

# Соларни упадни углови за равне површине опремљене различитим стратегијама једноосног праћења положаја Сунца

АЛЕКСАНДАР М. НЕШОВИЋ, Универзитет у Крагујевцу,  
Институт за информационе  
технологије Крагујевац, Крагујевац  
ORCID: 0000-0002-1690-2389

БОГДАН Ж. МИЛИЋЕВИЋ, Универзитет у Крагујевцу,  
Институт за информационе  
технологије Крагујевац, Крагујевац  
ORCID: 0000-0002-0315-8263

АЛЕКСАНДАР Б. РАДАКОВИЋ, Универзитет у Крагујевцу,  
Институт за информационе  
технологије Крагујевац, Крагујевац  
ORCID: 0000-0002-7355-7403

Оригинални научни рад  
UDC: 621.383.51:514.742.4  
DOI: 10.5937/tehnika2604373N

У овом раду представљени су теоријски модели за одређивање соларних упадних углова за равне површине (равне соларне уређаје) опремљене следећим стратегијама једноосног праћења положаја Сунца: хоризонталним (1) И-3 и (2) С-Ј осама ротације, (3) нагнутим С-Ј осама ротације, (4) поларним (угао нагиба равних површина према хоризонталној равни одговара вредности локалне географске ширине) С-Ј осама ротације, као и вертикалним осама ротације када су равне површине (5) ортогоналне и (6) нагнуте према хоризонталној равни. Иако су наведене стратегије широко распрострањене, оне немају исти учинак, па је, кроз међусобно поређење, неопходно истаћи њихове добре и лоше стране. Тиме се стичу неопходне информације да се за дате локацијске параметре, расположиви простор за уградњу, доба дана и корак праћења изврши правилно димензионисање соларних уређаја.

**Кључне речи:** једноосно праћење, равне површине, соларни упадни углови, соларни уређаји, стратегије праћења Сунца

## 1. УВОД

Соларни упадни угао<sup>1</sup>  $\cos\theta$  [-] представља угао између вектора нормале на посматрану<sup>2</sup> површину  $\vec{n}$  и вектора положаја Сунца  $\vec{R}$  [1]. Соларни упа-

$$\cos\theta = \vec{R} \bullet \vec{n} \quad (1)$$

Адреса аутора: Александар Нешовић, Универзитет у Крагујевцу, Институт за информационе технологије Крагујевац, Крагујевац, Лицеја Кнежевине Србије 1А

e-mail: aca.nesovic@gmail.com

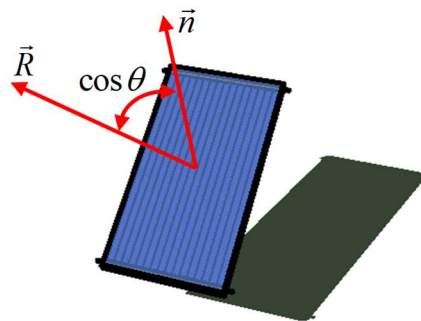
Рад примљен: 20.02.2026.

Рад прихваћен: 14.07.2026.

<sup>1</sup> Енгл. Solar incident angle.

<sup>2</sup> У овом раду се конкретно мисли на равну површину.

дни угао се може описати математички (као скаларни производ два вектора, једначина 1), односно графички (слика 1).



Слика 1 – Соларни упадни угао

Вектори  $\vec{R}$  и  $\vec{n}$  зависе од следећих соларних координата<sup>3</sup> [2]: деклинације  $\delta$  [°], географске ши-

<sup>3</sup>Соларни углови.

рине  $\varphi$  [°], часовног угла  $\omega$  [°], географске дужине  $\lambda$  [°], угла висине Сунца  $\alpha$  [°], соларног азимутног угла  $\gamma_s$  [°], азимутног угла посматране површине  $\gamma$  [°], угла нагиба посматране површине у правцу С-Ј  $\beta$  [°] и угла нагиба посматране површине у правцу И-З  $\psi$  [°]. Све наведене координате детаљно су дефинисане и описане у [3].

Соларни упадни угао се у соларној техници користи да опише „квалитет“ коришћења неисцрпне, тј. обновљиве, соларне енергије. Уколико се у неком временском тренутку током дана, примера ради, достигне вредност  $\cos\theta=1$ , то значи да је претходно испуњен услов  $\vec{n} \perp \vec{R}$ , односно да је прикупљање директне компоненте долазног соларног зрачења максимизирано. Поменути услов на целодневном плану испуњавају једино стратегије које се базирају на двоосном<sup>4</sup> праћењу положаја Сунца.

Међутим, двоосне стратегије су сложене, комплексне и изискују висока инвестициона улагања (исто важи за управљање и одржавање). Пошто их, између осталог, одликује и велика запреминска заузетост<sup>5</sup> [4], јасно је да у неким случајевима (у стамбеном сектору, на пример), њихова примена може бити неоправдана и неоснована.

За разлику од двоосних стратегија, једноосне<sup>6</sup> стратегије су, у финансијском и технолошком смислу, мање комплексне за израду, транспорт, уградњу и одржавање. Такође изискују и мање простора за несметани рад, при чему остварују задовољавајуће вредности  $\cos\theta$ . Због свега наведеног, могло би се рећи да једноосне стратегије за праћење положаја Сунца нуде компромисно решење између фиксних (са једне стране) и двоосно покретних (са друге стране) површина. Неколико међународних прегледних радова (са најзначајнијим резултатима) биће описано у наставку, који су се бавили применом различитих једноосних стратегија у соларним уређајима, попут равних соларних пријемника<sup>7</sup> (РСП) и фотонапонских<sup>8</sup> (ФН) панела:

- Теоријско истраживање, доступно у [5], показало је да је термичка ефикасност покретног (око С-Ј осе ротације) РСП виша за 5-10% наспрам непокретног (фиксног) РСП;
- У Бразилу је извршено поређење фиксног РСП и неколико различитих типова покретних РСП [6]. Резултати су показали да је термичка ефи-

касност фиксног РСП била најнижа (53,66%). Са друге стране, за анализиране типове покретних РСП, термичка ефикасност била је на следећи начин распоређена: 57,12% (за хоризонталну И-З 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 [7] је спроведено поређење фиксног и једноосно покретних РСП, и то за 20 градова на северној хемисфери. У зависности од метеоролошких услова, термичка ефикасност покретних РСП кретала се од 10,38% (за хоризонталну осу ротације у правцу И-З) до 66,5% (за вертикалну осу ротације и равну површину нагнуту према хоризонталној равни). У истој студији, покретни РСП са нагнутом С-Ј осом ротације достигли су нижу вредност (<66,5%) термичке ефикасности, односно 63,06%;
- Једноосно покретни (у правцу И-З око вертикалне осе ротације) и оптимално нагнута (према хоризонталној равни) ФН панели, наспрам фиксних ФН панела, могу повећати производњу електричне енергије за 16%, односно за 28% [8] – главни је закључак кинеских истраживача који су до ових резултата дошли употребом климатских података за преко 30 локација.
- У [9] је изложена упоредна анализа перформанси фиксних и једноосно покретних ФН панела, која може бити од користи за регионе који се налазе у близини екватора.

Из наведених, као и из овде ненаведених литературних примера, може се закључити да се бенефити од примене једноосних стратегија најчешће процењују на основу следећих термичких показатеља: (1) корисне топлотне снаге<sup>9</sup> и термичке ефикасности<sup>10</sup> (за соларне пријемнике), као и (2) произведене количине електричне енергије<sup>11</sup> (за ФН панеле).

Наспрам њих, овај рад, могло би се рећи, ексергијски процењује (на примеру Крагујевца, Шумадија, Централна Србија) потенцијале коришћења следећих 6 једноосних стратегија за праћење Сунца: (1) са хоризонталним И-З осама ротације, (2) са хоризонталним С-Ј осама ротације, (3) са нагнутим С-Ј осама ротације, (4) са поларним С-Ј осам ротације, (5) са вертикалним осама ротације за ортогоналне површине према хоризонталној равни

<sup>4</sup> Енгл. *Dual-axis tracking mechanisms*.

<sup>5</sup> Простор за неометано функционисање.

<sup>6</sup> Енгл. *Single-axis tracking mechanisms*.

<sup>7</sup> Енгл. *Solar collectors*.

<sup>8</sup> Енгл. *Photovoltaic panels*.

<sup>9</sup> Енгл. *Useful heat power*.

<sup>10</sup> Енгл. *Thermal efficiency*.

<sup>11</sup> Енгл. *Electricity production*

и (6) са вертикалним осама ротације за нагнуте површине према хоризонталној равни.

Једначине приказане у овом раду представљају теоријску методологију за одабир адекватне једноосне стратегије, која се без додатних модификација може применити на било којој другој локацији. Универзалност математичког приступа елиминисање потребу за компликованим додатним калибрацијама и скупим софтверским симулацијама. На овај начин се убрзава, поједностављује и оптимизује почетна фаза пројектовања соларних уређаја.

## 2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДЕ

### 2.1. Соларне координате

Коефицијент дана  $B$  [°] може бити одређен помоћу једначине 2, дате у наставку [10-14]:

$$B = (d - 1) \frac{360}{365} \quad (2)$$

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

Вредност  $B$  [°] је неопходна да би се математички описала једначина времена  $E$  [min] (једначина 3) [10-14]:

$$E = 229,18 \begin{bmatrix} 0,000075 + 0,001868 \cos B \\ -0,032077 \sin B - 0,014615 \cos(2B) \\ -0,04089 \sin(2B) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Сада се може израчунати параметар локалног соларног времена  $AST$  [min] (једначина 4) [10-14]:

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

где су:  $CT$  [min] стандардно време и  $\lambda_{ST}$  [°] стандардни меридијан.

На крају се соларне координате  $\omega$  [°] и  $\delta$  [°] могу описати помоћу следећих израза (једначине 5 и 6) [10-14]:

$$\omega = 15 \left( \frac{AST}{60} - 12 \right) \quad (5)$$

$$\delta = \left( 23 + \frac{27}{60} \right) \sin \left( \frac{2\pi d_{21}}{365.5} \right) \quad (6)$$

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

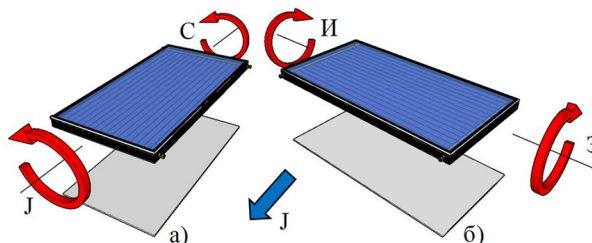
### 2.2 Једноосне стратегије

Соларни упадни углови за равне површине које прате положај Сунца у правцу И-З око хоризонталне С-Ј осе ротације  $\cos\theta_{h,N-S}$  [-] (једначина 7, слика 2а), односно у правцу С-Ј око хоризонталне И-З осе ротације  $\cos\theta_{h,E-W}$  [-] (једначина 8, слика

2б), математички и графички су описани у наставку [10-14]:

$$\cos\theta_{h,N-S} = \cos\delta \sqrt{\sin^2\omega + \left( \frac{\cos\varphi \cos\omega + \tan\delta \sin\varphi}{\cos\delta} \right)^2} \quad (7)$$

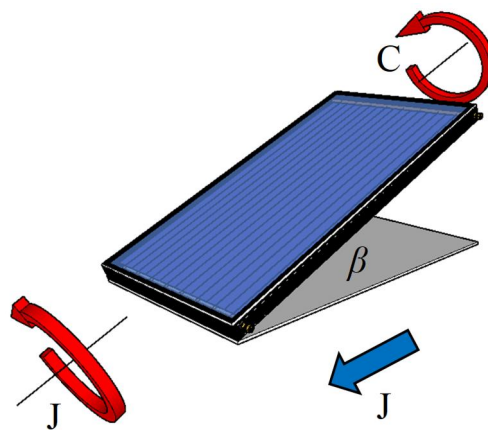
$$\cos\theta_{h,E-W} = \cos\delta \sqrt{\cos^2\omega + \tan^2\delta} \quad (8)$$



Слика 2 – Једноосне стратегије за праћење положаја Сунца са хоризонталним (а) С-Ј и (б) И-З осама ротације

За једноосно покретне равне површине са нагнутим С-Ј осама ротације, соларни упадни углови  $\cos\theta_{i,N-S}$  [-] одређени су на следећи начин (једначина 9, слика 3) [10-14]:

$$\cos\theta_{i,N-S} = \cos\delta \sqrt{\sin^2\omega + \left( \frac{\cos(\beta - \varphi) \cos\omega - \tan\delta \sin(\beta - \varphi)}{\cos\delta} \right)^2} \quad (9)$$



Слика 3 – Једноосне стратегије за праћење положаја Сунца са нагнутим С-Ј осама ротације

Специфичан случај  $\cos\theta_{i,N-S}$  стратегије, у литератури познат и као једноосно праћење положаја Сунца са поларном С-Ј осом ротације  $\cos\theta_{p,N-S}$  [-] (једначина 10), остварује се када се у једначини 9 испуни услов  $\beta = \varphi$  [10-14]:

$$\cos\theta_{p,N-S} = \cos\delta \quad (10)$$

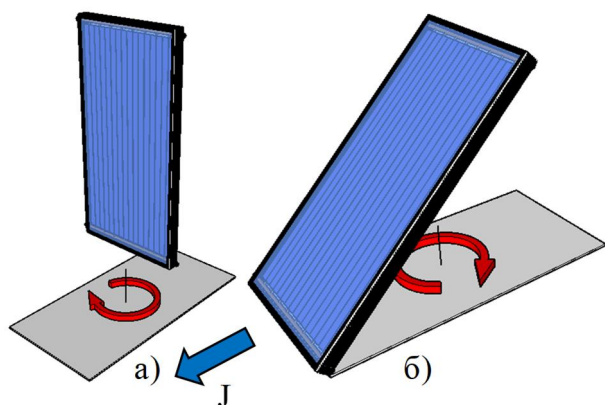
У пракси се примењују још две варијанте једноосног праћења положаја Сунца, и то са вертикалним осама ротације. У првом случају треба да буде испуњен услов  $\beta=90^\circ$  (једначина 11, слика 4а), док је у другом  $\beta \neq 90^\circ$ , односно  $0^\circ < \beta < 90^\circ$  (једначина 12, слика 4б) [10-14]:

$$\cos \theta_v = \cos \delta \sqrt{\sin^2 \omega + \left( \sin \varphi \cos \omega - \tan \delta \cos \varphi \right)^2} \quad (11)$$

$$\cos \theta_{v,i} = \cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \quad (12)$$

где је  $\cos \theta_z$  [-] соларни упadni угао за хоризонталне површине (једначина 13).

$$\cos \theta_z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (13)$$



Слика 4 – Једноосне стратегије за праћење положаја Сунца са вертикалним осама ротације

ције за (а) ортогоналне и (б) нагнуте површине у односу на хоризонталну раван

### 2.3 Параметри локације и гранични услови

У наредним табелама биће приказани локацијски параметри (табела 1) и гранични услови (табела 2) за град Крагујевац, који су коришћени за поређење једноосних стратегија за праћење положаја Сунца презентованих у поглављу 2.2.

Табела 1. Параметри локације за град Крагујевац

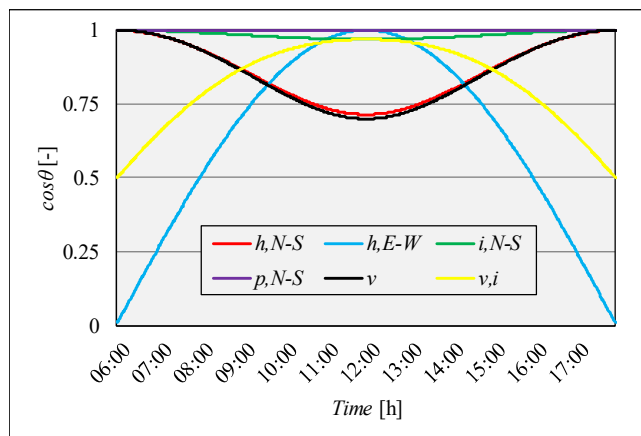
|                    |                                        |
|--------------------|----------------------------------------|
| $\lambda_{ST}$ [°] | 15 (зимска сезона) и 30 (летња сезона) |
| $\lambda$ [°]      | 20,91                                  |
| $\varphi$ [°]      | 44,01                                  |

Табела 2. Гранични услови за град Крагујевац

|                     |                                                 |
|---------------------|-------------------------------------------------|
| $\beta$ [°]         | 34 [15]                                         |
| Временски оквир [h] | Трајање обданице                                |
| Корак мерења [min]  | 1                                               |
| Одабрани датуми [-] | 20. март, 21. јун, 23. септембар и 21. децембар |

### 3. РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА

Као што је већ поменуто у поглављу 2.3 (табела 1 и 2), у овом поглављу биће приказана следећа 4 дијаграма (дијаграми 1-4), како би се једноосне стратегије упоредили током 4 карактеристична дана у години: пролећне равнодневице (дијаграм 1), летње дугодневице (дијаграм 2), јесење равнодневице (дијаграм 3) и зимске краткодневице (дијаграм 4).



Дијаграм 1 – Поређење једноосних стратегија током пролећне равнодневице (20. март)

На основу дијаграма 1 (случај пролећне равнодневице, 20. март, време изласка Сунца у 05:46 h, време заласка Сунца у 17:43 h) могу се одредити просечне дневне вредности  $\cos \theta$  за све разматране случајеве једноосног праћења:  $\cos \theta_{h,N-S}=0,862$ ,  $\cos \theta_{h,E-W}=0,638$ ,  $\cos \theta_{i,N-S}=0,984$ ,  $\cos \theta_{p,N-S}=1,000$ ,  $\cos \theta_v=0,857$  и  $\cos \theta_{v,i}=0,822$ . Из наведеног

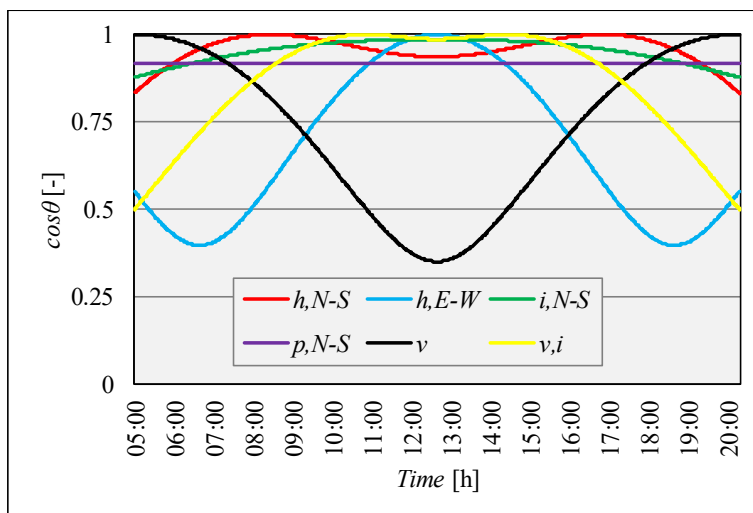
се може извести закључак да су  $\cos \theta_{p,N-S}$  и  $\cos \theta_{i,N-S}$  најпогодније стратегије, док стратегије  $\cos \theta_{h,N-S}$  и  $\cos \theta_v$  пун потенцијал остварују у јутарњим и вечерњим сатима.

Са друге стране, парабола  $\cos \theta_{h,E-W}$  показује најлошије резултате, иако се у тренутку соларног поднева тангира са  $\cos \theta_{p,N-S}$ . Између  $\cos \theta_{h,N-S}$ ,  $\cos \theta_v$

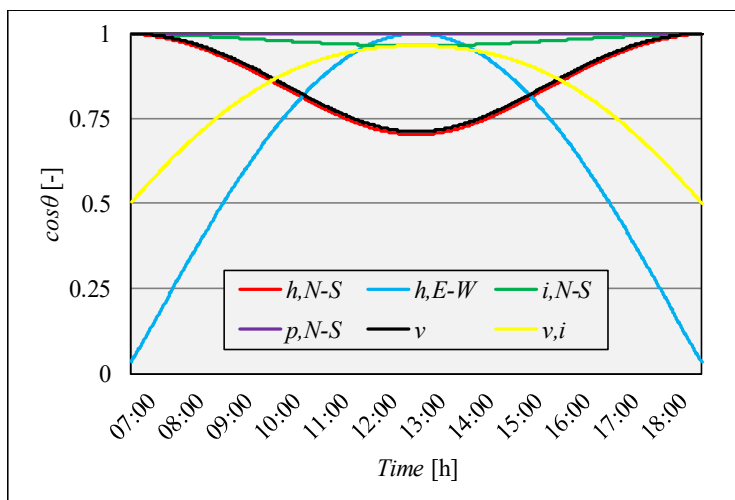
и  $\cos\theta_{v,i}$  опција, предност се у овом случају даје  $\cos\theta_{h,N-S}$ .

За разлику од пролећне равнодневице, током летње дугодневице (21. јун, време<sup>12</sup> изласка у 04:59 h, време заласка у 20:17 h) остварују се следеће просечне дневне вредности  $\cos\theta$  (дијаграм 2):  $\cos\theta_{h,N-S}=0,958$  (највиша просечна дневна вредност),  $\cos\theta_{h,E-W}=0,672$  (најнижа просечна дневна

вредност),  $\cos\theta_{i,N-S}=0,953$ ,  $\cos\theta_{p,N-S}=0,917$ ,  $\cos\theta_v=0,729$  и  $\cos\theta_{v,i}=0,863$ . Јасно је да се у овом случају (дијаграм 2) блага предност коришћења даје  $\cos\theta_{h,N-S}$  над  $\cos\theta_{i,N-S}$  и  $\cos\theta_{p,N-S}$  стратегијама. Стратегија  $\cos\theta_{h,E-W}$  током најдужега дана у години остварује нешто боље резултате у односу на 20. март. Међутим, на просечном дневном он је и даље нижи од вредности 0,7.



Дијаграм 2 – Поређење једноосних стратегија током летње дугодневице (21. јун)



Дијаграм 3 – Поређење једноосних стратегија током јесење равнодневице (23. септембар)

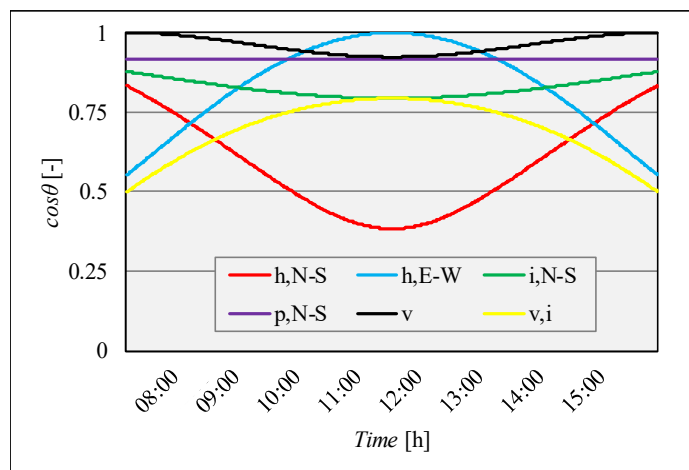
Током јесење равнодневице (23. септембар, излазак у 06:34 h, заласка у 18:23 h), рангирање стратегија је идентично као у случају пролећне равнодневице.

На првом месту је  $\cos\theta_{p,N-S}=1,000$ , на другом је  $\cos\theta_{i,N-S}=0,981$ , док се на последњем месту налази  $\cos\theta_{h,E-W}=0,646$  (дијаграм 3).

<sup>12</sup> Време изласка и заласка Сунца у презентованом математичком моделу може се у одређеној мери разликовати од званичних (експерименталних) података.

Промене у рангирању  $\cos\theta$  су најизраженије у случају зимске краткодневице (21. децембар, време изласка у 07:13 h, време заласка у 15:55 h). дијаграм 4 јасно показује да је равну површину најбоље поставити управно на хоризонталну раван ( $\cos\theta_v=0,961$ ), а разлог је једноставан – просечна дневна вредност угла  $\alpha$  [°], важи и за тренутак соларног поднева, најнижа је на нивоу целе године. Уколико из одређених техничких или просторних ограничења није могуће имплементирати наведену стратегију, прва следећа алтернатива је  $\cos\theta_{p,N-S}=0,917$ .

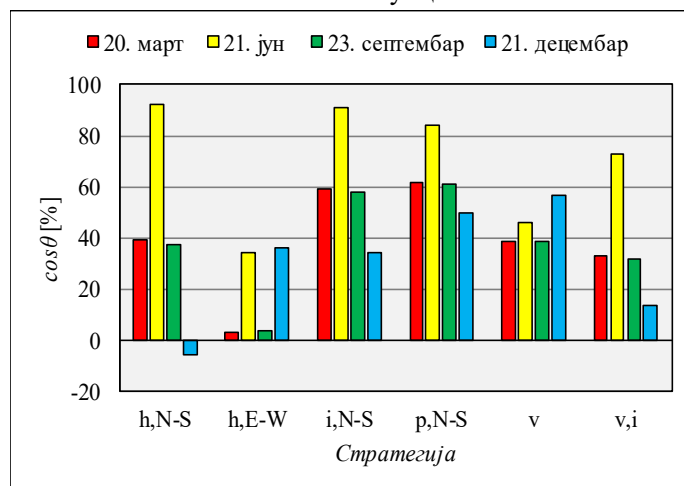




Дијаграм 4 – Поређење једноосних стратегија то-ком зимске краткодневице (21. децембар)

Занимљиво је да се сличне просечне дневне вредности косинуса упадног угла остварују у случају коришћења стратегија  $\cos\theta_{h,E-W}=0,836$  и  $\cos\theta_{i,N-S}=0,825$  (дијаграм 4). У складу са временским и техничким параметрима, вредност у случају  $\cos\theta_{h,N-S}=0,580$  је најнижа измерена. На наредном дијаграму (дијаграм 5) приказано је процентуално поређење ефикасности једно-осних стратегија у односу на референтну фиксну равну површину

( $\lambda=20,91^\circ\text{E}$  и  $\phi=44,01^\circ\text{N}$ ), оријентисану ка југу ( $\beta=34^\circ$  према хоризонталу), за сва четири карактеристична дана у години. Први закључак који се намеће на основу дијаграма 5 јесте да се стратегијом  $\cos\theta_{h,N-S}$  током зимске краткодневице не могу постићи позитивни ефекти. Другим речима, фиксна равна површина представља повољније решење, због чега у овом периоду не постоји практична оправданост за примену овог начина праћења Сунца.



Дијаграм 5 – Процентуално поређење ефикасности једноосних стратегија у односу на референтну фиксну равну површину

Други закључак који се може извући је да већина једноосних стратегија максимални добитак (наспрам фиксне равне површине) остварује током летње дугодневице (дијаграм 5):  $\cos\theta_{h,N-S}$  (виша за 91,881%),  $\cos\theta_{i,N-S}$  (виша за 90,866%),  $\cos\theta_{p,N-S}$  (виша за 83,810%) и  $\cos\theta_{v,i}$  (виша за 72,829%). Изузетак су  $\cos\theta_{h,E-W}$  (виша за 36,477%) и  $\cos\theta_v$  (виша за 56,807%) стратегије које се препоручују за коришћење током зимске сезоне.

Узимајући у обзир четвородневни узорак за усвојене локацијске (табела 1) и граничне услове

(табела 2), на основу којих се може одредити средња годишња вредност  $\cos\theta$ , општи закључак је да  $\cos\theta_{p,N-S}=0,959$  једноосна стратегија представља најбољи избор, а потом следи  $\cos\theta_{i,N-S}=0,936$ . За стратегије  $\cos\theta_v=0,852$ ,  $\cos\theta_{h,N-S}=0,813$  и  $\cos\theta_{v,i}=0,800$  може се рећи да остварују задовољавајуће резултате, док се примени  $\cos\theta_{h,E-W}=0,698$  стратегије мора приступити изузетно пажљиво.

Из свега наведеног, јасно је да су стратегије базиране на примени вертикалних оса ротације погодније за локације удаљеније од екватора, док су

оне са хоризонталним положајем оса ефикасније у регионима ближе екватору. Оваква зависност потврђује да географска ширина има пресудан утицај на избор оптималног система за праћење Сунца. Коначно, резултати овог рада недвосмислено указују на то да се максимална енергетска, економска и еколошка оправданост соларних уређаја могу постићи искључиво пажљивим усклађивањем стратегија праћења са локацијским и граничним условима.

#### 4. ЗАКЉУЧАК

Предмет истраживања у овом раду биле су равне површине са једним степеном слободе, тј. равне површине са једноосним стратегијама за праћење положаја Сунца.

Све анализиране стратегије (укупно њих 6), најпре су описане математички и графички, а потом и упоређене коришћењем локацијских параметара за град Крагујевац, Централна Србија.

Иако површине са једним степеном слободе карактерише висока просечна дневна вредност  $\cos\theta_{h,N-S}$  – посебно у поређењу са непокретним површинама – количине долазне и апсорбоване соларне енергије условљене су и додатним метеоролошким приликама.

Наиме, током облачних дана, када је удео дифузног соларног зрачења у укупном соларном приносу изразито висок, неповољни временски услови могу значајно редуковати бенефите једноосних стратегија, а у одређеним случајевима их готово потпуно поништити у поређењу са фиксним површинама.

Стога је неопходан велики опрез приликом одабира и набавке соларних уређаја. Првенствено је потребно израдити анализу (на бази броја сунчаних сати током дужег временског периода) која ће показати да ли је имплементација система за праћење положаја Сунца уопште оправдана. Тек након тога се може прећи на наредну фазу, посвећену одабору конкретне стратегије једноосног праћења. Приказани резултати јасно указују на то да свака од њих има своје предности и недостатке, односно оптимално подручје примене.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Yadav A. K, Chandel S. S. Tilt angle optimization to maximize incident solar radiation: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 23, No. -, pp. 503-513, 2013.
- [2] Abood A. A. A comprehensive solar angles simulation and calculation using matlab, *International Journal of Energy and Environment*, Vol. 6, No. 4, pp. 367-376, 2015.
- [3] Nešović A. M. Theoretical model of solar incident angle for an optionally oriented fixed flat surface, *Tehnika*, Vol. 77, No. 3, pp. 328-333, 2022.
- [4] Nešović A. M. *Experimental and theoretical investigation of the solar collector with rotating absorbers* – Doctoral Dissertation, Faculty of Engineering University of Kragujevac, Kragujevac (Serbia), 2023.
- [5] Neville RC. Solar energy collector orientation and tracking mode, *Solar Energy*, Vol. 20, No. 1, pp. 7-11, 1978.
- [6] Maia CB, Ferreira AG, Hanriot SM. Evaluation of a tracking flat-plate solar collector in Brazil, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 73, No. 1, pp. 953-962, 2014.
- [7] Bahrami A, Okoye C. O, Pourasl HH, Khojasteh-nezhad VM. Techno-economic comparison of fixed and tracking flat plate solar collectors in the northern hemisphere, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 378, No. -, pp. 134523, 2022.
- [8] Li Z, Liu X, Tang R. Optical performance of vertical single-axis tracked solar panels, *Renewable Energy*, Vol. 36, No. 1, pp. 64-68, 2011.
- [9] Vieira R. G, Guerra FKOMV, Vale MRBG, Araújo MM. 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*, Vol. 64, No. -, pp. 672-681, 2016.
- [10] Kalogirou SA. *Solar energy engineering – Processes and Systems*, Academic Press, Cambridge (USA), 2013.
- [11] Widén J, Munkhammar J. *Solar radiation theory*, Department of Engineering Sciences University of Uppsala, Uppsala (Sweden), 2019.
- [12] Rajput RK. *Engineering thermodynamics*, Jones & Bartlett Learning, Burlington (USA), 2009.
- [13] Rabl A. *Active solar collectors and their applications – First edition*, Oxford University Press, New York (USA), 1985.
- [14] Stine WB, Harrigan RW. *Solar energy fundamentals and design: With computer applications*, Wiley-Interscience, New York (USA), 1985.
- [15] Djurdjevic DZ. Perspectives and assessments of solar PV power engineering in the Republic of Serbia, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, No. 5, pp. 2431-2446, 2011.

## SUMMARY

### SOLAR INCIDENT ANGLES FOR FLAT SURFACES EQUIPPED WITH DIFFERENT SINGLE-AXIS SUN TRACKING STRATEGIES

*This paper presents theoretical models for determining solar incidence angles for flat surfaces (flat solar devices) equipped with the following single-axis tracking strategies for the position of the Sun: horizontal (1) E-W and (2) N-S rotation axes, (3) inclined N-S rotation axes, (4) polar (the angle of inclination of flat surfaces to the horizontal plane corresponds to the value of the local latitude) N-S rotation axes, as well as vertical rotation axes when flat surfaces are (5) orthogonal and (6) inclined to the horizontal plane. Although the above strategies are widespread, they do not have the same performance, so it is necessary to highlight their advantages and disadvantages through mutual comparison. This provides the necessary information to properly dimension solar devices for given location parameters, available space for installation, time of day and tracking step.*

**Key Words:** *single-axis tracking, flat surfaces, solar incidence angles, solar devices, sun tracking strategies*