

Милош Ј. Бањац, Срђан П. Ошковић*

Машински факултет, Универзитет у Београду, Београд, Србија

Корелације између геометријских параметара и фактора ефикасности пријемника Сунчеве енергије

Стручни рад

Квалитет пријемника термичке Сунчеве енергије обично се изражава преко његовог степена корисности η_{pse} њ. односа остварене грејне снаге пријемника и ирадијације Сунчевог зрачења које доспе на његову површину. Међутим, при пројектовању и уопште при анализи утицаја појединих геометријских и термодинамичких карактеристика на грејну снагу пријемника термичке Сунчеве енергије, адекватније је користити друга два фактора – фактор ефикасности апсорпционе плоче абсорбера и фактор ефикасности предаје топлој грејаном флуиду у пријемнику. У сврху боље разумевања физичке суштине ових фактора, у раду је најпре извршено њихово детаљно теоријско извођење. Помоћу изведених аналитичких израза, извршена је анализа промене фактора ефикасности апсорпционе плоче у односу на промену: растојања између цеви, дебљине апсорпционе плоче, величине контактне површи цеви и апсорбујуће плоче, врсте материјала апсорпционе плоче, као и на промену вредности привидног коефицијента топлотних губитака.

Кључне речи: пријемник енергије Сунчевог зрачења, коефицијент топлотне проводљивости, фактор апсорпције, фактор ефикасности абсорбера, фактор ефикасности предајника топлој

Увод

По намени, принципу рада и коришћењу дела спектра електромагнетног зрачења разликују се две основне врсте уређаја који користе и претварају енергију Сунчевог зрачења у друге врсте енергија.

Уређаји који већим делом прикупљају и претварају термичку (инфрацрвено подручје спектра) енергију сунчевог зрачења¹ у енергију за грејање, називају се пријемницима термичке сунчеве енергије (ПТСЕ). Друга врста, наизглед сличних уређаја, који пре свега прикупљену светлосну (ултраљубичасто у видљиво подручје

¹ Инфрацрвено зрачење или инфрацрвена светлост (лат. инфра = „испод”, скрећеница ИР од енг. infrared) обухвата електромагнетно зрачење с таласним дужинама већим од таласне дужине видљиве црвене светлости, а мањим од таласне дужине радиоталаса. То је распон од приближно 750 nm до 1 mm.

* Одговорни аутор; електронска адреса: sotovic@mas.bg.ac.rs

спектра) енергију Сунчевог зрачења¹ фотоелектричним ефектом директно претварају у електричну енергију називају се соларне ћелије. Групе ћелија чине соларне модуле, познате и као соларни панели, фотонапонске плоче или пријемници светлосне Сунчеве енергије (ПССЕ).

Изведбе ПТСЕ су изузетно бројне, што пре свега зависи од жељене температуре радног флуида. Тако се по температури радног флуида и начину израде разликују: нискотемпературни – равни плочасти или ПТСЕ са вакуумским цевима, или



Слика 1. Делови равног плочастиог ПТСЕ са покривком

високотемпературни – параболична корита, линеарни Френселов концентратор, централни ПТСЕ, тањирасти концентратори или соларни торњевии сл. Међу свим побројеним, најраспрострањенији и највише примењивани су равни плочасти ПТСЕ са покривком (сл. 1) [1, 2]. Због тога ће даља анализа бити посвећена искључиво овој врсти ПТСЕ.

Основни делови равних плочастих ПТСЕ са покривком су: апсорбер, покривка, кућиште и топлотна изолација.

Апсорбер је најважнији елемент пријемника Сунчеве енергије (ПСЕ). Састоји се од цеви чврсто повезаних или интегрисаних у плочу, која целокупном површином прима Сунчево зрачење. Од пресудне важности за добар рад ПТСЕ је остваривање доброг термичког контакта између цеви и плоче, како би отпор провођењу топлоте био што мањи. Због тога се ПСЕ најчешће израђује од бакра и алуминијума. Обавезно је да буде мат црне боје, са селективним премазима, да би се апсорбовала што је могуће већа количина Сунчевог зрачења, које доспева до пријемника. Зрачење рефлектовано од површине ПСЕ представља неискоришћени део укупног доспелог зрачења.

Покривка се израђује од пластике или стакла. Треба да обезбеди максималан пролазак енергије Сунчевог зрачења до апсорбера, задржи дозрачену енергију у простору ПСЕ и да смањи губитке зрачењем. Истовремено, мора бити отпорна на механичка оптерећења и треба да штити апсорбер од атмосферских утицаја. Због свега тога, стаклена покривка је најбоље решење, јер не мења прозирност током времена. С друге стране, пластичне покривке су јефтиније и мање тежине, али временом губе своје карактеристике, што изазива смањење степена корисности ПСЕ. У неким скупљим варијантама, тзв. високоефикасних плочастих ПСЕ, у циљу смањења топлотних губитака, постављају се две покривке [3, 4].

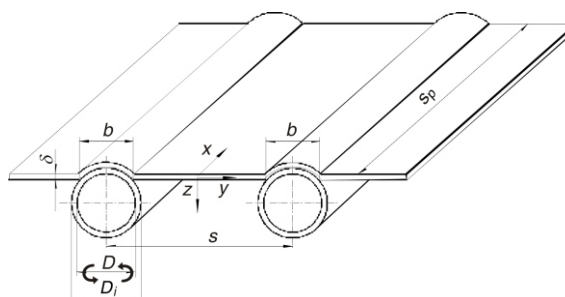
¹ Видљиви део електромагнетног спектра је таласних дужина од 380 до 780 nm, односно фреквенције од $4 \cdot 10^{14}$ Hz. Светлост истовремено испољава особине таласа и честица. Светлосна честица, квант, је фотон.

Кућиште ПСЕ се обично израђује од алуминијума или пластике. Функција му је да заштити унутрашње елементе ПСЕ од механичких оптерећења, топлотних губитака и влаге и да обезбеде херметичност.

Термоизолација обухвата предњи покривач, изолацију бочних страна и изолацију задње стране апсорбера. Унутрашња изолација мора бити стабилна на температури стагнације (највиша температура, која се може јавити кад нема одвођења топлоте од ПСЕ). Обично се израђује од стаклене вуне и изолационе пене [5].

Температурно поља у апсорционој плочи ПТСЕ

У циљу анализе утицаја геометријских параметара на ефикасност ПТСЕ са покривком, неопходно је познавати температурно поље које се формира у апсорционој плочи, као и промену температуре грејаног флуида у правцу његовог струјања. Уобичајена цевна конструкција и основни геометријски параметри апсорционе плоче ПТСЕ приказани су на сл. 2.



Слика 2. Геометријске величине плочастог пријемника

Устаљено провођење топлоте у чврстом, хомогеном и изотропном материјалу са сталним термофизичким својствима ($\rho = idem$, $c_p = idem$, $\lambda = idem$) и са сталном и равномерном запреминском енергијском издашношћу ($\varphi_{i,V} = idem$), описано је нехомогеном парцијалном диференцијалном једначином другог реда:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\varphi_{i,V}}{\lambda} \quad (1)$$

и одговарајућим просторним условима. У претходној једначини, са $\varphi_{i,V}$ означена је запреминска енергијска издашност у апсорционој плочи, а са λ – топлотна проводљивост материјала апсорционе плоче.

За веома танку апсорциону плочу промена температуре у z правцу се може занемарити, и ако се уз то занемари и промена температуре апсорционе плоче и по њеној дужини ($\partial T / \partial x = 0$, $\partial T / \partial x = 0$) онда једначина (1) бива сведена на облик:

$$\text{односно,} \quad \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\varphi_{i,V}}{\lambda} = 0$$

$$\frac{\partial^2 T_a}{\partial y^2} + \frac{\varphi_{i,V}}{\lambda} = 0 \quad (2)$$

где је са T_a означена температура апсорционе плоче.

Површински топлотни проток кроз горњу граничну површ плоче, биће равномерно распоређен и дат је изразом:

$$\varphi_{ef} = \varphi_{iV}\delta$$

где је са δ означена дебљина апсорпционе плоче, а φ_{ef} – део стварно апсорбоване ирадијације (озрачености) од Сунца, умањене за тзв. *зубићке* површинског топлотног протока услед провођења топлоте кроз доњи изолациони слој, те прелажења топлоте са спољашње површи стаклене покривке на околни ваздух, као и услед зрачења са спољашње површи стаклене покривке на површи околних тела. Заменом једначине (3) у једначину (2) добија се:

$$\frac{d^2T}{dy^2} - \frac{\varphi_{ef}}{\lambda\delta} = 0 \quad (4)$$

Будући да је стварно апсорбована ирадијација:

$$\varphi_{ef} = \varphi_{prim} - \varphi_{gub} \quad (5)$$

и

$$\varphi_{prim} = f_1(E_{tot}) = (\alpha\tau)_{ef} E_{tot} \quad (6)$$

где је са E_{tot} означена укупна ирадијација апсорпционе плоче, која се састоји од директне ирадијације плоче од Сунца E_d , дифузне ирадијације плоче од Сунца E_r и, најзад, директне и дифузне ирадијације плоче од површи околних тела која рефлектују Сунчево зрачење E_a . Са α је означен фактор апсорптивности апсорпционе плоче, а са τ – фактор трансмисивности (пропустљивости) за материјал покривне (заштитне) плоче.

При познатим геометријским величинама пријемника и познатим термофизичким својствима материјала, *зубици* површинског топлотног протока могли би се представити у облику функционалне зависности [2]:

$$\varphi_{grub} = f_2(T_a, T_s, T_{amb}, T_g, w_{vetra}, q_m) \quad (7)$$

где је са:

$$T_s = f_3(T_a, T_g, w_{vetra}, q_m, T_{amb}) \quad (8)$$

означена температура на спољашњој површи покривне плоче пријемника.

Ако се претпостави да је однос T_s/T_g стална величина, биће добијено да је:

$$\varphi_{grub} = f_4(T_a, T_{amb}, w_{vetra}, q_m) \quad (9)$$

При устаљеном масеном протоку грејаног флуида и устаљеној брзини ветра, *зубићак* површинског топлотног протока може бити изражен у облику:

$$\varphi_{grub} = f_5(T_a - T_{amb}) \quad (10)$$

или у облику:

$$\varphi_{grub} = U_l (T_a - T_{amb}) \quad (11)$$

где је са U_l означена величина која најчешће бива називана привидним укупним коефицијентом топлотних *зубићака* пријемника енергије Сунчевог зрачења. По својој физичкој суштини тај коефицијент не представља ништа друго до привидни коефицијент пролажења топлоте, меродаван за одређивање *зубићака* површинског топлотног протока пријемника у околну средину [6, 7].

Обједињавањем једначина (4), (6) и (11), добија се нехомогена парцијална диференцијална једначина другог реда, која описује једнодимензионално температурно поље у апсорпционој плочи пријемника:

$$\frac{d^2 T_a}{dy^2} - \frac{(\alpha\tau)_{ef} E_{tot}}{\lambda\delta} \frac{U_l (T_a - T_{amb})}{U_l} = 0 \quad (12)$$

Опште решење те диференцијалне једначине дато је изразом:

$$T_a = C_1 e^{my} + C_2 e^{-my} + \frac{(\alpha\tau)_{ef} E_{tot}}{U_l} T_{amb} \quad (13)$$

где је са $m = U_l / (\lambda\delta)^{1/2}$ означен партаметар апсорпционе плоче, а са C_1 и C_2 – интеграционе константе, које се одређују уз помоћ два просторна услова.

Први просторни услов, је услов симетрије:

$$\frac{dT_a}{dy} \Big|_{y=0,x \in [0,s_p]} = 0 \quad (14)$$

Други просторни услов узима у обзир да је температура апсорпционе плоче T_a у корену ребра [$y = (s - b)/2$] једнака $T_{b,x}$, тј.:

$$T_{a,y \in (s-b)/2} = T_{b,x \in [0,s_p]} \quad (15)$$

Применом ова два просторна услова добија се:

$$T_a(y) = T_{b,x} \frac{\text{ch}(my)}{\text{ch} \frac{m(s-b)}{2}} + T_{amb} \frac{(\alpha\tau)_{ef} E_{tot}}{U_l} \left[1 - \frac{\text{ch}(my)}{\text{ch} \frac{m(s-b)}{2}} \right] \quad (16)$$

Да би се добила укупна корисно апсорбована количина топлоте, потребно је претходно одредити закон промене средње температуре флуида по дужини цеви пријемника $T_f(x)$.

Линијски топлотни проток, са апсорпционе плоче на грејани флуид у цеви, може бити представљен као:

$$\varphi_{uk} = \varphi_{rebro-cev} + \varphi_{segment-cev} \quad (17)$$

где је са:

$$\varphi_{rebro-cev} = 2\lambda\delta \frac{dT_a}{dy} \Big|_{y=(s-b)/2} \quad (18)$$

означен линијски топлотни проток услед провођења топлоте кроз корен два спољашња, права подужна ребра сталне дебљине ($\delta = idem, \lambda = idem$).

Диференцирањем температуре апсорпционе плоче, T_a , (16) по координати y и заменом првог извода у (18), добија се:

$$\varphi_{rebro-cev} = (s-b)\eta_r [(\alpha\tau)_{ef} E_{tot} - U_l (T_{b,x} - T_{amb})] \quad (19)$$

где је са $\eta_r = \text{th} [m(s-b)/2] / [m(s-b)/2]$ означен тзв. фактор ефикасности ребра.

Други сабирак у изразу за линијски топлотни проток (17) – ирадијанција, апсорбована у делу апсорпционе плоче, непосредно изнад цеви, може да се прикаже у облику:

$$\varphi_{\text{segment-cev}} = b[(\alpha\tau)_{\text{ef}} E_{\text{tot}} - U_l (T_{b,x} - T_{\text{amb}})] \quad (20)$$

Заменом израза за $\varphi_{\text{rebro-cev}}$ (19) и израза за $\varphi_{\text{segment-cev}}$ (20) у израз за укупни линијски топлотни проток (17), добија се:

$$\varphi_{\text{uk}} = [b + \eta_r (s - b)][(\alpha\tau)_{\text{ef}} E_{\text{tot}} - U_l (T_{b,x} - T_{\text{amb}})] \quad (21)$$

С друге стране, линијски топлотни проток са апсорпционе плоче на грејани флуид, може бити изражен и као:

$$\varphi_{\text{uk}} = \frac{T_{b,x} T_{f,x}}{R_{\lambda,\text{spoj}} R_{\lambda,\text{cev}} R_h} \quad (22)$$

где је са $R_{\lambda,\text{spoj}}$ означена линијска топлотна резистанса (отпор) провођењу топлоте кроз слој везивног материјала апсорпционе плоче и цеви, са $R_{\lambda,\text{spoj}}$ – линијска топлотна резистанса провођењу топлоте кроз зид цеви и са $R_h = 1 / \pi D_i h_u$ – линијска топлотна резистанса прелажења топлоте са унутрашње површи цеви на грејани флуид.

Решавањем једначине (22) по температури $T_{b,x}$, те њеном заменом у израз (21), линијски топлотни проток са апсорпционе плоче на грејани флуид може бити изражен као функција познатих геометријских величина пријемника, локалне средње масене температуре флуида и температуре околног ваздуха:

$$\varphi_{\text{uk}} = sF'[(\alpha\tau)_{\text{ef}} E_{\text{tot}} - U_l (T_{f,x} - T_{\text{amb}})] \quad (23)$$

где је са:

$$F = \frac{\frac{1}{U_l}}{s \frac{1}{U_l [b + (s-b)h_r]} + R_{\lambda,\text{spoj}} + R_{\lambda,\text{cev}} + R_h} \quad (24)$$

означен тзв. фактор ефикасности апсорпционе плоче ПТСЕ. Тај фактор зависи од коефицијента укупних топлотних *зубиљака* пријемника енергије Сунчевог зрачења и топлотних резистанси $R_{\lambda,\text{spoj}}$, $R_{\lambda,\text{cev}}$ и R_h . Дакле, величина F' , у скривеном облику, узима у обзир утицај термофизичких особина материјала покривне и апсорпционе плоче, цеви, везивног материјала и грејаног флуида, те његовог устаљеног масеног протока. Бројчана вредност фактора ефикасности апсорпционе плоче веома слабо зависи од температуре, па та величина, при одређеним условима, за практичне потребе, може бити узета као стални прорачунски параметар.

Устаљено једнодимензионално температурно поље при струјању грејаног флуида кроз цеви апсорбера

На основу енергијског биланса при протоку грејаног флуида кроз цев апсорбера елементарне дужине dx , при сталном линијском топлотном протоку, предатом флуиду, добија се:

$$q_{mcp} T_{f,x} - q_{mcp} T_{f,x+dx} + \varphi_{\text{uk}} dx = 0 \quad (25)$$

тј.

$$q_m c_p \frac{dT_{f,x}}{dx} = sF [(\alpha\tau)_{ef} E_{tot} - U_l(T_{f,x} - T_{amb})] \quad (26)$$

Будући да су F' и U_l приближно сталне величине, тј. слабе функције од температуре апсорпционе плоче, односно температуре флуида и независне од x , решавањем диференцијалне једначине (26) добија се израз за распоред температура грејаног флуида по дужини цеви пријемника:

$$T_f(x) - T_{amb} = \frac{(\alpha\tau)_{ef} E_{tot}}{U_l} - \frac{(\alpha\tau)_{ef} E_{tot}}{U_l} (T_{f,ulaz} - T_{amb}) \exp \frac{U_l s F x}{q_m c_p} \quad (27)$$

Средња температура флуида на излазу из пријемника Сунчеве енергије, може да се одради простом заменом у претходној једначини са s_p , чиме се добија да је:

$$T_{f,izlaz} - T_{amb} = \frac{(\alpha\tau)_{ef} E_{tot}}{U_l} - \frac{(\alpha\tau)_{ef} E_{tot}}{U_l} (T_{f,ulaz} - T_{amb}) \exp \frac{U_l F A_p}{q_m c_p} \quad (28)$$

где је са $A_p = s_p$ означена површина грејне површи апсорпционе плоче пријемника.

Грејна снага пријемника представљена изразом:

$$\Phi_{uk} = q_m c_p (T_{f,izlaz} - T_{f,ulaz}) \quad (29)$$

може се заменом израза за средњу температуру флуида на излазу из пријемника $T_{f,izlaz}$ (28) свести на облик:

$$\Phi_{uk} = A_p F_R [(\alpha\tau)_{ef} E_{tot} - U_l(T_{f,ulaz} - T_{amb})] \quad (30)$$

где је са:

$$F_R = \frac{q_m c_p}{A_p U_l} \left[1 - \exp \frac{U_l F A_p}{q_m c_p} \right] \quad (31)$$

означен тзв. фактор ефикасности предавања топлоте грејаном флуиду у пријемнику Сунчеве енергије.

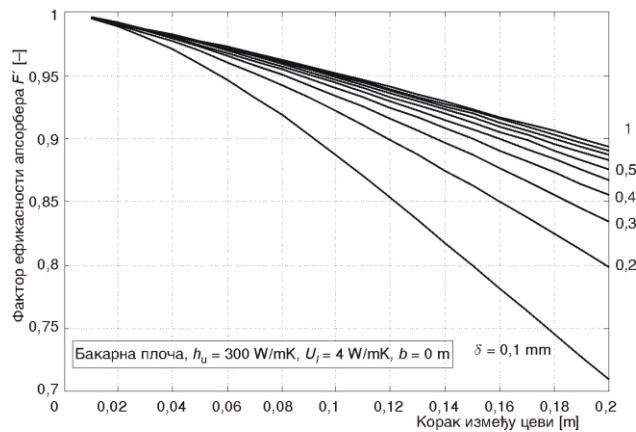
Фактор ефикасности апсорпционе плоче пријемника Сунчеве енергије зависи од тога колики је део површи апсорпционе плоче запоседнут цевима, тј. од корака између цеви. Што је корак између цеви мањи, фактор ефикасности апсорпционе плоче, а самим тиме и фактор ефикасности предавања количине топлоте грејаном флуиду је већи. Међутим, маса и цена пријемника, у том случају, је већа.

Будући да се резистанса провођењу топлоте са апсорпционе плоче на грејани флуид који струји кроз цеви увећава током времена, због таложења нечистоћа и других минералних састојака на унутрашњој површи цеви, грејна снага пријемника се смањује.

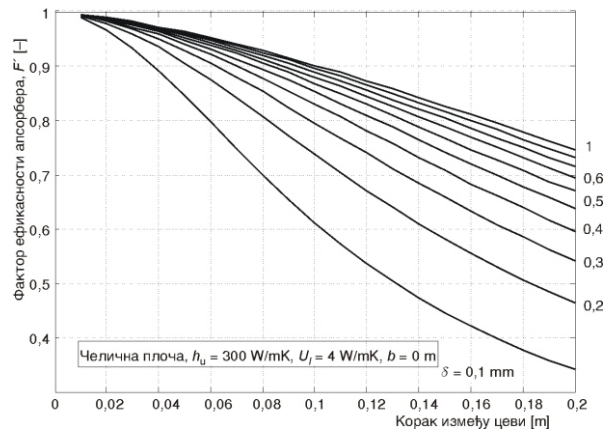
Именилац у изразу за фактор ефикасности апсорпционе плоче (24) по својој физичкој суштини представља резистансу предавању топлоте од грејног флуида на околинду, док бројилац представља резистансу предавању топлоте од апсорпционе плоче у околну средину.

На сл. 3 и 4 приказан је утицај корака између цеви ПТСЕ и дебљине плоче на фактор ефикасности апсорпционе плоче, добијен за сталну вредност коефицијента прелажења топлоте са унутрашње површи на грејани флуид $\bar{h}_u = 300 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ док је

коэффициент укупних топлотних губитака $U_l = 4 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. На сл. 3. приказан случај када је плоча израђена од бакара, док је на сл. 4 плоча израђена од челика, при чему је конструкција таква да плоча само тангира цев ($b = 0 \text{ mm}$). Свакој од линија на дијаграму одговара одређена дебелина плоче, почевши од $\delta = 0,1 \text{ mm}$ за коју се добијају најниже вредности фактора ефикасности, закључно са $\delta = 1 \text{ mm}$.



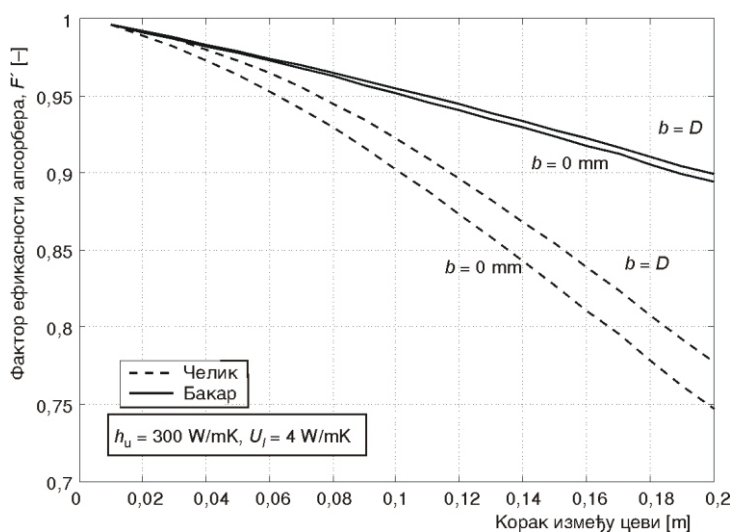
Слика 3. Утицај корака између цеви и дебљине апсорпционе плоче на фактор њене ефикасности



Слика 4. Утицај корака између цеви и дебљине апсорпционе плоче на фактор њене ефикасности

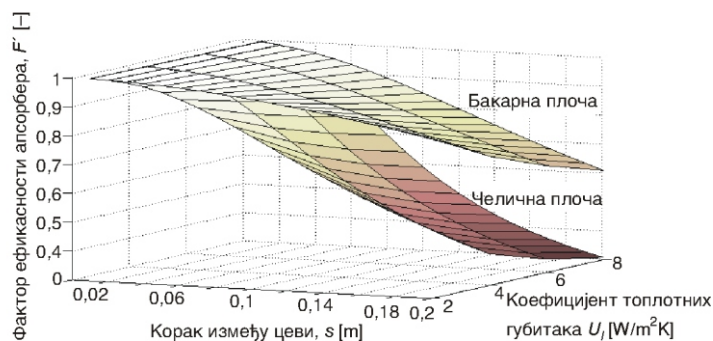
На сл. 5 приказан је утицај величине контактне површи цеви и апсорбујуће плоче b на фактор ефикасности апсорпционе плоче, а при коэффициенту прелажења топлоте са унутрашње површи на грејани флуид $h_u = 300 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ и за вредности коэффициентa укупних топлотних губитака $U_l = 300 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Представљена су два

гранична случаја, када плоча само тангира цев ($b = 0 \text{ mm}$) и када је плоча до половине пречника налаже на цев ($b = D$). Са слике се може видети да промена конструкције има израженији утицај код челичних цеви, где са повећањем контактне површине долази до значајнијег повећања фактора ефикасности апсорбера.



Слика 5. Утицај корака између цеви и величине контактне површи између цеви и апсорбујуће плоче на фактор њене ефикасности

Резултати последње анализе – утицаја вредности привидног коефицијента топлотних губитака, на фактора ефикасности апсорбера, за случај бакарне и челичне плоче апсорбера, а у функцији корака између цеви приказан је на сл. 6.



Слика 6. Утицај вредности привидног коефицијента топлотних губитака апсорбујуће плоче на фактор њене ефикасности

Закључак

На основу детаљно спроведене анализе израза за фактор ефикасности апсорпционе плоче пријемника енергије Сунчевог зрачења F' (израз 24) и израза за фактор ефикасности предавања количине топлоте грејаном флуиду у пријемнику F_R (израз 31), може се закључити:

- да фактор ефикасности апсорпционе плоче пријемника F' , расте са повећањем дебљине плоче и њене топлотне проводљивости, а смањује се са повећањем корака између цеви (канала), кроз које протиче грејани флуид;
- да повећање коефицијента прелажења топлоте са унутрашње површи цеви (канала) доводи, такође, до повећања фактора ефикасности апсорпционе плоче F' , а повећање укупног привидног коефицијента топлотних *зубићака* пријемника изазива смањење фактора ефикасности апсорпционе плоче;
- да фактор ефикасности предавања количине топлоте грејаном флуиду у пријемнику F_R , расте са порастом масеног протока грејаног флуида и тежи горњој граничној вредности, која је једнака фактору ефикасности апсорпционе плоче ($F_R = F'$ при $q_m \rightarrow \infty$);
- да је за поређење стварног пријемника енергије Сунчевог зрачења и пријемника са термодинамички оптималним показатељима, погодније користити фактор ефикасности предавања количине топлоте грејаном флуиду у пријемнику;
- да би при одређивању привидног укупног коефицијента топлотних *зубићака* пријемника, требало претходно извршити детаљну анализу свих сабирака у укупном *зубићу* површинског топлотног протока пријемника.

Ознаке

- A_p – површина грејне површи апсорпционе плоче пријемника, [m²]
- b' – контактна површ цеви и апсорбујуће плоче, [m]
- c_p – специфични топлотни капацитет при сталном притиску, [Jkg⁻¹K⁻¹]
- E_a – директна и дифузиона ирадијација плоче од површи околних тела која рефлектују Сунчево зрачење, [Wm⁻²]
- E_d – директне ирадијације плоче од Сунца, [Wm⁻²]
- E_r – дифузне ирадијације плоче од Сунца, [Wm⁻²]
- E_{tot} – укупна ирадијација апсорпционе плоче, [Wm⁻²]
- F' – фактор ефикасности апсорпционе плоче ПТСЕ, [-]
- F_R – фактор ефикасности предавања топлоте грејаном флуиду у пријемнику Сунчеве енергије, [-]
- \bar{h}_u – коефицијенту прелажења топлоте са унутрашње површи на грејани флуид, [Wm⁻²K⁻¹]
- m – параметар апсорпционе плоче, [m⁻¹]
- q_m – масени проток грејаног флуида, [kgs⁻¹]
- R_h – линијска топлотна резистанса (отпор) прелажењу топлоте са унутрашње површи цеви на грејани флуид, [mKW⁻¹]
- $R_{i,cev}$ – линијска топлотна резистанса провођењу топлоте кроз зид цеви, [mKW⁻¹]
- $R_{i,spoj}$ – линијска топлотна резистанса провођењу топлоте кроз слој везивног материјала апсорпционе плоче и цеви, [mKW⁻¹]
- s – корак између цеви, [m]
- s_p – дужина апсорпционе плоче, [m]
- T_a – температура апсорпционе плоче, [°C]
- T_{amb} – температура околине, [°C]
- $T_{b,x}$ – температура апсорпционе плоче у корену *ребра*, [°C]
- $T_{f,izlaz}$ – средња температура флуида на излазу из пријемника плоче, [°C]
- $T_{f,ulaz}$ – средња температура флуида на улазу у пријемник плоче, [°C]

T_s	– температура на спољашњој површи покривене плоче пријемника, [°C]
U_l	– привидни укупни коефицијент топлотних губитака пријемника енергије Сунчевог зрачења, [Wm ² K]

Грчки симболи

α	– фактор апсорптивности апсорпционе плоче, [–]
δ	– дебелина плоче, [m]
η_r	– фактор ефикасности ребра, [–]
λ	– топлотна проводљивост материјала апсорпционе плоче, [mKW ⁻¹]
ρ	– густина, [kgm ⁻³]
τ	– фактор трансмисивности (пропустљивости) за материјал покривне (заштитне) плоче, [–]
φ_{ef}	– део стварно апсорбоване ирадијације (озрачености) од Сунца, [Wm ⁻²]
φ_{gub}	– <i>зубици</i> површинско топлотног протока, [Wm ⁻²]
$\varphi_{i,v}$	– запреминска енергијска издашност у апсорпционој плочи, [Wm ⁻³]
φ_{prim}	– површински топлотни проток кроз горњу граничну површ плоче, [Wm ⁻²]
$\varphi_{rebro-cev}$	– провођења топлоте кроз корен два спољашња, права подужна ребра сталне дебелине, [Wm ⁻¹]
$\varphi_{segment-cev}$	– ирадијација, апсорбована у делу апсорпционе плоче, непосредно изнад цеви, [Wm ⁻¹]
φ_{uk}	– линијски топлотни проток, са апсорпционе плоче на грејани флуид у цеви, [Wm ⁻¹]
Φ_{uk}	– грејна снага пријемника, [–]

Литература

- [1] Ламбић, М.: *Приручник за соларно грејање*, Научна књига, Београд, 1992.
- [2] Eisenmann, W., Vajen, K., Ackermann, H.: On the Correlations between Collector Efficiency Factor and Material Content of Parallel Flow Flat-Plate Solar Collectors, *Solar Energy*, 76 (2004), 381–387
- [3] Oztop, H. F., Bayrak, F., Hepbasli, A., Energetic and Exergetic Aspects of Solar Air Heating (Solar Collector) Systems, *Ren. Sust. Energy Rev.*, 21 (2013), С, 59-83
- [4] Krejth, F., Black, W. Z., *Basic Heat Transfer*, Harper and Row, New York, Cambridge, Philadelphia, San Francisco, London, Mexico City, Sao Paulo, Sydney, 1980
- [5] Yeh, H. M., Lin, T. T., Effect of Collector Aspect Ratio on the Collector Efficiency of upward Type Baffled Solar Air Heaters, *Energy*, 20 (1995), 10, 1041-1047
- [6] Ho, C. D., Yeh, H. M., Chen, T. C., Collector Efficiency of upward-Type Double-Pass Solar Air Heaters with Fins Attached, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38 (2011), 1, 49-56
- [7] Chamolia, S., et al., A Review of the Performance of Double Pass Solar Air Heater, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012), 1, 481-492

Abstract**Correlations between Geometric Parameters and Efficiency Factor of Solar Collectors**

by

*Miloš J. BANJAC and Srdjan P. OTOVIĆ****Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, Belgrade, Serbia**

Quality of solar thermal collectors is usually defined through so called collector efficiency η_{pse} , that represents ratio of a useful collector's heat gained and solar irradiance that reaches the surface of collectors. However in the design and in general when analysing the impact of certain geometrical and thermo-physical properties of the collector's heat gained it is more adequate to use the other two factors – the collector efficiency factor and the heat removal factor. In order to better understand the physical essence of these two factors, the detailed theoretical derivation of correlations between parameters and those efficiency factors was made. Using the derived analytical expression, an analysis of influence on collector efficiency factor was made in relation with the distance between pipes, thickness of absorption panels, the size of contact surfaces of pipes and absorbing panels, type of material of absorbing panels, as well as changing values of apparent coefficient of heat loss.

Key words: solar collector, collector efficiency factor, thermal conductivity, heat removal factor, collector efficiency

*Corresponding author; e-mail: sotovic@mas.bg.ac.rs

Рад примљен: 18. јула 2013.
Рад ревидиран: 10. децембра 2013.
Рад прихваћен: 28. децембра 2013.