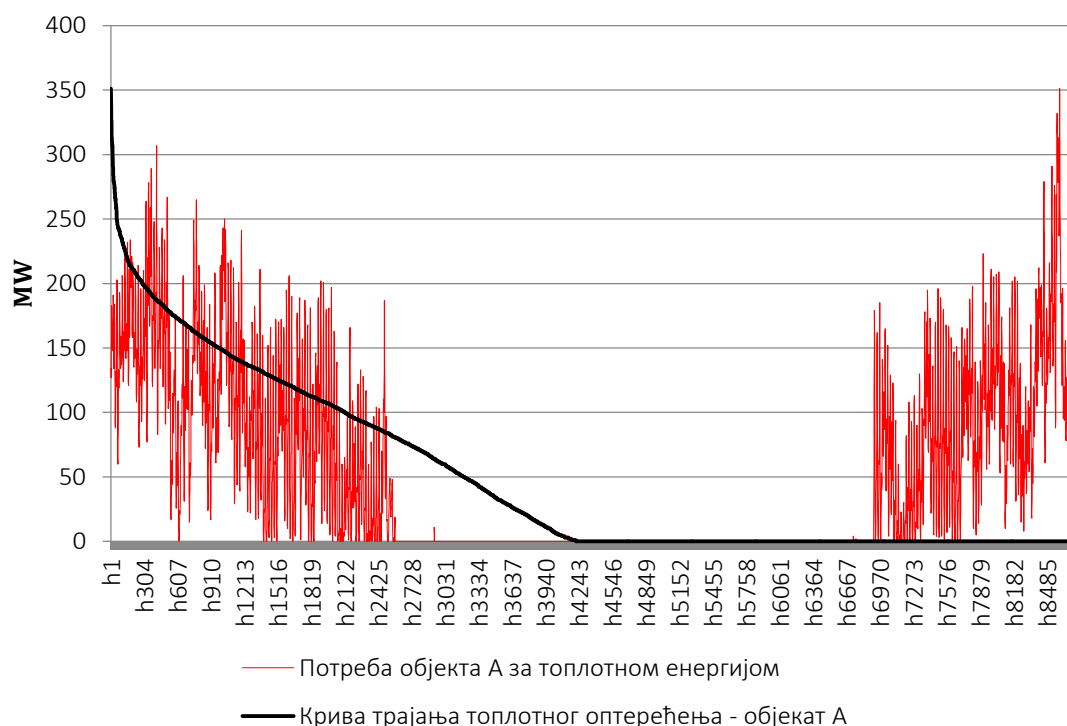
Приликом израде софтвера за оптимизацију избора когенерационог постројења коришћен је приступ „сиве кутије“ . То значи да се користио поједностављени модел постројења за когенерацију и није се улазило у детаље његовог функционисања, нити параметре рада појединачних компоненти когенерационог модула. Додатно, за овакав приступ је карактеристична примена једначина које су добијене или на основу поређења са емпиријским једначинама, или екстраховањем мањег броја једначина из детаљно описаних модела. Модел коришћен у техничком решењу је настао коришћењем приступа екстраховања мањег броја једначина из детаљно описаних когенерационих модела (22). У конкретном случају предложеног оптимизационог приступа само две једначине описују когенерациони модул („сиву кутију“). То су једначина односа произведене топлотне и електричне енергије и једначина којом се описује конверзија горива у топлотну и електричну енергију.

Другу важан сегмент израде модела је примењени приступ коришћења резултата енергетске симулације за оптимизацију избора когенерационог постројења. Овакав приступ је омогућио да се користе подаци за свих 8760 сати рада постројења уместо уобичајеног приступа у моделирању коришћењем типичних (репрезентативних) дана (9), (19), (20).

Захваљујући енергетском моделу за објекте ФИНК развијеном у OpenStudio софтверу располагало се подацима о захтевима објекта за електричном и топлотном енергијом (слика 2 и слика 3).



Слика 2 Пример годишњих захтева за електричном енергијом за објекат А



Слика 3 Пример годишњих захтева за топлотном енергијом за објекат А

Да би се извршио одабир погоског мотора за когенерационо постројење, током израде овог техничког решења коришћена су истраживања која су била део пројектних активности „Истраживање когенерационих потенцијала у комуналним и индустријским енерганима Републике Србије и могућности за ревитализацију постојећих и градњу нових когенерационих постројења“, а која се односе на истраживање понуде произвођача когенерационих постројења (21), (23).

Понуда гасних турбина и мотора са унутрашњим сагоревањем за рад у когенерационим постројењима је довољно велика да се у широком спектру снага и ефикасности може пронаћи одговарајући модел за готово сваки захтев.

СУС мотори захтевају релативно ниску инвестицију, време уградње је кратко, а поред тога карактерише их кратак период потребан да од укључивања стигну до пуних радних параметара, брзо се прилагођавају променама радних параметара, имају висок степен искоришћења и релативно су једноставни за одржавање. На тржишту је веома велики број модела СУС мотора за когенерациона постројења величине до 1 MWe (23), погодних за употребу у породичним кућама, стамбеним зградама, јавним и комерцијалним објектима, па је за студију случаја одабрано когенерационо постројење са СУС мотором.

Како би се размотрило што више потенцијалних сценарија за уградњу когенерационог постројења и да би се добила прилика да се на најсврхисходнији начин уложе средства, размотрено је више опција/сценарија. Резултат разматрања је предлог капацитета постројења које ће електричном и топлотном енергијом у некој мери подмиривати потребе:

- 1) свих објеката Факултета,
- 2) само објекта А Факултета,
- 3) објеката А и Ц Факултета,
- 4) само објекта Б Факултета,
- 5) само објекта Ц Факултета,
- 6) само објекта Д Факултета и
- 7) објеката Ц и Д Факултета.

Сам софтвер односно GAMS модел се састоји од седам основних компоненти: Set(s), Data, Variables, Assignment of bonds and/or initial values, Equations, Model and Solve statements, Display statement.

Скупови (Sets) су основни елементи GAMS модела и одговарају индексима код алгебарског модела. За потребе конкретног модела коришћени је скуп h (hour), а њиме је означено време (сати у години). Чланове скупа h чини свих 8760 сати анализираног периода.

Parameter
heatdemand(h)
/h1 544
h2 517
h3 503
h4 539
h5 625
h6 686
h7 707
h8 703
h9 678
h10 654
h11 638
h12 616
h13 598
h14 594
h15 593
h16 591
h17 598
h18 616
h19 639
h20 669
h21 699

h22 722
h23 696
h24 598

.
.
./;

У компоненти подаци (Data) у модел се уводе познати подаци и то као скалари (Scalars) и параметри (Parameters). Као параметри су уведени подаци о годишњем топлотном и електричном оптерећењу (слика 2 и слика 3).

Скалари који су коришћени у конкретном моделу (основни сценарио) приказани су у табели 1.

Ознака	Опис	Вредност
a	фактор амортизације опреме	0,0625
LHV	доња топлотна моћ природног гаса (kJ/m ³)	33500
fuelcost	цена горива (€/m ³)	0,33
eprice	цена ел. енергије (€/kWh)	0,073
heatprice	цена топлотне енергије(€/kWh)	0,09
price	цена когенерационе јединице по инсталираном kW електричне снаге	1200

Табела 1 Параметри коришћени у моделу

Компонента модела Variables односи се на упознавање модела са променљивим до чијих вредности покушавамо да дођемо. У табели 2 приказане су променљиве које су коришћене у моделу.

Ознака	Опис	Област дефинисаности
GOAL	добит од имплементације [€]	функција циља
heatrated	називна топлотна снага когенерационе јединице	позитивна
erated	називна електрична снага когенерационе јединице	позитивна
heatCHP(h)	део топлотног оптерећења који се покрива когенерационом јединицом	позитивна
eCHP(h)	део ел. оптерећења који се покрива когенерационом јединицом	позитивна
heatDH(h)	део топлотног оптерећења који се покрива из система ДГ	позитивна
eNETWORK(h)	део електричног оптерећења који се покрива из дистрибутивне мреже	позитивна
m(h)	проток природног гаса ка когенерационој јединици	позитивна

Табела 2 Променљиве које су коришћене у моделу

Једначинама (Equations) су описани услови тј. ограничења која важе за модел.

ФУНКЦИЈА ЦИЉА

$$GOAL = \sum_h e_{CHP_h} \cdot eprice + \sum_h heat_{CHP_h} \cdot heatprice - a \cdot price \cdot erated - \sum_h m_h \cdot fuelcost$$

Овако дефинисана функција циља сабира добити и губитке који се у сваком сату посматране године јављају као последица инсталирања когенерационог постројења.

Добит је дефинисана као последица:

- прихода који су последица увођења сопствене производње ел. енергије (први сабирак);
- прихода који су последица увођења сопствене производње топлотне енергије (други сабирак);

а губици као последица:

- амортизације опреме (трећи сабирак);
- потрошње енергента (природног гаса) (четврти сабирак).

Пошто се тражи максимална вредност функције циља, потенцијалне добити се пореде, а потом се солвер опредељује за вредност инсталираног капацитета когенерационе јединице која је најпрофитабилна.

ОСТАЛЕ ЈЕДНАЧИНЕ

Једначином 2 описан је услов који влада како би објекат одржао квалитет грејања којим је располагао пре имплементације когенерације:

$$h \text{ eatdemand}_h = h \text{ eatCHP}_h + h \text{ eatDH}_h \quad \forall h \quad (2)$$

Једначином 3 описан је услов који влада како би објекат одржао квалитет снабдевања електричном енергијом којим је располагао пре имплементације мере:

$$edemand_h = e_{CHP_h} + e_{NETWORK_h} \quad \forall h \quad (3)$$

Однос произведене електричне и топлотне енергије (енг. heat ratio) описан је једначином 4 (21):

$$e_{CHP_h} = 0.7 \cdot h \text{ eatCHP}_h \quad \forall h \quad (4)$$

Одређивање називног топлотног капацитета постројења врши се уз помоћ једначине 5:

$$h \text{ eatrated} = \max (h \text{ eatCHP}_h) \quad (5)$$

Аналогно, одређивање називног електричног капацитета постројења врши се уз помоћ једначине 6:

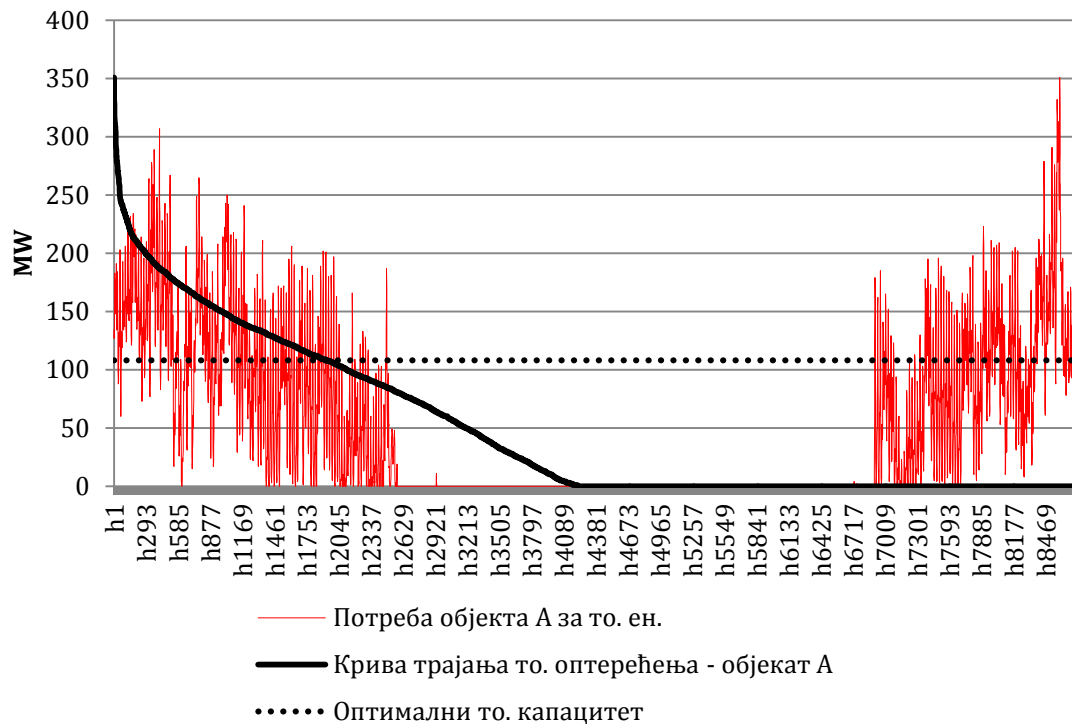
$$erated = \max (e_{CHP_h}) \quad (6)$$

Ефикасност конверзије енергије горива (природног гаса) у топлотну и електричну енергију дефинисана је једначином 7 (21):

$$h \text{ eat}_{CHP_h} + e_{CHP_h} = LHV \cdot m_h \cdot 0.8/3600 \quad \forall h \quad (7)$$

РЕЗУЛАТИ ДОБИЈЕНИ ПРИМЕНОМ СОФТВЕРА

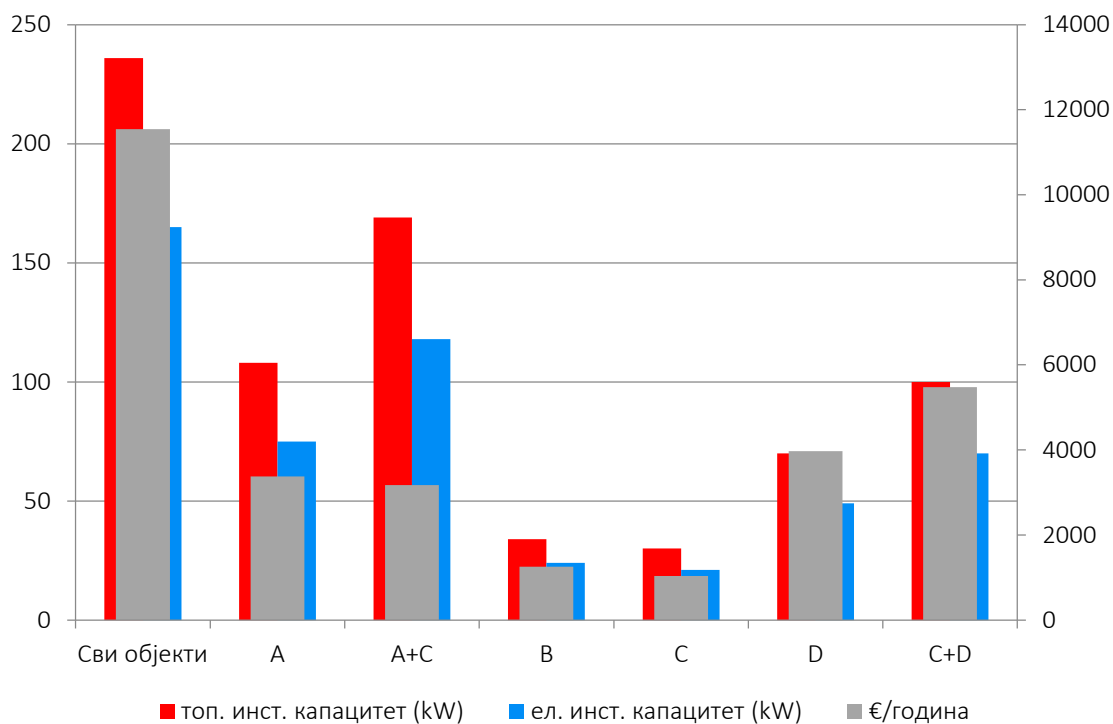
Пошто се тражи максимална вредност функције циља, потенцијалне добити се пореде, а потом се солвер опредељује за вредност инсталираног капацитета когенерационе јединице која је најпрофитабилнија. Пример ових резултата за један сценарио је дат на слици 4.



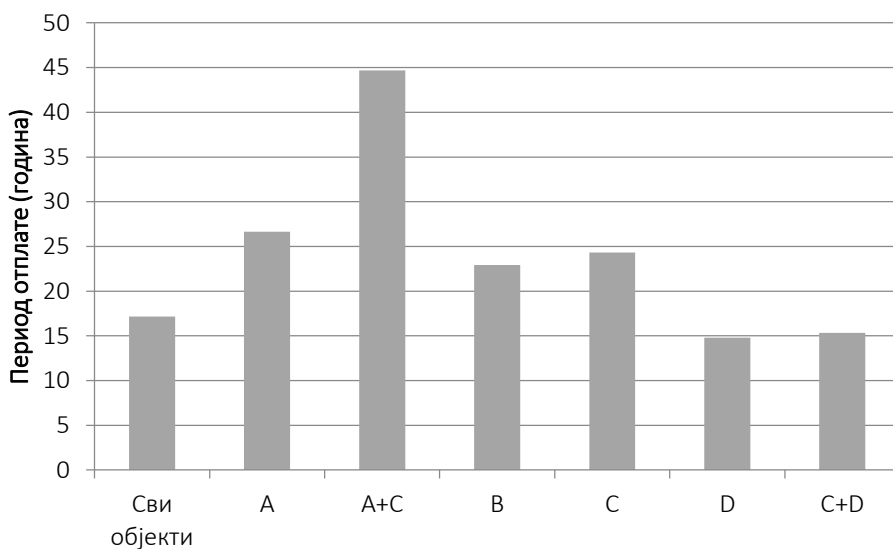
Слика 4 Карактер оптерећења и предложени оптимални капацитет постројења за објекат А ФИНК

На основу резултата добијених оптимизацијом (слика 5) и периода отплате приказаних на слици 6 може се закључити да се употреба когенерације не исплати у поменутиим случајевима, јер се периоди отплате крећу од 15 до 45 година, што је неприхватљиво за већину инвеститора. Разлоге за овакве резултате треба тражити у:

- малом броју радних сати годишње и
- ниској цени електричне енергије.



Слика 5 Инсталирани топлотни и електрични капацитет – лево (kW), и очекивани приход (€/година) – десно, у зависности од сценарија

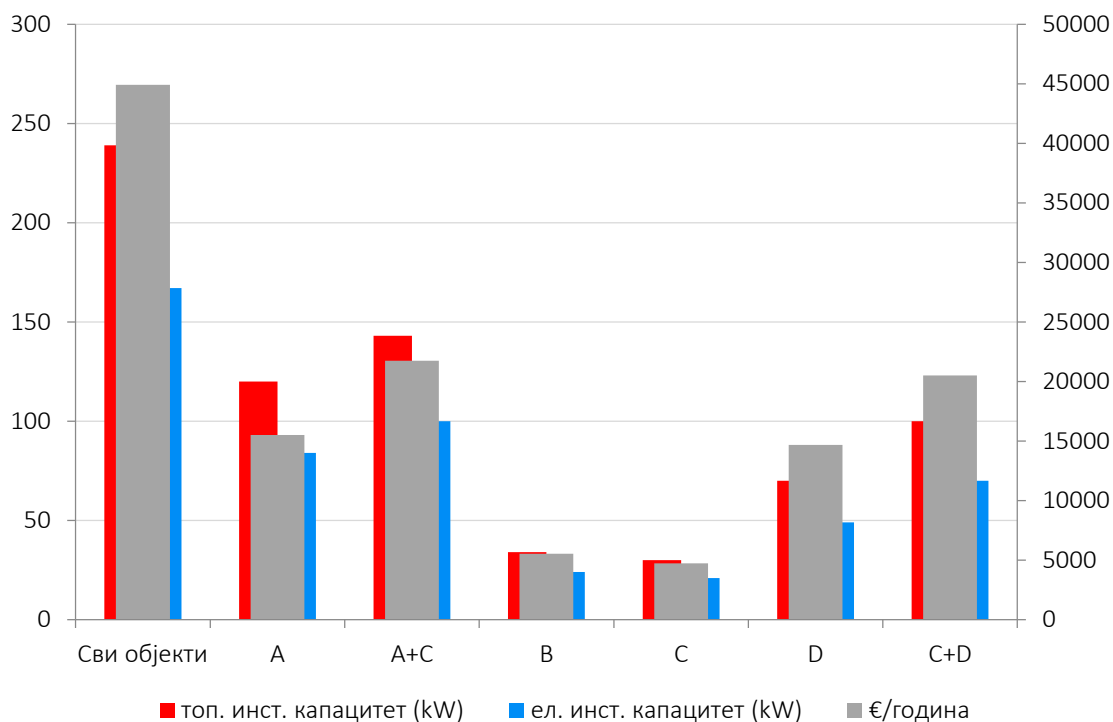


Слика 6 Периоди отплате за основне сценарије

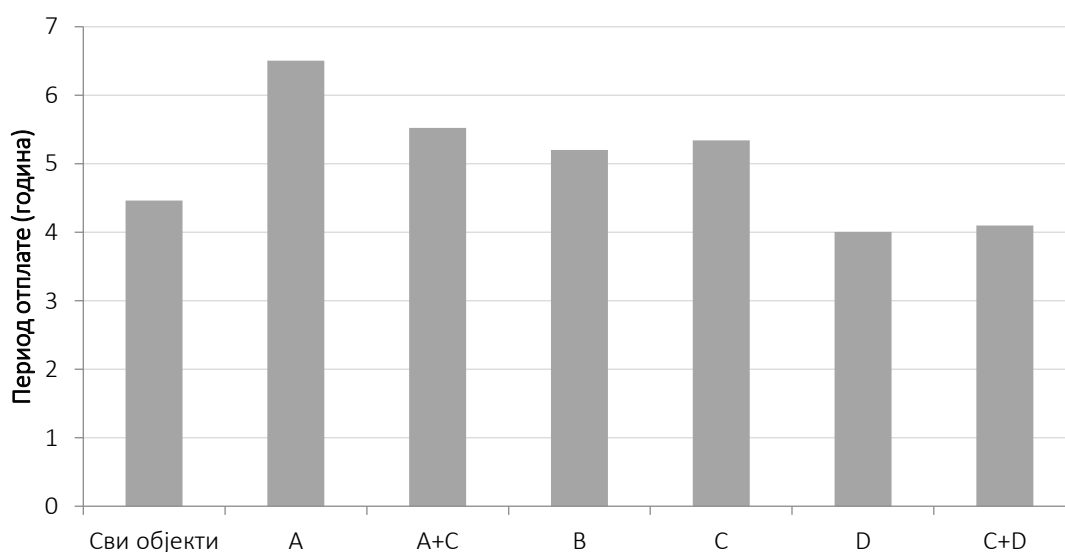
Да би се извршила провера методологије за одабир когенерационог постројења извршена је провера осетљивости модела на промену цена енергената. Два су разлога за такву анализу:

1. није реално очекивати повећање броја радних сати годишње и
2. на основу прегледа енергетских политика у свету евидентно је да ће се и енергетска политика РС кретати у правцу повећања цена енергената, на првом месту електричне енергије.

На сликама 7 и 8 приказани су подаци који су добијени за исте сценарије са разликом у ценама енергената - примењене су цене природног гаса, електричне и топлотне енергије које су на снази у Савезној Републици Немачкој. Иако су тамошње цене природног гаса више од цена у Републици Србији, а цена ДГ слична, приближно четири пута виша цена електричне енергије превела је претходно разматране периоде отплате пројеката из неприхватљивих у прихватљиве. По „немачком сценарију“ периоди отплате крећу се од 4 до 6,5 година, што је, имајући у виду да се и даље разматра случај постројења које ради током грејне сезоне тј. половину године – одличан резултат.



Слика 7 Инсталирани топлотни и електрични капацитет – лево (kW), и очекивани приход (€/година) – десно, у зависности од сценарија („Немачки сценарио“)



Слика 8 Периоди отплате за основне сценарије („Немачки сценарио“)

5 Литература

1. Влада Републике Србије. *Уредба о изменама и допунама Уредбе о утврђивању програма остваривања стратегије развоја енергетике Републике Србије до 2015. године за период од 2007. до 2012. године, Програм остваривања стратегије*. Београд : Влада Републике Србије, 2010.
2. Midwest CHP Application Center. *Combined Heat & Power (CHP) Resource Guide (Second edition)*. s.l. : MAC, 2005.
3. Kari Alanne, Arto Saari. *Sustainable small-scale CHP technologies for buildings: the basis for multi_perspective decision-making*. s.l. : Elsevier, 2004. pp. 401-431. Vol. 8.
4. Kari Alanne, Krzysztof Klobut. *A decision-making tool to support integration of sustainable technologies in refurbishment projects*. Eindhoven, Netherlands : Building Simulation 2003, 2003.
5. Griffith, B. *Assessment of the Technical Potential for Micro-Cogeneration in Small Commercial Buildings across the United States*. Ottawa, Canada : s.n., 2008.
6. A. Boyano, P. Hernandez, O. Wolf. *Energy demands and potential savings in European office buildings: Case studies based on EnergyPlus simulations*. s.l. : Elsevier, 2013. pp. 19-28. Vol. 65.
7. Amir Roth, David Goldwasser, Andrew Parker. *There's a measure for that!* s.l. : Elsevier, 2015.
8. B. Griffith, N. Long, P. Torcellini, R. Judkoff, D. Crawley, J. Ryan. *Commercial Sector Methodology for Modeling Building Energy Performance across the Commercial Sector*. s.l. : NREL National Renewable Energy Laboratory, March 2008.
9. O.A. Shaneb, G. Coates, P.C. Taylor. *Sizing of residential CHP systems*. s.l. : Elsevier, 2011. pp. 1991-2001. Vol. 43.
10. Tetsuya Wakui, Ryohei Yokoyama. *Optimal sizing of residential gas engine cogeneration system for power interchange operation from energy-saving viewpoint*. 2011. pp. 3816-3824. Vol. 36.
11. Zhang Beihong, Long Weiding. *An optimal sizing method for cogeneration plants*. s.l. : Elsevier, 2006. pp. 180-195. Vol. 38.
12. Si-Doek Oh, Hoo-Suk Oh, Ho-Young Kwak. *Economic evaluation for adoption of cogeneration system*. s.l. : Elsevier, 2007. pp. 266-278. Vol. 84.
13. Hycienth I. Onovwiona, V. Ismet Ugursal, Alan S. Fung. *Modeling of internal combustion engine based cogeneration systems for residential applications*. s.l. : Elsevier, 2007. pp. 848-861. Vol. 27.
14. Tuula Savola, Ilkka Keppo. *Off-design simulation and mathematical modeling of small-scale CHP plants at part loads*. s.l. : Applied Thermal Engineering, 2005. pp. 1219-1232. Vol. 25. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2004.08.009.
15. Tuula Savola, Carl-Johan Fogelholm. *Increased power to heat ratio of small scale CHP plants using biomass fuels and natural gas*. s.l. : Energy Conversion and Management, 2006. pp. 3105-3118. Vol. 47. DOI: 10.1016/j.enconman.2006.03.005.
16. Tuula Savola, Carl-Johan Fogelholm. *MINLP optimisation model for increased power production in small-scale CHP plants*. s.l. : Applied Thermal Engineering, 2007. pp. 89-99. Vol. 27. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2006.05.002.
17. Ian Beausoleil-Morrison, Alex Ferguson, Brent Griffith, Nick Kelly, François Maréchal, Andreas Weber. *Specifications for Modelling Fuel Cell and Combustion-Based Residential Cogeneration Devices within Whole-Building Simulation Programs*. s.l. : Annex 42 of the International Energy Agency Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, 2007. ISBN 978-0-662-47116-5.
18. Alex Ferguson, Nick Kelly, Andreas Weber, Brent Griffith. *Modelling residential-scale combustion-based cogeneration in building simulation*. 2010. ISSN: 1940-1507.
19. J. Ortiga, J.C. Bruno, A. Coronas. *Selection of typical days for the characterisation of energy demand in cogeneration and trigeneration optimiyation models for buildings*. s.l. : Elsevier, 2011. pp. 1934-1942. Vol. 52.

20. Fernando Domínguez-Munoz, José M. Cejudo-López, Antonio Carrillo-Andrés, Manuel Gallardo-Salazar. *Selection of typical demand days for CHP optimization*. s.l. : Elsevier, 2011. pp. 3036-3043. Vol. 43.
21. Vladimir Vukašinić, Dušan Gordić, Milun Babić, Dubravka Jelić, and Davor Končalović. *Review of efficiencies of cogeneration units using internal combustion engine*. s.l. : Taylor&Francis, 2016.
22. Кончаловић, Давор. *Методологија за одређивање когенерационог потенцијала топлана*. s.l. : Факултет инжењерских наука, 2015.
23. Vukašinić V, Babić M, Gordić D, Jelić D, Končalović D. *Pregled dostupnih modela gasnih turbina i motora sa unutrašnjim sagorevanjem koji se mogu koristiti u kogeneracionim sistemima*. 2013. pp. 265-278. Vol. 15.
24. Влада Републике Србије. *Правилник о енергетској ефикасности зграда*. s.l. : Службени гласник Републике Србије, 19.08.2011. Т. 061/2011.

Бр. 011/1373

18 04 2017 год.
КРАГУЈЕВАЦ

Датум: март 2017

Предмет: Мишљење о испуњености критеријума за признавање техничког решења

На основу достављеног материјала, у складу са одредбама *Правилника о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије („Службени гласник РС“, бр 24/2016) рецензент доцент др Горан Вучковић оценио је да су испуњени услови за признање својства техничког решења следећем резултату научно истраживачког рада:

Назив техничког решења: Софтвер за дефинисање оптималног капацитета когенерационе јединице приликом примене у зградарству

Аутори: др Дубравка Живковић, др Давор Кончаловић, др Милун Бабић, др Добрица Миловановић и Владимир Вукашиновић

Категорија техничког решења: Ново техничко решење у фази реализације, тестирано на одређеном објекту – М85

Предложено решење урађено је за:

Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије у оквиру пројекта III 42013 „Истраживање когенерационих потенцијала у комуналним и индустријским енерганама Републике Србије и могућности за ревитализацију постојећих и градњу нових когенерационих постројења“ финансираног кроз програм Интегралних и интердисциплинарних истраживања.

Субјект који је решење тестирао:

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Образложење:

С обзиром на дилему како пројектовати, применити и искористити когенерационо постројење тако да технолошки и финансијски најповољније одговори на потребе за електричном, топлотном и, у случају тригенерације, расхладном енергијом предложено техничко решење је фокусирано на поједностављивање прелиминарног прорачуна и скраћење времена потребног за одабир когенерационе јединице оптималног капацитета. Могућност смањења трошкова, могућност примене различитих енергената и повољног утицаја на животну средину, у односу на конвенционалне начине производње топлотне и електричне енергије, дају на значају примени когенерације у зградама.

За дефинисање оптималног капацитета когенерационе јединице у зградама је потребно издвојити значајно време за сагледавање и анализу горе побројаних кључних фактора, па је у том смислу значајан допринос који нуди предложено техничко решење.

Суштина овог техничког решења је ефикасан одабир когенерационе јединице применом развијеног софтвера.

У конкретном случају одређивања оптималног капацитета когенерационе јединице проблем се своди на максимизирање одређене функције (тзв. функција циља), конкретније, на максимизирање годишње добити (€) која је последица имплементације когенерације. Коришћењем овог техничког решења, проблем се може решити и на друге начине, у зависности од циљева управе/менаџмента, нпр.:

- минимизирањем периода отплате опреме (добивају се врло слични резултати),
- максимизирањем броја радних сати опреме,
- минимизирањем еколошког утицаја и сл.

Максимизирање функције, у посматраном случају, своди се на одабир оних улазних вредности које ће применом математичког програмирања резултовати највећом могућом вредношћу функције циља.

За оптимизацију избора когенерационог постројења коришћен је модел заснован на нелинеарном програмирању са дисконтинуираним изводима, тј. на тзв. DNLP програмирању (енг. Nonlinear Programming with Discontinuous Derivatives). Модел је развијен коришћењем програмског језика GAMS (енг. Generic Algebraic Modeling System).

Значајан елемент предложеног техничког решења је коришћен је приступ „сиве кутије“ приликом израде софтвера за оптимизацију избора когенерационог постројења. То значи да се користи поједностављени модел постројења за когенерацију и није се улазило у детаље његовог функционисања, нити параметре рада појединачних компоненти когенерационог модула. Модел коришћен у техничком решењу је настао коришћењем приступа екстраховања мањег броја једначина из детаљно описаних когенерационих модела насталих раније током истраживања на пројекту „Истраживање когенерационих потенцијала у комуналним и индустријским енерганама Републике Србије и могућности за ревитализацију постојећих и градњу нових когенерационих постројења“.

У конкретном случају предложеног оптимизационог приступа само две једначине описују когенерациони модул („сиву кутију“). То су једначина односа произведене топлотне и електричне енергије и једначина којом се описује конверзија горива у топлотну и електричну енергију што знатно скраћује време истраживања и време потребно за оптимизацију модела.

Другу важан сегмент израде модела је примењени приступ коришћења резултата енергетске симулације за оптимизацију избора когенерационог постројења. Овакав приступ је омогућио да се користе подаци за свих 8760 сати рада постројења уместо уобичајеног приступа у моделирању коришћењем типичних (репрезентативних) дана што додатно утиче на време које би иначе било потребно да се изврше сва потреба истраживања и мерења на самом објекту.

На основу свега као рецензент именован одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука бр. 01-1/935-30 од 23.03.2017. оцењујем да резултат научноистраживачког рада под називом „Софтвер за дефинисање оптималног капацитета когенерационе јединице приликом примене у зградарству“ представља научни резултат који поред стручне компоненте пружа оригинални научно-истраживачки допринос и по важећим критеријумима се може сврстати у категорију М85.

Доцент др Горан Вучковић



Универзитет у Нишу

Машински факултет

Научна област: Термотехника, термоенергетика и процесна техника

Бр. 011/132

12.04 2017 год.
КРАГУЈЕВАЦ

Датум:
март 2017. године

Предмет:

Мишљење о испуњености критеријума за признавање техничког решења

На основу достављеног материјала, у складу са одредбама *Правилника о поступку, начину вредновања и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача*, који је донео Национални савет за научни и технолошки развој Републике Србије („Службени гласник РС“, бр 24/2016) рецензент професор др Мирко Коматина оценио је да су испуњени услови за признање својства техничког решења следећем резултату научно истраживачког рада:

Назив техничког решења:

Софтвер за дефинисање оптималног капацитета когенерационе јединице приликом примене у зградарству

Аутори:

др Дубравка Живковић, др Давор Кончаловић, др Милун Бабић, др Добрица Миловановић и Владимир Вукашиновић

Категорија техничког решења:

Ново техничко решење у фази реализације, тестирано на одређеном објекту – М85

Предложено решење урађено је за:

Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије у оквиру пројекта III 42013 „Истраживање когенерационих потенцијала у комуналним и индустријским енерганама Републике Србије и могућности за ревитализацију постојећих и градњу нових когенерационих постројења“ финансираног кроз програм Интегралних и интердисциплинарних истраживања.

Субјект који је решење тестирао:

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Образложење:

Аутори техничког решења „Софтвер за дефинисање оптималног капацитета когенерационе јединице приликом примене у зградарству“ су јасно приказали и теоријски обрадили комплетну структуру техничког решења.

Предложено техничко решење нуди јасан одговор на питање дефинисања оптималног капацитета когенерационе јединице у зградарству, за чије је сагледавање и анализу, конвенционалним начинима, потребно издвојити далеко више времена. Предметно софтверско решење је усмерено ка поједностављивању прелиминарног прорачуна и скраћењу времена које се утроши за одабир когенерационе јединице оптималног капацитета и то кроз:

- максимизирање/минимизирање одређене функције (тзв. функције циља) и то:

- годишња добит (€) – уобичајена функција циља чијим се максимизирањем долази до оптималног когенерационог потенцијала али функција циља може бити и:
 - период отплате опреме (минимизирање),
 - број радних сати опреме (максимизирање),
 - еколошки утицај (минимизирање) и сл.

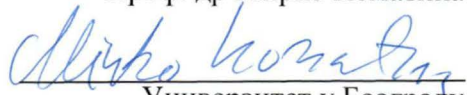
Максимизирање функције, у одабраном случају, своди се на одабир оних улазних вредности које ће применом математичког програмирања резултовати највећом могућом вредношћу функције циља.

Модел је заснован на нелинеарном програмирању са дисконтинуираним изводима (енг. Nonlinear Programming with Discontinuous Derivatives), а развијен је коришћењем програмског језика GAMS (енг. Generic Algebraic Modeling System). Предложено техничко решења користи приступ „сиве кутије“ што подразумева употребу поједностављеног модела постројења за когенерацију, чиме се не улази у детаље функционисања самог постројења, као ни радне параметре појединачних компоненти когенерационог постројења. У конкретном случају предложеног оптимизационог приступа само две једначине описују когенерациони модул („сиву кутију“). То су једначина односа произведене топлотне и електричне енергије и једначина којом се описује конверзија горива у топлотну и електричну енергију, издвојене из детаљно описаних когенерационих модела насталих раније током истраживања на пројекту ИИИ42013.

Важан сегмент предложеног модела је примењени приступ који је омогућио да се користе подаци за свих 8760 сати (једна година) рада постројења уместо уобичајеног приступа у моделирању коришћењем типичних (репрезентативних) дана што додатно штеди време које би иначе било потребно за прикупљање и обраду података зарад израде поменутих репрезентативних дана.

На основу свега као рецензент именован одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука бр. 01-1/935-30 од 23.03.2017. оцењујем да резултат научноистраживачког рада под називом „Софтвер за дефинисање оптималног капацитета когенерационе јединице приликом примене у зградарству“ представља научни резултат који поред стручне компоненте пружа оригинални научно-истраживачки допринос и по важећим критеријумима се може сврстати у категорију М85.

Проф. др Мирко Коматина



Универзитет у Београду
Машински факултет

Научна област: Преношење топлоте и супстанције, Техничка термодинамика



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
Факултет инжењерских наука
Број: 01-1/1355-23
25.04.2017. године
Крагујевац

Наставно-научно веће Факултета инжењерских наука у Крагујевцу на својој седници од 25. 04. 2017. године на основу члана 205. Статута Факултета инжењерских наука, донело је

ОДЛУКУ

Усвајају се позитивне рецензије техничког решења „**Софтвер за дефинисање оптималног капацитета когенерационе јединице приликом примене у зградарству**“, чију су аутори: др Дубравка Живковић, др Давор Кончаловић, др Милун Бабић, др Добрица Миловановић и Владимир Вукашиновић.

Решење припада класи **M85**, према класификацији из Правилника о поступку, начину вредновању и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Сл. Гласник РС“ - бр. 24/2016).

Рецензенти су:

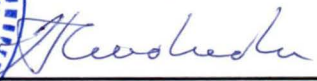
1. **Др Мирко Коматина**, редовни професор, Машински факултет, Универзитет у Београду,
Уже научне области: Преношење топлоте и супстанције, Техничка термодинамика,
2. **Др Горан Вучковић**, доцент, Машински факултет, Универзитет у Нишу,
Уже научне области: Термотехника, термоенергетика и процесна техника.

Достављено:

- Ауторима
- Архиви



ДЕКАН ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА


Др Добрица Миловановић, редовни професор