

Поређење теоријских и изотропних модела долазног соларног зрачења за нагнути, фиксни, равни соларни пријемник оријентисан ка југу

АЛЕКСАНДАР М. НЕШОВИЋ, Универзитет у Крагујевцу,
Факултет инжењерских наука, Крагујевац

Прегледни рад
UDC: 621.383.51
551.521.1

DOI: 10.5937/tehnika2205553N

Познавање интензитета долазног соларног зрачења представља полазну основу за било какву даљу анализу термичких перформанси (свих) соларних пријемника. Велики број постојећих теоријских модела (како изотропних, тако и анизотропних) може се оправдати комплексношћу одређивања његових компонената, јер се укупно соларно зрачење за произвољно оријентисану површину соларног пријемника састоји од: директног, дифузног и рефлектованог соларног зрачења. У првом делу рада, детаљно су изложена три теоријска и изотропна модела долазног соларног зрачења, за нагнути, фиксни, равни соларни пријемник оријентисан ка југу, представљена у радовима следећих аутора: LUKIĆ-BABIĆ, WIDÉN-MUNKHAMMAR и DESPOTOVIĆ. У другом делу рада, применом поменутих метода, извршен је прорачун долазног соларног зрачења са поређењем добијених резултата, све са циљем да се (кроз указивање на предности и мане њиховог коришћења) другим истраживачима олакша одабир одговарајућег соларног модела у теоријским прорачунима соларних пријемника.

Кључне речи: теоријски модел, нагнути, фиксни, равни соларни пријемник, долазно соларно зрачење, директно соларно зрачење, дифузно соларно зрачење, рефлектовано соларно зрачење

1. УВОД

У литератури се може пронаћи велики број [1-3...] теоријских модела екстратерестијалног и терестријалног соларног зрачења. Исто важи и за структуру терестријалног соларног зрачења [4-6...].

Познавање поменутих параметара предуслов је за одређивање интензитета долазног соларног зрачења, параметра који одређује две веома битне карактеристике соларних пријемника: термичку снагу и термичку ефикасност.

Све постојеће једначинине долазног соларног зрачења могу се поделити у две велике групе: изотропне моделе и анизотропне моделе.

Због своје једноставности и задовољавајуће тачности, примена изотропних модела је оправдана.

Међутим, сваки изотропни модел има неких предности (као и мана) коришћења у односу на друге, због чега се пажљиво треба приступити ње-

говом одабиру. Тиме се грешке, нарочито у почетној фази пројектовања соларних система, избегавају, или барем смањују.

Због свега наведеног, овај рад управо има за задатак да, кроз (најпре) представљање и (потом) поређење три теоријска и изотропна модела долазног соларног зрачења, укаже на важност „правилне селекције” постојећих модела, поготово када примену налазе у неким нетипичним прорачунским околностима.

2. МОДЕЛ LUKIĆ-BABIĆ

Деклинација δ [rad] се према [7] рачуна као (једначина 2.1):

$$\delta = \left(23 + \frac{27}{60} \right) \sin \left(\frac{2\pi d_{21}}{365.25} \right) \frac{\pi}{180} \quad (2.1)$$

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

Часовни угао ω [rad] одређен је (Једначина 2.2):

$$\omega = \left(t_o - 12 - TZ + \frac{\lambda}{15} \right) \frac{\pi}{12} \quad (2.2)$$

Адреса аутора: Александар Нешовић, Универзитет у Крагујевцу, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, Сестре Јањић 6

e-mail: aca.nesovic@gmail.com

Рад примљен: 11.06.2022.

Рад прихваћен: 19.10.2022.

где су: t_o [h] светско време, TZ [-] временска зона и λ [rad] географска дужина посматране локације на Земљиној површини.

Време заласка Сунца t_{ZA} [h] рачуна се преко (Једначина 2.3):

$$t_{ZA} = \arccos(-\tan \delta \tan \varphi) \quad (2.3)$$

где је φ [rad] географска ширина посматране локације на Земљиној површини.

Просечно дневно екстратерестријално соларно зрачење H_o [W/m²] (једначина 2.4) може се одредити, уз претходно познавање соларне константе I_s [W/m²]:

$$H_o = \frac{I_s}{\pi} [1 + 0.033 \cos(0.0172142d)] (\cos \varphi \cos \delta \sin t_{ZA} + t_{ZA} \sin \varphi \sin \delta) \quad (2.4)$$

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

Однос средњег дневног терестријалног H'_{TOT} [W/m²] и средњег дневног екстратерестријалног соларног зрачења дефинисан је у једначини 2.5, док су одговарајући коефицијенти a [-] и b [-], редом описани у једначини 2.6), односно у једначини 2.7:

$$\frac{H'_{TOT}}{H_o} = a + b \frac{S}{Z} \quad (2.5)$$

$$a = -0.309 + 0.539 \cos \varphi - 0.0693h + 0.29 \frac{S}{Z} \quad (2.6)$$

$$b = 1.527 - 1.027 \cos \varphi - 0.0926h - 0.359 \frac{S}{Z} \quad (2.7)$$

где су: h [km] надморска висина посматране локације на Земљиној површини и S/Z [-] однос броја јасних Сунчевих (сунчаних) сати и дужине обланице.

Часовно (тренутно) екстратерестријално соларно зрачење дато је следећим изразом једначине 2.8:

$$I_o = I_s [1 + 0.033 \cos(0.0172142d)] (\sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t) \quad (2.8)$$

Везу између средњег дневног терестријалног, средњег дневног екстратерестријалног, часовног (тренутног) терестријалног I'_{TOT} [W/m²] и часовног (тренутног) екстратерестријалног I_o [W/m²]

соларног зрачења даје једначина 2.9, при чему су коефицијенти a_1 [-] и b_1 [-], сада једначина 2.10, тј. једначина 2.11:

$$\frac{I'_{TOT}}{H'_{TOT}} = (a_1 + b_1 \cos \omega) \frac{I_o}{H_o} \quad (2.9)$$

$$a_1 = 0.409 + 0.5016 \sin \left(t_{ZA} - \frac{\pi}{3} \right) \quad (2.10)$$

$$b_1 = 0.6609 - 0.4767 \sin \left(t_{ZA} - \frac{\pi}{3} \right) \quad (2.11)$$

Часовно (тренутно) дифузно соларно зрачење I'_{DIFF} [W/m²] могуће је израчунати из једначине 2.12), а часовно (тренутно) директно соларно зрачење I'_{DIR} [W/m²] из једначине 2.13):

$$\frac{I'_{DIFF}}{I'_{TOT}} = 0.974 + 0.693K - 6.067K^2 + 6.416K^3 - 1.931K^4 \quad (2.12)$$

$$I'_{DIR} = I'_{TOT} - I'_{DIFF} \quad (2.13)$$

где је $K = I'_{TOT} / I_o$ [-].

Соларни упадни угао за нагнуту, фиксну, равну површину оријентисану ка југу $\cos \theta$ [rad] дат је једначини 2.14). Са друге стране, за хоризонталну, фиксну, равну површину $\cos \theta_z$ [rad] он износи (једначина 2.15):

$$\begin{aligned} \cos \theta &= \cos \beta \sin \varphi \sin \delta \\ &\quad - \sin \beta \cos \varphi \cos(\pi - \gamma) \sin \delta \\ &\quad + \cos \beta \cos \varphi \cos \delta \cos t \\ &\quad + \sin \beta \sin \varphi \cos(\pi - \gamma) \cos \delta \cos t \\ &\quad + \sin \beta \sin(\pi - \gamma) \cos \delta \sin t \end{aligned} \quad (2.14)$$

$$\cos \theta_z = \cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta \quad (2.15)$$

Укупно часовно (тренутно) соларно зрачење које доспева на површину нагнутог, фиксног, равного соларног пријемника I_{TOT} [W/m²] (једначина 2.16) једнако је збиру: часовног (тренутног) директног I_{DIR} [W/m²] (једначина 2.17), часовног (тренутног) дифузног I_{DIFF} [W/m²] (једначина 2.18) и часовног (тренутног) рефлектованог I_{REFL} [W/m²] (једначина 2.19) соларног зрачења:

$$I_{TOT} = I_{DIR} + I_{DIFF} + I_{REFL} \quad (2.16)$$

$$I_{DIR} = I'_{DIR} \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (2.17)$$

$$I_{DIFF} = I'_{DIFF} \frac{1 + \cos \beta}{2} \quad (2.18)$$

$$I_{REFL} = (I'_{DIR} + I'_{DIFF}) g_R \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (2.19)$$

где је g_R [-] Земљин алbedo.

3. МОДЕЛ WIDÉN-MUNKHAMMAR

WIDÉN-MUNKHAMMAR су у [8] преко (Јед. 3.1) дефинисали дефлексију (у [rad]), док су часовни угао ω [min] (једначина 3.2) изразили у функцији од локалног соларног времена t_s [min] (једначина 3.3):

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284 + d}{365} \right) \frac{\pi}{180} \quad (3.1)$$

$$\omega = 15 \left(\frac{t_s}{60} - 12 \right) \quad (3.2)$$

$$t_s = t_o - 4 (\lambda_{ST} - \lambda) + E_T \quad (3.3)$$

где су: t_o [min] светско време, λ_{ST} [°] стандардни меридијан, λ [°] локални меридијан посматране локације на Земљиној површини и $E_T = f(B)$ [min] једначина времена (једначина 3.4, једначина 3.5).

$$B = (d - 1) \frac{360}{365} \quad (3.4)$$

$$E_T = 229.18 \begin{bmatrix} 0.000075 + 0.001868 \cos B \\ -0.032077 \sin B \\ -0.014615 \cos(2B) \\ -0.04089 \cdot \sin(2B) \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

где је B [°] коефицијент дана.

Време заласка Сунца одређено је као у моделу LUKIĆ (једначина 2.3). Примену у овом моделу налазе и следеће једначине: једначина 2.5, једначина 2.9-2.11, једначина 2.13, једначина 2.15 и једначина 2.16.

Са друге стране, Widén-Munkhammar модел даје једначину за H_o [W/m²] (једначина 3.6), као и нове вредности, a [-] (једначина 3.7) и b [-] (једначина 3.8), за везу између дневног и часовног (тренутног) соларног зрачења (једначина 2.5):

$$H_o = I_s \left(1 + 0.033 \cos \frac{360d}{365} \right) \cos \theta_z \quad (3.6)$$

$$a = 0.23 \quad (3.7)$$

$$b = 0.48 \quad (3.8)$$

Часовно (тренутно) екстратерестријално соларно зрачење сада се рачуна као једначина 3.9, а однос I'_{DIFF}/I'_{TOT} као једначина 3.10):

$$I_o = I_s \left(1 + 0.033 \cos \frac{360d}{365} \right) \cos \theta_z \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} \frac{I'_{DIFF}}{I'_{TOT}} = & 0.775 + 0.00653 \left(\omega_{SS} - \frac{\pi}{2} \right) \\ & - 0.505 \cos \left(115 \frac{I'_{TOT}}{I_o} - 103 \right) \\ & - 0.00455 \left(\omega_{SS} - \frac{\pi}{2} \right) \cdot \\ & \cdot \cos \left(115 \frac{I'_{TOT}}{I_o} - 103 \right) \end{aligned} \quad (3.10)$$

Соларни упадни угао за нагнуто, фиксну, равну површину оријентисану ка југу $\cos \theta$ [rad] у овом случају је једначина 3.11).

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \phi \cos \beta \\ & - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (3.11)$$

На крају, компоненте I_{DIR} , I_{DIFF} и I_{REFL} које одређују укупно часовно (тренутно) соларно зрачење које доспева на површину нагнутог, фиксног, равног соларног пријемника I_{TOT} одређене су следећим изразима, респективно (једначина 3.12-3.14):

$$I_{DIR} = I'_{DIR} \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad (3.12)$$

$$I_{DIFF} = I'_{DIFF} \left[\left(1 - \frac{I'_{DIR}}{I_o} \right) \frac{1 + \cos \beta}{2} + \frac{I'_{DIR}}{I_o} \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \right] \quad (3.13)$$

$$I_{REFL} = (I'_{DIR} + I'_{DIFF}) g_R \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (3.14)$$

4. МОДЕЛ DESPOTOVIĆ

Модел Despotović [9] има додирних тачака са претходно изложеним моделима, што и потврђују следеће (заједничке) једначине: са моделом Lukić-Babić (једначина 2.3, једначина 2.5, једначина 2.9-2.11, једначина 2.13, једначина 2.15 и једначина 2.16) и са моделом Widén-Munkhammar (једначина 3.3, једначина 3.7 и једначина 3.8).

Према моделу Despotović, $\delta = f(\Gamma)$ [rad] је описана преко (једначина 4.1, једначина 4.2), а часовни угао (у [min]) преко (једначина 4.3):

$$\begin{aligned} \delta = & 0.006918 - 0.399912 \cos \Gamma \\ & + 0.070257 \sin \Gamma \\ & - 0.006758 \cos(2\Gamma) \\ & + 0.000907 \sin(2\Gamma) \\ & - 0.002697 \cos(3\Gamma) \\ & + 0.001488 \sin(3\Gamma) \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\Gamma = \frac{2\pi(d-1)}{365} \quad (4.2)$$

$$\omega = (t_s - 12) \frac{\pi}{12} \quad (4.3)$$

Сада су параметри B (једначина 4.4) и E_T (једначина 4.5) одређени као:

$$B = \frac{360}{364} \cdot (d - 81) \quad (4.4)$$

$$E_T = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos B - 1.5 \sin B \quad (4.5)$$

Despotović вредности за H_o (једначина 4.6), I_o (једначина 4.7), I'_{TOT}/H'_{TOT} (једначина 4.8) и I'_{DIFF}/I'_{TOT} (једначина 4.9) су:

$$\begin{aligned} H_o = & \frac{I_s}{\pi} \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{2\pi d}{365} \right) \right] \cdot \\ & \cdot (\cos \varphi \cos \delta \sin t_{ZA} + t_{ZA} \sin \varphi \sin \delta) \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} I_o = & \frac{12I_s}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{2\pi d}{365} \right) \right) \cdot \\ & \cdot \begin{bmatrix} \sin \left(\omega + \frac{\pi}{24} \right) \cos \varphi \cos \delta \\ - \sin \left(\omega - \frac{\pi}{24} \right) \cos \varphi \cos \delta \\ + \sin \varphi \sin \delta \left(\frac{\pi}{12} \right) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4.7)$$

$$\begin{aligned} \frac{I'_{TOT}}{H'_{TOT}} = & \pi (a_1 + b_1 \cos \omega) \cdot \\ & \cdot \frac{\cos \omega - \cos t_{ZA}}{\sin t_{ZA} - t_{ZA} \cos t_{ZA}} \end{aligned} \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} \frac{I'_{TOT}}{H'_{TOT}} = & \pi (a_1 + b_1 \cos \omega) \cdot \\ & \cdot \frac{\cos \omega - \cos t_{ZA}}{\sin t_{ZA} - t_{ZA} \cos t_{ZA}} \end{aligned} \quad (4.9)$$

$$\begin{aligned} \frac{I'_{DIFF}}{I'_{TOT}} = & 1.39 - 4.027K \\ & + 5.531K^2 - 3.108K^3 \end{aligned} \quad (4.10)$$

Соларни упадни угао за нагнуту, фиксну, равну површину оријентисану ка југу $\cos \theta$ [rad] (једначина 4.11), DESPOTOVIĆ одређује преко азимутног угла γ [rad], соларног азимутног угла γ_s [rad] и угла висине Сунца α [rad], тј. употребом следећих једначина (једначина 4.12-4.14):

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \cos \theta_z \cos \beta \\ & + \sin \theta_z \sin \beta \cos(\gamma - \gamma_s) \end{aligned} \quad (4.11)$$

$$\cos \theta_z = 90 - \alpha \quad (4.12)$$

$$\sin \alpha = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \omega \cos \varphi \quad (4.13)$$

$$\sin \gamma_s = \frac{\cos \delta \sin \omega}{\cos \alpha} \quad (4.14)$$

Коначни изрази за компоненте I_{DIR} , I_{DIFF} и I_{REFL} , по моделу DESPOTOVIĆ, редом су једначине 4.15-4.17:

$$I_{DIR} = I'_{DIR} \frac{\cos \theta}{\sin \alpha} \quad (4.15)$$

$$\begin{aligned} I_{DIFF} = & I'_{DIFF} \frac{1 + \cos \beta}{2} \left(1 + F \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right) \cdot \\ & \cdot (1 + F \cos^2 \beta \sin^3 \theta_z) \end{aligned} \quad (4.16)$$

$$I_{REFL} = (I'_{DIR} + I'_{DIFF}) g_R \frac{1 - \cos \beta}{2} \quad (4.17)$$

где је $F = 1 - (I'_{DIFF}/I'_{TOT})^2$ [-] тзв. коефицијент облачности.

5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

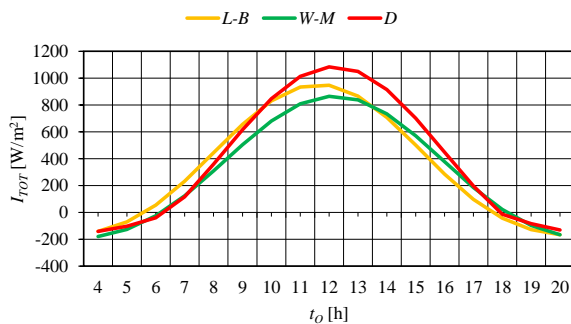
У циљу валидног поређења представљених теоријских и изотропних модела долазног соларног зрачења за нагнуту, фиксну, равну соларни пријемник, претходно су обезбеђени исти почетни гранични услови: $h = 0.205$ km, $\lambda_{ST} = 21.5^\circ$, $\lambda = 20.905^\circ$, $\phi = 44.019^\circ$, $\beta = 34^\circ$, $\gamma = 0^\circ$ (ка југу), $S/Z = 0.8$, $g_R = 0.2$.

На наредним дијаграмима (слика 1.1-1.4), приказани су резултати (паралелно) долазног соларног зрачења за нагнуту, фиксну, равну соларни пријемник оријентисан ка југу, и то за следећа 4 карактеристична датума током године: 20. март (слика

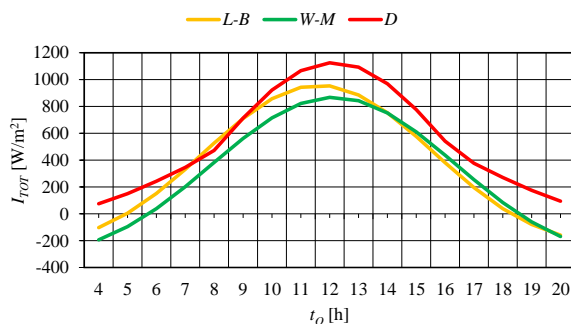
1.1), 21. јул (слика 1.2), 23. септембар (слика 1.3) и 21. децембар (слика 1.4).

Прво што се може уочити са приложених дијаграма је блага асиметричност $L-B$ криве у односу на преостале две ($W-M$ и D). Сви модели показују да је интензитет долазног соларног зрачења највећи у 12.00 часова (соларно подне се не поклапа са овом вредношћу у пракси).

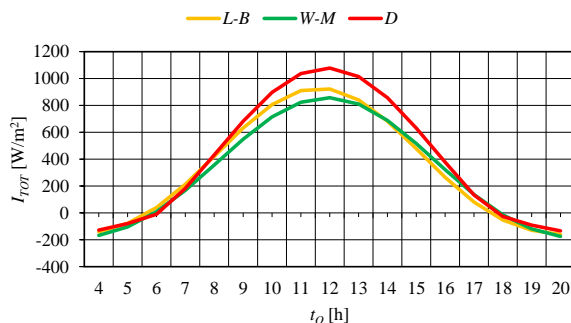
У овом тренутку (12:00 ч), D вредности су у односу на $L-B$ вредности више за: 12.66% (20. март), 15.37% (21. јул), 14.46% (23. септембар) и 11.73% (21. децембар). Ова разлика (у корист D модела) је још већа у односу на $W-M$ вредности: 20.2% (20. март), 22.97% (21. јул), 20.45% (23. септембар) и 16.96% (21. децембар). Са друге стране, одступања $L-B$ од $W-M$ су занемарљива (<5% у свим случајевима).



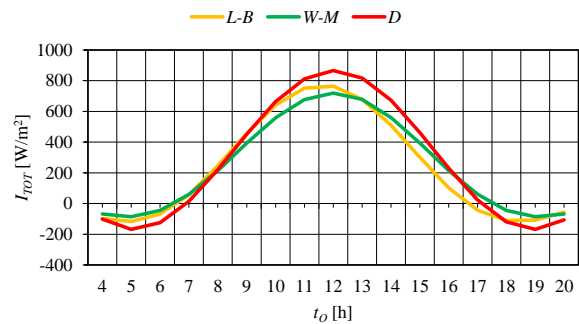
Слика 1.1. - Долазно соларно зрачење током пролећне равнодневнице (20. март).



Слика 1.2. - Долазно соларно зрачење током летње дугодневнице (21. јул).



Слика 1.3. - Долазно соларно зрачење током јесење равнодневнице (23. септембар).



Слика 1.4. - Долазно соларно зрачење током зимске краткодневнице (21. децембар).

Прва одступања у резултатима настају већ при прорачунима дефлексијског (једначина 2.1, једначина 3.1 и једначина 4.1) и часовног угла (једначина 2.2, једначина 3.2 и једначина 4.3). Недостатак $L-B$ модела је занемаривање параметра локалног соларног времена, тј. једначине времена – показује разлику (не већу од 17 минута) између Соларног времена и средњег Соларног времена због постојања разлике у брзини привидног кретања Сунца. У термичким прорачунима покретних (мобилних) соларних система, овај негативни ефекат још више би дошао до изражаја. D модел (слика. 5.2) показује недостатке током летње дугодневнице, када је D крива изнад апсисе у 4.00 ч. Иста појава се дешава у 21.00 ч.

Међусобна одступања једним делом могу се објаснити и коефицијентима који се користе у изразима за повезивање дневног и часовног (тренутног) интензитета соларног зрачења, како екстра-терестријалног и терестријалног. Исто важи и за одређивање соларног упадног угла.

На облик наведених криви, на крају, утичу и једначине које се користе за одређивање компоненти долазног соларног зрачења: директног, дифузног и рефлектованог соларног зрачења.

6. ЗАКЉУЧАК

Велики број доступних модела долазног соларног зрачења отежава ауторима њихову имплементацију у соларним прорачунима.

Да би се овакве ситуације убудуће избегле, аутор је у овом раду представио и упоредио три теоријска и изотропна модела долазног соларног зрачења за нагнути, фиксни, равни соларни пријемник оријентисан ка југу: Lukić-Babić, Widén-Munkhammar и Despotović.

7. ЗАХВАЛНИЦА

Овај рад представља резултате истраживања насталих у оквиру пројекта Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије број ТР 33015.

Захваљујем се Министарству просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије на финансијској подршци током овог истраживања.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Sayigh, A. A. M, ed. *Solar energy engineering*. Elsevier, 2012.
- [2] Bahel V, H. Bakhsh and Ra Srinivasan. A correlation for estimation of global solar radiation, *Energy* 12.2, 131-135, 1987.
- [3] Duffie, John A. WA, *Solar Engineering of Thermal Processes*. John Wiley & Sons, Ind. 250-330, 1991.
- [4] Klucher, Thomas M. Evaluation of models to predict insolation on tilted surfaces, *Solar energy* 23.2, 111-114, 1979.
- [5] Davies John A, and John E. Hay. *Calculation of the solar radiation incident on a horizontal surface*, proc. First can. Solar radiation data workshop. Ministry of supply and services, Canada. 1980.
- [6] Liu Benjamin Y. H. and Richard C. Jordan. The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation, *Solar energy* 4.3, 1-19, 1960.
- [7] Lukić, Nebojša, and Milun Babić. *Solarna energija* Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2008.
- [8] Widén, Joakim, and Joakim Munkhammar. *Solar radiation theory*. Uppsala University, 2019.
- [9] Despotović, Milan. *Obnovljivi izvori energije*, Fakultet inženjerskih nauka u Kragujevcu, 2011.

SUMMARY

COMPARISON OF THEORETICAL AND ISOTROPIC MODELS OF INCOMING SOLAR RADIATION FOR THE TILTED, FIXED, FLAT-PLATE SOLAR COLLECTOR SOUTH-ORIENTED

Knowing the intensity of incoming solar radiation is the starting point for any further analysis of the thermal performance of (all) solar collectors. A large number of existing theoretical models (both isotropic and anisotropic) can be justified by the complexity of determining its components, because the total solar radiation for an arbitrarily oriented surface of the solar collector consists of: direct, diffuse and reflected solar radiation. In the first part of the paper, three theoretical and isotropic models of incoming solar radiation are presented in detail, for the tilted, fixed, flat-plate solar collector oriented to the south, presented in the works of the following authors: LUKIĆ-BABIĆ, WIDÉN-MUNKHAMMAR and DESPOTOVIĆ. In the second part of the paper, using the mentioned methods, the incoming solar radiation was calculated by comparing the obtained results, all with the aim of facilitating (by pointing out the advantages and disadvantages of their use) other researchers to select the appropriate solar model in theoretical calculations of the solar collectors.

Key Words: *theoretical model; tilted, fixed, flat-plate solar collector; incoming solar radiation; direct solar radiation; diffuse solar radiation; reflected solar radiation*