

## Подаци о техничком решењу

| Врста техничког решења                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| M82 – Ново техничко решење примењено на националном нивоу                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Аутори техничког решења                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Др Александар Нешовић<sup>1</sup>, научни сарадник;</li> <li>• Др Богдан Милићевић<sup>1</sup>, научни сарадник;</li> <li>• Др Александар Радаковић<sup>1</sup>, научни сарадник;</li> <li>• Др Драган Цветковић<sup>1</sup>, виши научни сарадник;</li> <li>• Др Драган Чукановић<sup>2</sup>, ванредни професор.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <sup>1</sup> Институт за информационе технологије Крагујевац, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <sup>2</sup> Факултет техничких наука, Универзитет у Приштини са привременим седиштем у Косовској Митровици, Косовска Митровица.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Назив техничког решења                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Десктоп апликација за одређивање соларног упадног угла за фиксне и једноосно покретне равне површине.</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Кључне речи                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| Једноосно праћење кретања Сунца, непокретна соларна конструкција, покретна соларна конструкција, равна површина, соларни упадни угао, соларни уређај.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Наручилац техничког решења                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Израђено за потребе <b>NEGAWATT SOLUTIONS d.o.o BEOGRAD-SAVSKI VENAC</b> , 11000 Београд, Србија.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Корисник техничког решења                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>NEGAWATT SOLUTIONS d.o.o BEOGRAD-SAVSKI VENAC</b> , 11000 Београд, Србија.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Година израде техничког решења                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 2026. година.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Година када је почело да се примењује техничко решење                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 2026. година.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Верификација резултата                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <p>M21a+</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aleksandar Nešović, Nebojša Lukić, Dragan Taranović, Novak Nikolić, THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE GLASS TUBE SOLAR COLLECTOR WITH INCLINED N-S AXIS AND RELATIVE E-W SINGLE-AXIS TRACKING FLAT ABSORBER, Applied Thermal Engineering, Vol. 236, No. D, pp. 121842, ISSN: 1359-4311, Doi: 10.1016/j.applthermaleng.2023.121842, 2024.</li> <li>• Robert Kowalik, Aleksandar Nešović, COMPREHENSIVE PERFORMANCE EVALUATION OF THE GLASS TUBE SOLAR COLLECTOR WITH RELATIVE SINGLE-AXIS TRACKING: SOLAR COLLECTOR DESIGN, MATHEMATICAL MODEL, EXPERIMENTAL VALIDATION, NUMERICAL OPTIMIZATION AND LIFE CYCLE ASSESSMENT, Applied Thermal Engineering, Vol. 285, No. -, pp. 129427, ISSN: 1359-4311, Doi: 10.1016/j.applthermaleng.2025.129427, 2026.</li> </ul> <p>M21</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aleksandar Nešović, Nebojša Lukić, Robert Kowalik, Agata Janaszek, Dragan Taranović, Tomasz Kozłowski, EXPERIMENTAL AND NUMERICAL COMPARISON OF GLASS TUBE COLLECTOR WITH RELATIVE SINGLE-AXIS TRACKING AND FLAT-PLATE COLLECTOR WITHOUT TRACKING DURING CLOUDY-SKY DAYS, Solar Energy, Vol. 291, No. -, pp. 113412, ISSN: 0038-092X, Doi: 10.1016/j.solener.2025.113412, 2025.</li> </ul> |

M51

- Aleksandar Nešović, TEORIJSKI MODEL SOLARNOG UPADNOG UGLA ZA PROIZVOLJNO ORIJENTISANU FIKSNU, RAVNU POVRŠINU, Tehnika, Vol. 77, No. 3, pp. 328-333, ISSN: 0040-2176, Doi: 10.5937/tehnika2203328N, 2022.
- Aleksandar Nešović, POREĐENJE TEORIJSKIH I IZOTROPNIH MODELA DOLAZNOG SOLARNOG ZRAČENJA ZA NAGNUTI, FIKSNI, RAVNI SOLARNI PRIJEMNIK ORIJENTISAN KA JUGU, Tehnika, Vol. 77, No. 5, pp. 553-558, ISSN: 0040-2176, Doi: 10.5937/tehnika2205553N, 2022.

**Ко је прихватио техничко решење**

Институт за информационе технологије Крагујевац, Универзитет у Крагујевцу, Крагујевац.

**Начин коришћења техничког решења**

Десктоп апликација за одређивање соларног упадног угла за фиксне и једноосно покретне равне површине користи се за почетну (брзу) процену потенцијала коришћења равних соларних уређаја (соларних пријемника, фотонапонских панела и хибридних соларних система). Софтвер је намењен пројектантима (машинским инжењерима), конструкторима, извођачима соларних уређаја, система и апликација, као и физичким лицима.

**Област на коју се техничко решење односи**

- Машинско инжењерство (енергетика и процесна техника, термодинамика и термотехника).

# Опис техничког решења

## 1. Проблеми који се предложеним техничким решењем превазилазе

Соларна техника [1] је област инжењерства која развија уређаје за претварање соларне енергије у корисне облике енергије. Соларни пријемници [2] трансформишу соларну енергију у топлотну енергију, фотонапонски панели [3] трансформишу соларну енергију у електричну енергију, док фотонапонско-термални пријемници, тј. хибридни соларни пријемници [4] трансформишу соларну енергију истовремено у топлотну и електричну енергију.

У литератури су се усталила два критеријума за класификацију свих поменутих соларних уређаја. Према првом класификационом критеријуму, соларни уређаји могу бити неконцентришући и концентришући, а према другом класификационом критеријуму непокретни и покретни. У концентришуће соларне уређаје спадају линијски и тачкасто концентришући, док је основна подела покретних соларних уређаја на једноосно (соларни са једним степеном слободe) и двоосно (са два степена слободe) покретне. Детаљније информације у вези са класификационим критеријумима могу се пронаћи у [5].

У општем смислу, експлоатационе термичке перформансе соларних уређаја, како покретних и непокретних, тако концентришућих и неконцентришућих, уско су повезане са условима рада који треба да буду оптимални. Овде се првенствено мисли на правилно димензионисање система, њихову оријентацију и постављање (уградњу), уз максимално избегавање ефеката соларног сенчења. У пракси се неретко може видети да се ови услови не испуњавају (Слика 1). Тиме се бесплатна и неисцрпна соларна енергија користи неадекватно, нарушавају се термички индикатори соларних уређаја, остварује се мања новчана добит, продужава се период повраћаја инвестиционих трошкова и угрожава животна средина (због додатног ангажовања других термотехничких система).



Слика 1. Пример добре и лоше праксе уградње соларних пријемника за загревање топле потрошне воде на територији града Крагујевца.

Да би се овакве, и сличне, ситуације убудуће избегле у пракси, у оквиру овог техничког решења представљена је **Десктоп апликација за одређивање соларног упадног угла за фиксне и једноосно покретне равне површине.**

Треба напоменути да је **Апликација** креирана са акцентом на једноосно покретним соларним уређајима јер представљају веома занимљиву групу која би могла имати већу комерцијалну примену, нарочито у стамбеном и индустријском сектору. Наиме, за разлику од двоосно покретних, мање су комплексни за израду, транспорт, уградњу и

одржавање. Изискују и мање простора за несметан рад, уз достизање адекватних термичких перформанси (првенствено се мисли на корисну топлотну снагу и термичку ефикасност). Због свега наведеног, јасно је да једноосно покретни соларни уређаји нуде компромисно решење између фиксних (са једне стране) и двоосно покретних (са друге стране).

**Десктоп апликација** креирана је са циљем да се за жељено (потенцијално) место уградње, на брз и једноставан начин, изврши почетна процена коришћења фиксних или једноосно покретних равних соларних уређаја, и то на основу одређивања вредности соларног упадног угла (*Поглавље 4*). Другим речима, **Десктоп апликација** служи да се за унапред одабране фиксне или једноосно покретне равне соларне уређаје одаберу најбоље (од понуђених) локације за њихову уградњу. **Апликација** такође нуди могућност међусобног поређења 3 типа фиксних и 6 типова једноосно покретних равних соларних уређаја на дневном нивоу за било који дан у години. Као таква, **Апликација** је намењена пројектантима, инжењерима, конструкторима, извођачима соларних уређаја, система и апликација, као и физичким лицима.

## 2. Стање решености проблема у свету

У литератури (научним и стручним круговима) доступан је велики број радова који су се бавили конвенционалним и неконвенционалним једноосно покретним соларним уређајима. У наставку ће бити представљено неколико прегледних радова са компарацијом различитих типова једноосно покретних равних соларних уређаја.

Теоријско истраживање, доступно у [6], показало је да је термичка ефикасност покретног (око С-Ј осе ротације) равног соларног пријемника већа за 5-10% у односу на непокретни (фиксни) равни соларни пријемник. У Бразилу је извршено поређење фиксног равног соларног пријемника и неколико различитих типова покретних равних соларних пријемника [7]. Резултати су показали да је термичка ефикасност фиксног равног соларног пријемника била најнижа (53,66%). Са друге стране, за анализиране типове покретних равних соларних пријемника, термичка ефикасност била је распоређена на следећи начин: 57,12% (за хоризонталну И-3 осу ротације), 59,51% (за вертикалну осу ротације и равну површину нагнуту према хоризонталној равни), 62,17% (за хоризонталну осу ротације у правцу С-Ј) и 64,36% (за нагнуту осу ротације у правцу С-Ј). У [8] је спроведено поређење фиксних и једноосно покретних равних соларних пријемника, и то за 20 градова на северној хемисфери. У зависности од метеоролошких услова, термичка ефикасност покретних равних соларних пријемника кретала се од 10,38% (за хоризонталну осу ротације у правцу И-3) до 66,5% (за вертикалну осу ротације и равну површину нагнуту према хоризонталној равни). У истој студији, покретни равни соларни пријемници са нагнутом С-Ј осом ротације достигли су нижу вредност термичке ефикасности (63,06%). Једноосно покретни (у правцу И-3 око вертикалне осе ротације) и оптимално нагнути (према хоризонталној равни) фотонапонски панели, наспрам фиксних фотонапонских панела, могу повећати производњу електричне енергије за 16%, односно за 28% [9] – главни је закључак кинеских истраживача који су до ових резултата дошли употребом климатских података за преко 30 локација. У [10] је изложена упоредна анализа перформанси фиксних и једноосних покретних фотонапонских панела, која може бити од користи за регионе који се налазе у близини екватора.

Иста тема је, у одређеној мери, обрађена у домаћим (*Лукић и Бабић* [11], *Деснотовић* [12], *Павловић и Чабрић* [13], *Лаловић* [14], итд.) и међународним (*Rabl* [15], *Stine и Harrigan* [16], *Kalogirou* [17], *Widén и Munkhammar* [18], итд.) књигама.

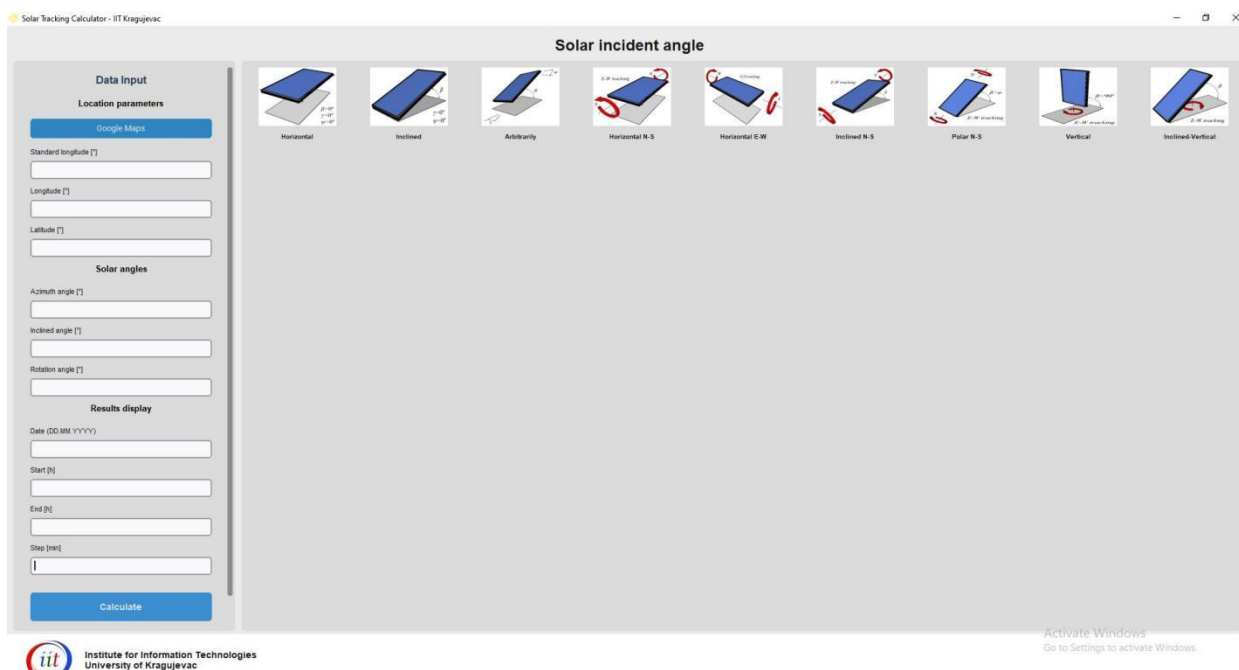
Такође, развијено је и неколико десктоп и мобилних апликација које се баве праћењем производње и потрошње соларне енергије (првенствено у домаћинствима), попут *SolarSquare App*, *SOLARMAN Smart*, *Solar & Sun Position Tracker*, *EasySolarCalculator*, *Sun Tracker - Sun Position App*, итд. Међутим, примећено је да исте не нуде могућност анализе

термичких перформанси соларних уређаја опремљених разним стратегијама праћења кретања Сунца.

### 3. Суштина предложеног техничког решења

На основу изнетих ставова у вези са уоченим проблемима који се јављају у пракси (Поглавље 1) и досадашњим трендовима за превазилажење истих (Поглавље 2), ово техничко решење попуњава уочену стручну и научну празнину развијањем **Десктоп апликације** (Слика 2) за одређивање вредности соларног упадног угла ( $\cos\theta$  [-]), и то за следеће равне соларне уређаје (детаљно појашњене у Поглављу 4):

- Фиксне уређаје (површине): хоризонтално постављене, нагнуте према хоризонталној равни (површина је оријентисана ка екватору) и произвољно постављене у простору;
- Једноосно покретне уређаје (површине): са хоризонталном С-Ј осом ротације, са хоризонталном И-З осом ротације, са нагнутом С-Ј осом ротације (површина је оријентисана ка екватору), са поларном С-Ј осом ротације (површина је такође оријентисана ка екватору), са вертикалном осом ротације (површина је ортогонална у односу на хоризонталну раван), са вертикалном осом ротације (површина је нагнута у односу на хоризонталну раван).



Слика 2. Почетни кориснички интерфејс Десктоп апликације за одређивање соларног упадног угла за фиксне и једноосно покретне равне површине.

Између осталог, суштина представљене Десктоп апликације огледа се у следећим могућностима примене:

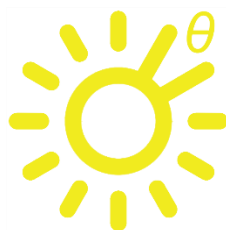
- Одређивање соларног упадног угла за 3 типа фиксних и 6 типова једноосно покретних равних соларних уређаја;
- Одређивање соларног упадног угла за било коју локацију, за било који временски тренутак током дана и за било који дан у години;
- Поређење просечних дневних вредности соларног упадног угла за све анализиране случајеве;
- Графичко представљање дневне криве соларног упадног угла за све анализиране случајеве, у зависности од одабраног временског оквира и корака мерења;
- Извоз података у .exe формату;

- Преузимање параметара локације (географске ширине и дужине) са *Google Maps* апликације.

#### 4. Детаљан опис предложеног техничког решења

##### 4.1 Архитектура десктоп апликације

**Десктоп апликација** (Слика 3) је пројектована у програмском језику *Python* коришћењем објектно оријентисане парадигме. Примењена је модуларна архитектура, где класа *SolarApp* енкапсулира логику интерфејса, математичке моделе и методе за управљање подацима. Графички кориснички интерфејс имплементиран је путем библиотеке *CustomTkinter*, која обезбеђује хардверски убрзан рендеринг елемената и модеран стил. За визуелизацију резултата (вредности соларних упадних углова) у реалном времену интегрисан је *Matplotlib backend* унутар *Tkinter* окружења. Рачунски модул се ослања на *NumPy* библиотеку за извођење тригонометријских операција у векторском облику. Алгоритам врши прорачун упадног угла сунчевог зрачења за 9 различитих конфигурација равних соларних уређаја: 3 фиксне конфигурације и 6 једноосно покретних конфигурација. Управљање подацима је поверено библиотеци *Pandas*, која генерисане временске серије конвертује у структуриране *DataFrame* објекте. Ово омогућава ефикасно израчунавање статистичких средњих вредности и интеграцију са екстерним фајл-системима (.exe).



Слика 3. Почетна иконица Десктоп апликације

За геопросторну оријентацију користи се *TkinterMapView* виџет који путем *API*-ја омогућава интерактивну селекцију *GPS* координата директно на мапи. Овај модул врши повратну спрегу са улазним пољима, аутоматски ажурирајући параметре географске ширине и дужине унутар прорачунског језгра, чиме се минимизује корисничка грешка при уносу података. Аутентификациони модул користи перзистентни *handshake* фајл у корисничком *home* директоријуму како би се контролисао приступ **Апликацији** без потребе за екстерном базом података. За руковање ресурсима, имплементирана је функција за мапирање релативних путања у апсолутне, ради стабилности **Апликације** након процеса замрзавања кода (енгл. *freezing*) у извршни .exe фајл помоћу *PyInstaller*-а.

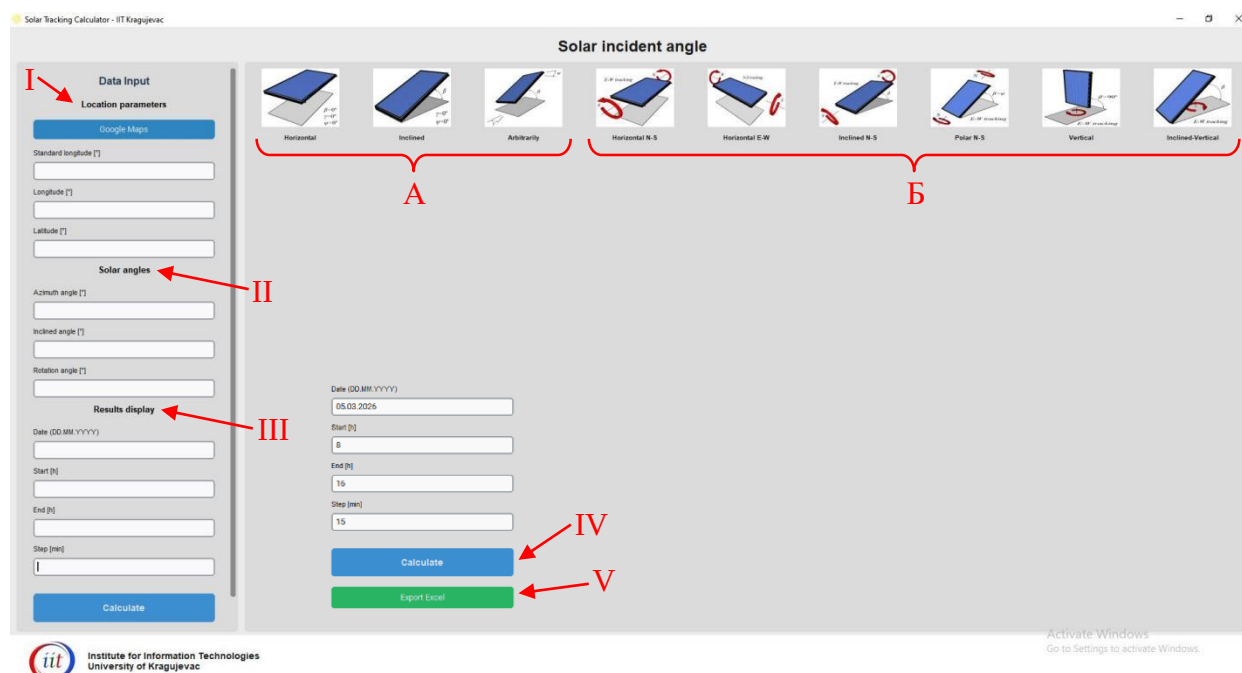
##### 4.2 Кориснички интерфејс и распоред палета са алата

На *Слици 4* приказан је почетни кориснички интерфејс **Апликације** са одговарајућим пољима за унос, прорачун, графичко приказивање резултата и графичку подршку.

У првом кораку (Параметри локације), корисник **Апликације** уноси следеће вредности: стандардни меридијан (стандардну географску дужину)  $\lambda_{st}$  [°] ( $-180^\circ \leq \lambda_{st} \leq 180^\circ$ ), локални меридијан (локалну географску дужину)  $\lambda$  [°] ( $-180^\circ \leq \lambda \leq 180^\circ$ ) и локалну географску ширину  $\varphi$  [°] ( $-90^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ ). Корисник **Апликације** наведене вредности може унети ручно (директним уносом) или аутоматски (преузимањем са *Google Maps* апликације).

Соларне координате за равне соларне уређаје (азимутни угао  $\gamma$  [°] ( $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$ ), угао нагиба у правцу С-Ј  $\beta$  [°] ( $-180^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$ ) и угао нагиба у правцу И-З  $\psi$  [°] ( $-90^\circ \leq \psi \leq 90^\circ$ )) уносе се у другом кораку.

Пре приказа резултата (четврти корак) треба унети жељени дан (нпр. 07.07.2026. год.), почетни (нпр. 8 h) и крајњи (нпр. 18 h) временски тренутак, тј. временски оквир, као и интервал записа који се задаје у минутима.



Слика 4. Почетни кориснички интерфејс Десктоп апликације са пољима за унос, прорачун, графичко приказивање резултата и графичку подршку.

Након уноса свих поменутих параметара, покретањем опције *Calculate*, врше се одговарајући прорачуни и графички приказ резултата (Поглавље 4.4).

Извоз резултата (у извршни .exe фајл) могућ је на крају, у петом кораку.

Корисницима Апликације визуелну помоћ (у циљу лакшег разумевања, праћења и анализирања добијених резултата) пружају слике (примери су урађени за северну хемисферу због давања приоритета националним потребама) које се налазе у горњем делу корисничког интерфејса: група А за фиксне (њих 3) и група Б за покретне (њих 6) равне соларне уређаје.

## 4.3 Математички модел

### 4.3.1 Соларне координате

У наставку ће бити дефинисане соларне координате, тј. соларни углови, без којих није могуће одредити соларне упадне углове:

- Деклинација  $\delta$  [°] (Једначина 1) представља угао између екваторске равни која садржи средиште Земље и дужи која спаја средиште Земље и средиште Сунца;
- Географска ширина  $\varphi$  [°] је угао између екваторске равни и дужи која спаја посматрану тачку на Земљи и њено средиште;
- Часовни угао  $\omega$  [°] (Једначина 2) дефинише се као угао између локалне географске дужине и географске дужине у којој је Сунце у свом зениту;
- Географска дужина  $\lambda$  [°] може се дефинисати као угаона удаљеност вертикалне равни која садржи средиште Земље и посматрану тачку од референтне вертикалне равни која садржи нулти меридијан;
- Угао висине Сунца  $\alpha$  [°] је угао који формирају Сунчеви зраци и њихова пројекција у хоризонталној равни;



- Соларни азимутни угао  $\gamma_s$  [°] одређен је осом у правцу север-југ која се налази у хоризонталној равни и пројекцијом Сунчевих зракова на исту равни;
- Азимутни угао  $\gamma$  [°] формирају пројекција нормале на посматрану површину у хоризонталној равни и оса у правцу север-југ у истој равни;
- Када се посматрана површина која лежи у хоризонталној равни закрене око осе ротације у правцу исток-запад у истој равни, добија се угао нагиба у правцу север-југ  $\beta$  [°];
- Површина која се закреће око осе ротације у правцу север-југ у хоризонталној равни са истом формира угао нагиба у правцу исток-запад  $\psi$  [°].

$$\delta = \left( 23 + \frac{27}{60} \right) \sin \left( \frac{2\pi d_{21}}{365.5} \right) \quad (1)$$

где је  $d_{21}$  [-] број дана протеклих од пролећне равнодневнице.

$$\omega = 15 \left( \frac{AST}{60} - 12 \right) \quad (2)$$

где је  $AST$  [min] параметар локалног соларног времена (*Једначина 3*):

$$AST = CT - 4(\lambda_{st} - \lambda) + E \quad (3)$$

где су:  $CT$  [min] стандардно време и  $E$  [min] једначина времена (*Једначина 4*):

$$E = 229,18 \left[ 0,000075 + 0,001868 \cos B - 0,032077 \sin B - 0,014615 \cos(2B) - 0,04089 \sin(2B) \right] \quad (4)$$

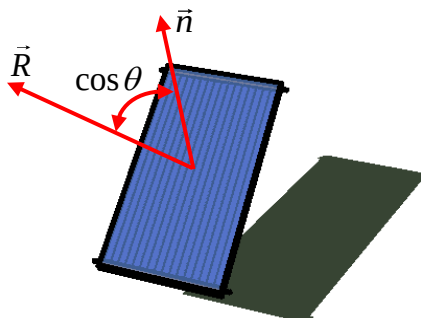
где је  $B$  [°] коефицијент дана (*Једначина 5*):

$$B = (d - 1) \frac{360}{365} \quad (5)$$

где је  $d$  [-] редни број дана у години.

#### 4.3.2 Соларни упадни углови

Према *Lambert*-овом закону, соларни упадни угао  $\cos\theta$  [-] формирају вектор положаја Сунца  $\vec{R}$  и вектор нормале  $\vec{n}$  на произвољно постављену површину равног соларног уређаја. Соларни упадни угао графички је приказан на *Слици 5*.



Слика 5. Соларни упадни угао



Соларни упадни угао  $\cos\theta$  математички се може записати *Једначином 6*:

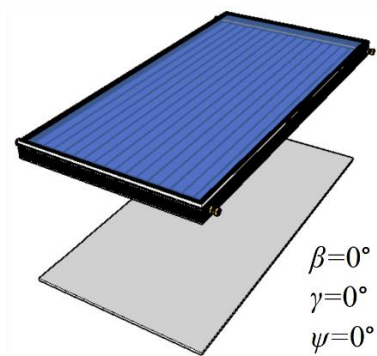
$$\cos\theta = \vec{R} \bullet \vec{n} \quad (6)$$

Соларни упадни углови за фиксне равне соларне уређаје (хоризонтално постављене  $\cos\theta_h$  [-], нагнуте према хоризонталној равни  $\cos\theta_i$  [-], као и произвољно постављене у простору  $\cos\theta_a$  [-]) описани су у наставку (*Једначине 7-9, Слике 6-8*):

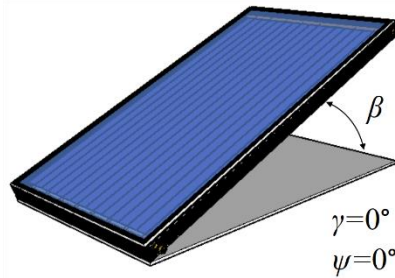
$$\cos\theta_h = \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta \cos\omega \quad (7)$$

$$\cos\theta_i = \cos\varphi \cos\delta \cos\omega \cos\beta + \sin\varphi \sin\delta \cos\beta + \sin\varphi \cos\delta \cos\omega \sin\beta - \cos\varphi \sin\delta \sin\beta \quad (8)$$

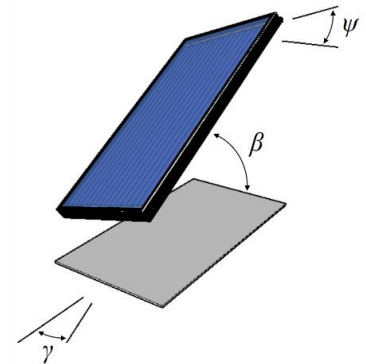
$$\begin{aligned} \cos\theta_a = & \cos\varphi \cos\delta \cos\omega \cos\beta \cos\psi + \sin\varphi \sin\delta \cos\beta \cos\psi + \\ & + \cos\delta \sin\omega \sin\gamma \sin\beta \cos\psi + \cos\delta \sin\omega \cos\gamma \sin\psi + \\ & + \sin\varphi \cos\delta \cos\omega \cos\gamma \sin\beta \cos\psi - \sin\varphi \cos\delta \cos\omega \sin\gamma \sin\psi - \\ & - \cos\varphi \sin\delta \cos\gamma \sin\beta \cos\psi + \cos\varphi \sin\delta \sin\gamma \sin\psi \end{aligned} \quad (9)$$



Слика 6. Фиксни равни соларни уређаји хоризонтално постављени



Слика 7. Фиксни равни соларни уређаји нагнута према хоризонталној равни



Слика 8. Фиксни равни соларни уређаји произвољно постављени у простору

Соларни упадни углови за равне соларне уређаје који прате кретање Сунца у правцу С-Ј око хоризонталне И-З осе ротације  $\cos\theta_{h,E-W}$  [-] (*Једначина 10, Слика 9*), односно у правцу И-З око хоризонталне С-Ј осе ротације  $\cos\theta_{h,N-S}$  [-] (*Једначина 11, Слика 10*), математички и графички су описани у наставку:

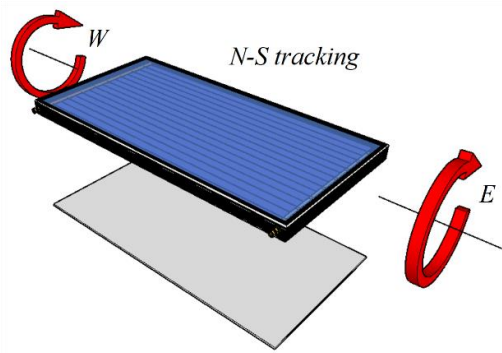
$$\cos\theta_{h,E-W} = \cos\delta \sqrt{\cos^2\omega + \tan^2\delta} \quad (10)$$

$$\cos\theta_{h,N-S} = \cos\delta \sqrt{\sin^2\omega + (\cos\varphi \cos\omega + \tan\delta \sin\varphi)^2} \quad (11)$$

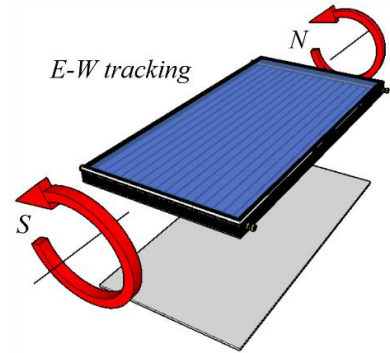
За једноосно покретне равне соларне уређаје са нагнутом С-Ј осом ротације, соларни упадни угао  $\cos\theta_{i,N-S}$  [-] одређен је на следећи начин (*Једначина 12, Слика 11*):

$$\cos\theta_{i,N-S} = \cos\delta \sqrt{\sin^2\omega + (\cos(\beta - \varphi) \cos\omega - \tan\delta \sin(\beta - \varphi))^2} \quad (12)$$

$$\cos\theta_{p,N-S} = \cos\delta \quad (13)$$

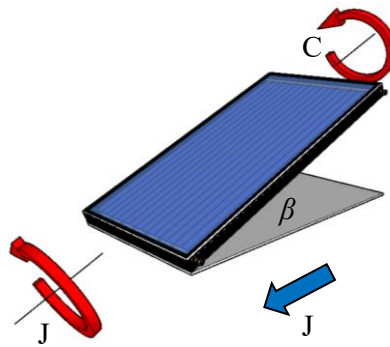


Слика 9. Једноосно покретни равни соларни уређаји са хоризонталном И-З осом ротације



Слика 10. Једноосно покретни равни соларни уређаји са хоризонталном С-Ј осом ротације

Специфичан случај  $\cos\theta_{i,N-S}$  једноосног праћења Сунца, у литератури познат и као једноосно праћење Сунца са поларном С-Ј осом ротације  $\cos\theta_{p,N-S}$  [-] (Једначина 13), остварује се када се у Једначини 12 испуни услов  $\beta=\varphi$ .

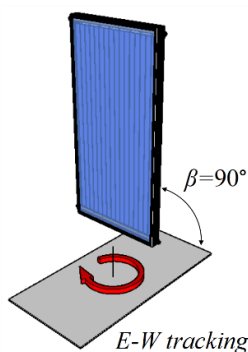


Слика 11. Једноосно покретни равни соларни уређаји са нагнутом С-Ј осом ротације

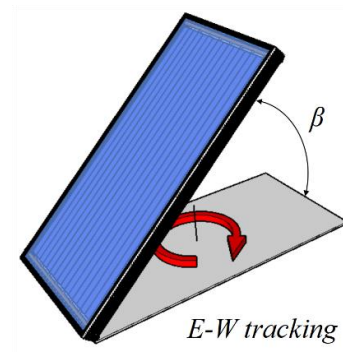
У пракси се примењују још две варијанте једноосног праћења Сунца, и то са вертикалним осама ротације. У првом случају треба да буде испуњен услов  $\beta=90^\circ$  (Једначина 14, Слика 12), а у другом  $\beta\neq 90^\circ$ , односно  $0^\circ<\beta<90^\circ$  (Једначина 15, Слика 13):

$$\cos\theta_v = \cos\delta\sqrt{\sin^2\omega + (\sin\varphi\cos\omega - \tan\delta\cos\varphi)^2} \quad (14)$$

$$\cos\theta_{v,i} = \cos\theta_h \cos\beta + \sin\theta_h \sin\beta \quad (15)$$



Слика 12. Једноосно покретни равни соларни уређаји са вертикалном осом ротације, при чему је површина ортогонална у односу на хоризонталну раван



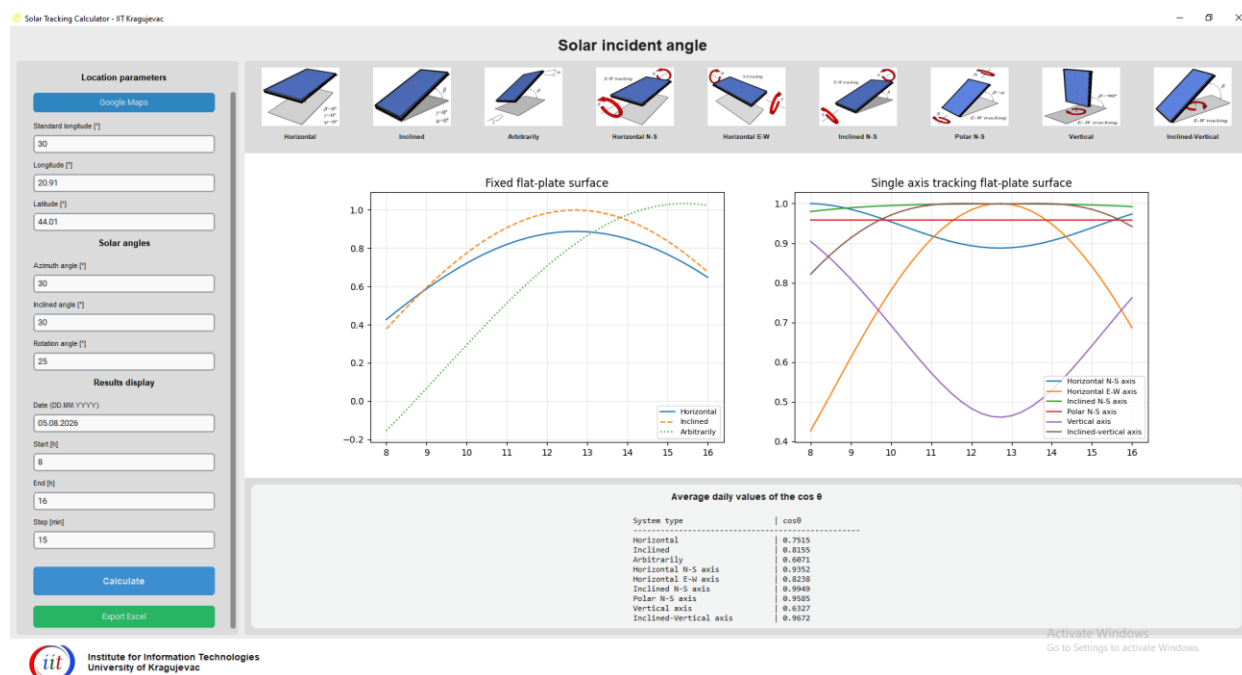
Слика 13. Једноосно покретни равни соларни уређаји са вертикалном осом ротације, при чему је површина нагнута у односу на хоризонталну раван

## 4.4 Угледни пример

На наредној слици (Слика 14) може се видети изглед корисничког интерфејса након дефинисања свих потребних параметара и покретања прорачуна.

Леви дијаграм приказује резултате за фиксне равне соларне уређаје, док се на десном дијаграму приказују резултати за једноосно покретне равне соларне уређаје.

У доњем (текстуалном) делу корисничког интерфејса приказују се просечне дневне вредности соларних упадних углова за свих 9 типова соларних уређаја, на основу којих корисник лако може закључити која је опција за њега у датим условима најповољнија, односно најбоља.



Слика 14. Пример визуелизације добијених резултата

Угледни пример је урађен за град Крагујевац, што се може закључити на основу дефинисаних параметара локације (Слика 14). У овом конкретном случају резултати су приказани за 05.08.2026. год, у периоду од 8-15 h, са кораком записа на сваких 15 минута.

## 5. Закључак

Током спровођења теоријских, нумеричких и експерименталних испитивања (верификованих објављивањем радова у домаћим и међународним часописима), примећено је да се у пракси и даље праве пропусти приликом инсталирања (уградње, постављања) соларних уређаја. Стога се јавила потреба да се у сарадњи са привредом развије **Десктоп апликација за одређивање соларног упадног угла за фиксне и једноосно покретне равне површине**, која је представљена у оквиру овог техничког решења.

**Десктоп апликацијом** обухваћени су фиксни равни соларни уређаји (због највеће комерцијалне примене) и једноосно покретни соларни уређаји (због великог потенцијала за будућу комерцијалну примену). Као таква, **Апликација** поседује широку област примене и веома је корисна у почетним фазама пројектовања. **Апликација** је такође веома једноставна за рад, при чему корисник веома брзо може доћи до битних закључака који му могу помоћи да усмери даља истраживања и испитивања.

Коришћењем **Апликације** (од стране пројектаната, инжењера, конструктора, извођача као и физичких лица) позитивно се доприноси развоју соларне технике, а позитивне

последнице тога су максимизирање производње топлотне и/или електричне енергије, редуковање потрошње финалне и примарне енергије, смањење емисије гасова са ефектом стаклене баште (првенствено CO<sub>2</sub>) и остваривање бенефита за крајњег корисника у економском смислу.

## 6. Литература

- [1] Settino, J., Sant, T., Micallef, C., Farrugia, M., Staines, C. S., Licari, J., Micallef, A. (2018). Overview of solar technologies for electricity, heating and cooling production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 892-909.
- [2] Hashim, W. M., Shomran, A. T., Jurmut, H. A., Gaaz, T. S., Kadhum, A. A. H., Al-Amiery, A. A. (2018). Case study on solar water heating for flat plate collector. *Case Studies in Thermal Engineering*, 12, 666-671.
- [3] Vimala, M., Ramadas, G., Perarasi, M., Manokar, A. M., Sathyamurthy, R. (2023). A review of different types of solar cell materials employed in bifacial solar photovoltaic panel. *Energies*, 16(8), 3605.
- [4] Shan, F., Tang, F., Cao, L., Fang, G. (2014). Performance evaluations and applications of photovoltaic-thermal collectors and systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 467-483.
- [5] Нешовић, А. (2023). *Експериментално и теоријско истраживање соларног пријемника са ротационим апсорберима*. Докторска дисертација. Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.
- [6] Neville, R. C. (1978). Solar energy collector orientation and tracking mode. *Solar Energy*, 20(1), 7-11.
- [7] Maia, C. B., Ferreira, A. G., Hanriot, S. M. (2014). Evaluation of a tracking flat-plate solar collector in Brazil. *Applied Thermal Engineering*, 73(1), 953-962.
- [8] Bahrami, A., Okoye, C. O., Pourasl, H. H., Khojastehnezhad, V. M. (2022). Techno-economic comparison of fixed and tracking flat plate solar collectors in the northern hemisphere. *Journal of Cleaner Production*, 378, 134523.
- [9] Li, Z., Liu, X., Tang, R. (2011). Optical performance of vertical single-axis tracked solar panels. *Renewable Energy*, 36(1), 64-68.
- [10] Vieira, R. G., Guerra, F. K. O. M. V., Vale, M. R. B. G., Araújo, M. M. (2016). Comparative performance analysis between static solar panels and single-axis tracking system on a hot climate region near to the equator. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 672-681.
- [11] Лукић, Н., Бабић, М. (2008). *Соларна енергија – Монографија*. Машински факултет Универзитета у Крагујевцу.
- [12] Деспотовић, М. (2011). *Обновљиви извори енергије*. Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу.
- [13] Павловић, Т. М., Чабрић, Б. Д. (1994). *Соларна енергетика*. Филозофски факултет Универзитета у Нишу.
- [14] Лаловић, Б. (1982). *Насушно сунце*. Полит. Београд.
- [15] Rabl, A. (1985). *Active solar collectors and their applications – First edition*. Oxford University Press.
- [16] Stine, W. B., Harrigan, R. W. (1985). *Solar energy fundamentals and design: With computer applications*. Wiley-Interscience.
- [17] Kalogirou, S. A. (2013). *Solar energy engineering – Processes and Systems*. Academic Press.
- [18] Widén, J., Munkhammar, J. (2019). *Solar radiation theory*. Department of Engineering Sciences University of Uppsala.

**МИНИСТАРСТВО НАУКЕ,  
ТЕХНОЛОШКОГ РАЗВОЈА И ИНОВАЦИЈА**

**Матични научни одбор за енергетику,  
рударство и енергетску ефикасност**

**ТР 01/2026**

Београд 30.04.2026. године

На основу захтева 01 - 739 од 24.3.2026.године, који је упутило Научно веће Института за информационе технологије Крагујевац за верификацију техничког решења под називом: „Десктоп апликација за одређивање соларног упадног угла за фиксне и једноосно покретне равне површине“, чији су аутори Александар Нешовић, Богдан Милићевић, Александар Радаковић, Драган Цветковић и Драган Чукановић, а према Правилнику о стицању истраживачких и научних звања („Сл. Гласник РС бр.80/24 и 70/25“), Матични научни одбор за енергетику, рударство и енергетску ефикасност је на седници одржаној 30.04.2026. године разматрао исти и донео одлуку да предлаже признавање техничког решења у категорији:

**М82 – Ново техничко решење примењено на националном нивоу**

**Матични научни одбор за енергетику,  
рударство и енергетску ефикасност**

председник

  
**проф. др Милош Бањац**