

ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

„Софтвер за прорачун оптималног угла постављања соларних колектора“

Аутори техничког решења

- *Др Милан Деспотовић, ред. проф., Факултет инжењерских наука у Крагујевцу*
- *Др Милорад Бојић, ред. проф., Факултет инжењерских наука у Крагујевцу*
- *Владимир Недић, дипл. инг., докторант Факултета инжењерских наука у Крагујевцу*

Наручилац техничког решења

- *Пројекти ресорног министарства ТР 33015 и Ш 42006*

Корисник техничког решења

- *Центар за грејање, климатизацију и соларну енергију*

Година када је техничко решење урађено

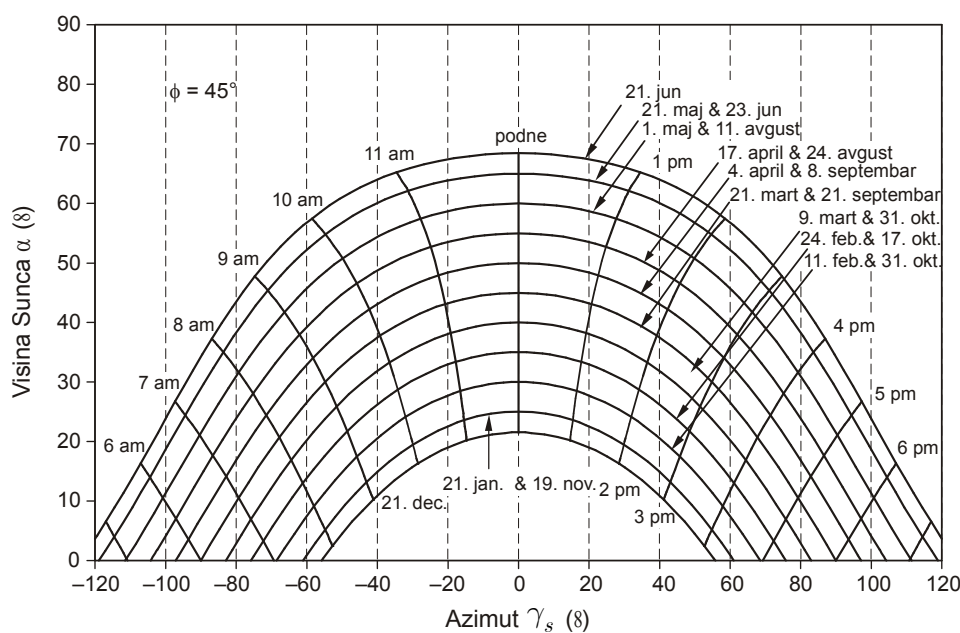
- *2015*

Област технике на коју се техничко решење односи

- *Енергетика, Пројектовање и развој софтвера*

1. Опис проблема који се решава техничким решењем

Максимална количина Сунчеве енергије се може прикупити када су Сунчеви зраци нормални на површину соларног колектора, односно када су паралелни са нормалом на површину колектора [1]. То се може постићи једино коришћењем уређаја за праћење положаја Сунца (*Sun tracking system*), који модификују вредност нагиба и/или азимута соларног колектора како би се он позиционирао оптимално у односу на Сунце. Постоје бројне студије које показују да коришћење ових система омогућава знатно већу количину прикупљене енергије по јединици површине у односу на ону енергију која се може прикупити по јединици површине код фиксних система. На пример, у [2] се наводи да *Sun tracking* системи повећавају укупну дневну сакупљену енергију за 43.87% у односу на фиксне системе. Веома детаљан преглед ефикасности различитих систем за праћење положаја Сунца дат је у [3]. У том раду аутори извештавају о повећању прикупљене енергије коришћењем *Sun tracking* система у опсегу од 10-100%, у зависности од различитих периода времена и географских услова. Међутим, *Sun tracking* системи су прилично скупи, троше енергију и нису препоручљиви за употребу код система мале снаге [3,4]. Други прилаз, који доводи до повећања количине прикупљене енергије по јединици површине, јесте постављање соларних колектора под оптималним нагибним углом и оптималним углом оријентације (азимутом). Да би фиксирани колектор сакупио највећу количину годишњег соларног зрачења, површина колектора мора бити оријентисана ка екватору. Као што се може видети са дијаграма путање Сунца (Слика 1), максимална висина Сунца сваког дана се постиже у подне када је угао Сунчевог азимута једнак нули, односно око линије север-југ. За датуме када је Сунце на најнижим максималним висинама, пожељно је поставити колекторе са великим нагибним углом β , како би се смањио угао између Сунчевих зракова и нормале на површину колектора. За периоде када Сунце има више путање на небу, β мора бити мало.



Слика 1 – Дијаграм путање Сунца за 45° северне географске ширине [1]

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

Утицај нагибног угла соларних колектора истраживан је за различите апликације коришћења соларне енергије: вакуумски соларни колектори за загревање воде [5,6], хибридни системи [7], фотонапонско генерисање електричне енергије [8], соларни шпорет [9], итд. Постоје бројне студије чији је циљ одређивање оптималног угла соларног колектора за различите локације: Carbondale, Illinois [10], Izmir Turkey [11], Sanliurfa, Turkey [12], Dhaka [13], 30 градова у Кини [14], Madinah, Saudi Arabia [15], Jordan [16], Helwan, Egypt [17], Brunei Darussalam [18], Syria [19], Cyprus [20], Burgos, Spain [21], Brisbane, Australia [22], Хрватска [23], Reunion Island [24], и друге. Различити истраживачи су предложили различите шеме за оптимизацију угла нагиба соларног колектора за различите географске ширине. Неки од њих су чак предложили и скупове од 12 једначина (по једну једначину за сваки месец) ([25,26]). Међутим, иако су у последње две деценије истраживачи уложили знатне напоре да израчунају, или бар процене, оптималне углове постављања соларних колектора, може се рећи да не постоји опште прихваћена вредност, или метод, за одређивање овог оптималног угла, па се вредности које су пријављене у радовима, за исту географску ширину (ϕ), разликују и за више од 15° : ($\phi+15$) ± 15 [27], $\phi-10$ [28], $\phi\pm 10$ [29].

3. Суштина техничког решења

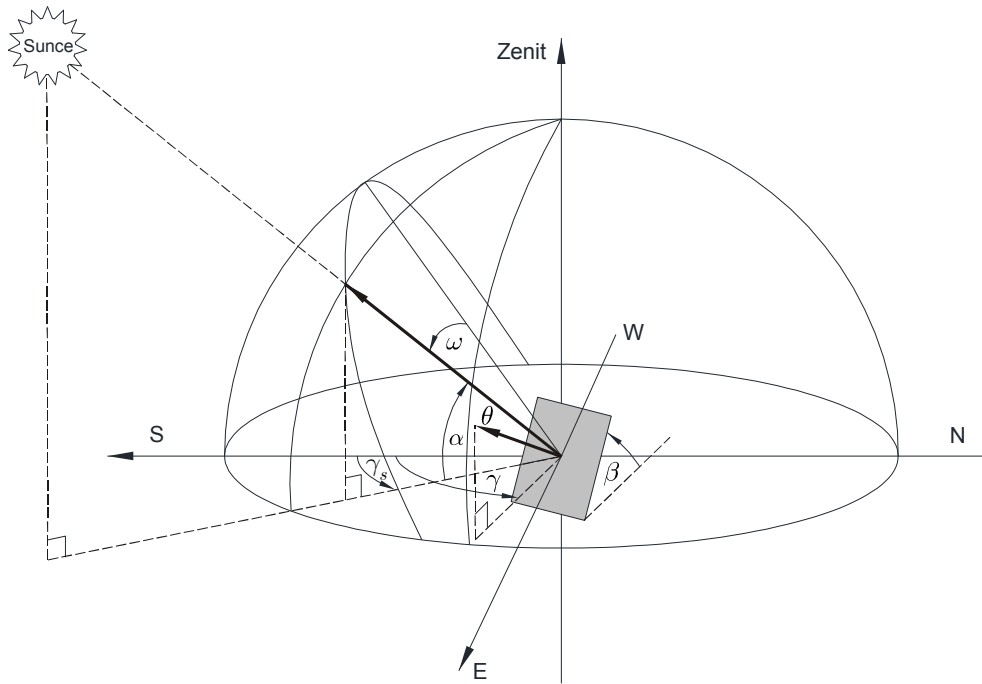
За одређивање нагибног угла постављања соларног колектора могу се користити различити критеријуми, као што су на пример, максимална прикупљена енергија за период када постоји највећа тражња, или максимално прикупљена енергија током целе године. Такође, уместо фиксирања колектора на нагибном углу који је једнак оптималном углу на годишњем нивоу, може се нагибни угао колектора и неколико пута годишње ручно подешавати према оптималним угловима на месечном или сезонском нивоу [1].

Ово техничко решење омогућава израчунавање оптималног угла постављања соларних колектора у оквиру било ког временског периода, као и израчунавање количине енергије Сунчевог зрачења по јединици површине тако нагнутих колектора. Ови резултати могу да послуже за одређивање оптималног сценарија коришћења соларних колектора за специфичну локацију.

4. Детаљан опис техничког решења

4.1 Математички модел

Упадни угао Сунчевог зрачења на произвољно нагнуту површину (θ) је угао између Сунчевих зракова и нормале на ту површину (Слика 2). Тај угао зависи од нагиба површине у односу на хоризонталну раван (β), као и од азимута површине (γ).



Слика 2 – Упадни угао Сунчевог зрачења на произвољно нагнуту површину [1]

За дату позицију Сунца, упадни угао зрачења се може одредити на основу зенитног угла Сунца θ_z и Сунчевог азимута γ_s [1]:

$$\cos \theta = \cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos(\gamma - \gamma_s) \quad 4.1.1.$$

или преко деклинације δ и часовног угла ω :

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta \\ & - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad 4.1.2.$$

Претходни изрази представљају опште изразе за одређивање упадног угла Сунчевог зрачења на произвољно нагнуту површину. У специјалним случајевима ови изрази попримају много једноставније облике.

За хоризонталне површине $\beta = 0^\circ$, па је упадни угао Сунчевог зрачења једнак зенитном углу Сунца ($\theta = \theta_z$). За овај специјалан случај једначина изражена преко деклинације δ и часовног угла ω , постаје израз за угао висине Сунца.

За ветикалне површине је $\beta = 90^\circ$, па се општи израз за упадни угао Сунчевог зрачења своди на:

$$\begin{aligned}\cos \theta &= -\sin \delta \cos \phi \cos \gamma \\ &+ \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \gamma \sin \omega\end{aligned}\quad 4.1.3.$$

Претходна једначина се користи за израчунавање количине топлоте од Сунчевог зрачења кроз прозоре.

За површине на северној хемисфери које су оријентисане ка југу ($\gamma = 0^\circ$), општи израз за упадни угао Сунчевог зрачења се своди на:

$$\begin{aligned}\cos \theta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta \\ &- \sin \delta \cos \phi \sin \beta \\ &+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ &+ \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \omega\end{aligned}\quad 4.1.4.$$

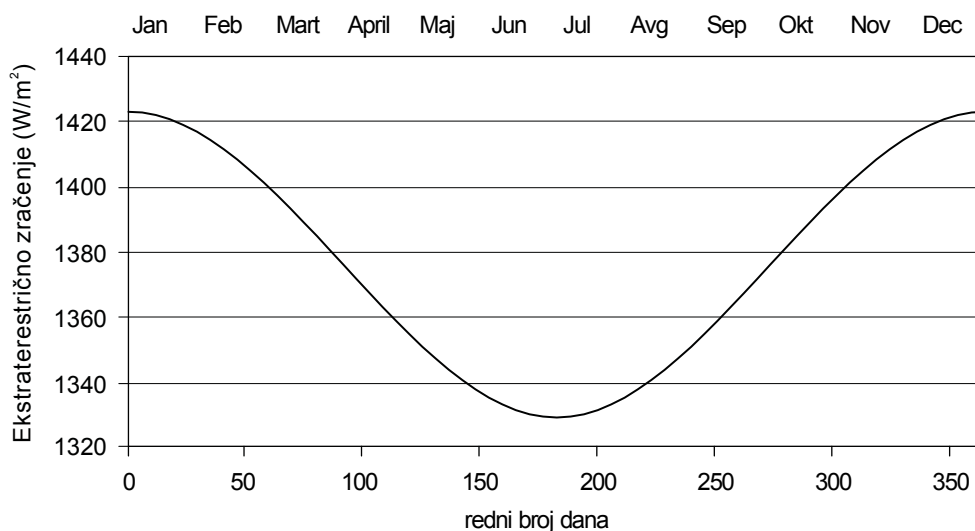
што се даље може редуковати на:

$$\cos \theta = \sin(\phi - \beta) \sin \delta + \cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega \quad 4.1.5.$$

За површине на јужној хемисфери које су оријентисане ка северу ($\gamma = 180^\circ$), општи израз за упадни угао Сунчевог зрачења се може редуковати на следећи израз:

$$\cos \theta = \sin(\phi + \beta) \sin \delta + \cos(\phi + \beta) \cos \delta \cos \omega \quad 4.1.6.$$

Сунчево зрачење које доспева на спољашњу границу атмосфере назива се екстратерестрично Сунчево зрачење. Током године екстратерестрично Сунчево зрачење варира у релативном опсегу 3.3% (Слика 33), углавном због промене растојања од Земље до Сунца током године.



Слика 3 – Промена екстратерестричног Сунчевог зрачења током године [1]

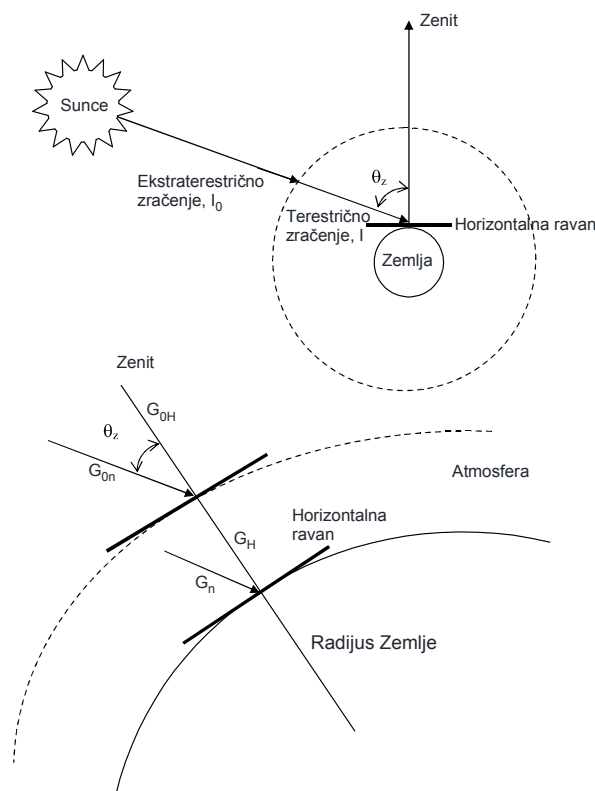
Промена екстратерестричног Сунчевог зрачења (G_{0n}) које доспева на јединичну површину која је управна на правац зрачења, може се представити помоћу следећег израза:

$$G_{0n} = I_c \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n_d}{365} \right) \right] \quad 4.1.7.$$

где је I_c ($=1367 \text{ W/m}^2$) количина Сунчеве енергије која у јединици времена доспе на јединичну површину, која је управна на правац зрачења, на спољашњој граници атмосфере, за средњу удаљеност Земље од Сунца, и која се назива соларном константом. Соларна константа представља ирадијансу на ободу атмосфере.

Када се посматра екстратерестрично Сунчево зрачење које пада на хоризонталну раван (Слика 44), онда се компонента која је управна на ту раван G_{0H} (W/m^2) може одредити на основу израза:

$$\begin{aligned} G_{0H} &= G_{0n} \cos \theta_z \\ &= I_c \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n_d}{365} \right) \right] (\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi) \end{aligned} \quad 4.1.8.$$



Слика 4 – Екстратерестрично и терестрично Сунчево зрачење [1]

Претходни израз представља тренутно екстратерестрично зрачење по јединици површине хоризонталне равни. Уколико се жели одредити количина екстратерестричног Сунчевог зрачења које падне на хоризонталну раван у току једног

дана (H_0), потребно је интегралити претходни израз у времену од изласка до заласка Сунца:

$$H_0 = \int^{dan} G_{0H} dt$$

$$= I_c \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n_d}{365} \right) \right] \int^{dan} (\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi) dt$$

Како је:

$$d\omega = \frac{\pi}{12} dt \quad 4.1.10.$$

односно:

$$dt = \frac{12}{\pi} d\omega \quad 4.1.11.$$

следи да је:

$$H_0 = \frac{12I_c}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n_d}{365} \right) \right]$$

$$\times \int_{-\omega_{ss}}^{\omega_{ss}} (\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi) d\omega$$

Интеграљењем се добија:

$$H_0 = \frac{24I_c}{\pi} [1 + 0.034 \cos(2\pi n_d / 365)] \quad (Wh / m^2)$$

$$\times (\cos \phi \cos \delta \sin \omega_{ss} + \omega_{ss} \sin \phi \sin \delta)$$

На аналоган начин се може одредити часовно екстатерестрично Сунчево зрачење на хоризонталну раван (I_0):

$$I_0 = \frac{12I_c}{\pi} [1 + 0.033 \cos(2\pi n_d / 365)]$$

$$\times [\cos \phi \cos \delta \quad (Wh / m^2)$$

$$\times [\sin(\omega + \pi / 24) - \sin(\omega - \pi / 24)]$$

$$+ (\pi / 12) \sin \phi \sin \delta]$$

Индекс провидности неба (*clearness index*) (K_T) представља однос укупног зрачења које доспева на хоризонталну раван на Земљиној површини и екстратерестричног зрачења на хоризонталну раван на локацији на којој се посматра зрачење:

$$K_T = \frac{H}{H_0} \quad 4.1.15.$$

Аналогно, средња месечна вредност индекса провидности неба (\bar{K}_T) дефинише се на основу следећег израза:

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{H_0} \quad 4.1.16.$$

где је \bar{H} (W/m^2) средња месечна вредност дневног терестричног зрачења на хоризонталну површину, а H_0 (W/m^2) средња месечна вредност дневног екстратерестричног зрачења на хоризонталну површину.

Средње месечне вредности дневног (\bar{H}_0) и часовног (\bar{I}_0) екстратерестричног зрачења на хоризонталну површину могу се одредити на основу израза:

$$\bar{H}_0 = \frac{1}{N_d} \sum_{i=1}^{N_d} H_0 \quad 4.1.17.$$

$$\bar{I}_0 = \frac{1}{N_d} \sum_{i=1}^{N_d} I_0 \quad 4.1.18.$$

где је N_d број дана у посматраном месецу.

Индекс провидности неба је индикатор колико се Сунчевог зрачења изгубило на расипање и кроз апсорбовање у атмосфери. Индекс провидности неба не узима у обзир само путању зрачења кроз атмосферу, односно вредност оптичке ваздушне масе АМ, него и облачност и састав атмосфере. Због тога се може рећи да индекс провидности неба карактерише соларну климу одређене локације. Вредности индекса провидности неба зависе од локације и доба године, а крећу се од 0.2 за веома облачна подручја до 0.8 за веома сунчана подручја.

Једна од најједноставнијих релација за одређивање укупне месечне соларне ирадијације на хоризонталну површину представља *Angström*-ов модел линеарне регресије који је дат следећим изразом:

$$\frac{\bar{H}}{H_0} = a + b \frac{S}{S_0} \quad 4.1.19.$$

где је S просечна месечна вредност броја Сунчаних сати у току дана, S_0 просечна месечна вредност максималног броја Сунчаних сати у току дана (дужине дана), а a и b су константе које се одређују на основу експерименталних података.

Максимални број Сунчаних сати у току дана, односно дужина дана S_0 одређује се на основу израза:

$$S_0 = \frac{24}{\pi} \omega_{ss} [h] \quad 4.1.20.$$

где је ω_{ss} (у радијанима) часовни угао заласка Сунца.

Постоји велики број модела који су засновани на оригиналном *Angström*-ов линеарном регресионом моделу, као и велики број нелинеарних модела.

Приликом дизајнирања система за трансформисање Сунчеве енергије у корисне облике енергије, неопходно је познавати количину Сунчевог зрачења које падне на произвољно нагнуту површину. Укупно терестрично Сунчево зрачење на нагнуту плочу састоји се од три компоненте: директног, дифузног, и рефлектованог зрачења. Уколико се директно зрачење на нагнуту раван означи са G_{dir}^β , дифузно зрачење са G_{dif}^β , и рефлектовано зрачење са G_{ref}^β , онда се за укупно зрачење на површину која је нагнута под углом β у односу на хоризонталну раван, G_β , може писати:

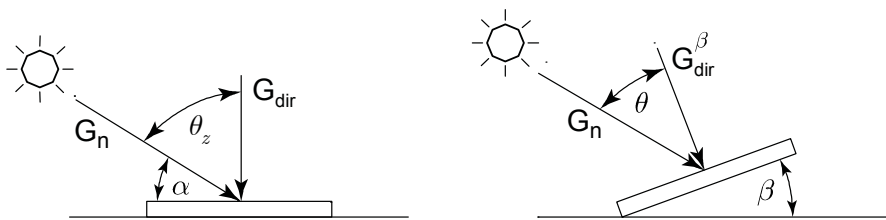
$$G_\beta = G_{dir}^\beta + G_{dif}^\beta + G_{ref}^\beta \quad 4.1.21.$$

Као што се може видети са слике (Слика 55) директно Сунчево зрачење на нагнуту површину је:

$$G_{dir}^\beta = G_n \cos \theta \quad 4.1.22.$$

док је директно Сунчево зрачење на хоризонталну површину:

$$G_{dir} = G_n \cos \theta_z \quad 4.1.23.$$



Слика 5 – Директно Сунчево зрачење на хоризонталну (лево) и нагнуту плочу (десно) [1]

Однос директног Сунчевог зрачења на хоризонталну површину и директног Сунчевог зрачења на нагнуту површину назива се фактор нагиба директног зрачења (R_{dir}), и дат је следећим изразом:

$$R_{dir} = \frac{G_n \cos \theta}{G_n \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad 4.1.24.$$

За фиксирану површину која је оријентисана према југу, и која је нагнута под углом β у односу на хоризонталу, фактор нагиба директног зрачења постаје:

$$R_{dir} = \frac{\sin(\phi - \beta) \sin \delta + \cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos \omega}{\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \omega \cos \phi} \quad 4.1.25.$$

За познати фактор нагиба директног зрачења, компонента директног зрачења на било коју површину се може представити на основу израза:

$$G_{dir}^{\beta} = G_{dir} R_{dir} \quad 4.1.26.$$

Дифузно зрачење на хоризонталну плочу (G_{dif}), одређује се на основу израза:

$$G_{dif} = 2 \int_0^{\pi/2} G_R \cos \theta_z d\theta_z = 2G_R \quad 4.1.27.$$

где је G_R (W/m^2 -рад) дифузна радијанса неба.

Дифузно зрачење на плочу која је нагнута под углом β у односу на хоризонталу, рачуна се на основу следећег израза:

$$G_{dif}^{\beta} = \int_0^{\pi/2-\beta} G_R \cos \theta_z d\theta_z + \int_0^{\pi/2} G_R \cos \theta_z d\theta_z \quad 4.1.28.$$

Други члан у претходном изразу једнак је једној половини дифузног зрачења на хоризонталну плочу ($G_R = G_{dif}/2$), па се може писати:

$$\begin{aligned} G_{dif}^{\beta} &= \frac{G_{dif}}{2} \int_0^{\pi/2-\beta} \cos \theta_z d\theta_z + \frac{G_{dif}}{2} = \frac{G_{dif}}{2} \sin(\pi/2 - \beta) + \frac{G_{dif}}{2} \\ &= G_{dif} \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} \right] \end{aligned} \quad 4.1.29.$$

Зрачење које се рефлектује од тла представља производ албеда тла ρ_G и суме директног и дифузног зрачења, и једнако је следећем изразу:

$$\rho_G (G_{dir} + G_{dif}) = 2 \int_0^{\pi/2} G_r \cos \theta_z d\theta_z = 2G_r \quad 4.1.30.$$

где је G_r (W/m^2 -рад) изотропна, од тла рефлектована радијанса.

Рефлектовано зрачење које пада на нагнуту плочу једнако је:

$$G_{ref}^{\beta} = \int_{\pi/2-\beta}^{\pi/2} G_r \cos \theta_z d\theta_z \quad 4.1.31.$$

Комбиновањем претходна два израза добија се:

$$G_{ref}^{\beta} = \rho_G (G_{dir} + G_{dif}) \left[\frac{1 - \cos \beta}{2} \right] \quad 4.1.32.$$

па је, коначно, укупно зрачење на нагнуту плочу једнако:

$$G_{\beta} = R_{dir} G_{dir} + G_{dif} \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} \right] + \rho_G (G_{dir} + G_{dif}) \left[\frac{1 - \cos \beta}{2} \right] \quad 4.1.33.$$

Укупно зрачење на хоризонталну плочу, једнако је збиру директног и дифузног зрачења, при чему се претпоставља да зрачење које се рефлектује од тла не пада поново на хоризонталну плочу, односно:

$$G = G_{dir} + G_{dif} \quad 4.1.34.$$

Фактор нагиба укупног зрачења R , представља однос укупног зрачења на нагнуту плочу и укупног зрачења на хоризонталну површину:

$$R = \frac{G_{\beta}}{G} = \frac{G_{dir}}{G} R_{dir} + \frac{G_{dif}}{G} \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} \right] + \rho_G \left[\frac{1 - \cos \beta}{2} \right] \quad 4.1.35.$$

Постоји велики број модела за прорачун укупног Сунчевог зрачења на нагнуту површину, коришћењем вредности тоталног зрачења на хоризонталну површину. једина разлика у тим моделима је начин одређивања дифузне компоненте Сунчевог зрачења, па се у складу са тим ти модели деле у 1) изотропне и 2) анизотропне. Одређивање оптималног угла постављања соларног колектора своди се на тражење угла β , за који је укупно зрачење на нагнуту плочу највеће за одређени временски период.

4.2 Кориснички интерфејс

Софтвер за одређивање оптималног угла постављања соларних колектора написан је у програмском језику C#, а изглед корисничког интерфејса приказан је на Сликама 6-9. Софтвер омогућава израчунавање оптималног угла постављања соларних колектора за специфичну локацију за било који временски период. Као олакшица приликом рада са програмом, направљени су шаблони за десет различитих сценарија:

1. дневни оптимални углови,
2. полумесечни оптимални углови,
3. месечни оптимални углови,
4. сезонски оптимални углови, при чему су сезоне дефинисане као:
 - Зима: децембар – фебруар,
 - Пролеће: март – мај,

- Лето: јун – август,
 - Јесен: септембар - новембар
5. сезонски оптимални углови, при чему су сезоне дефинисане као:
- Зима: новембар – јануар,
 - Пролеће: фебруар – април,
 - Лето: мај – јули,
 - Јесен: август - октобар
6. сезонски оптимални углови, при чему су сезоне дефинисане као:
- Зима: јануар – март,
 - Пролеће: април – јун,
 - Лето: јули – септембар,
 - Јесен: октобар – децембар
7. сезонски оптимални углови, при чему су сезоне дефинисане као:
- Зима: 22.12. – 21.03.,
 - Пролеће: 22.03. – 21.06.,
 - Лето: 22.06. – 21.09.,
 - Јесен: 22.09. – 21.12.
8. полугодишњи оптимални углови, при чему су сезоне дефинисане као:
- 1. полугодиште: 01.01. – 30.06.,
 - 2. полугодиште: 31.01. – 31.12.
9. полугодишњи оптимални углови, при чему су сезоне дефинисане као:
- 1. полугодиште: 22.03. – 21.09.,
 - 2. полугодиште: 22.09. – 21.03.,
10. годишњи, односно, фиксни оптимални угао.

5. Литература

1. Деспотовић М., Обновљиви извори енергије, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, 2011, ISBN 978-86-86663-80-1
2. Abdallah, S.. The effect of using sun tracking systems on the voltage-current characteristics and power generation of flat plate photovoltaics. *Energy Conversion and Management* 2004;45(11-12):1671 – 1679. {DOI:10.1016/j.enconman.2003.10.006}.
3. Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., Sharifi, A.. A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2009;13(8):1800 – 1818. {DOI:10.1016/j.rser.2009.01.022}.
4. Tomson, T.. Discrete two-positional tracking of solar collectors. *Renewable Energy* 2008;33(3):400 – 405. {DOI:10.1016/j.renene.2007.03.017}
5. Tang, R., Yang, Y.. Nocturnal reverse flow in water-in-glass evacuated tube solar water heaters. *Energy Conversion and Management* 2014;80(0):173 – 177. {http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.01.025}.
6. Zhang, X., You, S., Xu, W., Wang, M., He, T., Zheng, X.. Experimental investigation of the higher coefficient of thermal performance for water-in-glass evacuated tube solar water heaters in China. *Energy Conversion and Management* 2014;78(0):386 – 392. {http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.10.070}.
7. Ismail, M., Moghavvemi, M., Mahlia, T.. Design of an optimized photovoltaic and microturbine hybrid power system for a remote small community: Case study of Palestine. *Energy Conversion and Management* 2013a;75(0):271 – 281. {http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.06.019}.
8. Yan, R., Saha, T.K., Meredith, P., Goodwin, S.. Analysis of yearlong performance of differently tilted photovoltaic systems in Brisbane, Australia. *Energy Conversion and Management* 2013;74(0):102– 108. {http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.05.007}.
9. Sethi, V., Pal, D., Sumathy, K.. Performance evaluation and solar radiation capture of optimally inclined box type solar cooker with parallelepiped cooking vessel design. *Energy Conversion and Management* 2014;81(0):231–241. {http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2014.02.041}.
10. Gong, X., Kulkarni, M.. Design optimization of a large scale rooftop photovoltaic system. *Solar Energy* 2005;78(3):362 – 374. {DOI:10.1016/j.solener.2004.08.008}.

11. Gunerhan, H., Hepbasli, A.. Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications. *Building and Environment* 2007;42(2):779 – 783. {DOI:10.1016/j.buildenv.2005.09.012}.
12. Kacira, M., Simsek, M., Babur, Y., Demirkol, S.. Determining optimum tilt angles and orientations of photovoltaic panels in Sanliurfa, Turkey. *Renewable Energy* 2004;29(8):1265 – 1275. {DOI:10.1016/j.renene.2003.12.014}
13. Ghosh, H., Bhowmik, N., Hussain, M.. Determining seasonal optimum tilt angles, solar radiations on variously oriented, single and double axis tracking surfaces at Dhaka. *Renewable Energy* 2010;35(6):1292 – 1297. {DOI:10.1016/j.renene.2009.11.041}
14. Tang, R., Wu, T.. Optimal tilt-angles for solar collectors used in China. *Applied Energy* 2004;79(3):239 – 248. {DOI:10.1016/j.apenergy.2004.01.003}
15. Benganem, M.. Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah, Saudi Arabia. *Applied Energy* 2011;88(4):1427 – 1433. {DOI:10.1016/j.apenergy.2010.10.001}
16. Shariah, A., Al-Akhras, M.A., Al-Omari, I.A.. Optimizing the tilt angle of solar collectors. *Renewable Energy* 2002;26(4):587 – 598. {DOI:10.1016/S0960-1481(01)00106-9}
17. Elminir, H.K., Ghitas, A.E., El-Hussainy, F., Hamid, R., Beheary, M., Abdel-Moneim, K.M.. Optimum solar flat-plate collector slope: Case study for Helwan, Egypt. *Energy Conversion and Management* 2006;47(5):624 – 637. {DOI:10.1016/j.enconman.2005.05.015}
18. bin Hj Mohd Yakup, M.A., Malik, A.Q.. Optimum tilt angle and orientation for solar collector in Brunei Darussalam. *Renewable Energy* 2001;24(2):223 – 234. {DOI:10.1016/S0960-1481(00)00168-3}
19. Skeiker, K.. Optimum tilt angle and orientation for solar collectors in Syria. *Energy Conversion and Management* 2009;50(9):2439 – 2448. {DOI:10.1016/j.enconman.2009.05.031}
20. Ibrahim, D.. Optimum tilt angle for solar collectors used in Cyprus. *Renewable Energy* 1995;6(7):813 – 819. {DOI:10.1016/0960-1481(95)00070-Z}
21. Miguel, A.D., Bilbao, J., Diez, M.. Solar radiation incident on tilted surfaces in Burgos, Spain: Isotropic models. *Energy Conversion and Management* 1995;36(10):945 – 951. {DOI:10.1016/0196-8904(94)00067-A}
22. Yan, R., Saha, T.K., Meredith, P., Goodwin, S.. Analysis of yearlong performance of differently tilted photovoltaic systems in Brisbane, Australia. *Energy Conversion and Management* 2013;74(0):102– 108. {http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2013.05.007}

23. Sinjeri, L., Kulisic, P.. Solar radiation on variously oriented collectors in Croatia. *Renewable Energy* 1994;4(2):235 – 240. {DOI:10.1016/0960-1481(94)90009-4}
24. Bojić, M., Bigot, D., Miranville, F., Parvedy-Patou, A. and Radulović, J. (2012), Optimizing performances of photovoltaics in Reunion Island—tilt angle. *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, 20: 923–935. doi: 10.1002/pip.1159
25. Nijegorodov, N., Devan, K., Jain, P., Carlsson, S.. Atmospheric transmittance models and an analytical method to predict the optimum slope of an absorber plate, variously oriented at any latitude. *Renewable Energy* 1994;4(5):529 – 543. {[http://dx.doi.org/10.1016/0960-1481\(94\)90215-1](http://dx.doi.org/10.1016/0960-1481(94)90215-1)}
26. Soulayman, S., Sabbagh, W.. Solar collector optimum tilt and orientation. *Open Journal of Renewable and Sustainable Energy* 2015;2(1):1–9. {doi:10.12966/rse.03.01.2015}
27. Duffie, J., Beckman, W.. *Solar Engineering of Thermal Processes*. A Wiley-Interscience Publication; Wiley; 1991.
28. Heywood, H.. Operating experience with solar water heating. *IHVE Journal* 1971;39:63 – 69.
29. Lunde, P.. *Solar thermal engineering: Space heating and hot water systems*. New York, Wiley; 1980.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета инжењерских наука у Крагујевцу бр. 01-1/824-34 од 19.03.2015. године именовани смо за рецензенте предлога техничког решења:

„Софтвер за прорачун оптималног угла постављања соларних колектора“

аутора: Др Милана Деспотовића, ред. проф., Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, Др Милорада Бојића, ред. проф., Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, и Владимира Недића, дипл.инг., докторанта Факултета инжењерских наука у Крагујевцу.

На основу предлога овог техничког решења подносимо следећи

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА У КРАГУЈЕВЦУ			
ПРИМЉЕНО	30.03.2018		
Сектор	Број	Трговина	Продност
	0411054		

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење **„Софтвер за прорачун оптималног угла постављања соларних колектора“** аутора: Др Милана Деспотовића, ред. проф., Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, Др Милорада Бојића, ред. проф., Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, и Владимира Недића, дипл.инг., докторанта Факултета инжењерских наука у Крагујевцу., реализовано 2015 године, приказано је на 16 страница формата А4, писаних фонтом Times New Roman, величине 12, проредом 1, и садржи 9 слика. Састављено је од следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем
2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења
3. Суштина техничког решења
4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже)
5. Литература

Техничко решење припада области научно-технолошких услуга, пројектовање и развој компјутерског софтвера (класа 42).

Наручилац техничког решења је Министарство за просвету и науку, а техничко решење реализовано је у оквиру рада на пројекту из програма технолошког развоја **”Истраживања и развој српске куће нето-нулте енергетске потрошње”** (евиденциони број пројекта TP33015) и пројекта интегралних и интердисциплинарних

истраживања „Истраживање и развој енергетски и еколошки високоефективних система полигенерације заснованих на обновљивим изворима енергије“ (евиденциони број пројекта III 42006). Основне идеје као и резултати за ово техничко решење још нису објављени у часописима.

У оквиру *првог поглавља*, аутори дају опис проблема који је предмет техничког решења. Како се положај Сунца на небу непрекидно мења, највећу количину Сунчеве енергије могуће је прикупити једино коришћењем уређаја за праћење положаја Сунца, који модификују вредност нагиба и/или азимута соларног колектора како би се он позиционирао оптимално у односу на Сунце. Међутим, такви уређаји су прилично скупи, троше енергију и нису препоручљиви за употребу код малих соларних система. Други прилаз, који доводи до повећања количине прикупљене енергије по јединици површине, јесте постављање соларних колектора под оптималним нагибним углом и оптималним углом оријентације (азимутом).

У *другом поглављу*, дат је преглед решености проблема у свету. Констатовано је да, иако су у последње две деценије истраживачи уложили знатне напоре да израчунају, или бар процене, оптималне углове постављања соларних колектора, не постоји опште прихваћена вредност, или метод, за одређивање овог оптималног угла, па се вредности које су пријављене у радовима, за исту географску ширину разликују и за више од 15° .

У *трећем поглављу*, приказана је суштина предложеног техничког решења. Наведени су различити критеријуми, који се могу користити приликом одређивања оптималног угла постављања соларног колектора, као што су на пример, максимална прикупљена енергија за период када постоји највећа тражња, или максимално прикупљена енергија током целе године.

У *четвртом поглављу*, дат је детаљан опис техничког решења и то кроз детаљан приказ математичког модела који се користи за решавање описаног проблема, и кроз приказ корисничког интерфејса.

На крају пријаве техничког решења, дат је приказ коришћене литературе.

МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења „Софтвер за прорачун оптималног угла постављања соларних колектора“, су јасно приказали, теоријски обрадили и имплементирали комплетну структуру техничког решења.

Предложени софтвер написан је на основу потребе за истраживањем и развојем куће нето нулте енергетске потрошње, као и различитих технологија коришћења соларне енергије.

На основу описа техничког решења могу се донети следећи закључци:

1. Развијени софтвер представља ефикасан алат за решавање описаног проблема.
2. Софтвер за прорачун оптималног угла постављања соларних колектора је развијан према утврђеном програмском задатку, а у оквиру пројеката из области технолошког развоја и интегралних и интердисциплинарних истраживања, коришћењем експертског знања истраживача који су учествовали у развоју софтвера.
3. Софтвер за прорачун оптималног угла постављања соларних колектора омогућава прорачун оптималног угла постављања соларних колектора за различите локације и у произвољном временском периоду. Као помоћ кориснику приликом рада на програму, дефинисани су шаблони који омогућавају прорачун оптималног угла постављања соларних колектора за 10 различитих сценарија.
4. Софтвер за прорачун оптималног угла постављања соларних колектора дизајниран је у пријатном графичком окружењу и пријатељски је оријентисан ка кориснику (*user friendly*).

Дакле, „Софтвер за прорачун оптималног угла постављања соларних колектора“ има значајно место као ефикасан алат приликом одређивања оптималног угла

постављања соларних колектора у прозвольним временским периодима и избора оптималног сценарија коришћења соларних колектора. Са задовољством предлажемо Наставио научном већу Факултета инжењерских наука у Крагујевцу да се „Софтвер за прорачун оптималног угла постављања соларних колектора“ прихвати као ново техничко решење, класа М85, према класификацији из Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживања. ("Сл. Гласник РС", бр. 38/2008).

25.03.2015. у Кра ујевцу



Др Вања Шуштершич, ван. проф.



Др Драган Тарановић, доцент



УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
Факултет инжењерских наука
Број: ТР-84/2015
23. 04. 2015. године
Крагујевац

Наставно-научно веће Факултета инжењерских наука у Крагујевцу на својој седници од 23. 04. 2015. године на основу члана 205. Статута Факултета инжењерских наука, донело је

ОДЛУКУ

Усвајају се позитивне рецензије техничког решења „Софтвер за прорачун оптималног угла постављања соларних колектора“, аутора др Милана Деспотовића, редовног професора Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, др Милорада Бојића, редовног професора Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу и Владимира Недића, студента докторских студија Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.

Решење припада класи М85, према класификацији из Правилника о поступку, начину вредновању, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача („Сл. Гласник РС“ - бр. 38/2008).

Рецензенти су:

1. **Др Вања Шуштершич**, ванр. проф., Факултет инжењерских наука, Крагујевац,
Ужа научна област: Енергетика и процесна техника,
2. **Др Драган Тарановић**, доцент, Факултет инжењерских наука, Крагујевац,
Уже научне области: Моторна возила, Аутоматика и мехатроника и Друмски саобраћај.

Достављено:

- Ауторима
- Архиви

ДЕКАН ФАКУЛТЕТА ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА



Др Мирослав Живковић, редовни професор 