

**Univerzitet u Novom Sadu
Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin"
Zrenjanin**

**RAZVOJ RAVNIH TOPLOTNIH SUNČEVIH
PRIJEMNIKA, SA ASPEKTA POVEĆANJA
ENERGETSKE EFIKASNOSTI**

- Doktorska disertacija -

Mentor:
Prof. dr Miroslav Lambić

Kandidat:
Mr Dragan Stojićević

Zrenjanin, 2005.

UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNIČKI FAKULTET "MIHAJLO PUPIN"
ZRENJANIN

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

Redni broj: (RBR)	
Identifikacioni broj: (IBR)	
Tip dokumentacije: (TD)	Monografska publikacija
Tip zapisa: (TZ)	Tekstualni štampani materijal
Vrsta zapisa: (VZ)	Doktorska disertacija
Autor: (AU)	Mr Dragan Stojićević, dipl. ing.
Mentor: (MN)	Prof. dr Miroslav Lambić
Naslov rada: (NR)	Razvoj ravnih toplotnih sunčevih prijemnika sa aspekta povećanja energetske efikasnosti
Jezik publikacije: (JP)	Srpski
Zemlja publikovanja: (ZP)	SCG
Uže geografsko područje: (UGP)	Srbija
Godina: (GO)	2005.

Izdavač:
(IZ) Autorski print

Mesto i adresa:
(MA) 12208 Kostolac, Kneza Lazara 26

Fizički opis rada:
(FO) (broj poglavlja /strana /tabela/ slika)
(8/121/54/103)

Naučna oblast:
(NO) Termoenergetika

Naučna disciplina:
(ND) Solarna energetika

Predmetna odrednica / Ključne reči:
(PO) Efikasnost, prijemnici, energija

Čuvaju se:
(ČU) U biblioteci Tehničkog fakulteta
"Mihajlo Pupin" u Zrenjaninu

Izvod iz rada:
(IZ) U radu su prikazani rezultati ispitivanja energetske efikasnosti ravnih PSE. Cilj istraživanja je uvođenje i definisanje konstruktivnih, fizičkih i radnih karakteristika ravnih, niskotemperaturnih prijemnika sunčeve energije sa aspekta povećanja energetske efikasnosti. Ispitana je mogućnost efikasnijeg prenosa toplote sa površine apsorbera na radni medijum čime se smanjuju ukupni toplotni gubici

Datum prihvatanja teme od NN veća:
(DP)

Datum odbrane:
(DO)

Članovi komisije:
(KO) (Naučni stepen/ime i prezime/
zvanje/fakultet)

Predsednik komisije:

Član:

Mentor: Prof. dr Miroslav Lambić
Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin"
Zrenjanin

UNIVERSITY OF NOVI SAD
FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number:
(AN)

Identification number:
(ID)

Document type: Monographic Publication
(DT)

Type of record: Textual material printed
(TR)

Contant code: Doctorate
(CC)

Author: Stojicevic Dragan
(AU)

Menthor – Commentator: Ph. D. Miroslav Lambic
(MN)

Title: Energetic Efficiency Inreace Regarding the
(TI) Development of Flat Plate Solar Energy Collectors

Language of text: Serbian
(LT)

Country of publication: Serbia and Montenegro
(CP)

Lokality of publication: Serbia
(LP)

Publication year: 2005.
(PY)

Publisher: Author reprint
(PU)

Publication place: 12 208 Kostolac, K. Lazara 26.
(PP)

Physical description: (chapters/pages/tables/graphs)
(PD) (8/121/54/103)

Scientific field: Mechanical Engineering
(SF)

Scientific discipline: Thermoenergetics
(SD)

Scientific field: Solar Energetics
(SF)

Subject/Key words: Efficiency, collectors, energy
(SKW)

Universal classification:
(UC)

Holding Data: Library of the Faculty of Technical Sciences
(HD) *Mihajlo Pupin, Zrenjanin*

Note:
(N)

Abstract: In the paper are presented the result of energetic efficiency test of
(AB) flat plate solar collectors. The aim of test is introduction and definition of constructive, physical and working characteristics of flat plate low-temperature solar collectors from the increasing energetic efficiency aspect. Possibility of higher efficiency of heat transmission from the surface of absorber to the working fluid was tested, with decreasing of summary heat losses.

Accepted by the Scientific Board on:
(ACB)

Defended:
(DE)

Thesis defent board: (degree/name/surname/title/faculty)
(DB)

Presidant:

Member:

Menthor:

Ph. D. Miroslav Lambic, Technical Faculty
Mihajlo Pupin, Zrenjanin

1. UVOD

Iz stručne literature se može zaključiti da je velika pažnja posvećena problematici istraživanja energetske efikasnosti ravnih prijemnika sunčeve energije. Ova istraživanja su vrlo kompleksna jer ne postoji validan sistem koji će prezentovati najbolje karakteristike konkretnih prijemnika sunčeve energije u konkretnim dinamičkim uslovima rada. Zato se dešava da projektanti solarnih instalacija i sistema često na bazi empiričnih preporuka proizvođača dimenzionišu ključni element sistema – prijemnik sunčeve energije. Takav pristup dovodi do neoptimalnog rada sistema odnosno manjoj ekonomičnosti instalisanog sistema.

U zavisnosti od konstrukcijskih karakteristika ravni prijemnici energije Sunčevog zračenja se dele na više tipova.

Namena svih elemenata od kojih se sastoje prijemnici je istovetna. Osnovni element je apsorber koji je smešten u odgovarajućem kućištu. Sa prijemne strane nalazi se jedan ili dva transparenta. Termička izolacija je smeštena sa zadnje i bočnih strana, a sve je povezano u jednu konstruktivnu celinu pomoću spojnih i zaptivnih elemenata.

Termoizolacija je nophodna da bi se smanjili toplotni gubici ravnih kolektora. Postavlja se između apsorbera i kućišta a kod nekih tipova kolektora i na njihovim bočnim stranama.

Cilj istraživanja je utvrđenje i definisanje konstrukcionih, fizičkih i radnih karakteristika ravnih, nižetemperaturnih prijemnika sunčeve energije sa aspekta povećanja energetske efikasnosti. Ispitaće se mogućnost efikasnijeg prenosa toplote sa površine apsorbera na radni medijum, čime će biti smanjeni ukupni toplotni gubici.

Pretpostavka je da je moguće definisati tehničko rešenje ravnog toplotnog prijemnika sunčeve energije koji će imati višu trenutnu i prosečnu energetska (termodinamičku) efikasnost koja će obuhvatati bolje transformacione karakteristike sunčevog zračenja u toplotu na apsorberu prijemnika, kao i da se obezbede bolje konstrukcione karakteristike elemenata kolektora koje će omogućiti efikasniju predaju tako “proizvedene” toplote radnog (rashladnog) medijum.

2. STANJE ISTRAŽIVANJA PREDMETNE PROBLEMATIKE

Duffie J. A. i Beckman V. A. (1974.) [2] detaljno analiziraju refleksivnost apsorbera sa različitim selektivnim premazima, kao i radijacione karakteristike različitih materijala. Posebno se zadržavaju na prenosu toplote kod PSE sa jednim, dva ili više transparenta i obrađuju zavisnost efikasnosti ravnih pločastih kolektora od različitih gubitaka toplotne energije.

Cheremissionoff P. N. i Regino T. C. (1978.) [1] obrađuju problematiku ravnih toplotnih prijemnika sunčeve energije sa tečnim radnim medijumom. Navode različite konstrukcije PSE sa cevno – pločastim apsorberom.

Faninger G. (1980.) [5] opisuje razvoj ravnih solarnih kolektora i objašnjava rad ispitne stanice za toplotne PSE instalisane u Beču.

Kreith F. i Kreider J.F. (1981.) [9] definišu energetske bilans ravnih – pločastih prijemnika sunčeve energije sa posebnim osvrtom na cevne kolektore.

McVeigh J. C. (1983.) [26] razmatra ravne pločaste PSE sa vodom kao radnim medijumom, naročito se zadržavajući na fizičko – konstruktivnim osobinama, selektivnim premazima, materijalima, rayvoju dizajna, komparativnim karakteristikama i ispitnim procedurama.

Szokolay S. V. (1984.) [28] je publikovao radove sa Svetskog solarnog kongresa u kojima je razmatrana i tematika primene ravnih toplotnih sunčevih kolektora u arhitekturi i njihova efikasnost.

Garg H. P. (1987.) [7] analizira ravne pločaste prijemnike sunčeve energije a posebnu pažnju pridaje efikasnosti apsorbera u zavisnosti od vrste i protoka radnog fluida.

Lambić M. (1987.) [16] obrađuje osnove termoenergetike sistema za korišćenje sunčeve energije i posebno kvalitetno objašnjava toplotne ravne PSE tipa cev – ploča i tipa ploča – ploča sa vodom kao radnim medijumom.

Lambić M. (1991.) [18] detaljno analizira termodinamiku niskotemperaturnih prijemnika sunčeve energije sa tečnim radnim medijumom, na bazi petnaestogodišnjeg iskustva i relevantnih istraživanja u zemlji i svetu.

Lambić M. (1992.) [14] je obrađujući cevno – pločaste ravne PSE posebno razmatrao uticaj rastojanja među cevima i crnog premaza apsorbera na efikasnost kolektora. Takođe je obradio sve oblike toplotnih gubitaka i pad efikasnosti kolektora tokom eksploatacije.

Pavlović T. i Čabrić B. (1999.) [27] su razmotrili toplotnu konverziju i uz konkretnu analizu svih konstruktivnih delova PSE sa tečnošću, obradili efikasnost ravnih kolektora uzimajući u obzir i temperaturu stagnacije, brzinu vetra kao i koeficijent korekcije upadnog ugla.

Garg H. P. i Prakash J. (2000.) [6] su se konkretno angažovali na ispitivanju mogućnosti povećanja efikasnosti ravnih pločastih PSE sa vodom kao radnim medijumom. Oni su analizirali sve konstruktivne elemente koji su dominantni kod energetske efikasnosti kolektora.

Lambić M. (2002.) [24] detaljno obrađuje ravne (niskotemperaturne) prijemnike sunčeve energije sa aspekta energetske efikasnosti solarnih kolektora.

Lambić M. (2003.) [11] definiše energetske efikasnosti ravnih – pločastih PSE uz poseban osvrt na efikasnost prenosa toplote od apsorbera na radnu tečnost (efektivnost) , kao i na degradaciju energetske karakteristika kolektora.

Lambić M. i Stojićević D. (2004.) [25] su najviše pažnje posvetili konstruktivnim elementima ravnih kolektora i izneli nekoliko primera efikasnosti konstrukcije PSE sa konkretnim rezultatima ispitivanja.

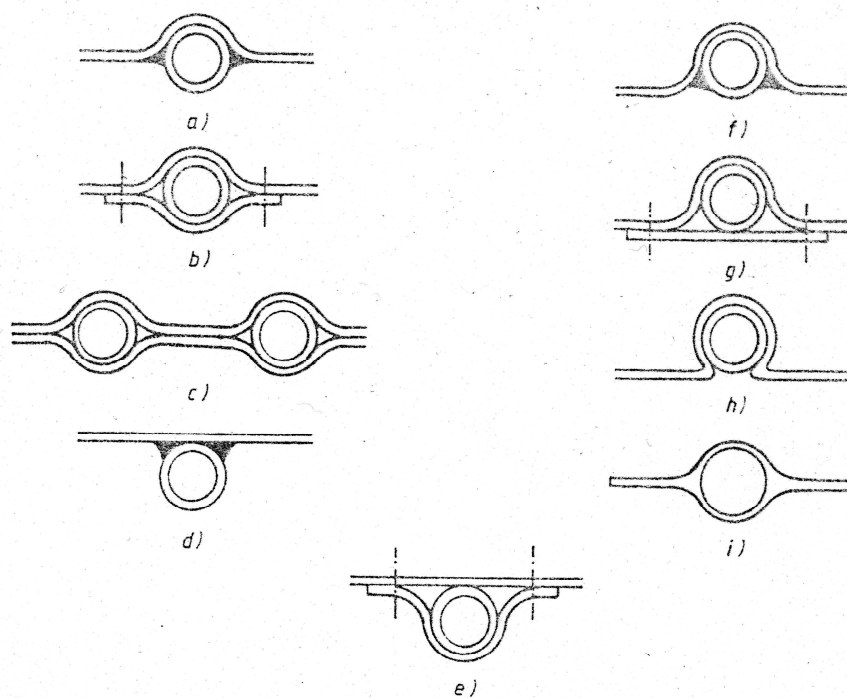
3. IDENTIFIKACIJA KLJUČNIH PARAMETARA KONSTRUKCIJE PRIJEMNIKA SUNČEVE ENERGIJE

Radni fluid cirkuliše kroz cevi kolektora i po konstrukciji postoje apsorberi tipa:

- a) cev – ploča,
- b) ploča – ploča i
- c) apsorber posebnog konstrukcijskog izgleda.

a) Apsorber tipa cev ploča

Kod ove konstrukcije evidentna je mehanička veza cevi sa tankom pločom (kao što je prikazano na slici 3.1.d) ili se cevni kanal i ploča izrađuju kao homogeni element (slika 3.1.i).



Slika 3.1. – Detalj apsorbera tipa cev – ploča

Prenos toplote od ploče na tečnost u cevi je relativno loša u slučajevima kao na slici 3.1.d i 3.1.e. Ukoliko između cevi i ploče ne postoji homogena veza onda između njih može dospeti neki materijal koji negativno utiče na termičko provođenje toplote. Zato je u tabeli 2. dat koeficijent provođenja toplote (λ) za neke materijale koji mogu dospeti u prostor između cevi i ploče. [18]

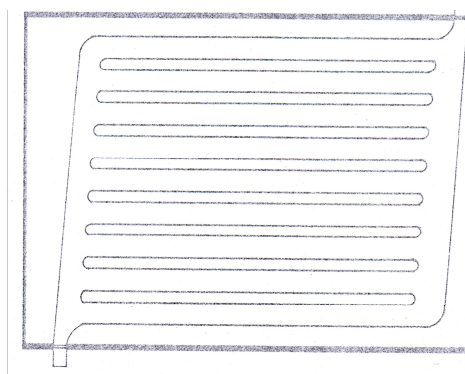
Tabela 3.1. Koeficijent provođenja toplote (λ) za određene materijale

Materija koj popunjava prostor između cevi i ploče	t [°C]	λ [W/mK]
Aluminijum oksid (prah)	-	0.67
Poliuretanska tvrda pena ekspanzirana sa CO	-	0.0325
Poliuretanska tvrda pena ekspanzirana sa F-11	-	0.0163÷0.0186
Vodena para	100	0.025
Vazduh	25÷100	0.0245÷0.031
Voda	20÷100	0.595÷0.679
Mazivo ulje	20÷120	0.144÷0.138

b) Apsorberi tipa ploča – ploča

Kod ovih tipova apsorbera dve, međusobno zavarene ploče (maksimalne debljine 1,5 mm) imaju kanale za protok radnog fluida. Evidentno je da kod ovakve konstrukcije apsorbera bolji prenos toplote nego kod tipova cev – ploča.

Na slici 3.2. šematski je prikazan apsorber izrađen po tehnološkom sistemu “Roll – Bond” koji omogućuje povoljniji raspored kanala i manju masu uloženog materijala.



Slika 3.2. Šematski prikaz apsorbera tipa ploča – ploča

c) Apsorberi posebnog konstrukcijskog izgleda

U zavisnosti od raspoloživosti tehnologije proizvodnje mogu se izrađivati i apsorberi drugačijih konstruktivnih rešenja od prethodno navedenih, ali i kod njih je bitno da poseduju adekvatnu prijemnu površinu i cevne kanale za protok radnog fluida. Jedna od karakterističnih konstrukcija je kada se na bakarnoj cevi, kroz koju struji radna tečnost, naniže određeni broj posebno profilisanih lamela – rebara (od Al ili Cu). Termički otpor uzrokovan kontaktom svih lamela sa cevi bitno utiče na prenos toplote. Zato je izuzetno važno kod ovakvih konstrukcija apsorbera ostvariti čvrst i bolji kontakt kao i veću površinu naleganja lamela na cev.

3.1. Termička izolacija

Tabela 3.2. Termičke i fizičke karakteristike materijala koji se primenjuju kod PSE kao termoizolatori

Materijal	ρ [kg/dm ³]	t [°C]	λ [W/mK]
Poliuretanska tvrda pena, ekspanzirana sa CO ₂	32÷35	-	0.0325
Poliuretanska tvrda pena, ekspanzirana sa F – 11	32÷35	-	0.0163÷0.0186
Mineralna vuna	200	50	0.0465
Staklena vuna	50÷200	20	0.037÷0.040

Tabela 3.3. Izolacioni materijali za zadnju i bočne strane PSE

Materijal	ρ [kg/dm ³]	t [°C]	λ [W/mK]
Pluta – u pločama	190	30	0.042
Pluta – u granulama	45	20	0.0384
Stiropor	32	20	0.027

3.2. Prozirna pokrivka PSE (transparent)

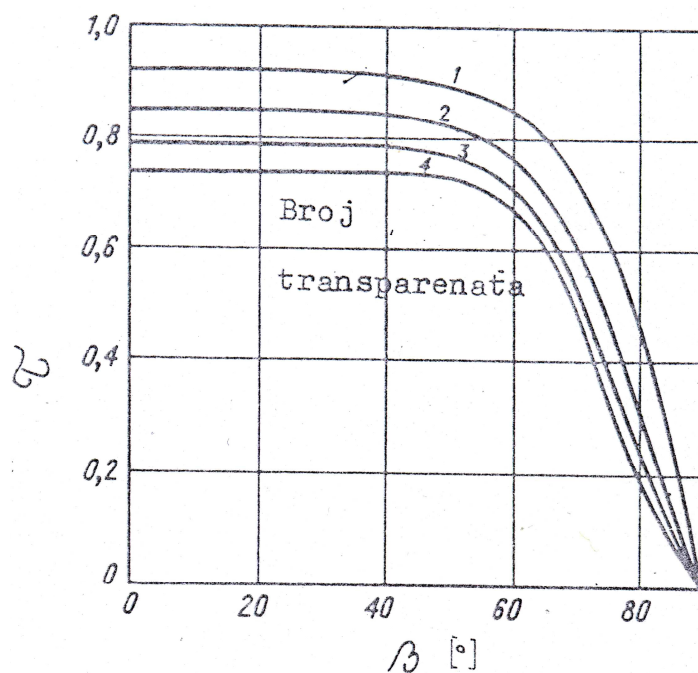
Za energetska efikasnost PSE izuzetan značaj ima prozirna pokrivka. Ona ima zadatak da termoizoluje prostor prijemnika sa njegove prijemne – prednje strane i da omogući što veću propustljivost sunčevog zračenja do apsorbera. Optičke, termičke i mehaničke osobine transparenta su veoma bitne kako za efikasnost apsorbera tako i za životni vek kolektora.

U tabeli 3.4. date su karakteristike onih materijala koji se najčešće koriste za pokrivke PSE.

Tabela 3.4. Karakteristike transparentata PSE

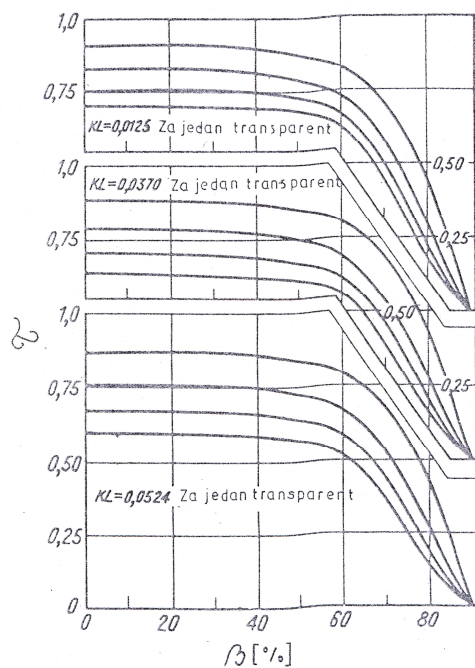
Materijal	ρ [kg/dm ³]	t [°C]	λ [W/mK]	c [kJ/kgK]
Staklo – obično	2.4÷3.2	20	0.582÷1.047	0.779
Staklo – termometrisko	2.59	20	0.965 (1.05)	-
Pleksistaklo	-	20	0.184	-
Polimetil – metakrilat	1.18÷1.19	20	0.18	1.86
Celulozni derivati	1.2÷1.4	20	0.27÷0.31	1.26÷1.67
Polikarbonat	1.2÷1.5	20	0.21	1.17

U najčešćoj upotrebi su transparenti od običnog prozirnog stakla debljine 3 ÷ 4 mm kojima je jedini nedostatak veća težina i krutost (slike 3.3., 3.4. i 3.5.).



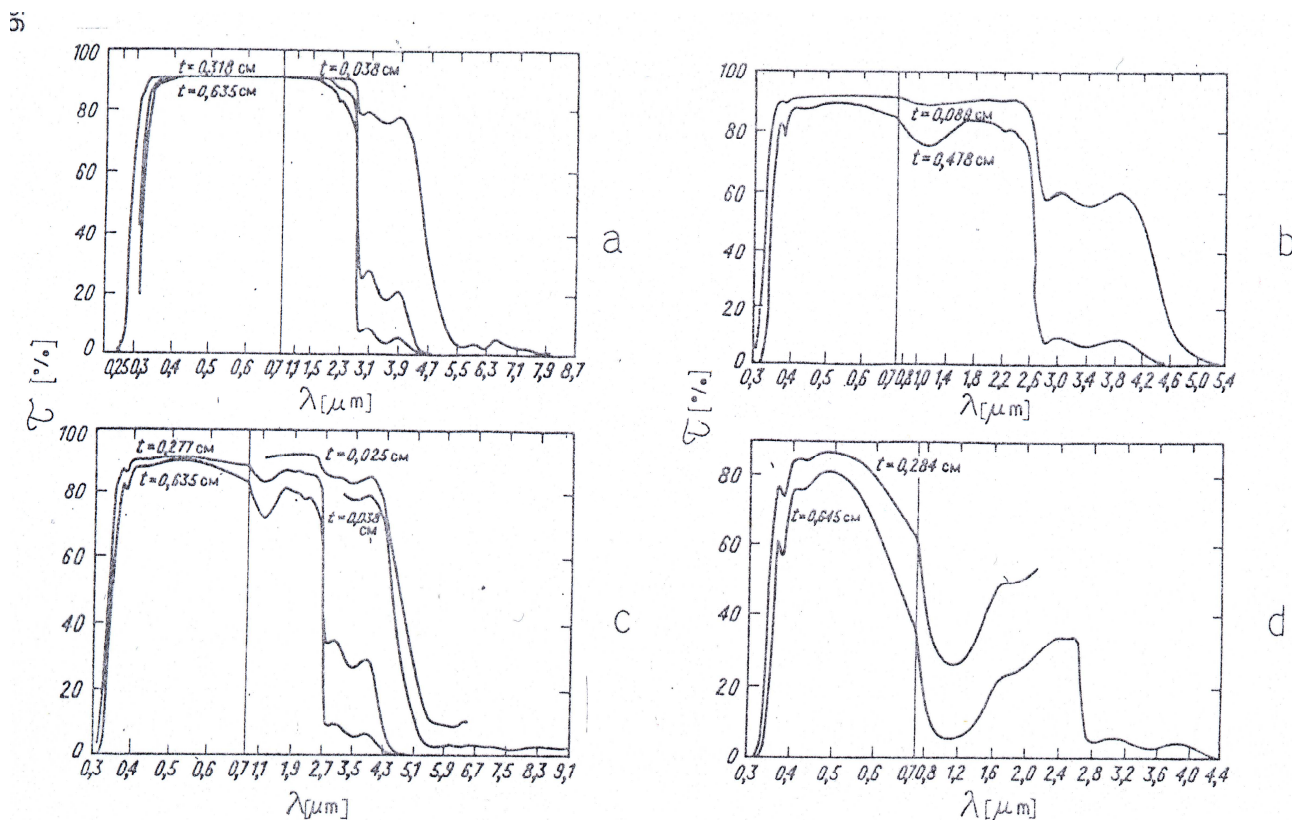
Slika 3.3. Uticaj broja transparentata i upadnog ugla zraka na propusnu sposobnost

Iz dijagrama na slici 3.3. može se zaključiti da je najmanja propusna sposobnost (τ) ako je broj transparentata 4, a najveća ako je PSE sa jednim transparentom.



Slika 3.4. Propusna sposobnost prema Hottelu i Woertzu

Kod dijagrama propusne sposobnosti prema *Hottelu i Woertzu*, K predstavlja koeficijent ekstincije koji ima približnu vrednost od $0,04 \text{ cm}^{-1}$ (za visokoprozirno staklo – bezbojna ivica) do približno $0,32 \text{ cm}^{-1}$ (za loše staklo – sa zelenkastim prelivom ivice), dok L predstavlja stvarnu dužinu puta zračenja kroz odgovarajući transparent.



Slika 3.5. Spektralna propusna sposobnost transparenta a) staklo sa $0.02 \text{ Fe}_2\text{O}_3$; b) staklo sa $0.10 \text{ Fe}_2\text{O}_3$; c) staklo sa $0.15 \text{ Fe}_2\text{O}_3$; d) staklo sa $0.50 \text{ Fe}_2\text{O}_3$

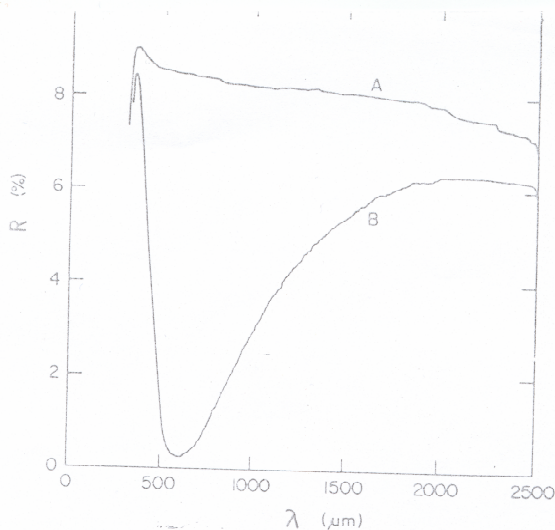
Većina transparentata se prema spektru sunčevog zračenja ponaša selektivno. Propusna sposobnost je iskazana u zavisnosti od talasne dužine sSunčevog spektra i različite količine Fe_2O_3 u transparentu (staklu).

3.3. Kućište PSE, spojni i zaptivni elementi PSE

Osim što povećavaju krutost, ne utiču bitno na efikasnost PSE.

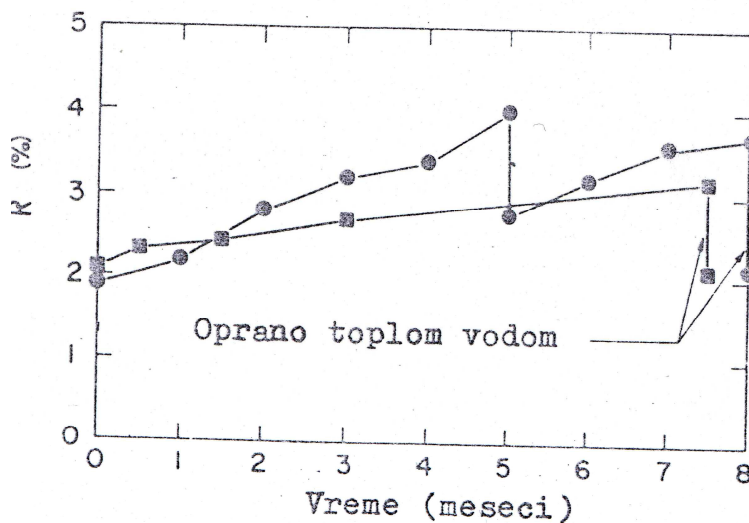
3.4. Anti refleksioni premazi

Antirefleksioni premazi znatno utiču na efikasnost PSE i imaju za cilj da smanje pojavu refleksivnosti, odnosno da veća količina sunčevog zračenja dospe do radnog fluida.



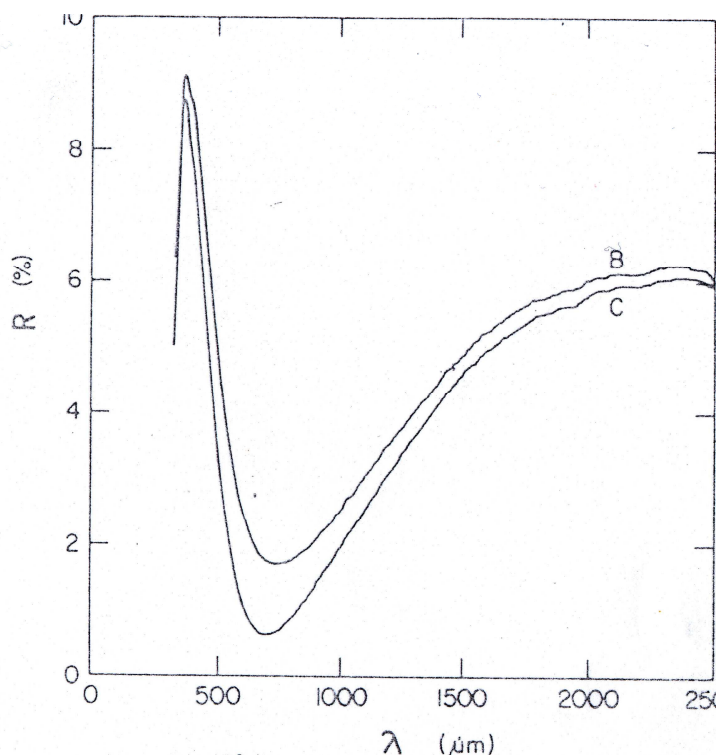
Slika 3.6. Spektralna refleksivnost A – čisto staklo; B – staklo sa antirefleksivnim slojem od prozirnog silikatnog materijala

Na prethodnoj slici je očita razlika u refleksivnosti čistog stakla u korist stakla sa antirefleksivnim slojem od prozirnog silikatnog materijala.



Slika 3.7. Zavisnost refleksivnosti od vremena izlaganja zračenju ● – staklo sa antirefleksivnim slojem; ■ – polikarbonat sa antirefleksivnim slojem

Tokom vremena transparentna pokrивka se zaprlja i povećava se refleksivnost, zato je potrebno, posle izvenog vremena, oprati staklo i time smanjiti refleksivnost što je očigledno na slikama 3.7. i 3.8.



Slika 3.8. Uticaj čistog i zaprljenog transparenta sa antirefleksionim premazom na spektralnu reflektivnost

3.4.1. Apsorpciona karakteristika apsorbera PSE

Sposobnost neke površina da apsorbuje deo zračenja određene talasne dužine (λ) koje dospeva na nju pri kosinusnu polarnog ugla (μ) i azimutskom uglu (φ), naziva se spektralna apsorpcija.

Izražava se u obliku:

$$\alpha_{\lambda}(\mu, \varphi) = \frac{\phi_{\lambda_a}(\mu, \varphi)}{\phi_{\lambda_i}(\mu, \varphi)} \quad (3.1.)$$

Indeksi (a) i (i) odnose se na apsorbujuće i padajuće zračenje a(φ) predstavlja odgovarajuću snagu zračenja ($d\phi = G \cdot dA$). (3.2.)

Direktna apsorpciona sposobnost predstavlja deo integralnog zračenja koje se apsorbuje i definiše izrazom:

$$\alpha(\mu, \varphi) = \frac{\int_0^{\infty} \alpha_{\lambda}(\mu, \varphi) \cdot \phi_{\lambda_i}(\mu, \varphi) d\lambda}{\int_0^{\infty} \phi_{\lambda_i}(\mu, \varphi) d\lambda} = \frac{1}{\phi_i(\mu, \varphi)} \int_0^{\infty} \alpha_{\lambda}(\mu, \varphi) \phi_{\lambda_i}(\mu, \varphi) d\lambda \quad (3.3.)$$

Odnos spektralnog – monohromatskog inteziteta zračenja emitovanog sa te površine u nekom pravcu i monohromatskog zračenja koje bi emitovalo crno telo pri toj temperaturi, naziva se spektralni stepen crnoće i iznosi:

$$\varepsilon_{\lambda}(\mu, \varphi) = \frac{\phi_{\lambda}(\mu, \varphi)}{\phi_{b\lambda}} \quad (3.4.)$$

odnosno:

$$\varepsilon(\mu, \varphi) = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda}(\mu, \varphi) \cdot \phi_{b\lambda} \cdot d\lambda}{\int_0^{\infty} \phi_{b\lambda} \cdot d\lambda} = \frac{1}{G_b} \int_0^{\infty} \varepsilon_{\lambda}(\mu, \varphi) \cdot \phi_{b\lambda} \cdot d\lambda \quad (3.5.)$$

Tabela 3.5. Vrednosti koeficijenta apsorpcije (α) emisije (ε) za nekoliko vrsta neselektivnih boja za neselektivne apsorbere

Vrsta boje	Koeficijent apsorpcije (α)	Koeficijent emisije (ε)
Crna mat – boja	0.98	0.95
Crna mat – boja (lamp black)	0.97	0.97
Crna boja za grejna tela (piroxal)	0.95	0.95
Specijalna crna boja za prijemnike (nextel)	0.95	0.90
Grafitna boja	0.85	0.60

Selektivni apsorberi su oni koji su tretirani sa prijemne strane raznim selektivnim premazima kako bi došlo do apsorpcije kraćih talasnih dužina sunčevog zračenja, a da je slabo emitovanje zračenja u oblasti dužih (infracrvenih) talasnih dužina.

Ovi tipovi apsorbera dobro apsorbuju veći deo sunčevog spektra, smanjeni su im gubici toplote, imaju viši koeficijent konverzije sunčevog zračenja u toplotu i dostižu više temperature.

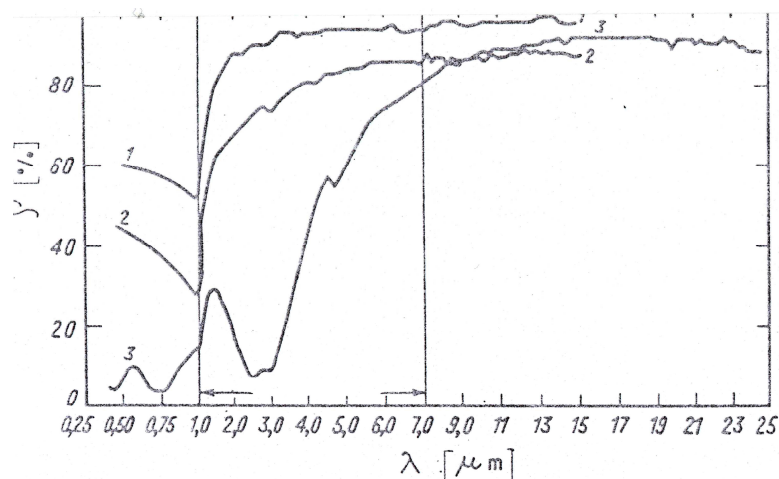
Da bi se povećala spektralna selektivnost apsorbera, prijemna površina se tretira nanošenjem tamnih filmova ili poluprovodničkim slojevima. Vrsta i debljina nanosenog sloja kao i mikrostruktura tretirane površine apsorbera, utiču na povećanje apsorpcije u području sunčevog spektra i smanjuje faktor emisije u infracrvenoj oblasti zračenja.

Tabela 3.6. Osobine pojedinih selektivnih slojeva

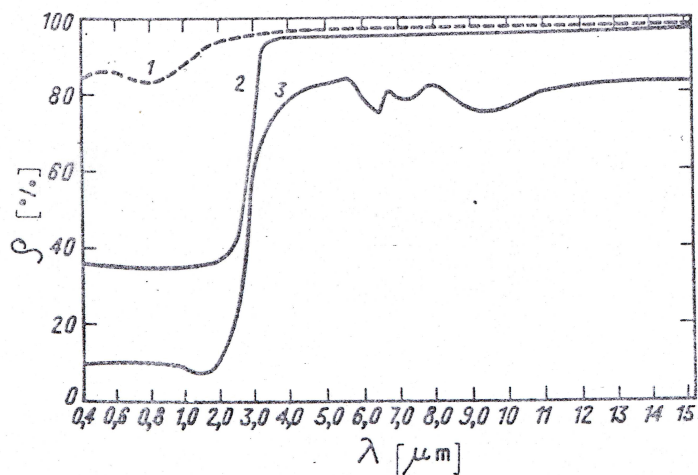
Materijal naslage	Materijal podloge	Koeficijent apsorpcije	Koeficijent emisije	Postojanost transparenta
Crni nikel na niklu	Čelik	0.95	0.07	287.7
Crni hrom na niklu	Čelik	0.95	0.09	426.6
Crni hrom	Čelik	0.91	0.07	426.6
Crni hrom	Bakar	0.95	0.14	315.5
Crni hrom	Galvaniziran čelik	0.95	0.16	426.6
Crni bakar	Bakar	0.88	0.08	315.5
Gvozdeni oksid	Čelik	0.85	0.09	426.6

Tabela 3.7. Apsorpciona i emisiona karakteristika selektivnih prevlaka nanosenih metodom elektrohemijskog taloženja na različite podloge

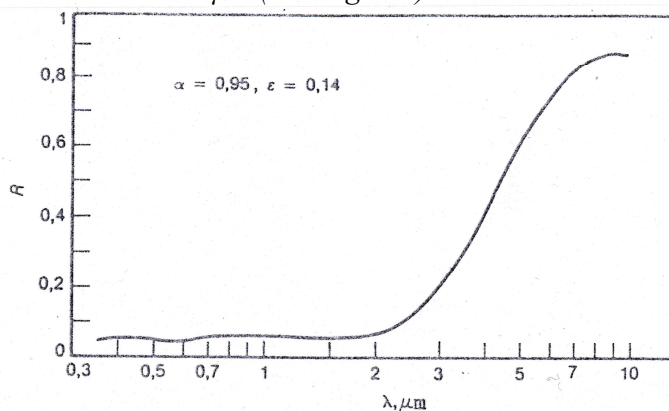
Podloga	α	ϵ	α/ϵ
Čelik sa podslojem matiranog nikla	0.96	0.10	9.6
Čelik sa podslojem kalaja	0.96	0.06	16.0
Čelik sa podslojem nikla	0.95	0.11	8.6
Nikal	0.95	0.11	8.6
Čelik sa podslojem nikla debljine 12,7 μ m	0.95	0.07	13.8
Čelik	0.92÷0.94	0.07÷0.20	13.1÷14.7
Bakar	0.94	0.051	18.5
Bakar sa podslojem nikla debljine 12,7 μ m	0.95	0.078	12.3
Aluminijumska folija	0.964	0.023	42.0
Pocinkovan čelik	0.95÷0.96	0.15	6.3



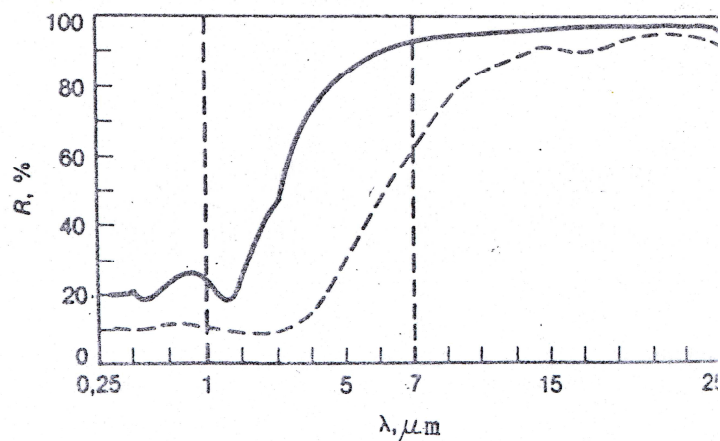
Slika 3.9. Uticaj vrste površina na spektralnu reflektivnost 1 – polirani Zn na poliranom Al; 2 – pocinkovano gvožđe sa nanosom 0.56 mm (industrijska obrada); 3 – solarni kolektor Tabora (hemijska obrada pocinkovanog gvožđa)



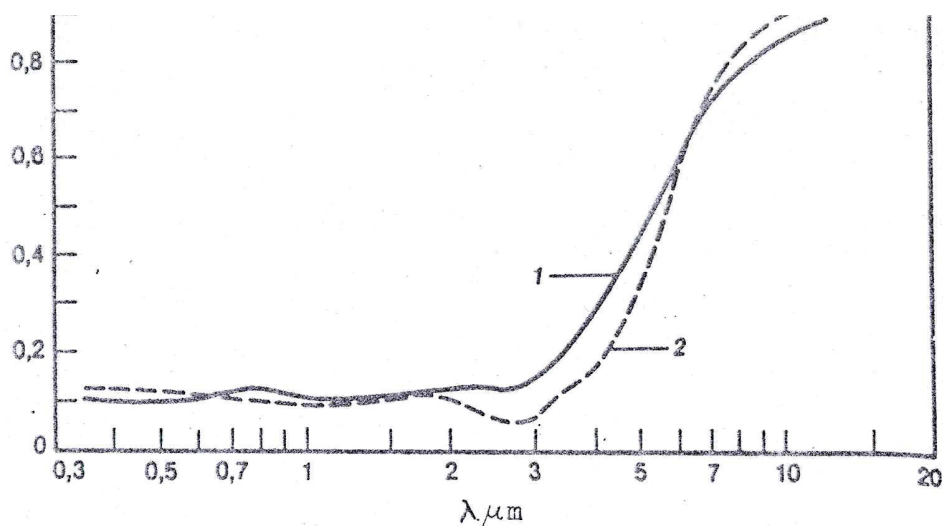
Slika 3.10. Spektralna reflektivnost za PbS sloj na aluminijumskoj površini 1 – čist Al (99.99%) bez nanetog sloja; 2 – čvrst nanos PbS ($0.68\text{mg}/\text{cm}^2$), 3 – kristalna dendrita debljine $0.1\mu\text{m}$ ($0.67\text{mg}/\text{cm}^2$)



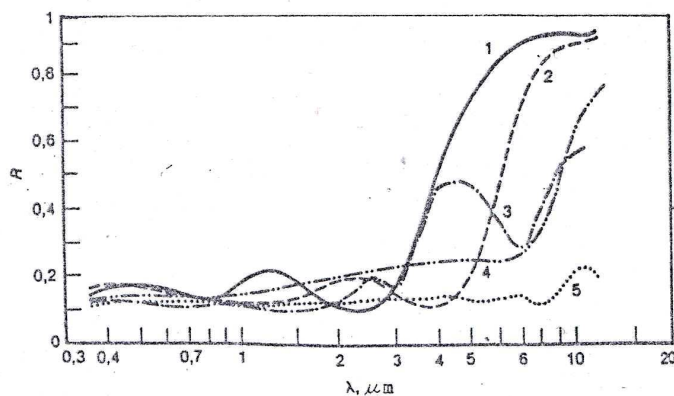
Slika 3.11. Uticaj sloja crnog hroma na bakarnoj ploči na spektralnu reflektivnost



Slika 3.12. Spektalna refleksivnost crnog bakra na bakarnoj podlozi, pri trajanju obrade u oksidacionom kupatilu: a) 3 min; b) 10 min



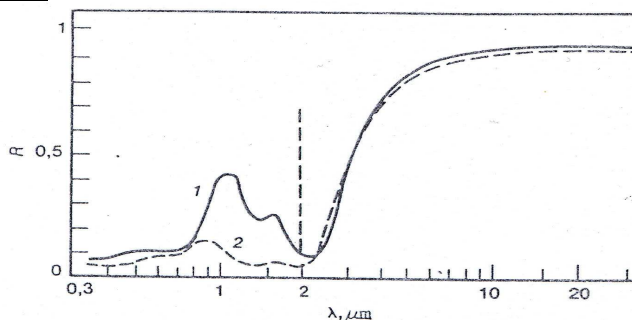
Slika 3.13. Spektralna refleksivna sposobnost crnog bakra u zavisnosti od temperature oksidacionog kupatila pri trajanju obrade od 6 minuta 1 – temperatura kupatila: 66°C, $\alpha = 0.89$, $\varepsilon = 0.19$; 2 – temperatura kupatila 57°C, $\alpha = 0.90$, $\varepsilon = 0.17$



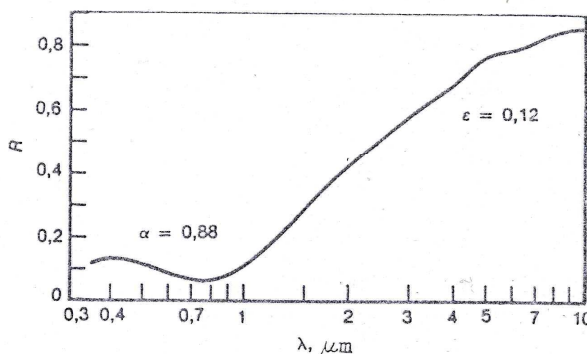
Slika 3.14. Spektralna refleksivna sposobnost sloja od crnog gvožđa, pri različitim vremenima trajanja obrade u oksidacionom kupatilu prikazanim u tabeli 3.8.

Tabela 3.8. Parametri potrebni za objašnjenje slike 3.14.

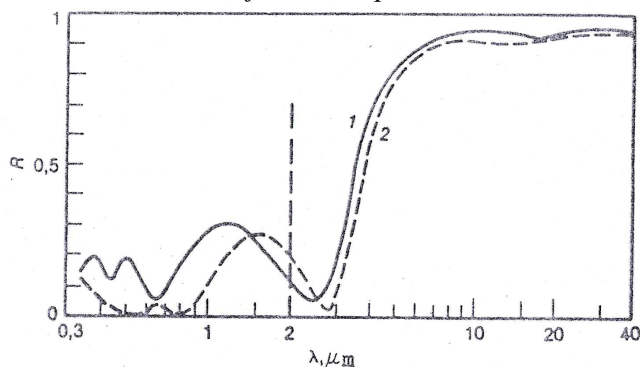
Kriva	Vreme obrade (min)	α	ε
1	2	0.84	0.08
2	6	0.86	0.19
3	9	0.89	0.35
4	15	0.86	0.39
5	20	0.89	0.76



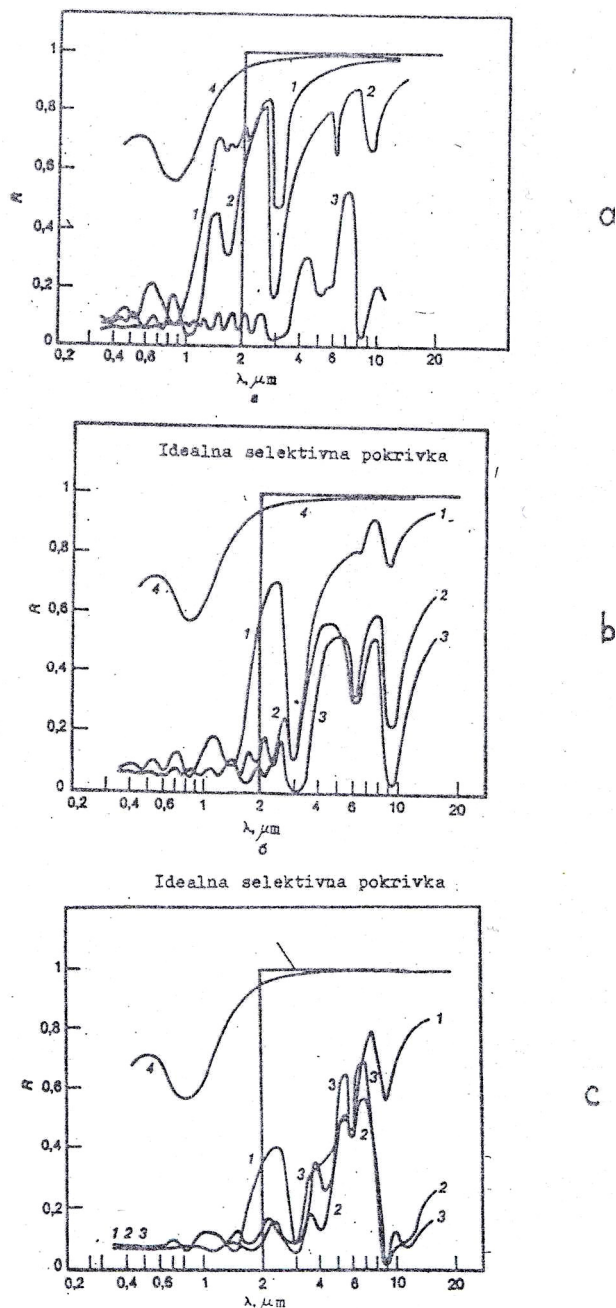
Slika 3.15. Spektralna reflektivna sposobnost oksida kobalta na čeličnoj podlozi sa predstojem nikla u kupatilu 1 – u trajanju od 20 s; 2 – u trajanju od 90s



Slika 3.16. Uticaj selektivnog sloja od oksida gvožđa dobijenog grejanjem na vazduhu na selektivnu reflektivnu sposobnost



Slika 3.17. Spektralna reflektivna sposobnost oksida volframa na poliranom niklu, nanesenog reaktivnim visoko – frekventnim raspršivačem u toku 8 minuta u sredini od 97% Ar i 3% O₂ pri pritisku od 1.7 Pa (1); i oksida sa sloje Al₂O₃ (2)



Slika 3.18. Spektralna reflektivna sposobnost sloja od crnog cinka nanesenog hromatskom obradom u rastvorima sa koncentracijom od: a) 50%; b) 75%; c) 100%, pri vremenu obrade od: 1 – 0.25 minuta; 2 – 0.5 minuta; 3 – 0.75 minuta; 4) 0 minuta

Na slikama 3.9. ÷ 3.18. su dati primeri zavisnosti koeficijenta refleksije od talasne dužine zračenja koja se definiše formulom:

$$\alpha_{\lambda} = 1 - \rho_{\lambda} \tag{3.6}$$

4. ENERGETSKI BILANS RAVNIH PRIJEMNIKA SUNČEVE ENERGIJE

4.1. Toplotni bilans ravnih prijemnika

Režim rada ravnog prijemnika se opisuje energetskim bilansom kojeg sačinjavaju energija Sunčevog zračenja, korisna energija i gubici energije u sledećem obliku:

$$A_a \{ [H \cdot R \cdot (\tau \cdot \alpha)]_b + [H \cdot R \cdot (\tau \cdot \alpha)]_d \} = \dot{Q}_k + \dot{Q}_G + \dot{Q}_A \quad (4.1.)$$

gde su:

A_a – površina prijemnika – apsorbera,

H – gustina snopa Sunčevog zračenja (direktnog ili difuznog) koji pada na jedinicu površine orijentisanu proizvoljno,

R – koeficijent prelaza od gustine snopa direktnog ili difuznog zračenja ka gustini snopa zračenja u ravni orijentacije prijemnika,

$(\tau \cdot \alpha)$ – transmitivna – apsorptivna sposobnost prozirne pokrивke i apsorbera prijemnika (τ – transmitivna karakteristika transparenta, α – apsorptivna karakteristika apsorbera),

\dot{Q}_k – korisna toplotna energija predata radnom fluidu,

\dot{Q}_G – toplotni gubici prijemnika u okolinu putem zračenja i konvekcije, a takođe i putem provodljivosti toplote preko oslonca apsorbera,

\dot{Q}_A – toplota akumulirana u prijemniku.

4.2. Toplotni gubici PSE

Energetska efikasnost PSE, odnosno njihova efikasnost da transformišu energiju Sunčevog zračenja u toplotu na apsorberu predaju radnom medijumu – nosiocu toplote, odnosno sredstvu koje rashlađuje zagrejani apsorber (korisna energija raspoloživa za predaju “potrošaču” zavisi od veličine toplotnih gubitaka. Pri tome intezitet toplotnih gubitaka po jedinici površine PSE zavisi od njegovih konstruktivnih karakteristika, nagiba, radnih uslova (temperature apsorbera na koju utiče temperatura i protok radnog fluida) i uslova okoline (temperature okoline, brzine strujanja vazduha – brzine vetra i dr.).

Ravni nižetemperaturni prijemnici Sunčeve energije sa tečnim radnim sredstvom – nosiocem toplote, koje danas proizvodi svetska solarna industrija za primenu u procesima grejanja vode i drugih i drugih tečnosti, imaju manje – više sličnu konstrukciju i istu toplotnu šemu, te se mogu predstaviti – u zavisnosti od broja transparentnih pokrивki – odgovarajućim reprezentativnim tipovima.

Toplotni fluks (po jedinici površine) odnosno specifični toplotni gubitak je određen izrazima:

$$\begin{aligned} q_g &= (h_{a-s} + h_{r,a-s}) \cdot (T_a - T_s) \\ q_g &= (h_w + h_{r,s-n}) \cdot (T_s - T_n) \\ q_g &= U_t \cdot (T_a - T_n) \end{aligned} \quad (4.2.)$$

a ukupni koeficijent toplotnih gubitaka PSE sa zadnje strane je:

$$U_b = \frac{\lambda}{\delta} \quad (4.3.)$$

Slobodna konvekcija između ravnih paralelnih ploča od apsorbera ka transparentu zavisi od ugla nagiba prijemnika u odnosu na horizontalnu ravan i vrednosti *Grashofovog* i *Nuseltovog* broja.

Nuseltov broj se izražava jednačinom:

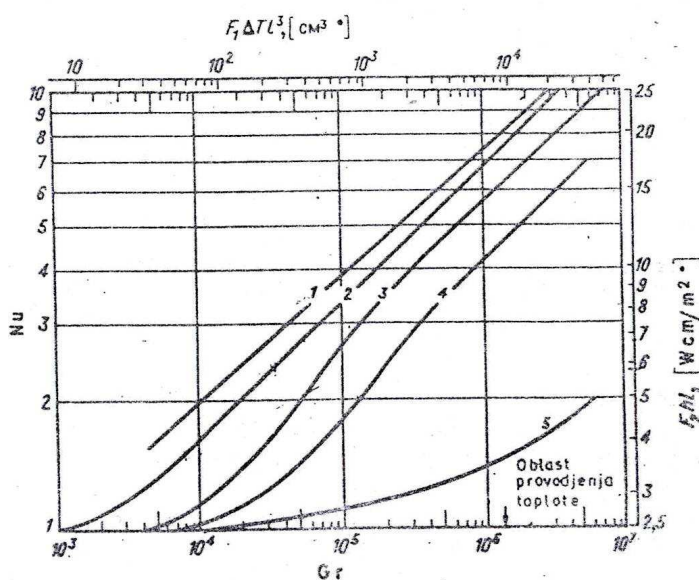
$$Nu = \frac{h \cdot l}{\lambda} \quad (4.4.)$$

a *Grashofov* broj je određen izrazom:

$$Gr = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot L^3}{\nu^2} \quad (4.5.)$$

gde su:

- h – koeficijent razmene toplote,
- L – rastojanje između površina – ploča,
- λ – koeficijent konduktivnog provođenja toplote,
- g – ubrzanje Zemljine teže,
- ΔT – razlika temperatura obe ploče,
- ν – koeficijent kinematske viskoznosti.



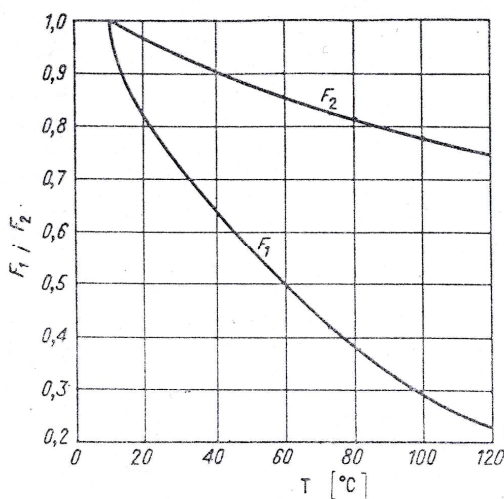
Slika 4.1. Dijagram zavisnosti Nuseltovog broja od Grashofovog broja za slučaj slobodne konvekcije između paralelnih ploča

Kod paralelnih površina *Nuseltov* broj predstavlja odnos termičkog otpora čistog konduktivnog prenosa toplote (L/λ) i termičkog otpora konvektivnog prenosa toplote ($1/h$).

$$Nu = \frac{L/\lambda}{1/h}, \quad (4.6.)$$

pa je *Nuseltov* broj jednak jedinici saglasnoj čistoj kondukciji.

Na slici 4.1. na ordinati je predstavljena vrednost koeficijenta razmene toplote između ploča pomnožene sa veličinom međurastojanja (u cm), pri srednjoj temperaturi od 10°C. Za različite temperature od 10°C menja se i vrednost koeficijenta F_2 što je prikazano na slici 4.2.



Slika 4.2. Zavisnost koeficijenata F_1 i F_2 za vazduh od temperature

Koeficijent F_2 podrazumeva odnos koeficijenta provođenja toplote vazduha od 10°C i neke druge temperature. Pri nalaženju ($h \cdot I$) za određenu temperaturu $t \neq 10^\circ\text{C}$ potrebno je vrednost $F_2 \cdot h \cdot I$ sa dijagrama podeliti sa odgovarajućom vrednošću F_2 .

Sledeće zavisnosti važe za vazduh:

- a) ako su horizontalne površine sa toplotnim tokom prema gore i $10^4 < G < 10^7$ sledi:

$$Nu = 0,152 (Gr)^{0,281} \quad (4.7.)$$

- b) ako su površine nagnute pod uglom od 45° sa toplotnim tokom prema gore i $1,5 \cdot 10^5 < G < 10^7$ sledi:

$$Nu = 0,093 (Gr)^{0,310} \quad (4.8.)$$

c) za vertikalne površine i $1,5 \cdot 10^5 < Gr < 10^7$ sledi:

$$Nu = 0,062 (Gr)^{0,327} \quad (4.9.)$$

d) kada su vertikalne površine i $1,5 \cdot 10^4 < Gr < 1,5 \cdot 10^7$:

$$Nu = 0,033 (Gr)^{0,381} \quad (4.10.)$$

Koeficijent konvektivnog prenosa toplote između apsorbera i transparenta pri temperaturi od 10°C u skladu sa prethodnim jednačinama ima vrednost:

$$\begin{aligned} a) \quad h_{10} &= 1,613 \frac{\Delta T^{0,281}}{I^{0,157}} \\ b) \quad h_{10} &= 1,14 \frac{\Delta T^{0,310}}{I^{0,157}} \\ c) \quad h_{10} &= 0,82 \frac{\Delta T^{0,327}}{I^{0,019}} \\ d) \quad h_{10} &= 0,57 \frac{\Delta T^{0,381}}{I^{0,143}} \end{aligned} \quad (4.11.)$$

gde je:

- koeficijent konvektivnog prenosa toplote h [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]
- temperaturna razlika ΔT [K]
- rastojanje između apsorbera i transparenta I [cm].

Ako je srednja temperatura veća od 10°C odnosno 283 K , prethodne jednačine se koriguju u skladu sa izrazom:

$$h_T = h_{10} [1 - 0,0018(T_m - 283)] \quad (4.12.)$$

i dobijaju oblik:

a) PSE u horizontalnom položaju za $10^4 < Gr < 10^7$ i $Nu = 0,152 (Gr)^{0,281}$

$$h_{a-s} = 1,613 \frac{\Delta T^{0,281}}{I^{0,157}} [1 - 0,0018(T_m - 283)] \quad (4.13.)$$

b) PSE nagnut pod uglom od 45° za $10^4 < Gr < 10^7$ i $Nu = 0,093 (Gr)^{0,310}$

$$h_{a-s} = 1,14 \frac{\Delta T^{0,310}}{I^{0,070}} [1 - 0,0018(T_m - 283)] \quad (4.14.)$$

c) PSE u vertikalnom položaju za $1,5 \cdot 10^5 < Gr < 10^7$ i $Nu = 0,062 (Gr)^{0,327}$

$$h_{a-s} = 0,82 \frac{\Delta T^{0,327}}{I^{0,019}} [1 - 0,0018(T_m - 283)] \quad (4.15.)$$

d) PSE u vertikalnom položaju za $1,5 \cdot 10^4 < Gr < 1,5 \cdot 10^5$ i $Nu = 0,033 (Gr)^{0,381}$

$$h_{a-s} = 0,57 \frac{\Delta T^{0,381}}{I^{0,143}} [1 - 0,0018(T_m - 283)] \quad (4.16.)$$

gde je:

$$\Delta T = T_a - T_s \quad i \quad T_m = \frac{(T_a - T_s)}{2} \quad (4.17.); (4.18.)$$

- Koeficijent prenosa toplote zračenjem od apsorbera do transparenta izražava se jednačinom:

$$h_{r,a-s} = \frac{\sigma \cdot (T_a^2 + T_s^2) \cdot (T_a + T_s)}{\frac{1}{\varepsilon_a} + \frac{1}{\varepsilon_s} - 1} \quad (4.19.)$$

- Koeficijent konvektivnih gubitaka toplote (sa transparenta)

$$h_w = 5,7 + 3,8 W \quad (4.20.)$$

- Koeficijent gubitaka toplote zračenjem transparenta u okolinu:

$$h_{r,s-n} = \varepsilon_s \cdot \sigma \cdot (T_s^2 + T_n^2) \cdot (T_s + T_n) \quad (4.21.)$$

- Ukupni koeficijent gubitaka toplote sa prijemne strane (zanemarljiv konduktivni otpor transparenta):

$$U_t = \frac{1}{\frac{1}{h_{a-s} + h_{r,a-s}} + \frac{1}{h_w + h_{r,s-n}}} \quad (4.22.)$$

Konduktivni otpor prelaza toplote kroz transparent se izražava jednačinom:

$$h_c = \frac{\lambda_s}{\delta_s} \quad (4.23.)$$

a toplotni fluks:

$$q_g = h_c \cdot (T_{su} - T_{ss}) \quad (4.24.)$$

što zahteva određivanje temperature transparenta sa unutrašnje (T_{su}) i spoljašnje strane (T_{ss}).

Srednja temperatura transparenta se određuje izrazom:

$$T_s = T_a - \frac{U_t(T_a - T_n)}{h_{a-s} + h_{r,a-s}} \quad (4.25.)$$

Pošto ukupni koeficijent toplotnih gubitaka sa prednje – prijemne strane PSE dominira kod ukupnih toplotnih gubitaka, iz sledećih dijagrama se mogu brže i preciznije određivati termoenergetski parametri (posebno gubici) prijemnika sa jednim, dva ili tri transparenta pri temperaturi okoline od -20°C do 40°C i brzini vetra od 0; 5 i 10 m/s.

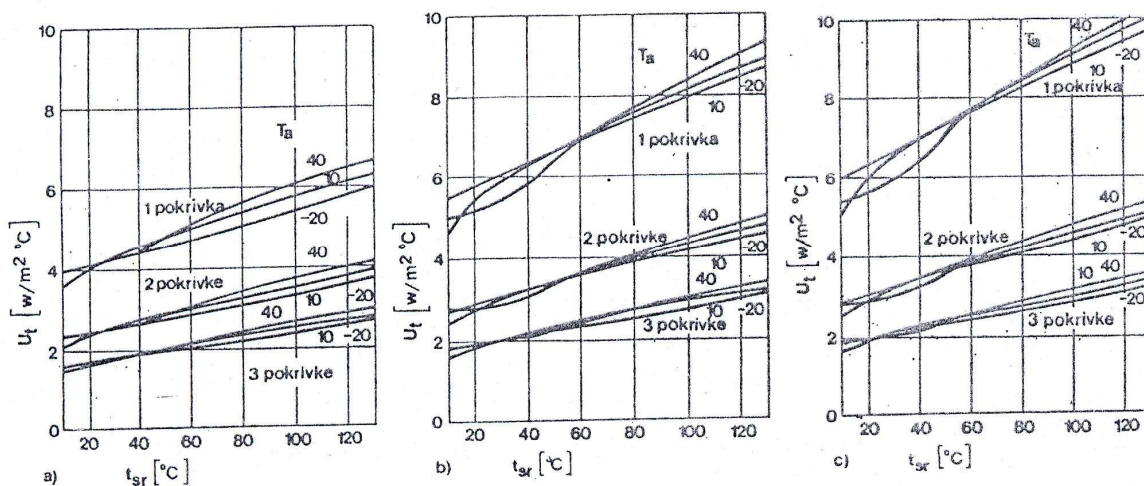
Na slici 4.3. apsorber je neselektivan a na slici 4.4. je selektivan sa srednjom radnom temperaturom od 10°C do 130°C . Udaljenost transparenta od apsorbera je 2,54 cm.

$$N_u = \left[0,069 - 0,02 \left(\frac{\beta}{90} \right) \right] (G_r \cdot P_r)^{1/3} \cdot (P_r)^{0,074} \quad (4.26.)$$

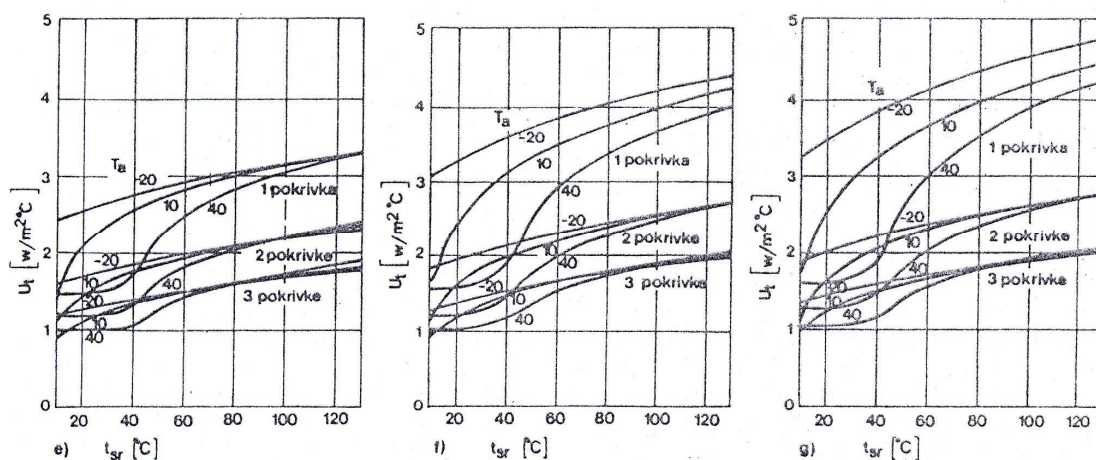
gde je:

- β – ugao nagiba prijemnika [$^{\circ}$]
- P_r – Prantlov broj

Uticaj nagiba prijemnika na promene parametara predstavljen je na slici 4.5. Iz navedenog dijagrama opaža se zavisnost ugla nagiba paralelnih ploča ka horizontali od odnosa ukupnih koeficijenata gubitaka toplote kroz transparent.

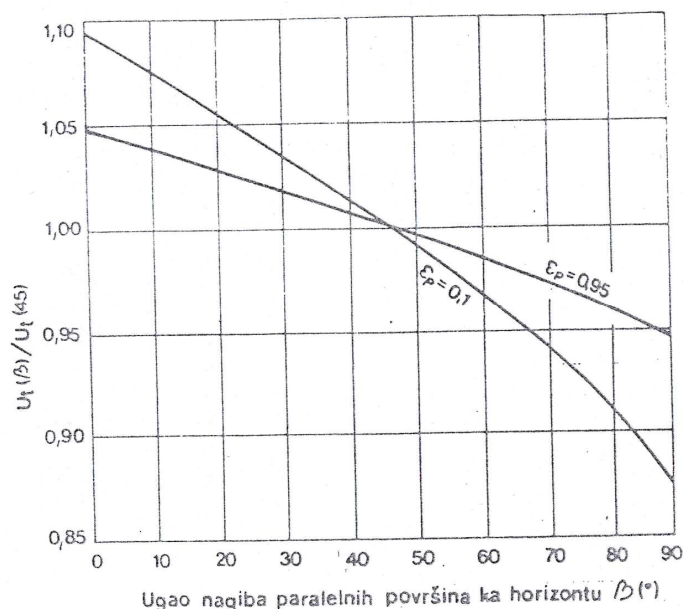


Slika 4.3. Ukupni koeficijent toplotnih gubitaka kroz prednju površinu PSE (brzina vetra od 0; 5 i 10 m/s, $\epsilon_a = 0.95$, $\epsilon_s = 0.88$, $l = 2.54$ cm, $\beta = 45^{\circ}$)



Slika 4.4. Ukupni koeficijent gubitaka toplote kroz prednju površinu PSE (brzina vetra od 0; 5 i 10 m/s, $\epsilon_a = 0.10$, $\epsilon_s = 0.88$, $l = 2.54$ cm, $\beta = 45^\circ$)

Na slici 4.3. predstavljeni su rezultati ispitivanja PSE za neselektivni apsorber sa jednom, dve ili tri transparentne pokrivke i temperaturom okoline od $-20 \div 40^\circ C$. Srednja temperatura radnog fluida kreće se u intervalu od $10 \div 130^\circ C$. Međusobno rastojanje transparenta i apsorbera kao i međusobno rastojanje svih ploča 2,54 cm. Isti uslovi važe i za ispitivanja čiji su rezultati evidentirani na slici 4.4., samo što je u ovom slučaju ispitivan selektivni apsorber. Na osnovu urađenih dijagrama mogu se brže i preciznije izračunavati termoenergetski parametri, posebno gubici.



Slika 4.5. Dijagram zavisnosti ukupnog koeficijenta gubitaka toplote sa prednje strane PSE od njegovog nagiba prema horizontali

Jednačina koje definiše nazive na dijagramu na slici 4.5. ima oblik:

$$U_t(\beta)/U_t(45) = 1 - (\beta - 45) \cdot (0,00259 - 0,00144 \cdot \varepsilon_a) \quad (4.27.)$$

U temperaturnom opsegu apsorbera od $40 \div 130^\circ\text{C}$, sa tačnošću od $\pm 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, koeficijent U_t se određuje sledećom jednačinom:

$$U_t = \left\{ \frac{N}{\left(\frac{344}{T_a} \right) \left[\frac{(T_a - T_0)}{(N + f)} \right]^{0,31}} + \frac{1}{h_w} \right\}^{-1} + \frac{\sigma(T_a + T_0)(T_a^2 + T_0^2)}{[\varepsilon_a + 0,0425N(1 - \varepsilon_a)]^{-1} + \left[\frac{(2N + f - 1)}{\varepsilon_s} \right]^{-N}} \quad (4.28.)$$

gde N predstavlja broj staklenih pokrivki i

$$f = (1,0 - 0,04h_w + 5 \cdot 10^{-4} \cdot h_w^2)(1 + 0,58N) \quad (4.29.)$$

Za transparent od prozirnih plastičnih materijala rezultujuća gustina snopa između apsorberske ploče i neba data je izrazom:

$$q_{a-n} = \tau \cdot \varepsilon_a \cdot \sigma(T_a^4 - T_n^4) \quad (4.30.)$$

gde τ predstavlja propusnu moć pokrivke za zračenje pri temperaturama T_a i T_n .

Ukupni koeficijent toplotnih gubitaka sa prednje strane tada je određen izrazom:

$$U_t = \tau \cdot \varepsilon_a \cdot 4 \cdot \sigma \cdot T_{mn}^3 \frac{(T_a - T_n)}{(T_a - T_0)} + \left(\frac{1}{h_{a-s} + h_{r,a-s}} + \frac{1}{h_w + h_{r,s-n}} \right)^{-1} \quad (4.31.)$$

$$\text{gde je } T_{mn} = \frac{(T_a + T_n)}{2} \quad (4.32.)$$

T_0 – temperatura okoline [K],

T_a – temperatura apsorbera [K],

T_s – temperatura transparenta [K] i

T_n – temperatura neba [K].

Obično se uzima $T_n = 0,0552 T_0^{1,5}$, $T_n = T_0 - 6$ ili $T_n = T_0$

h_w – koeficijent konvektivnih toplotnih gubitaka sa transparenta na okolinu (usled dejstva vetra) [$\text{W/m}^2\text{K}$],

$h_{r,s-n}$ – koeficijent toplotnih gubitaka nastalih zračenjem transparenta prema nebu [$\text{W/m}^2\text{K}$],

h_{a-s} – koeficijent konvektivnog prenosa toplote od apsorbera ka transparentu [$\text{W/m}^2\text{K}$],

h_c – koeficijent konduktivnog prenosa toplote kroz transparent [$\text{W/m}^2\text{K}$],

λ_s, λ_i – koeficijenti kondukcije toplote za transparent i termičku izolaciju [W/mK],
 δ_s, δ_i – debljina transparentne pokrivke i termičke izolacije,
 h_{kw} – koeficijent konvektivnih gubitaka toplote sa kućišta PSE (usled dejstva vetra) [W/m²K],
 $h_{r,k-o}$ – koeficijent toplotnih gubitaka nastalih zračenjem sa kućišta PSE u okolinu [W/m²K],
 U_t – ukupni koeficijent toplotnih gubitaka sa prijemne – prednje strane PSE [W/m²K],
 U_b – ukupni koeficijent toplotnih gubitaka sa zadnje strane PSE [W/m²K],
 I – rastojanje između apsorbera i transparenta [cm],
 q_g i q_d – specifični toplotni gubici PSE sa njegove gornje – prijemne i donje – zadnje strane [W/m²],

U postojećoj literaturi se zanemaruju toplotni gubici sa bočnih strana pa se ukupni toplotni gubici određuju jednačinom:

$$q_u = q_g + q_d \quad (4.33.)$$

Rezultati izračunavanja ukupnih specifičnih toplotnih gubitaka niskotemperaturnog PSE sa jednostrukom pokrivkom dati su u tabelama 4.1. i 4.2.

Pri tome PSE ima sledeće karakteristike:

- rastojanje transparenta od apsorbera $I = 4; 2$ i 1 cm
- koeficijent emisije apsorbera $\epsilon_a = 0,95$ i $0,10$
- izolacija zadnje strane PSE je od poliuretanske pene debljine 50 mm, obložene Al – folijom.

Tabela 4.1. Ukupni specifični toplotni gubici ravnog PSE sa jednostrukim transparentom za $l = 4$ cm

q [Wh/m ²] za I = 4 cm				W [m/s]					
				0		2.5		5	
				ϵ_a					
				0.95	0.10	0.95	0.10	0.95	0.10
T_a [°C]	40	T_o [°C]	-5	255	107	310	195	350	207
			10	172	109	215	128	236	136
			20	117	70	142	79	155	83
	60		-5	394	256	496	300	545	319
			10	308	195	387	227	425	240
			20	252	153	312	179	342	185
	80		-5	549	347	691	411	762	437
			10	464	286	579	335	638	356
			20	405	245	491	285	554	302

Tabela 4.2. Ukupni specifični toplotni gubici ravnog PSE sa jednostrukim transparentom za $l = 2 \text{ cm}$

q [Wh/m ²] za $l = 2 \text{ cm}$				W [m/s]					
				0		2.5		5	
				ϵ_a					
				0.95	0.10	0.95	0.10	0.95	0.10
T_a [°C]	40	T_o [°C]	-5	257	170	320	201	350	212
			10	175	111	216	128	237	136
			20	118	72	143	81	157	85
	60		-5	396	261	500	307	557	327
			10	313	199	391	233	420	246
			20	254	156	314	183	345	193
	80		-5	552	354	696	419	769	448
			10	467	292	584	343	654	365
			20	408	250	506	291	559	310

Koeficijent gubitaka toplote zračenjem između stakla i apsorbera ($h_{r,a-s}$)

Kod analiziranog tipa PSE sa jednostrukim transparentom, gde je koeficijent emisije $\epsilon_a = 0,95$, koeficijent gubitaka toplote zračenjem između apsorbera i transparenta se nalazi u granicama od 53,2% (za $W = 0 \text{ m/s}$) i za porast temperature od 40 do 100°C. U slučaju da je apsorber sa selektivnim premazom ($\epsilon_a = 0,10$), ovaj koeficijent se kreće od 45,16% do 40%.

Kod prijemnika sa selektivnim apsorberom znatno je manji koeficijent gubitaka toplote zračenjem, zbog fizičkih osobina premaza, odnosno viši je koeficijent korisnog dejstva.

S porastom brzine vetra od 0 do 10 m/s i pri 100°C i neselektivnom premazu apsorbera ($\epsilon_a = 0,95$), koeficijent $h_{r,a-s}$ ima vrednost od 4,35% do 10,67%. Pri $T_a = 40^\circ\text{C}$, za $\epsilon_a = 0,10$, $h_{r,a-s}$ ima vrednost od 3,32% a pri temperaturi $T_a = 100^\circ\text{C}$ iznosi 6,67%, s porastom brzine vetra od 0 ÷ 10 m/s.

Ako se pažljivo analizira opadanje koeficijenta $h_{r,a-s}$ s' porastom brzine vetra opaža se da u posmatranim uslovima ne postoji međusobna fizička zavisnost već samo matematičko posledična iskazana empirijskim izrazom, koji zadovoljava samo u globalnom smislu, odnosno po određenim početnim parametrima. Kod niže temperature transparenta smanjuje se koeficijent h prema primenjenom obrascu što u fizičkom smislu nema fundamentalističkih osnova (nema promene temperature i karakteristika emitera – apsorbera).

Koeficijent gubitaka toplote zračenjem staklene pokrivke (transparenta) prema nebu ($h_{r,s-n}$)

Sa porastom temperature apsorbera od 40°C do 100°C koeficijent gubitaka toplote zračenjem staklene pokrivke prema nebu i to u granicama od 18,34% (za $W = 0 \text{ m/s}$) do 7,5% (za $W = 10 \text{ m/s}$) za $\epsilon_a = 0,95$. U istim uslovima a uz vrednost $\epsilon_a = 0,10$ ovaj koeficijent ima vrednost od 9,34% ($W = 0 \text{ m/s}$) do 4,3% ($W = 10 \text{ m/s}$).

Pri većim brzinama vetra evidentan je manji koeficijent gubitaka toplote zračenjem staklene pokrivke, jer pri istoj temperaturi apsorbera i okoline, smanjuje se temperatura transparenta koja je u direktnoj funkciji sa gubitkom toplotnog zračenja.

Koeficijent konvektivnog prelaza toplote između apsorbera i transparenta (h_{a-s})

Pri mirnom vazduhu i porastom temperature apsorbera od 40°C do 100°C, koeficijent h_{a-s} raste od 23,43% (za $\epsilon_a = 0,95$) do 29% (za $\epsilon_a = 0,10$). Pri istim parametrim i brzini vetra od 10 m/s h_{a-s} se povećava od 27,64% (za $\epsilon_a = 0,95$) do 29,18% (za $\epsilon_a = 0,10$).

Koeficijent h_{a-s} ima veću vrednost kod prijemnika sa selektivnim premazom apsorbera u odnosu na prijemnik sa neselektivnim premazom zbog izrazitijeg strujanja vazduha između apsorbera i transparenta prouzrokovanog većim međusobnim temperaturnim razlikama.

Pri većim brzinama vetra smanjuje se temperatura transparenta, što ima za posledicu povećanje gubitaka h_{a-s} , koje proizilazi iz činjenice da je snižen temperaturni toplotni ponor staklene pokrivke.

Koeficijent gubitaka toplote zračenjem sa kućišta prijemnika na okolinu (h_{rk})

Reflektivna aluminijumska folija, koja je smeštena iza apsorbera u prijemniku, ima ulogu prepreke – ekrana zračenja od apsorbera ka kućištu prijemnika, doprinosi da su vrednosti h_{rk} jednake u slučajevima kada je $\epsilon_a = 0,10$ i $\epsilon_a = 0,95$.

Ovaj koeficijent beleži porast sa povećanjem temperature apsorbera a smanjenje sa povećanjem brzine vetra. Pri mirnom vazduhu i uz porast temperature apsorbera od 40°C do 100°C h_{rk} ima vrednost od 10,92% a pri brzini vetra od 10 m/s h_{rk} se povećava za 0,6%, što je neznatno. Iz toga proizilazi da uticaj porasta temperature apsorbera, pri većim brzinama vetra, skoro ne utiče na porast koeficijent h_{rk} .

Kod porasta brzine vetra od 0 ÷ 10 m/s, koeficijent h_{rk} opada za 4,48% (pri $T_a = 40^\circ\text{C}$) odnosno do 13,36% (pri $T_a = 100^\circ\text{C}$).

Sniženje koeficijenta gubitaka toplote zračenjem sa kutije prijemnika je fizička posledica povećanja brzine vetra koji smanjuje temperaturu kućišta.

Ukupni koeficijent toplotnih gubitaka (koeficijent prolaza toplote) od apsorbera ka okolini sa prednje strane PSE (U_t)

Koeficijent toplotnih gubitaka od apsorbera ka okolini raste sa porastom temperature apsorbera i povećavanjem brzine vetra.

Kada nema vetra i rast temperature iznosi od 40 ÷ 100°C, koeficijent U_t se povećava od 26,61% (za $\epsilon_a = 0,95$) do 24,50% (za $\epsilon_a = 0,10$). Uz brzinu vazduha od $W = 10$ m/s, a uz iste uslove, U_t beleži porast od 30,92% (za $\epsilon_a = 0,95$) do 27,90% (za $\epsilon_a = 0,10$).

Ako je konstantna temperatura apsorbera ($T_a = 40^\circ\text{C}$) a brzina vetra se menja od $0 \div 10$ m/s koeficijent U_t se povećava od 51,29% (za $\epsilon_a = 0,95$) do 28,11 (za $\epsilon_a = 0,10$). Kod temperature apsorbera od $T_a = 100^\circ\text{C}$ i porasta brzine vetra od $0 \div 10$ m/s ovaj koeficijent beleži porast od 56,44% (za $\epsilon_a = 0,95$) do 31,61% (za $\epsilon_a = 0,10$).

Promena ovog koeficijenta je direktno uslovljena karakterom promena komponentnih koeficijenata koji obrazuju jednačinu zavisnosti ($h_{r,a-s}$, $h_{r,s-n}$, h_{a-s} , h_w).

Ukupni koeficijent toplotnih gubitaka kroz izolaciju sa donje strane prijemnika (U_b)

Gubici toplote zračenjem od apsorbera ka kutiji prijemnika su zanemareni zbog postojanja reflektivne prepreke (ekrana) ispod apsorbera, pa koeficijent toplotnih gubitaka kroz izolaciju prijemnika sa donje strane ima iste vrednosti kako za prijemnik sa selektivnim tako i za prijemnik sa neselektivnim apsorberom.

Ako vazduh miruje a porast temperature apsorbera je u intervalu od $40^\circ\text{C} \div 100^\circ\text{C}$, dolazi do porasta koeficijenta U_b za 6,06%. Uz brzinu vetra od 10 m/s i iste ostale uslove, U_b beleži rast od 7,64%. Sa porastom brzine vetra od $0 \div 10$ m/s i temperature apsorbera od 40°C , U_b se uvećava za 9,09%, a pri $T_a = 100^\circ\text{C}$ ovaj porast ima vrednost od 10,71%.

Zaključak je da porast vrednosti koeficijenta U_b sa porastom temperature i brzine vetra bazira na fizičkim zakonitostima zavisnosti koeficijenata h_w i h_{rk} .

Specifični gubitak toplote sa gornje strane PSE (q_g)

Ako temperatura apsorbera beleži porast od 40 do 100°C , kad nema vetra, specifični gubitak toplote se povećava za 279,7% ($\epsilon_a = 0,95$) odnosno do 273,5% ($\epsilon_a = 0,10$). Ako se brzina vetra poveća na 10 m/s, uz istu promenu temperature apsorbera, specifični gubitak toplote sa gornje strane prijemnika se povećava za 292,7% ($\epsilon_a = 0,95$) do 283,4% ($\epsilon_a = 0,10$).

Specifični gubitak toplote sa donje strane prijemnika (q_d)

Porast specifičnih gubitaka toplote sa donje strane prijemnika je u uskoj uzročno – posledičnoj vezi sa koeficijentima prelaza i provođenja toplote (materijala termičke izolacije i materijala kućišta) i radnih uslova. Gubici toplote zračenjem apsorbera (kroz izolaciju) prema kućištu su zanemarljivi jer iza apsorbera postoji reflektujuća prepreka (ekran).

Kod porasta temperature apsorbera od 40 do 100°C i kad nema vetra, specifični gubitak toplote q_d se povećava za 215,35%, a pri brzini vetra od 10 m/s to povećanje je 222,6%. Pri konstantnoj temperaturi apsorbera od $T_a = 40^\circ\text{C}$ i povećanjem brzine vetra od $0 \div 10$ m/s, q_d se povećava za 26,96%, a ako je $T_a = 100^\circ\text{C}$ q_d se povećava za 29,75%.

Ako uporedimo ove gubitke sa specifičnim gubicima toplote sa gornje strane, možemo konstatovati da su gubici q_d znatno manji.

Temperatura staklene pokrivke PSE (T_s)

Konvektivni i radijacioni gubici toplote sa gornje strane PSE prvenstveno zavise od konstrukcije prijemnika, radnih uslova, okoline i temperaturnog nivoa transparentne pokrivke prijemnika (T_s). Sa povećanjem T_s povećavaju se i navedeni toplotni gubici.

Kada nema strujanja vazduha, uz povećanje temperature apsorbera od 40 do 100°C, temperatura staklene pokrivke se podiže za 140,36% (za $\epsilon_a = 0,95$) ili 100,23% ($\epsilon_a = 0,10$). Pri istim uslovima a uz brzinu vetra od 10 m/s, porast temperature staklene pokrivke (transparenta) je do 88,02% (za $\epsilon_a = 0,95$), odnosno do 48,37% (pri $\epsilon_a = 0,10$).

Temperature kutije prijemnika sa donje strane (T_k)

Razlika temperature apsorbera u odnosu na temperaturu kućišta ($T_a - T_k$) je veća od razlike temperature apsorbera i transparenta ($T_a - T_s$) pri $\epsilon_a = 0,95$, zbog bolje termoizolacione karakteristike prijemnika sa njegove donje strane.

Povećanje temperature apsorbera od 40 do 100°C dovodi do porasta temperature kućišta od 104,86% (pri $W = 0$ m/s) do 9,63% (pri $W = 10$ m/s). Ako je temperatura apsorbera konstantna, pri porastu brzine vetra od 0 do 10 m/s, T_k opada od 44,61% (za $T_a = 40^\circ\text{C}$) do 70,36% (za $T_a = 100^\circ\text{C}$).

Ako je apsorber sa selektivnim osobinama, osnovu toplotnih gubitaka čine gubici nastali zračenjem. Konvektivni gubici kod PSE sa neselektivnim apsorberom veći su od konvektivnih gubitaka kod kolektora sa selektivnim apsorberom.

Toplotni gubici PSE sa vakuumom u međutransparentnom prostoru

Zbog nemogućnosti ostvarenja kvalitetne termičke izolacije, gubici toplote sa prijemne strane PSE su izrazito veliki i dominiraju u ukupnom energetskom bilansu. Zato su istraživanja u svetu bazirana na smanjenju ovih gubitaka koji je izazvan radijacijom, konvekcijom i kondukcijom.

Najbolji efekti smanjenja ovih gubitaka postižu se:

- selektivnim premazima apsorbera,
- povećanja broja transparentata (max 3),
- transparentnim materijalima sa manjim koeficijentom prolaza toplote,
- raznim konstruktivnim rešenjima apsorbera.

Ispitivani su i modeli ravnih prijemnika kod kojih je ostvaren vakuum u prostoru ograničenom transparentom (pokrivkom) i kućištem. Evidentiran je problem dugotrajnog održavanja vakuuma i mehaničke deformacije. Zbog navedene problematike, termodinamičke relacije koje određuju toplotne gubitke u PSE sa određenim stepenom vakuuma u njemu, nisu dovoljno egzaktna.

Limitirajući toplotni gubitak

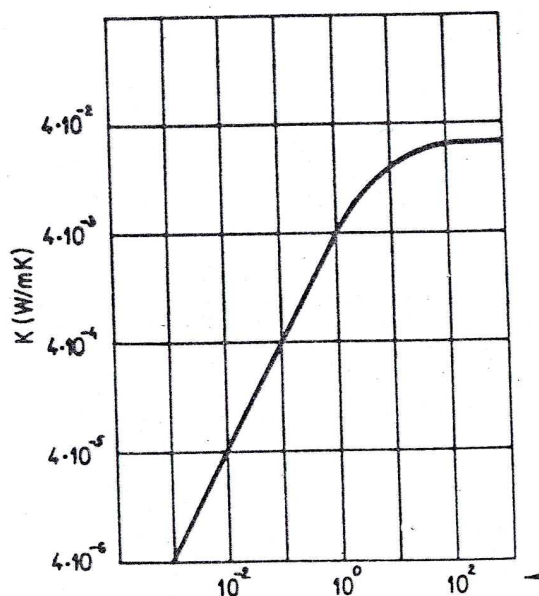
Za određivanje ukupnih toplotnih gubitaka PSE sa prednje strane, reprezentativan je limitirajući gubitak toplote koji je određen ukupnim i radijacionim gubicima u međutransparentnoj zoni. Ovaj gubitak je definisan stepenom ostvarenog vakuuma i srednjom temperaturom obe transparentne ploče.

Obrazac za izračunavanje toplotnog fluksa konduktivnog i radijacionog prenosa toplote kroz vakuum ima oblik:

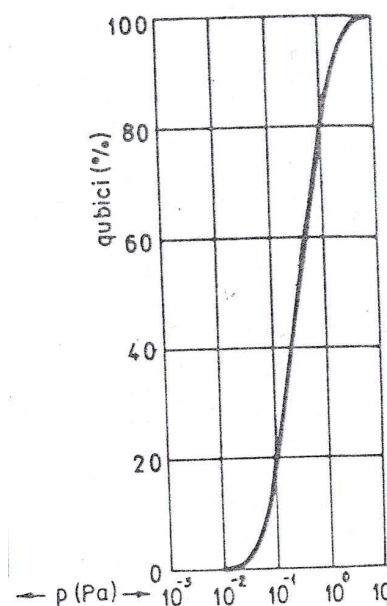
$$q = \left(\frac{K_m}{b \cdot \lambda} + h_{r2} \right) \cdot (T_{s1} - T_{s2}) \quad (4.35.)$$

gde $K_m (T_{s1} - T_{s2}) \cdot (b + \lambda)^{-1}$ zavisi od ostvarenog vakuuma.

Na slici 4.6. je prikazana zavisnost koeficijenata toplotnih gubitaka za cevne – vakuum kolektore a na slici 4.7. usled molekularne kondukcije od pritiska.

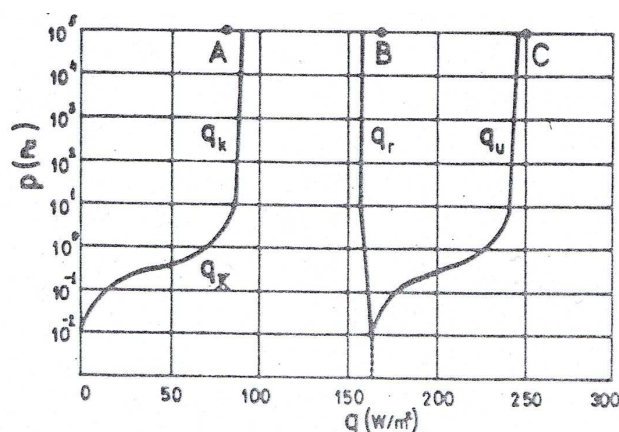


Slike 4.6. Dijagram zavisnosti koeficijenta konduktivnog prenosa toplote od pritiska (stepena ostvarenog vakuuma)



Slika 4.7. Dijagram tipične zavisnosti gubitaka od stepena ostvarenog vakuuma

Iz dijagrama 4.6. i 4.7. može se zaključiti da je molekulska kondukcija zanemarljiva u odnosu sa pritiskom od oko 10^{-2} Pa.



Slika 4.8. Zavisnost veličine specifičnih toplotnih gubitaka od pritiska u međutransparentnom prostoru

PSE sa međutransparentnim vakuumom:

q_k – kondukcioni prenos toplote

q_k – konvektivni prenos toplote

q_r – radijacioni prenos toplote

q_u – ukupni toplotni fluks

Klasični PSE bez vakuuma u međutransparentnom prostoru

A – konvektivni prenos toplote

B – radijacioni prenos toplote

C – ukupni prenos toplote

Na dijagramu zavisnosti veličine specifičnih toplotnih gubitaka (toplotnog fluksa između dva transparenta) od pritiska u međutransparentnom prostoru, unete su i aproksimativne krive zavisnosti promene kondukcioni (q_k), konvektivni (q_k), radijacioni (q_r) i ukupni (q_u) toplotnih gubitaka između dve staklene prekrivke od stakla na rastojanju od 4 mm. Ovo rastojanje može biti od 4÷10mm za vakuumske dok kod klasičnih PSE obično se kreće u granicama od 20 ÷ 30 mm.

Delimično vakuumiran PSE sa jednostrukim transparentom

Delimično vakuumiran PSE sa jednostrukim transparentom se koristi iz razloga problematičnog obezbeđenja dovoljnog vakuuma. Za njih važi jednačina:

$$\frac{h}{h_{atm}} = \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{p_{atm}}{p}\right)^{1/2}\right]^{4/3}} \quad (4.36.)$$

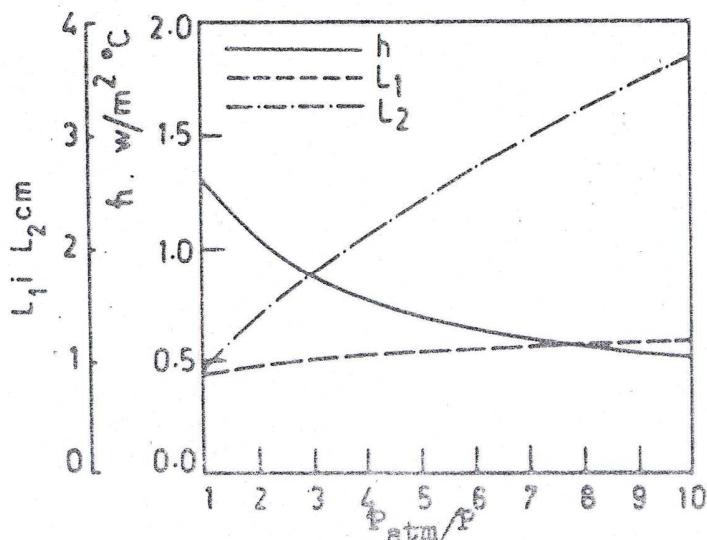
gde je:

h – koeficijent konduktivnog prenosa toplote,

h_{atm} – koeficijent prenosa toplote pri atmosferskom pritisku vazduha u PSE sa jednostrukim transparentom i pri određenoj temperaturnoj razlici između transparenta i apsorbera (ΔT),

p, p_{atm} – pritisak u delimično vakuumiranom PSE i pri atmosferskom pritisku.

Na slici 4.9. prikazana je zavisnost koeficijenta konduktivnog prenosa toplote od pritiska u PSE pri atmosferskom pritisku i delimično vakuumiranom PSE iz koga se nedvosmisleno može zaključiti da koeficijent konduktivnog prenosa toplote opada sa povećanjem odnosa P_{atm}/P .

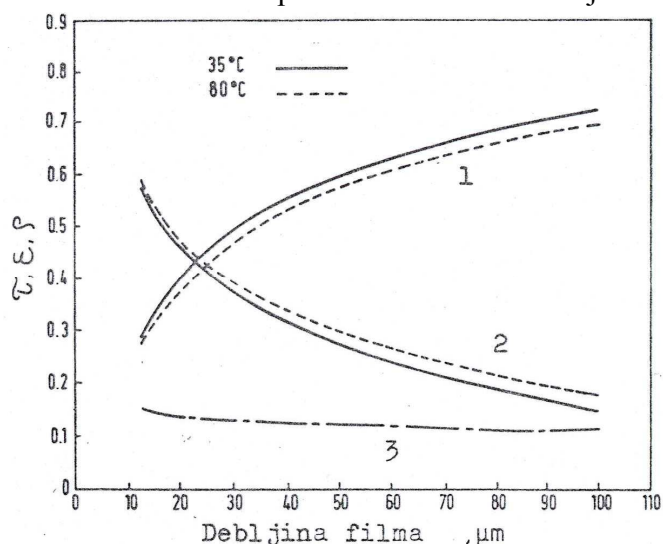


Slika 4.9. Dijagram zavisnosti veličine koeficijenta kondukcije h od odnosa P_{atm}/P

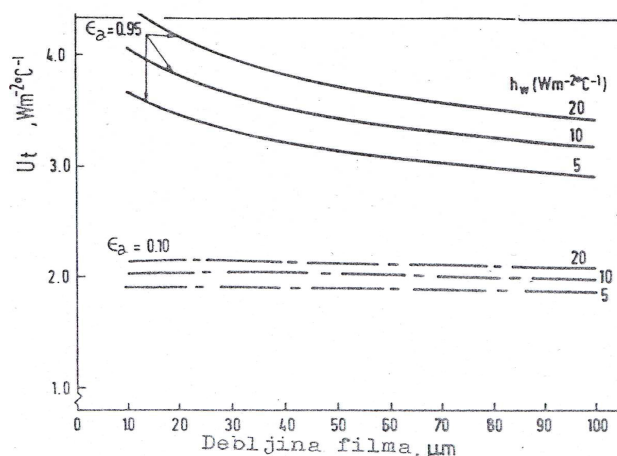
Uticaj debljine transparentne pokrivke od plastičnog materijala na toplotne gubitke PSE

Kod mnogih proizvođača PSE mogu se zapaziti specijalne, tanke, transparentne folije od plastičnih masa koje se kombinuju sa staklenom pokrivkom i predstavljaju unutrašnji transparent kolektora. Pored dobre termičke stabilnosti ove folije moraju imati i dobru ultravioletnu stabilnost.

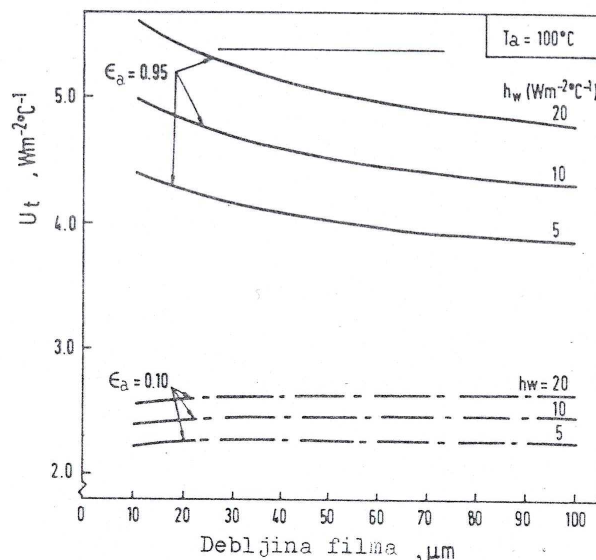
Na slici 4.10. je prikazana zavisnost ukupne karakteristike zračenja od debljine filma.



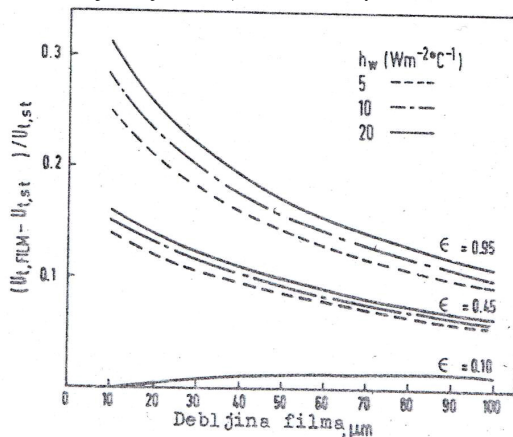
Slika 4.10. Uzajamna zavisnost emitivnosti, transmitivnosti i reflektivnosti za različite debljine filma teflona



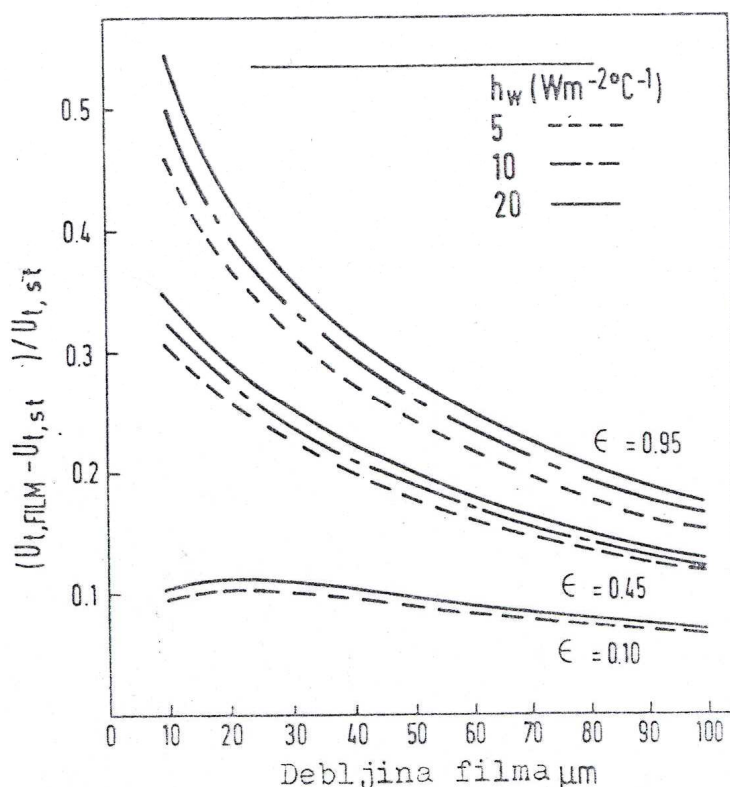
Slika 4.11. Dijagram zavisnosti koeficijenta toplotnih gubitaka za jednu staklenu i jednu plastičnu pokrivku – od debljine filma plastične folije ($\epsilon_s = 0.88$; $\beta = 45^\circ$; $T_o = 15^\circ\text{C}$)



Slika 4.12. Dijagram zavisnosti koeficijenta toplotnih gubitaka za jednu staklenu i dve plastične pokrivke – od debljine filma ($\epsilon_s = 0.88$; $\beta = 45^\circ$; $T_a = 100^\circ\text{C}$; $T_o = 15^\circ\text{C}$)



Slika 4.13. Dijagram zavisnosti odnosa $(U_{t,filma} - U_{t,stakla})/U_t$ od debljine filma za sistem pokrivki od jedne staklene ploče i jedne plastične folije



Slika 4.14. Dijagram zavisnosti odnosa $(u_{f-f} - U_{t,st})/U_{t,st}$ od debljine filma za slučaj jednog stakla i dve plastične pokrivke

4.3. Efektivnost apsorbera (efikasnost prenosa toplote od apsorbera na radni fluid)

Konstrukcija idealnog apsorbera sa tečnošću kao nosiocem toplote, zasnivala bi se na principu da radna tečnost protiče u tankom sloju ispod kompletne površine apsorbera. Problem takve konstrukcije je što bi ploče apsorbera bile veće debljine (samim tim i veće težine), kako ne bi došlo do promene oblika poprečnog preseka kanala. Sa većom debljinom ploča apsorbera (δ) evidentan je veći toplotni otpor, odnosno, smanjuje se ukupna efikasnost apsorbera.

Kod apsorbera tipa cev – ploča, bilans energije dela površine elementa (rebra) se izražava obrascem:

$$S \cdot \Delta x + U_L \cdot \Delta x (T_v - T) + \left(-\lambda \cdot \delta \cdot \frac{dT}{dx} \right) \Big|_x - \left(\lambda \cdot \delta \cdot \frac{dT}{dx} \right) \Big|_{x+\Delta x} = 0 \quad (4.37.)$$

pa deljenjem sa Δx i za $\Delta x \rightarrow 0$ sledi:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = \frac{U_L}{\lambda \cdot \delta} \left(T - T_v - \frac{S}{U_L} \right) \quad (4.38.)$$

Za prethodne diferencijalne jednačine granični uslovi su:

$$\left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=0} = 0; \quad T \Big|_x = \frac{(W-D)}{2} = T_b \quad (4.39.); (4.40.)$$

Smenom $m^2 = U_L/\lambda \cdot \delta$; $\varphi = T - T_v - S/U_L$ se dobija jednačina:

$$\frac{d^2 \cdot \psi}{dx^2} - m^2 \cdot \psi = 0 \quad (4.41.)$$

u kojoj su granični uslovi:

$$\left. \frac{d\psi}{dx} \right|_{x=0} = 0; \quad \psi \Big|_{x=(W-D)/2} = T_b - T_v - \frac{S}{U_L} \quad (4.42.); (4.43.)$$

pa sledi:

$$\psi = C_1 \operatorname{sh}mx + C_2 \operatorname{ch}mx \quad (4.44.)$$

gde su C_1 i C_2 konstante dobijene zamenom graničnih uslova u prethodnoj jednačini:

$$\frac{T - T_v - \frac{S}{U_L}}{T_b - T_v - \frac{S}{U_L}} = \frac{\operatorname{ch}mx}{\operatorname{ch}m \frac{(W-D)}{2}} \quad (4.45.)$$

U skladu sa Furijeovim zakonom, toplotni fluks kod jedinice dužine cevi odnosno prenos toplote ka cevi kroz osnovu rebra ima oblik:

$$q'_{or} = -\lambda \cdot \delta \left. \frac{dT}{dx} \right|_{x=(W-D)/2} = \frac{\lambda \cdot \delta \cdot m}{U_L} [S - U_L (T_b - T_v)] \operatorname{th} m \frac{W-D}{2} \quad (4.46)$$

zamenom $m/U = 1/m$ dobija se jednačina za toplotni fluks prema apsorberskoj cevi:

$$q'_{or} = (W-D) [S - U_L (T_b - T_v)] \frac{\operatorname{th}m \frac{(W-D)}{2}}{m \frac{(W-D)}{2}} \quad (4.47.)$$

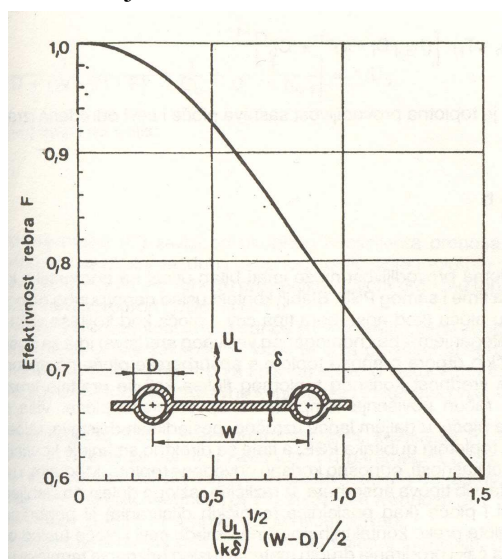
pa sledi:

$$q'_{or} = (W-D) F [S - U_L (T_b - T_v)] \quad (4.48.)$$

gde je:

$$F = \frac{\operatorname{th} m \frac{(W-D)}{2}}{m \frac{(W-D)}{2}} \quad (4.49.)$$

F predstavlja efektivnost pravog rebra pravouglog preseka. Njena zavisnost od konstruktivnih parametara apsorbera tipa cev – ploča data je na slici 4.15.



Slika 4.15. Dijagram efikasnosti pravog apsorbera tipa cev – ploča

Korisna energija po jedinici dužine rebra – cevi izražava se jednačinom:

$$q'_c = D[S - U_L(T_b - T_v)] \quad (4.50.)$$

i uzima u obzir i deo apsorbovane energije neposredno iznad cevi.

Jednačina ukupne korisne apsorbovane energije, gledano u pravcu kretanja fluida, ima oblik

$$q'_k = [(W - D)F + D] \cdot [S - U_L(T_b - T_v)] \quad (4.51.)$$

Ako se uzmu u obzir otpori toplotnom protoku onda prethodna jednačina dobija oblik:

$$q'_k = (T_b - T_f) \left[(h_{c-f} D_i \cdot \pi)^{-1} + C_b^{-1} \right]^{-1} \quad (4.52.)$$

gde C_b predstavlja toplotnu provodljivost sastava ploče i cevi i određuje se jednačinom:

$$C_b = \frac{\lambda}{\delta_m} b \quad (4.53.)$$

Ako se zanemari temperatura apsorbera iznad cevi (T_b), onda obrazac za ukupnu korisnu apsorbovanu energiju ima oblik:

$$q'_k = W \cdot F \cdot [S - U_L(T_f - T_v)] \quad (4.54.)$$

gde F' predstavlja efektivnost prijemnika i definiše se izrazom:

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[\frac{1}{U_L [D + (W - D) \cdot F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{D_i \cdot \pi h_{c-f}} \right]} \cdot W \left[\frac{1}{U_L [D + (W - D) \cdot F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{D_i \cdot \pi h_{c-f}} \right] = 1/U_o \quad (4.55.)$$

što dovodi do oblika:

$$F' = \frac{U_o}{U_L} \quad (4.56.)$$

Ukupni koeficijent prenosa toplote od tečnosti u apsorberu na okolni vazduh kao i ukupni toplotni gubici od ploče apsorbera ka okolnom vazduhu (u prijemniku) utiču na efikasnost prijemnika.

Efektivnost prijemnika se može shvatiti kao odnos stvarno sakupljene energije i korisne energije koja bi bila sakupljena da je prosečna temperatura na celokupnoj površini apsorbera istovetna prosečnoj temperaturi radnog fluida.

Zavisnost efektivnosti F' od rastojanja između cevi na apsorberu pri različitim vrednostima U_L i h_{c-f} i $\lambda\delta$, data je na slikama 4.16. i 4.17. za neselektivni apsorber i pri brzini vetra od 5 m/s.

Kod čeličnih apsorbera debljine 0,1 mm proizvod $\lambda\delta$ iznosi 0,005 W/K dok za bakarni apsorber debljine 1 mm proizvod $\lambda\delta$ ima vrednost od 0,4 W/K.

U prethodnim jednačinama korišćene su sledeće oznake parametara:

S – snaga sunčevog zračenja, apsorbovana na jedinici površine apsorbera [W/m^2],

U – ukupni koeficijent toplotnih gubitaka [W/m^2K],

T – temperatura okolnog vazduha (u PSE) [K],

δ – srednja debljina apsorberske ploče [m],

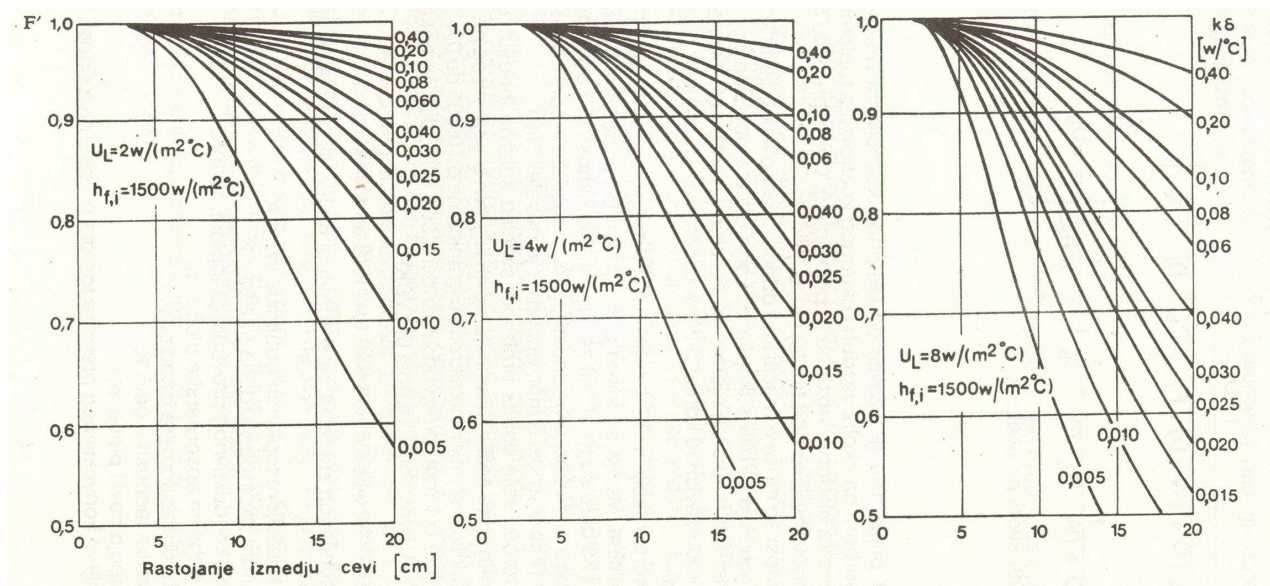
λ – koeficijent konduktivnog provođenja toplote [W/m^2K],

T_b – temperatura apsorbera iznad cevi [K],

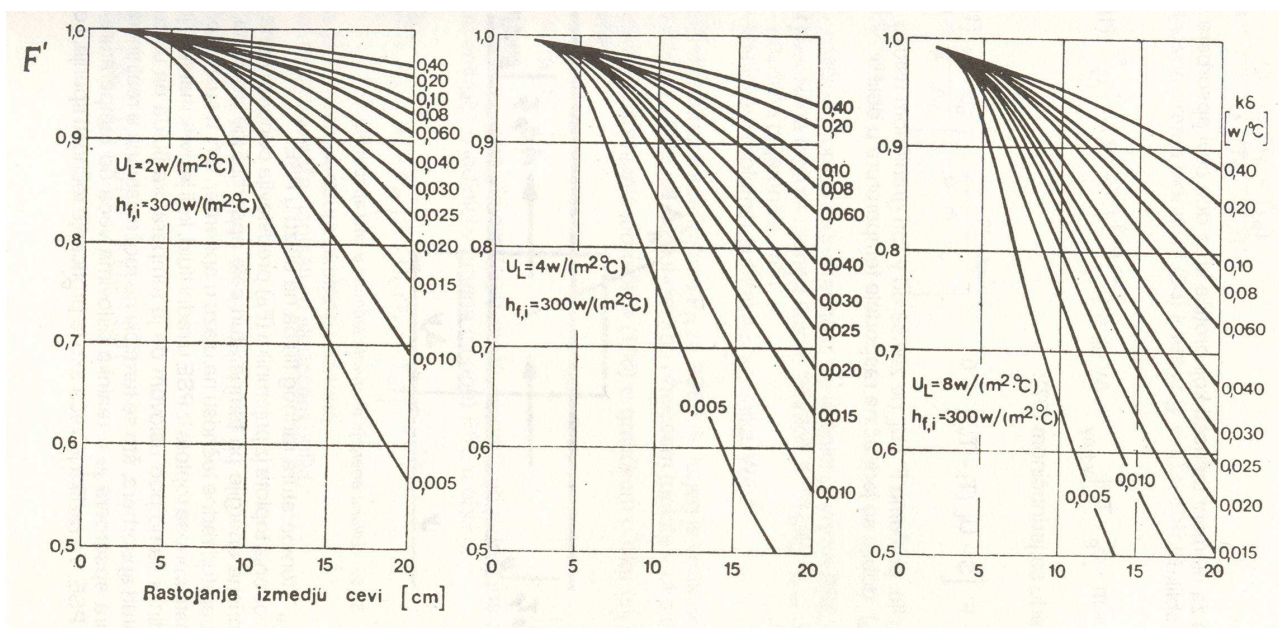
T_f – temperatura tečnosti u cevi [K],

b – dužina sastava cevi i ploče [m] i

h_{c-f} – koeficijent konvektivnog prenosa toplote od cevi na fluid [W/m^2K].



Slika 4.16. Dijagram efektivnosti prijmnika F' u zavisnosti od rastojanja među cevima (prečnik cevi je 20 mm) i različite vrednosti $(\lambda\delta)$ i (U_L) , pri $h_{c-f} = 1500 \text{ W/m}^2\text{K}$



Slika 4.17. Dijagram efektivnosti prijmnika F' u zavisnosti od rastojanja među cevima (prečnik cevi je 20 mm) i različite vrednosti $(\lambda\delta)$ i (U_L) , pri $h_{c-f} = 300 \text{ W/m}^2\text{K}$

Iz prikazanih dijagrama se dolazi do zaključka da kod metalnih apsorbera (koji su zastupljeni u solarnoj svetskoj industriji) proizvod $\lambda \cdot \delta$, koji bitno utiče na efektivnost PSE, ima vrednost od $0,005 \div 0,4 \text{ W/K}$. Npr., za apsorber od čelika debljine 0,1 mm proizvod $\lambda \cdot \delta$ iznosi $0,005 \text{ W/K}$, dok taj

proizvod za apsorber iste debljine, ali izrađen od bakra iznosi 0,4 W/K. Zato pri konstruisanju apsorbera prvenstveno treba koristiti bakar i aluminijumove legure jer je tada proizvod $\lambda \cdot \delta$ veći, a iz dijagrama je očigledno da sa tim povećanjem raste i efektivnost PSE.

Idealan apsorber sa tečnim radnim sredstvom, kao nosiocem toplote (ukoliko se tečnost ne izlaže direktnom dejstvu Sunčevog zračenja) predstavlja rešenje kod kojeg radna tečnost protiče u tankom sloju ispod cele površine apsorbera. To je tehnički teže ostvariti (takvo rešenje bi bilo neoptimalno sa aspekta konstrukcije apsorbera). U takvom slučaju otpor prenosu toplote od prijemne površine apsorbera na radnu tečnost predstavlja konduktivna karakteristika materijala apsorbera (λ) sa apsorbujućim premazom (boja ili dr.) i konvektivna karakteristika (h) prenosa toplote sa unutrašnje strane apsorbujuće ploče apsorbera na radnu tečnost koja protiče ispod nje.

Realni apsorber koji je po optimalnim karakteristikama (prenos toplote – debljina ploče) najbliži idealnom bazira na koncepciji apsorbera izrađenog od dve, međusobno zavarene ploče sa otisnutim kanalima za protok radne tečnosti. Pri tome je, kod takvog apsorbera odnos površina ispod koje se neposredno nalazi radna tečnost (A_{df}) i prijemne površine apsorbera (A_p) – (A_{df}/A_p) bliža jedinici (za idealan apsorber ovaj odnos je jednak jedinici) i najveći u odnosu na druge tipove realnih apsorbera – posebno kod tipova apsorbera izrađenih kombinacijom cevi i ploče.

Što je odnos (A_{df}/A_p) manji, put prenosa toplote je veći, što u suštini – u pravcu toka toplotnog fluksa povećava prividnu (ekvivalentnu) debljinu ploče apsorbera, a time i otpor konduktivnom provođenju toplote.

Većina tehnologija proizvodnje apsorbera tipa ploča – ploča obezbeđuju, zbog dobro raspoređenih i brojnih kanala, vrednost odnosa (A_{df}/A_p) površina bliskih jedinici, što isključuje potrebu posebnog razmatranja prenosa toplote i njegovu efektivnost sa aspekta ekvivalentne debljine. Svako rešenje kod kojeg je taj odnos manji, odnosno razmak između otisnutih kanala veći, zahteva posebnu analizu pri čemu se analizirani slučaj može svesti u opštem obliku na analizu modela apsorbera tipa cev – ploča.

Prednosti vezane za mehaničku i vremensku izdržljivost i postojanost apsorbera tipa cev – ploča, kao i raspoložive tehnologije rezultovale su danas širom produkcijom ovakvih tipova apsorbera, što zahteva odgovarajuće poznavanje zakonitosti koje dovode u zavisnost njihovu efektivnost od rastojanja između dve susedne cevi na apsorberskoj ploči. Sa tog aspekta apsorber tipa cev – ploča predstavlja reprezentativni model koji se može primeniti za analizu većine tipova apsorbera.

4.4. Energetska efikasnost PSE

Sposobnost niskotemperaturnog ravnogPSE da određenu količinu dozračene Sunčeve energije pretvori u korisnu toplotnu, naziva se njegovom energetskom efikasnošću. Ona predstavlja odnos korisno odvedene toplote sa jedinice površine PSE i energije globalnog Sunčevog zračenja, tj.:

$$\eta = \frac{g_k}{G} \quad (4.57.)$$

ili:

$$\eta = F_R \left[(\tau \cdot \alpha) - k \cdot \frac{T_{f,u} - T_o}{G} \right] \quad (4.58.)$$

odnosno:

$$\eta = F \left[(\tau \cdot \alpha) - k \cdot \frac{T_{f,m} - T_o}{G} \right] \quad (4.59.)$$

Prethodne jednačine definišu trenutnu termičku efikasnost PSE.

Tokom vremena sa promenom pojedinih parametara (G , τ i T) menja se i vrednost termičke efikasnosti (η) i ona poprima oblik srednje vrednosti za taj period:

$$\bar{\eta} = \frac{\frac{1}{A_p} \int_0^t q_k dt}{\int_0^t G dt} = \frac{\int_0^t \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{f,u} - T_{f,i}) dt}{\int_0^t G \cdot A_p \cdot dt} \quad (4.60.)$$

ili:

$$\bar{\eta} = F_R \left[(\bar{\tau} \cdot \bar{\alpha}) - \frac{k \cdot (\bar{T}_{f,u} - \bar{T}_o)}{H} \right] \quad (4.61.)$$

Za grafičku prezentaciju efikasnosti koristi se jednačina koja ima oblik:

$$\eta = \eta_0 - k \cdot F \cdot \frac{\theta_{f,m}}{G} \quad (4.62.)$$

gde je:

$$\theta_{f,m} = \left(\frac{T_{f,u} + T_{f,i}}{2} \right) - T_o = T_{f,m} - T_o \quad (4.63.)$$

srednja razlika srednje temperature tečnosti u apsorberu ($T_{f,m}$) i temperatura okoline (T_o).

$T_{f,m}$ – temperatura tečnosti na ulazu u PSE,

$T_{f,i}$ – temperatura tečnosti na izlazu iz PSE i

$\eta_0 = F' (\tau \alpha)_e$ – energetska efikasnost PSE kada je $T_{f,m} = T_o$.

Sa porastom temperature radnog fluida u PSE menja se veličina termičke efikasnosti i to tako što uz porast θ opada η i obrnuto.

Ukupan koeficijent toplotnih gubitaka (k) raste sa porastom temperature radnog fluida i njegov uticaj se izražava kroz jednačinu termoenergetske efikasnosti:

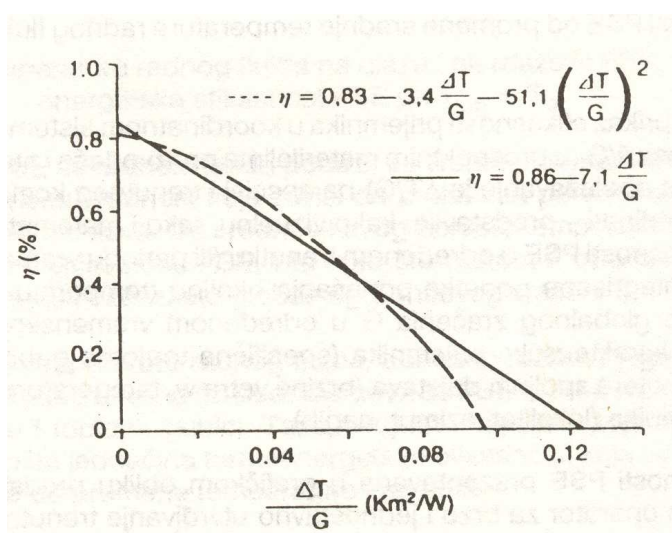
$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{\theta}{G} - a_2 \left(\frac{\theta}{G} \right)^2 \quad (4.64.)$$

U ovoj jednačini kvadratni član ima malu vrednost, pa opšta jednačina efikasnosti PSE poprima oblik:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \frac{\theta}{G} \quad (4.65.)$$

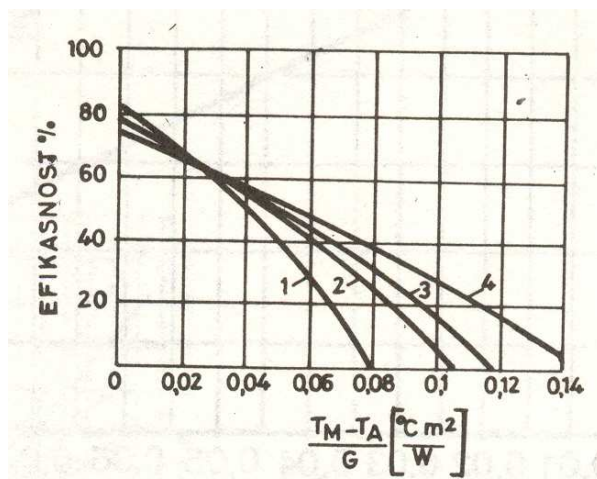
Osnovna zavisnost pada ili porasta termodinamičke efikasnosti PSE od promene srednje temperature radne tečnosti i temperature vazduha izražava se jednačinom:

$$\Delta\eta = \frac{k \cdot F'}{G} (\theta_{f,m_2} - \theta_{f,m_1}) = \frac{k \cdot F'}{G} \cdot \Delta\theta_{f,m} \quad (4.66.)$$



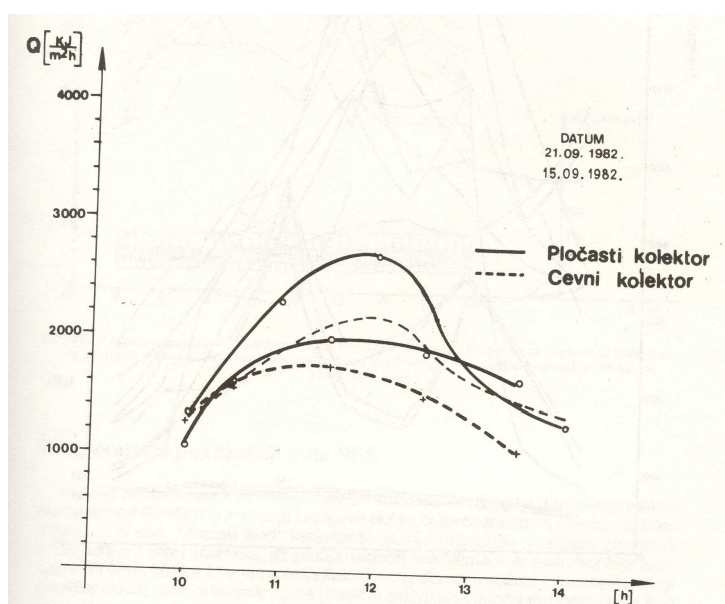
Slika 4.18. Dijagram energetske efikasnosti PSE sa tečnim nosiocem toplote i apsorberom tipa cev – lamele

Energetska efikasnost PSE sa tečnim nosiocem toplote i apsorberom tipa cev – lamele PSE sa selektivnim apsorberom tipa cev – ploča ima različite vrednosti trenutne energetske efikasnosti (prikazane na slici 4.18.) u zavisnosti od vrste transparentne pokrivke.



Slika 4.19. Dijagram energetske efikasnosti PSE sa apsorberom tipa cev - ploča: 1 – bez transparentne pokrivke; 2 – sa folijom 3M 7410; 3 – sa akrilnim transparentom; 4 – folija sa akrilnim staklom

Iz dijagrama na slici 4.20. gde je data uporedna karakteristika dobijene toplotne korisne energije u toku dana za jedan PSE sa neselektivnim bakarnim apsorberom tipa cev – ploča i za PSE sa neselektivnim čeličnim apsorberom istog tipa može se jasno zaključiti veća efikasnost pločastog u odnosu na cevni kolektor.[18]



Slika 4.20. Prikaz dobijene toplote iz PSE sa apsorberom tipa ploča – ploča i PSE sa apsorberom tipa cev - ploča

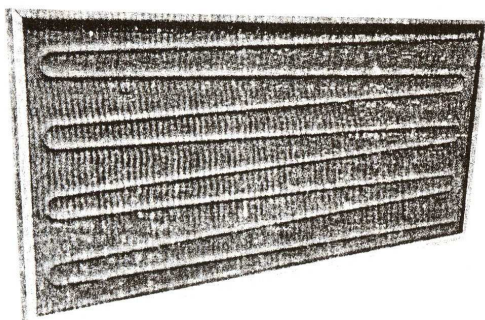
5. PREGLED I KARAKTERISTIKE KOMERCIJALNIH TIPOVA RAVNIH PRIJEMNIKA SUNČEVE ENERGIJE

5.1. Prijemnik sa tečnošću kao nosiocem toplote – vodeni prijemnik

5.1.1. Izgled i konstrukcija prijemnika

Po delovima iz kojih je sastavljen, opštem izgledu i načinu funkcionisanja, solarni prijemnik sa tečnošću kao nosiocem toplote se ne razlikuje od vazdušnih solarnih prijemnika. Razlike se odnose na izgled i konstrukciju apsorbera i mesto i način strujanja rashladnog fluida. Kod vodenih prijemnika odnošenje toplote iz apsorbera ostvaruje se samo na jedan način: strujanjem radne tečnosti kroz kanale koji su, bez obzira na konstrukciju apsorbera, u fizičkoj vezi sa apsorbujućom površinom. To znači da rashladni fluid ne dolazi u dodir sa transparentom ili drugim ili drugim elementima prijemnika, kao što je to slučaj kod vazdušnih prijemnika.[15]

Svi ovi prijemnici imaju prosečnu veličinu prijemne površine koji se najčešće kreće od 1,2 do 2 kvadratna metra. Ove dimenzije su uglavnom uslovljene dimenzijama raspoloživih poluproizvoda koji se ugrađuju, transportnim i manipulativnim uslovima, kao i univerzalnošću njihove namene (radi smeštaja na različite objekte). Limitirajući faktor veličine često je vezan za transparentnu pokrivku, koja ne sme biti velika zbog mehaničkih karakteristika (savijanje usled sopstvene mase i sl.), termičkih dilatacija koje bi ugrozile nepropusnost prijemnika na spoljna dejstva i, konačno, radi ukupne krutosti prijemnika i sl.



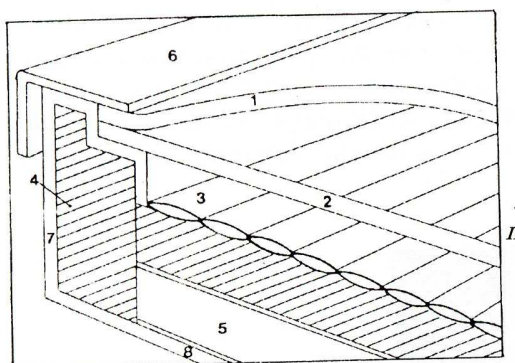
Slika 5.1. Izgled jednog tipa iz serije proizvodnje solarnih prijemnika sa tečnošću kao nosiocem toplote

Na slici 5.1. dat je delimični presek prijemnika kod kojih je apsorber izrađen od dvoslojnog aluminijumskog, bakarnog ili čeličnog lima debljine 0,5 do 1,25 mm. Transparentna pokrivka je kod jednog od njih izrađena od temperaturnih otpornih prozirnih plastičnih materijala, a kod drugog od jednoslojne staklene ploče.

Ovakav tip apsorbera omogućuje dobar prelaz toplote sa apsorberskog lima na tečnost – pošto je velika dodirna površina. U prodaji su pločasti radijatori izrađeni od čeličnog lima, koji se mogu koristiti za izradu apsorbera uz prethodno bojenje jedne strane crnom – mat bojom. Nedostatak ovakvog apsorbera je relativno velika masa i sklonost ka koroziji. On nalazi primenu samo u indirektnim sistemima grejanja vode, kod kojih u primarnom krugu, a to znači i kroz apsorber,

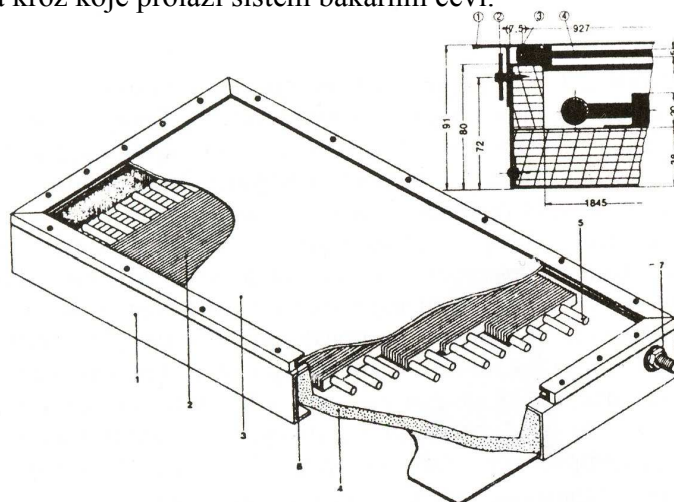
cirkuliše antifriz sa inhibitorima protiv korozije. Osnovne karakteristike prijemnika prikazanog na skici 5.2. su:

- površina: 2,37 m²
- dimenzije: 2080×1140×135 mm
- radni pritisak: 2,5 bara
- maksimalno dozvoljeni pritisak: 3,5 bara
- masa (praznog): 45 kg
- priključak apsorbera: M16
- temperatura praznog hoda: 160°C.



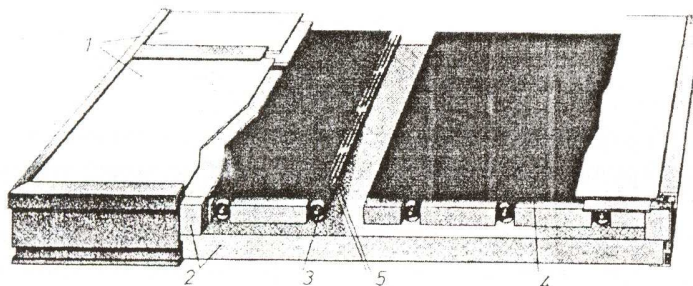
Slika 5.2. Solarni prijemnik sa dvoslojnim metalnim apsorberom. 1 – transparent od akrilata, debljine 3 mm; 2 – poliesterska folija; 3 – apsorber; 4 – termička izolacija od poliuretana; 5 – mineralna vuna; 6 – ram od Al profila; 7 – ram kućišta od Al profila; 8 – donja ploča od Al lima

Druga grupa prijemnika ima apsorber izrađen od aluminijumskog, bakarnog ili čeličnog lima ili koroziono otpornih (prokron) cevi prečnika od 10 do 18 mm. Na slici 5.3. prikazan je jedan od složenijih i energetske efikasni prijemnika, kod kojih je apsorber izrađen iz velikog broja aluminijumskih lamela kroz koje prolazi sistem bakarnih cevi.



Slika 5.3. Solarni prijemnik sa apsorberom tipa lamela – cev. 1 – kućište; 2 – lamele apsorbera; 3 – staklo; 4 – termoizolacija; 5 – cev apsorbera; 6 – profilisana gumena zaptivka; 7 – priključak za tečnost

Ovakvi apsorberi se mogu naći u praksi u rashladnim uređajima. Prednost im je kako je već rečeno, nešto viša energetska vrednost, a nedostak znatno složenija izrada (posebno za samogradnju). Ukupna površina lamela je nekoliko puta veća od neto apsorbujuće površine. Na slici 5.4. prikazana su dva rešenja prijemnika sa apsorberima izrađenim od ravnog lima i cevi.



Slika 5.4. Prijemnici sa apsorberom izrađenim iz kombinacije ravnog lima i cevi. 1 – staklo; 2 – termoizolacija; 3 – cev; 4 – apsorber; 5 – toplotna cev

5.1.2. Detalji konstrukcije prijemnika

Za izradu prijemnika sa tečnošću kao nosiocem toplote od značaja je svaki detalj konstrukcije. Nekoliko mogućih i primenljivih rešenja dato je na slikama...

Ovo je relativno lako uraditi ručno – ukoliko je apsorber od mekog i tankog bakarnog lima.

Isečene bakarne cevi odgovarajućeg prečnika, najčešće od 12 ili 18 mm, postavljaju se u tako otisnute žlebove i lamela se pritiskuju uz apsorber. Veza lamele i apsorbera može se ostvariti pop – nitnama. Ukoliko su upotrebljene cevi i bakarni apsorber, ove lamele nisu neophodne – spajanje je moguće izvršiti mekim lamljenjem.

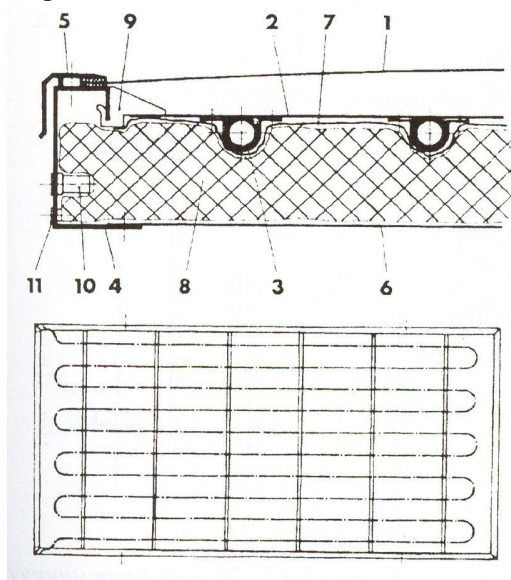
Cevi apsorbera se moraju povezati sa glavnim dovodnim i odvodnim cevima koje su nešto većeg prečnika, a spajanje se vrši zavarivanjem ili posebnom tehnikom. Međutim, ukoliko se želi izbeći upotreba lamela za spoj cevi sa apsorberom, žlebove u apsorberu treba uraditi znatno dublje izvršiti prethodno pritezanje otvora kanala (moguće je to parcijalno vršiti u stegama), kako bi se cev dobro stegnula u apsorberu. Od kvaliteta dodira cevi i apsorbera zavisi i efikasnost prenosa toplote od apsorbera ka cevi, odnosno – ka radnoj tečnosti, a time i energetska efikasnost takvog prijemnika.

Karakteristike prikazanog prijemnika su sledeće:

- površina: 4 m²
- dimenzije: 3010×1530×85 mm
- masa: 63 kg
- zapremina vode u cevi: 3,85 l.

Sa slike 5.5. se vidi da je cev u apsorberu izvedena u apsorberu iz jednog dela odgovarajućim savijanjem, što je lakše za izradu od prethodno, ali je nedostatak veći otpor proticanju tečnosti. Pri

tome se razlikuju još dve varijante apsorbera: stojeća ili ležeća. Kod stojećeg apsorbera postoji veći broj prevoja apsorberske cevi nego kod ležećeg, pa zato ima i veći otpor proticanju tečnosti i zahteva veću snagu cirkulacione pumpe.



Slika 5.5. Prijemnik sa ravnim apsorberom i cevima pričvršćenim lamelama sa donje strane apsorbera. 1 – prozirna plastična pokrivka; 2 – apsorber od aluminijuma; 3 – bakarna cev; 4 – kućište od profilisanog Al lima; 5 – ram; 6 – donja ploča; 7 – folija; 8 – mineralna ili staklena vuna; 9 – držač apsorbera; 10 i 11 – otvori za postavljanje prijemnika na noseću konstrukciju

Prilikom postavljanja na noseću konstrukciju prijemnik sa nosećim apsorberom se mora postaviti tako da mu je manja strana oslona, a kod ležećeg duža. U protivnom bi moglo doći do pojave vazdušnih čepova na prevojima apsorberske cevi i sprečavanja nesmetanog protoka rashladne tečnosti kroz prijemnik (sprečeno prirodno od vazdušenje). Kod prijemnika sa dvoslojnim pločastim apsorberom ne dolazi do ovih problema, pa se mogu postavljati u zavisnosti od potrebe raspoloživog prostora.[15]

5.2. Prikaz vodenih termalnih PSE relevantnih proizvođača

5.2.1. Solarnetix



Slika 5.6. Termalni kolektor Solarnetix

Tabela 5.1. Karakteristike:

Naziv	Vrednost
Ukupna površina	2.7 m ²
Efektivna površina	2.5 m ²
Opseg izlaza kolektora	0 - 2000 W
Maksimalna temperatura	210 C°
Prosečni protok	50 - 300 l/h
Radni pritisak	3.5 bar
Maksimalni radni pritisak	6 bar
Testiran na pritisak	11 bar
Pad pritiska	30 m/bar
Dimenzije	2233 mm × 1223 mm × 78 mm
Masa bez radnog fluida	48 kg
Preporučeni radni ugao	10° ...90°
Presek izlazne/ulazne cevi	3/4"
Okvir	Aluminum, otporan na morsku vodu
Absorber	Bakar, titanium-nitrit-oksidi
Termička izolacija	Kamena vuna
Toplotni transfer fluida	nije toksičan i bio razgradiv

Prethodno prikazani termalni kolektor je dizajniran u Nemačkoj a testiran i primenjen u Kanadi. Maksimalni izlaz kolektora iznosi i do 2000W. Ovaj novi kolektor je tanji od drugih, što ga vizuelno čini veoma atraktivnim.[29]

Ovaj visokoeffikasni termalni kolektor je pogodan za mnoge primene:

- grejanje životnog prostora,
- komercijalno grejanje vode,
- grejanje sanitarne vode,
- grejanje vode za bazene,
- korišćenje u domovima za stare osobe,
- autoperionice,
- komercijalne perionice veša,
- podno grejanje i sl.

5.2.2. King Solar

Model **308C-HP**



Slika 5.7. Kolektor 308C-HP, 408C-HP

Tabela 5.2. Karakteristike:

Naziv	Vrednost
Apsorber	Hrom - crne boje
Ukupna površina	2.2 m ²
Masa bez fluida	35.5 kg
Maksimalni radni pritisak	1103 kPa
Efektivna površina	2.054 m ²
Kapacitet fluida	3.3 l
Maksimalna radna temperatura	99°C

Cena: 616 US\$

Model **408C-HP**

Tabela 5.3. Karakteristike:

Naziv	Vrednost
Apsorber	Hrom - crne boje
Ukupna površina	2.9 m ²
Masa bez fluida	47.6 kg
Maksimalni radni pritisak	1103 kPa
Efektivna površina	2.806 m ²
Kapacitet fluida	2.9 l
Maksimalna radna temperatura	99°C

Cena: 750 US\$

Model 410C-HP

Tabela 5.4. Karakteristike:

Naziv	Vrednost
Apsorber	Hrom - crne boje
Ukupna površina	3.708 m ²
Masa bez fluida	58.56 kg
Maksimalni radni pritisak	1103 kPa
Efektivna površina	3.488 m ²
Kapacitet fluida	3.3 l
Maksimalna radna temperatura	99°C

Cena: 900 US\$

Model 412C-HP

Tabela 5.5. Karakteristike:

Naziv	Vrednost
Apsorber	Hrom - crne boje
Ukupna površina	4.49 m ²
Masa bez fluida	70.37 kg
Maksimalni radni pritisak	1103 kPa
Efektivna površina	4.212 m ²
Kapacitet fluida	3.7 l
Maksimalna radna temperatura	99°C

Cena: 1130 US\$

Model 412P-HP

Tabela 5.6. Karakteristike:

Naziv	Vrednost
Apsorber	Hrom - crne boje
Ukupna površina	4.49 m ²
Masa bez fluida	68.1 kg
Maksimalni radni pritisak	1103 kPa
Efektivna površina	4.212 m ²
Kapacitet fluida	6.7 l
Maksimalna radna temperatura	99°C

Cena: 950 US\$

Model **BS-21**



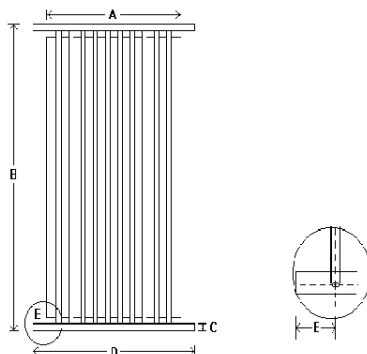
*Slika 5.8. Izgled kolektora **BS-21***

Seriya **BS** kolektora se proizvodi u još nekoliko modela, čije karakteristike su date u tabeli 5.7.

Tabela 5.7. Karakteristike modela kolektora serije **BS**

	A	B	C	D	E
Model	Širina (mm)	Dužina (mm)	Dimenzije priključka (mm)	Širina (sa priključcima) (mm)	Razmak priključka od kolektora (mm)
BS/PS20	812	1894	25.4	1010	158
BS/PS21	927	1841	25.4	1100	146
BS/PS24	812	2402	25.4	1010	158
BS/PS32	1158	2402	25.4	1305	131
BS/PS40	1158	2965	25.4	1305	131
BS/PS40-1.5	1158	2965	38.1	1305	132

Tabela je u vezi sa sledećom slikom.



*Slika 5.9. Šematski prikaz kolektora **BS** serije*

Model **CP-20**

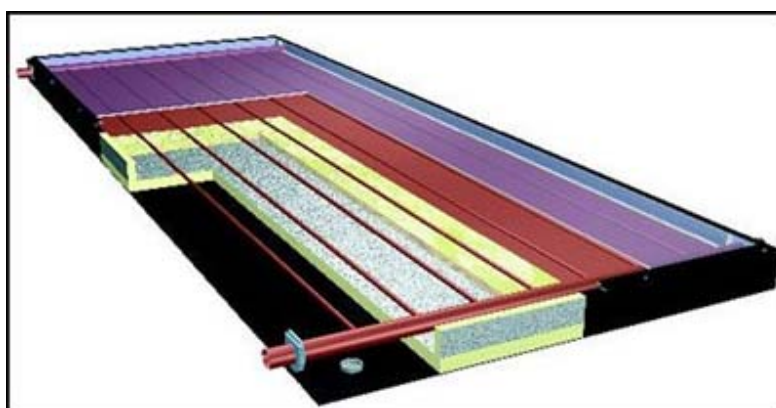


Slika 5.10. Kolektor CP-20

Tabela 5.8. Karakteristike kolektora serije **CP-20**

Model	Kapacitet (l)	Masa praznog kolektora (kg)	Masa punog kolektora (kg)	Širina (mm)	Dužina (mm)	Debljina (mm)	Ulaz i izlaz u kolektor (mm)
CP-20	76	69	144	914	1270	152	19
CP-30	121	94	214	914	1981	152	19
CP-40	152	118	268	914	2490	152	19

Model **EP-20**



Slika 5.11. Kolektor EP-20

Tabela 5.9. Karakteristike kolektora serije **EP-20** [30]

Model	Širina (mm)	Dužina (mm)	Debljina (mm)	Masa praznog kolektora (kg)	Kapacitet kolektora (l)	Projektovani protok (l/min)
EC/EP20	914	1982	82.5	27	2.3	1.9
EC/EP21	1016	1930	82.5	31.5	2.7	2.1
EC/EP24	914	2490	82.5	36	3	2.3
EC/EP32	914	2490	82.5	47.7	3.8	3.1
EC/EP40	914	3098	82.5	63.5	4.6	3.9

5.2.3. Sun Ray

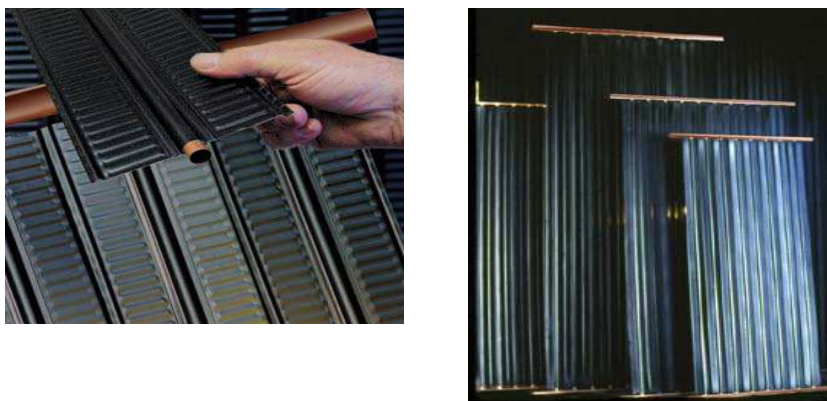


Slika 5.12. Izgled Sun Ray kolektora

Tabela 5.10. Karakteristike:

MODEL	SR-24-CA	SR-24-CC	SR-32-CA	SR-32-CC	SR-40-CA
Tip apsorbera	Bakar/ Aluminijum	Bakar/ Bakar	Bakar/ Aluminijum	Bakar/ Bakar	Bakar/ Aluminijum
Dužina (mm)	2451	2451	2451	2451	3048
Širina (mm)	927	927	1187	1187	1187
Debljina (mm)	70	70	70	70	70
Dimenzije priključka (mm)	25.4	25.4	25.4	25.4	25.4
Masa (kg)	47	50	59	64	74
Protok (l/min)	3.8	3.8	4.9	4.9	6.2

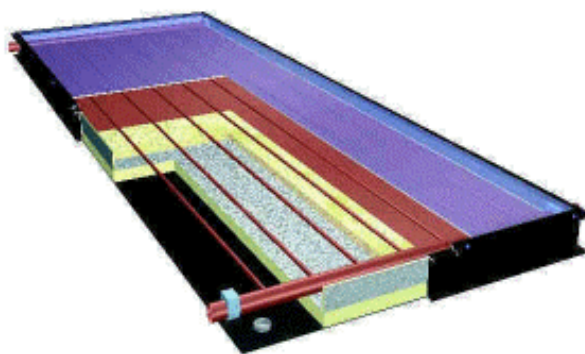
Okvir kolektora je izađen od čelika, galvanizovan i otporan na koroziju. [32]



*Slika 5.13. Izgled apsorbera **Sun Ray** kolektora*

5.2.4. Sunearth

Kolektori su testirani na udare vetra od 290 km/h. [31]



*Slika 5.14. Izgled i primena kolektora kompanije **Sunearth**, modela **Imperial***

Tabela 5.11.
Karakteristike:

Model	Širina (mm)	Dužina (mm)	Dubina (mm)	Masa praznog kolektora (kg)	Kapacitet (l)	Projektovani protok (l/min)
IC/IP-24	920	2491	82	44	3	2.4
IC/IP-32	1225	2491	82	53	3.8	3.1
IC/IP-40	1225	3100	82	70	4.5	3.9

5.2.5. Thermocell



Slika 5.15. Izgled PSE

Tehnički opis termalnih kolektora kompanije **Thermocell**

Apsorber

Efektivna površina: 0.77m²;
Materijal: Fosfatom tretiran čelik, bakar.

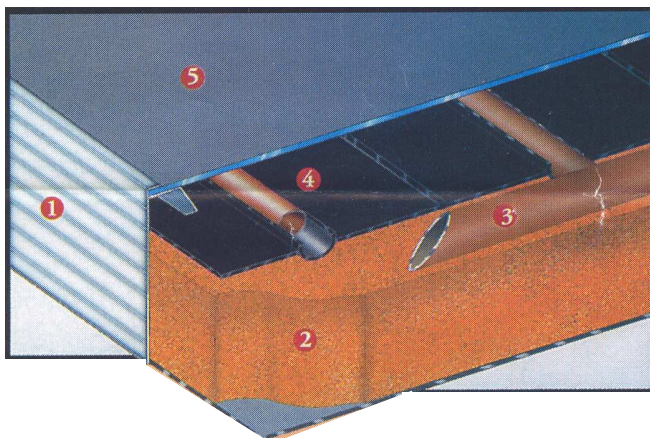
Kolektor

Okvir: galvanizovan čelik;
Transparentna pokrivka: staklo debljine 3 mm, zapečanjeno silikonom;
Dužina: 1070 mm;
Širina: 770 mm;
Debljina: 70 mm;
Masa: 20 kg.

Parametri:

Preporučeni protok: 1 - 2 l/min;
Radna temperatura: 110 - 130 °C;
Maksimalna radna temperatura: 135°C;
Maksimalni radni pritisak: 1800 kPa.
Minimalna radna temperatura: -95°C za stanje mirovanja, 0°C za stanje rada; [33]

5.2.6. Helional



Slika 5.16. Elementi solarnog kolektora HELIONAL 1) kućište apsorbena od ekstrudiranog anodizovanog Al profila, 2) izolacija od fiberglasa na stranicama i ispod ploča apsorbena debljine 30 mm, 3) apsorberski sistem od bakarnih cevi, 4) apsorbujuća površina od anodizovanih Al ploča, prevučeni specijalnim crnim premazom, 5) sigurnosno staklo debljine 3 mm pričvršćeno na nerđajući profil silikonskom zaptivnom masom

5.2.7. Nissal

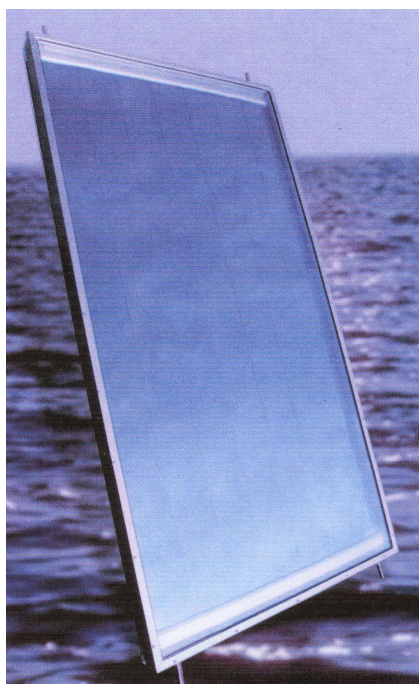


Tabela 5.12. Tehničke karakteristike

Dimenzije (mm)	1790×880×86
Površina apsorbena (m ²)	1,46
Sadržaj fluida (l)	2
Masa (kg)	40

Slika 5.17. Solarni kolektora NAIS – 80

5.2.8. Elsol



Slika 5.18. PSE ELSOL

Tabela 5.13. Tehničke karakteristike PSE ELSOL [37]

Dimenzije (mm)	1990×940×80
Neto površina (m ²)	1,86
Masa (kg)	49
Pokrivač	Staklo 5 mm
Ram	Al – profil 2mm
Apsorber	Al – profil spec. oblikovan (patentno zaštićen) el. hemijski presvučen selektivnom prevlakom
Hidraulični krug	Bakarna cev Ø15/Ø13
Sabirnik	Bakarna cev Ø22/Ø20
Izolacija	Mineralna vuna tvrdo presovana debljine 40 mm presvučena Al reflektujućom folijom
Donja zaštitna ploča	Al lim debljine 0,5 mm
Sadržaj fluida (lit)	2,85
Priključci	Ø15, Ø18 ili Ø22 za termosifonsku cirkulaciju fluida
Koeficijent apsorpcije	0,95
Koeficijent refleksije	0,14
Stepen iskorišćenja	0,78 – 6,65 T
Vek trajanja (god)	40 i više
Garancija (god)	10

5.2.9. Yugo Danone



Slika 5.19. Izgled PSE YD – S2

Ovo je ravni, pločasti kolektor predviđen za grejanje sanitarne ili tehnološke potrošne vode, kako u domaćinstvima, tako i u industriji i različitim ustanovama (bolnicama, sportskim objektima, školama i sl.).

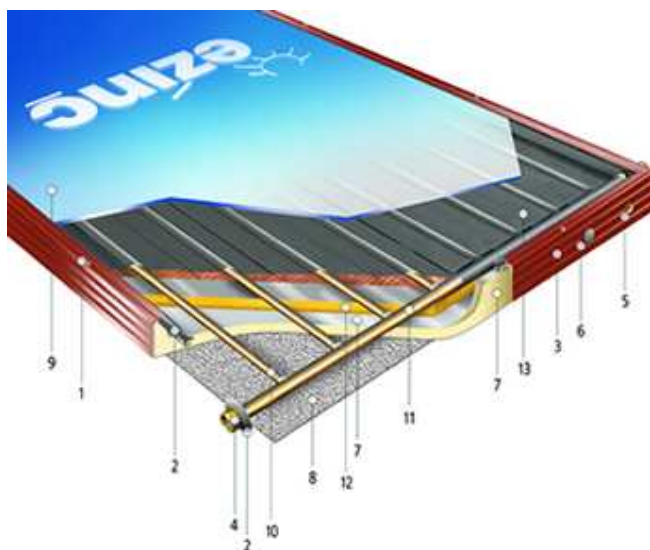
Izrađen je od kvalitetnih neržajućih materijala (kućište je od eloksiranog aluminijumskog profila, apsorber je od aluminijumskog profila sa selektivnim apsorbujućim slojem u kome je postavljena bakarna apsorberska cev; termičku izolaciju čini poliuretanska pena, a transparentna pokrивka je staklo elastično uležišteno u ram kućišta). [35]

Eksploataciono se mogu postaviti u vertikalnom i horizontalnom položaju.

Tabela 5.14. Tehničke karakteristike kolektora YD – S2

Dimenzije (mm)	2000 × 1000 × 86
Neto površina (m ²)	1,85
Masa (kg)	37
Pokrivač	Staklena ploča debljine 4 mm
Apsorber	Al – profil sa bakarnom cevi Ø 15/14 mm
Optička efikasnost	80%
Radna temperatura	do 100 °C
Izolacija	Poliuretanska pena debljine 40 mm
Donja zaštitna ploča	Al lim
Sadržaj fluida (lit)	2,5
Priključci	Bakarna cev Ø18/17 mm
Koeficijent apsorpcije	$\alpha = 0,94$
Koeficijent refleksije	$\varepsilon = 0,12$
Maksimalni radni pritisak (kPa)	600
Kućište	Okvir, eloksirani Al – profil;

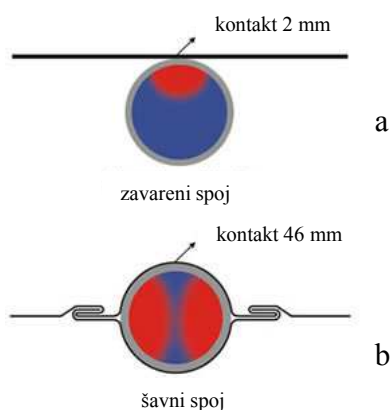
5.2.10. Ezinc



Slika 5.20. Elementi solarnog kolektora **ezinc**

- 1 – Nerđajući zavrtnji (Cr – Ni); 2 – Zaštitna guma; 3 – Ram od ekstrudiranog aluminijuma;
4 – Bakarni priključak Ø 3/4", Ø1" ili po potrebi; 5 – Vijak M8 za krovnu montažu;
6 – Ventilacioni otvori sa plastičnim čepovima; 7 – Poliuretanska izolacija presvučena Al folijom;
8 – Donja ploča od čistog Al, debljine 0,3 mm; 9 – Kaljeno zaštitno staklo visoke propustljivosti;
10 – Bakarne cevi; 11 – Sabirna bakarna cev; 12 – Ploča mineralne vune sa Al folijom za bolju izolaciju i zaštitu poliuretanske izolacije; 13 – Bakarni apsorber sa bakarnim cevima.

Pločasti bakarni apsorber se sastoji od bakarnih cevi postavljenih na rastojanju od 23 mm da bi se obezbedio što bolji prenos toplote. Kontakt između cevi i ploče ostvaren je uzdužnim zavarivanjem širine 2 mm (slika 5.21. a). Optimalno konstrukciono rešenje je prikazano na slici 5.21. b. [34]



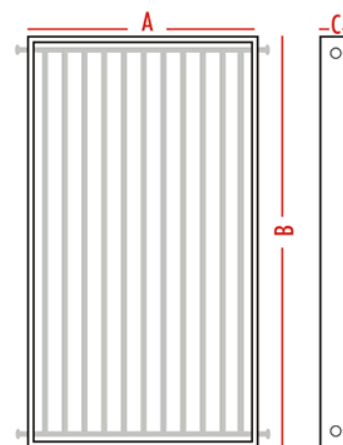
Slika 5.21. Vrste spojeva bakarnih cevi sa pločom apsorbera

Kod standardnih **ezinc** kolektora izolacija je ostvarena poliuretanskom penom, gustine 40 kg/m^3 , direktno ubačene u kućište kolektora i presvučene Al folijom. To kolektoru omogućava veću izolacionu moć i veću krutost. Dodatno je ubačen sloj staklene vune između apsorblera i poliuretanske pene.

Transparentna pokrivka je od kaljenog stakla debljine 3,7 mm i ima veliku otpornost na toplotnu dilataciju i uticaje okoline. Solarna propustljivost iznosi 91% i zavisi od upadnog ugla Sunčevog zračenja.

Tabela 5.15. Dimenzije PSE **ezinc**

VELIČINE	A	B	C
Tip <i>S</i>	930 mm	1930 mm	85 mm
Tip <i>M</i>	1170 mm	1740 mm	85 mm
Tip <i>L</i>	1206 mm	1906 mm	85 mm



Slika 5.22. Izgled i dimenzije solarog kolektora **ezinc**

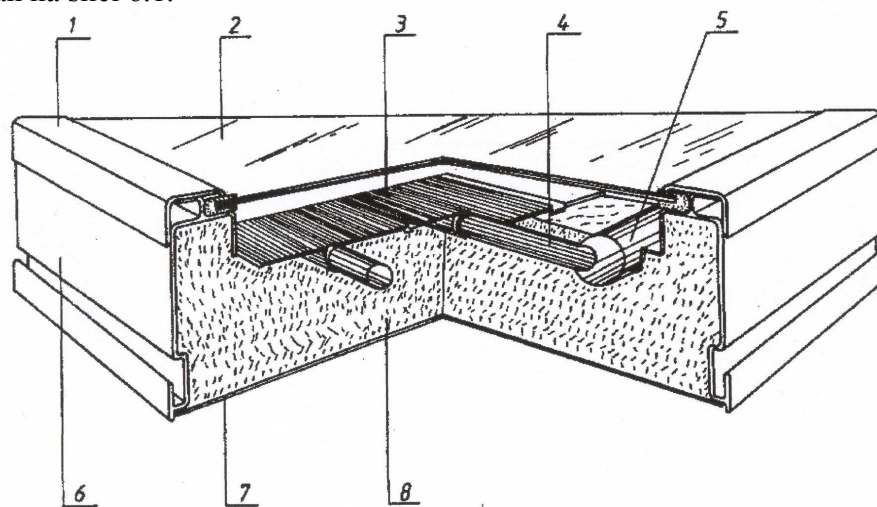
Tabela 5.16. Tehničke karakteristike kolektora **ezinc**

VELIČINA	Tip <i>S</i>	Tip <i>M</i>	Tip <i>L</i>
Površina kolektora [m^2]	1,8	2	2,3
Površina apsorblera [m^2]	1,6	1,84	2,13
Koeficijent absorpcije	$\alpha = 0,89$	$\alpha = 0,92$	$\alpha = 0,93$
Broj cevi apsorblera	8	11	11
Masa praznog kolektora [kg]	33,5	37,3	42
Masa punog kolektora [kg]	3,5	4	4,7
Količina radnog fluida [l]	37	41,3	46,7
Ispitivani pritisak [bar]	14	14	14
Radni pritisak [bar]	8	8	8
Termička efikasnost [%] ($x = 0,050$)	59	61	61
Koeficijent emisivnosti	0,12	0,12	0,11

6. KRITIČKA ANALIZA KONSTRUKTIVNIH ENERGETSKIH I TEHNOLOŠKIH KARAKTERISTIKA KOMERCIJALNIH TIPOVA PRIJEMNIKA SUNČEVE ENERGIJE

6.1. Solarni kolektor NAIS – 80

Urađen je na osnovu savremenih principa proizvodnje i spada u grupu niskotemperaturnih prijemnika Sunčeve energije. Glavni materijal za izradu je specijalni Al profil sa bakarnim provodnim cevima. Karakteriše ga visoka postojanost, laka konstrukcija i odlične termičke osobine. Takođe je značajno da uz pristupačnu cenu i visokokvalitetan materijal za izradu poseduje vek trajanja od 30 i više godina. Ovi kolektori obezbeđuju toplu vodu i kada je oblačno vreme i njegov presek je prikazan na slici 6.1.



Slika 6.1. Solarni kolektor NAIS – 80 1) pokrivni profil za staklo, 2) transparentni pokrivač, 3) apsorpciona ploča, 4) cev apsorbera, 5) apsorpciona sabirna cev, 6) kolektorska kutija, 7) zadnja pokrivna obloga, 8) termička izolacija

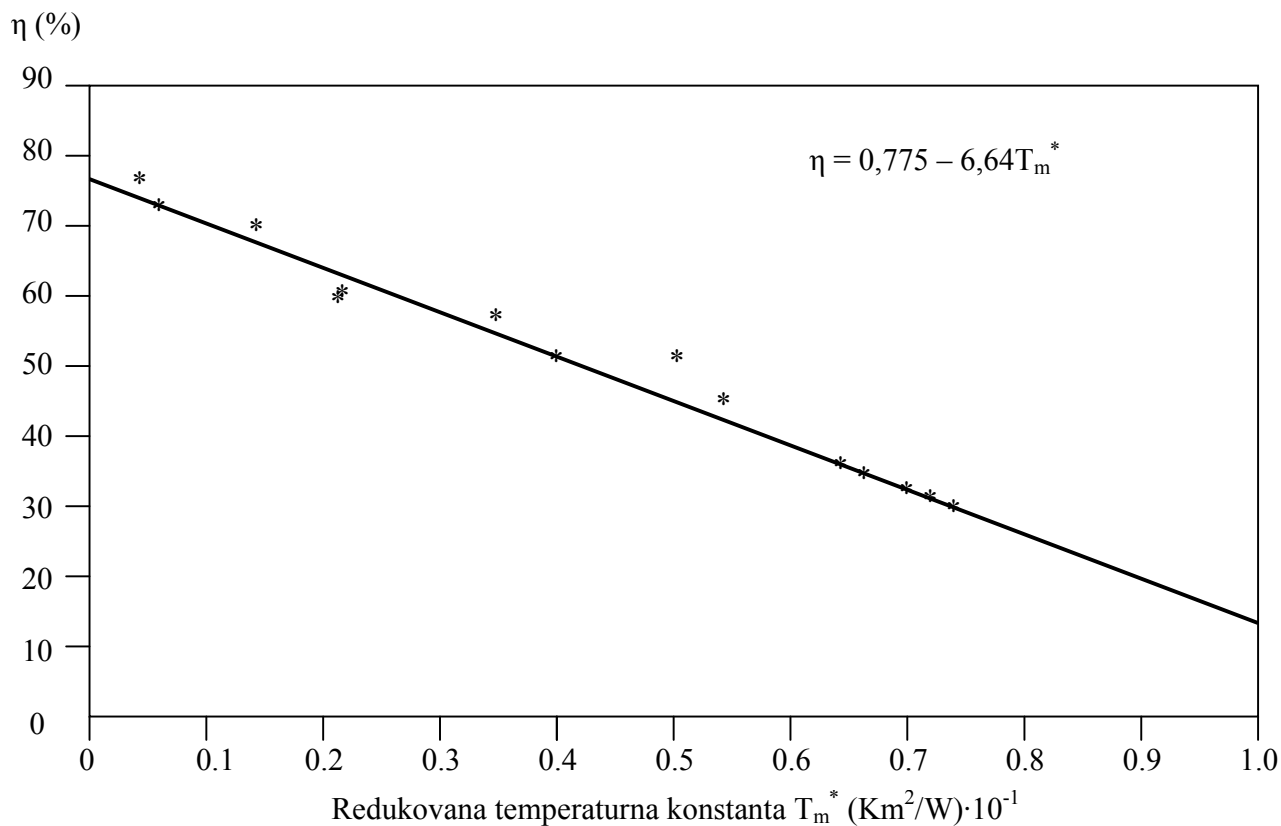
Naznačeni pokrivni profil za staklo je izrađen od presovanog aluminijuma, od legura AlMgSi 0,5, eloksiran sa debljinom oksidnog sloja od $20 \div 25 \mu\text{m}$. Spojni elementi su od nerđajućeg čelika. Zaptivanje je izvedeno silikonskom gumom ili silikonskim kitom. Kao transparent kolektora koristi se kaljeno staklo debljine 5 mm i dimenzija $1735 \times 835 \text{ mm}$. Apsorber je aluminijumski profil zaštićen selektivnom prevlakom gde je koeficijent apsorpcije $\alpha = 0,93$ a koeficijent emisivnosti $\varepsilon = 0,20$. Cev apsorbera je izrađena od bakra $\text{Ø}15/\text{Ø}13 \text{ mm}$ i spojena je sa sabirnim cevima kolektora tvrdim lemljenjem. Sabirna cev je takođe od bakra $\text{Ø}22 \text{ mm}$ dužine 800 mm. Kućište kolektora je izrađeno od presovanog aluminijuma i to od legure AlMgSi 0,5 i eloksirano je debljinom oksidnog sloja $20 \div 25 \mu\text{m}$. Kao termička izolacija koristi se poliuretanska pena debljine 30 mm i tervol debljine 20 mm koji je obložen aluminijumskom folijom. Zadnja pokrivna obloga debljine 1 mm izrađena je od aluminijumskog lima. U tabeli 5.1. su izneti najvažniji tehnički podaci navedenog kolektora. [14]

Tabela 6.1. Rezultati merenja karakteristika solarnog kolektora NAIS – 80

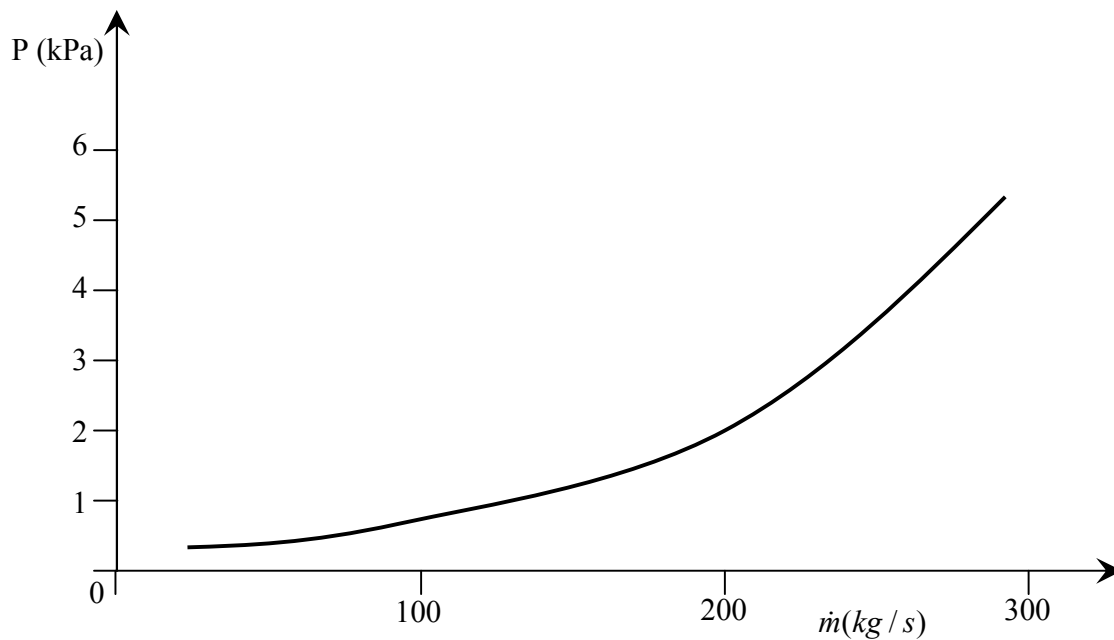
DATUM	t ₁	V _t	M _{B1}	H ₁	I	I _d	T _{set}	T _{ul}	v	θ	\dot{m}	T _a	ΔT	T _m	T _m *	η	P
	t ₂		M _{B2}	H ₂											T _m *		
	h ^{min}		0,12 Kmir	Wh/m ²											W/m ²		
25.01.03	12 ³⁶	15	193753	2987	872	10.55	60	57.73	0.33	20	141.50	12.30	3.23	59.34	0.0539	0.418	1.6
	12 ⁵¹		194157	3205													
25.01.03	13 ²⁰	15	194568	3649	836	11.96	75	72.86	0.16	25	148.55	13.05	2.01	73.86	0.0727	0.286	1.6
	13 ³⁵		194820	3858													
27.01.03	12 ⁴⁰	15	208780	3260	864	14.35	70	67.23	0.68	18	146.40	10.61	2.41	68.43	0.0671	0.327	2.1
	12 ⁵⁵		204082	3476													
29.01.03	10 ³³	18	215818	1580	847	13.78	50	48.45	1.33	20	143.10	11.61	3.74	50.32	0.0457	0.506	2.1
	11 ¹¹		216380	1834													
29.01.03	11 ⁴³	28	216432	2304	868	16.04	70	67.44	0.40	20	143.10	12.22	2.54	68.71	0.0651	0.335	2.2
	12 ¹¹		217017	2709													
29.01.03	12 ³⁶	24	217025	3079	893	14.84	80	77.11	0.67	20	147.20	11.73	2.07	78.14	0.0744	0.275	2.2
	13 ⁰⁰		217440	3436													
30.01.03	12 ⁰⁵	15	219202	2112	920	11.73	60	58.50	0.28	17	144.40	14.83	4.08	59.93	0.0490	0.465	2.2
	12 ⁰⁴		219685	2342													
30.01.03	13 ³⁶	20	221435	3721	846	9.92	75	72.70	0.76	26	144.50	14.18	2.22	73.82	0.0704	0.304	2.0
	14 ¹⁶		221805	4003													
31.01.03	11 ²²	22	227163	1941	916	9.52	30	29.17	0.27	17	138.40	15.80	5.29	31.81	0.0174	0.641	1.9
	11 ⁴⁴		228134	2277													
31.01.03	11 ⁵⁵	20	228619	2447	927	9.70	30	29.25	0.24	17	136.70	16.02	5.34	31.92	0.0171	0.632	1.9
	12 ¹⁵		229509	2756													
01.02.03	11 ²⁵	15	241257	2118	940	7.65	30	29.31	0.32	20	139.10	15.65	5.36	31.99	0.0173	0.703	2.0
	11 ⁴⁰		241928	2353													
01.02.03	13 ²⁰	15	246294	3870	600	8.66	35	34.57	0.60	20	139.00	17.21	3.176	36.16	0.0315	0.589	2.2
	13 ³⁵		246691	4020													
01.02.03	13 ³³	17	247323	4330	847	9.16	45	45.60	1.02	25	139.10	16.64	4.06	48.08	0.0317	0.529	2.2
	14 ⁰⁸		247899	4570													
02.02.03	13 ³⁵	15	256966	1688	888	10.81	75	72.75	0.60	20	145.50	14.17	2.47	73.99	0.0673	0.307	2.0
	13 ⁵⁰		257275	1910													
03.02.03	10 ²²	15	257571	1067	845	12.78	-	13.85	0.68	22	159.40	12.60	4.94	16.32	0.0044	0.744	-
	10 ³⁷		258189	1279													
03.02.03	10 ⁴⁵	15	258189	1394	880	12.72	-	14.18	0.52	20	152.40	13.44	5.43	16.89	0.0039	0.761	-
	11 ⁰⁰		258868	1614													
03.02.03	11 ³⁰	15	258877	2054	932	13.30	-	20.64	0.20	20	156.50	13.32	5.35	23.31	0.0107	0.719	-
	11 ⁴⁵		259546	2287													

Tabela 6.2. Tehničke karakteristike PSE NAIS – 80

Dimenzije	1790×880×86 mm
Površina apsorbera	1,46 m ²
Težina	40 kg
Sadržaj fluida	2 l



Slika 6.2. Stepen iskorišćenja solarnog kolektora NAIS – 80



Slika 6.3. Dijagram pada pritiska u zavisnosti od masenog protoka fluida kod ravnog solarnog kolektora NAIS – 80

Klimatski parametri lokaliteta na kome su vršena ispitivanja navedenog solarnog kolektora:

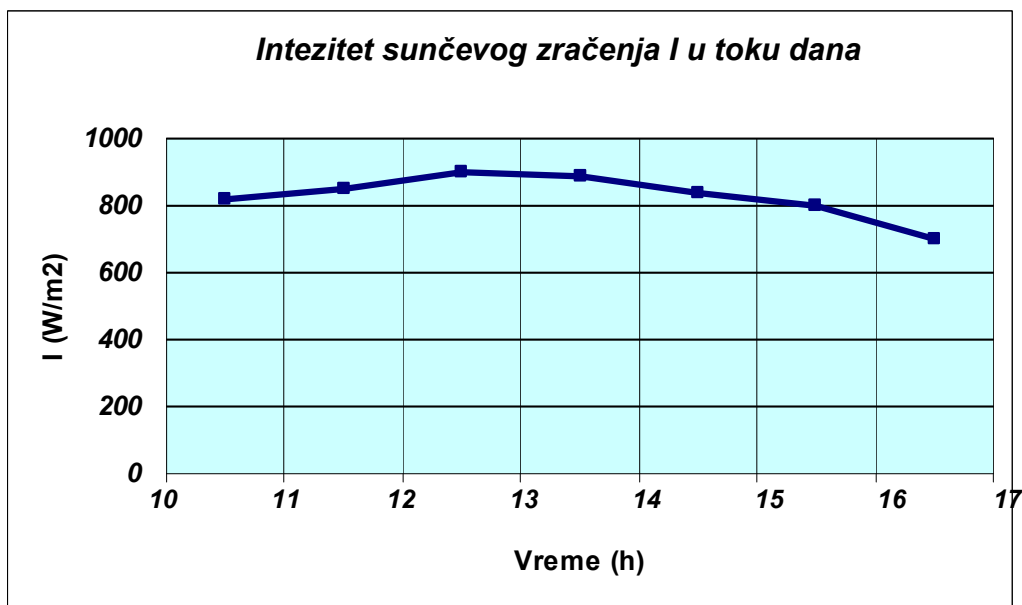
- geografska širina: 44° 17',
- geografska dužina: 20° 32',
- azimut je promenljiv jer je instalacija na točkovima,
- vreme u solarno podne: 11h 34',
- datum ispitivanja: 12.05.2004.,
- fluid: voda,
- nagib: 45°,
- brzina vetra: 0 m/s,
- $c_p = 4186 \text{ J/kgK}$.

Tabela 6.3. Klimatski parametri dobijeni ispitivanjem solarnog kolektora NAIS – 80

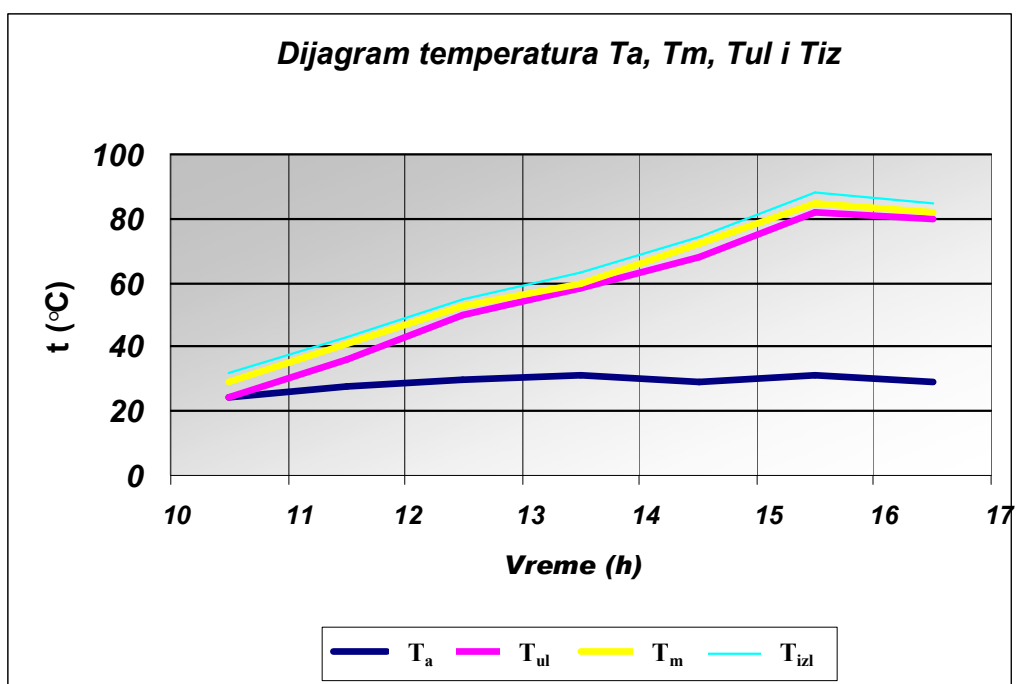
Vreme (h)	I (W/m ²)	I _d (W/m ²)	I/I _d	\dot{m} (kg/h)	T _a (°C)	T _{ul} (°C)	T _{izl} (°C)	T _{izl} – T _{ul} (°C)	T _m (°C)	v (m/s)	T _m [*] (Km ² /W)	Trenutna efikasnost η
10 ³⁵	811.77	170.90	0.211	100	23.60	23.90	31.70	7.80	27.80	0	0.0500	0.747
10 ⁴⁰	820.32	170.90	0.208	100	24.20	24.10	32.10	8.00	28.10	0		
10 ⁴⁵	828.86	170.90	0.206	100	24.00	24.30	32.50	8.20	28.40	0		
10 ⁵⁰	820.32	170.90	0.208	100	24.70	24.60	32.60	8.00	28.60	0	0.0530	0.762
10 ⁵⁵	828.86	170.90	0.206	100	24.70	24.90	33.10	8.20	29.00	0		
11 ⁰⁰	828.86	170.90	0.206	100	24.40	28.20	33.50	8.10	29.20	0		
11 ³⁰	854.50	187.99	0.220	100	26.90	36.20	43.90	7.70	40.05	0	0.0556	0.6923
11 ³⁵	854.50	187.99	0.220	100	27.00	36.30	43.90	7.60	40.10	0		
11 ⁴⁰	845.95	196.53	0.220	100	26.6	36.20	44.00	7.80	40.10	0		
12 ¹⁰	888.68	213.62	0.232	100	29.30	45.40	53.00	7.60	49.20	0	0.02267	0.693
12 ¹⁵	871.59	213.62	0.240	100	29.70	45.10	53.20	8.10	49.15	0		
12 ²⁰	888.68	205.8	0.231	100	28.60	44.80	52.90	8.10	48.85	0		
12 ²⁵	888.68	205.8	0.231	100	29.10	44.60	52.80	8.20	48.70	0		
13 ⁰⁰	880.13	205.8	0.235	100	30.00	54.80	62.00	7.20	58.40	0		
13 ⁰⁵	888.68	205.8	0.231	100	30.80	54.60	61.90	7.30	58.25	0	0.3098	0.6283
13 ¹⁰	897.22	205.8	0.229	100	30.10	54.50	61.90	7.40	58.20	0		
13 ¹⁵	905.77	205.8	0.226	100	30.50	54.60	62.00	7.40	58.30	0		
14 ⁰⁰	871.59	213.62	0.245	100	29.00	64.00	70.80	6.80	67.40	0		
14 ⁰⁷	888.68	213.62	0.240	100	29.00	64.60	71.30	6.70	67.95	0	0.4368	0.588
14 ¹²	897.22	213.62	0.238	100	29.00	64.30	71.20	6.90	67.75	0		
15 ¹²	885.95	196.53	0.232	100	29.80	74.90	79.90	5.00	77.40	0		
15 ¹⁷	828.86	196.53	0.237	100	29.50	74.40	80.10	5.70	77.25	0	0.5709	0.4864
15 ²³	828.86	205.08	0.247	100	29.80	74.80	80.00	5.20	77.40	0		
15 ⁵²	777.59	222.17	0.286	100	30.60	81.30	85.60	4.30	83.45	0		
15 ⁵⁷	777.59	222.17	0.286	100	31.00	81.60	85.90	4.30	83.75	0	0.6781	0.4464
16 ⁰²	781.86	213.62	0.273	100	30.50	80.90	85.90	5.00	83.40	0		
16 ²⁵	700.69	170.90	0.244	100	29.90	83.60	87.00	3.40	85.30	0		
16 ³⁰	700.69	170.90	0.244	100	30.20	83.50	87.00	3.50	85.25	0	1.7940	0.377
16 ³⁵	692.14	170.90	0.247	100	29.50	83.60	87.00	3.40	85.30	0		

Tabela 6.4. Podaci izmereni 27. 10. 2004., tip kolektora: NAIS – 80

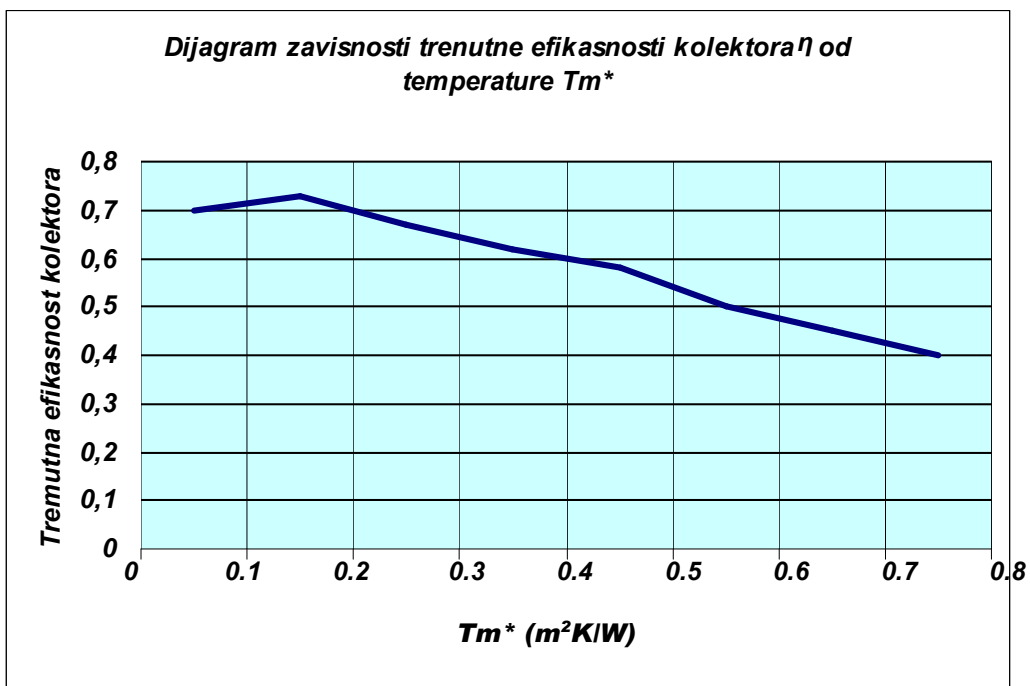
R.br.	Vreme	I [W/m ²]	p [bar]	Ta [°C]	Tu [°C]	Ti [°C]	v̇ [l/h]	Cf [J/kgK]	Ap [m ²]
1.	9:45	560	1,6	18	20,2	22,7	66	4186	1,57
2.	10:00	597	1,6	19	20,7	24,1	66	4186	1,57
3.	10:15	645	1,6	20	22	25,7	65	4186	1,57
4.	10:30	688	1,6	21	23	26,8	67	4186	1,57
5.	10:45	725	1,6	21	23,5	27,4	68	4186	1,57
6.	11:00	760	1,6	22	25	30	68	4186	1,57
7.	11:15	780	1,6	22	24,9	27,5	90	4186	1,57
8.	11:30	870	1,6	22	26,1	29,5	87	4186	1,57
9.	11:45	800	1,6	22	26,5	30	87	4186	1,57
10.	12:00	820	1,6	21	26,3	32,7	87	4186	1,57
11.	12:15	815	1,6	21	27,5	32,7	87	4186	1,57
12.	12:30	810	1,6	22	27,5	32	68	4186	1,57
13.	12:45	800	1,8	22	28,6	31,3	110	4186	1,57
14.	13:00	770	1,8	22	29,2	31,7	110	4186	1,57
15.	13:15	735	1,8	22	30	32,9	110	4186	1,57
16.	13:30	720	1,8	22	30	32,8	110	4186	1,57
17.	13:45	685	1,8	22	31	33,3	108	4186	1,57
18.	14:00	652	1,8	22	31,5	33,3	107	4186	1,57
19.	14:15	615	1,9	22	32,5	33,1	129	4186	1,57
20.	14:30	567	1,9	22	32,2	32,9	133	4186	1,57
21.	14:45	535	1,9	22	32,6	33,9	132	4186	1,57
22.	15:15	360	1,9	22	31,9	33,5	80	4186	1,57
23.	15:30	240	1,9	22	31,9	33	80	4186	1,57
24.	15:45	300	1,9	22	31,6	32,7	76	4186	1,57



Slika 6.4. Prikaz intenziteta sunčevog zračenja

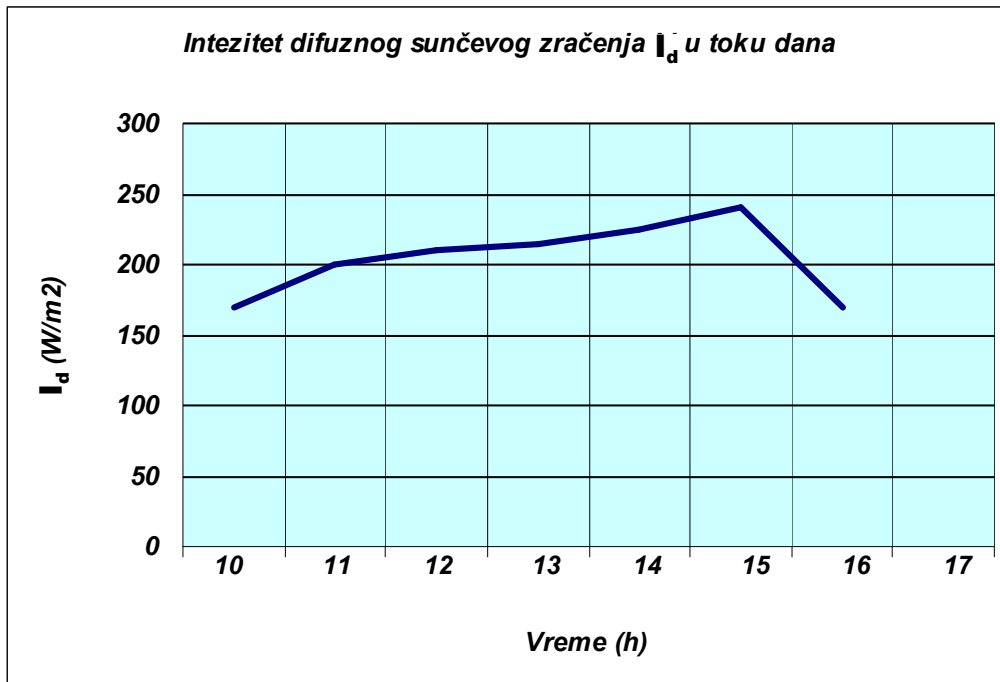


Slika 6.5. Dijagram temperatura u zavisnosti od vremena ispitivanja



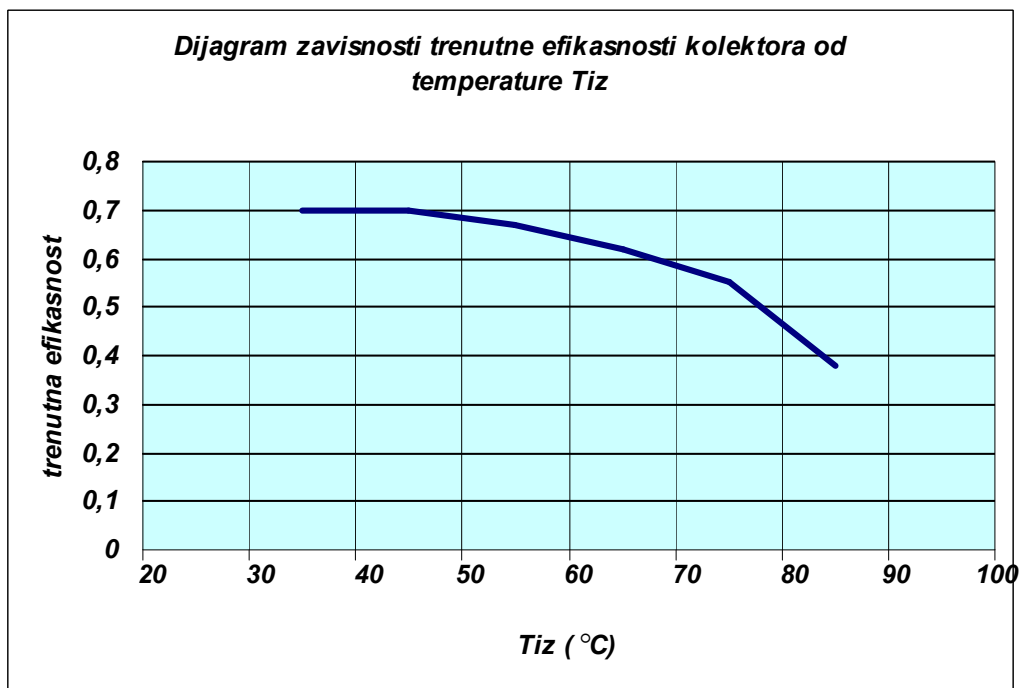
T_m^* - redukovana temperatura kolektora

Slika 6.6. Zavisnost trenutne efikasnosti PSE od temperature T_m^*



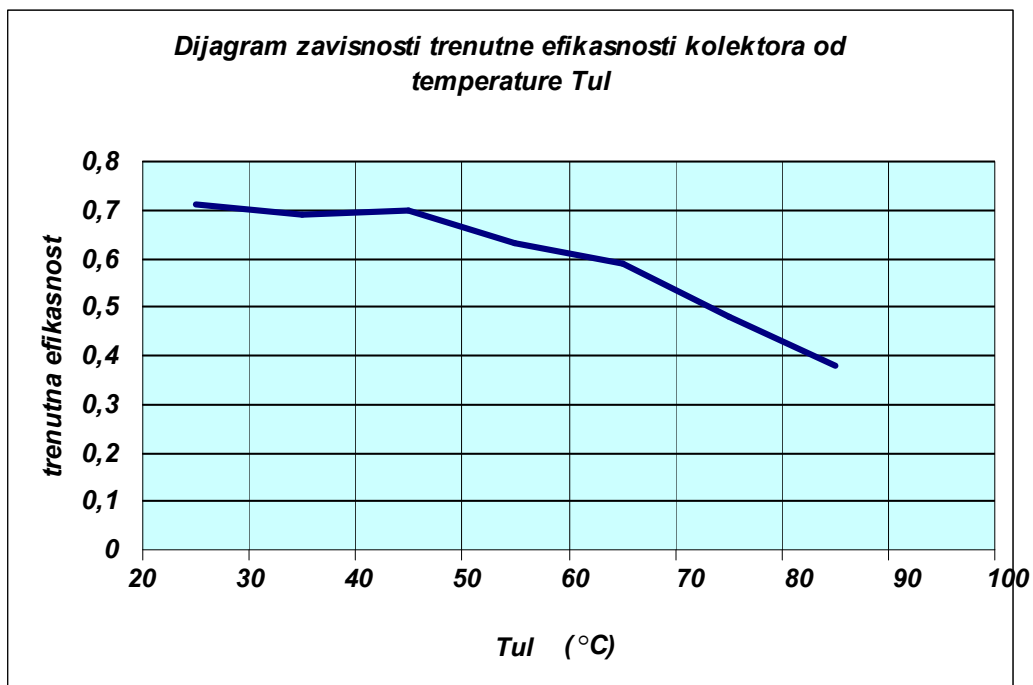
I_d – Intenzitet sunčevog zračenja

Slika 6.7. Intenzitet difuznog zračenja I_d u toku dana



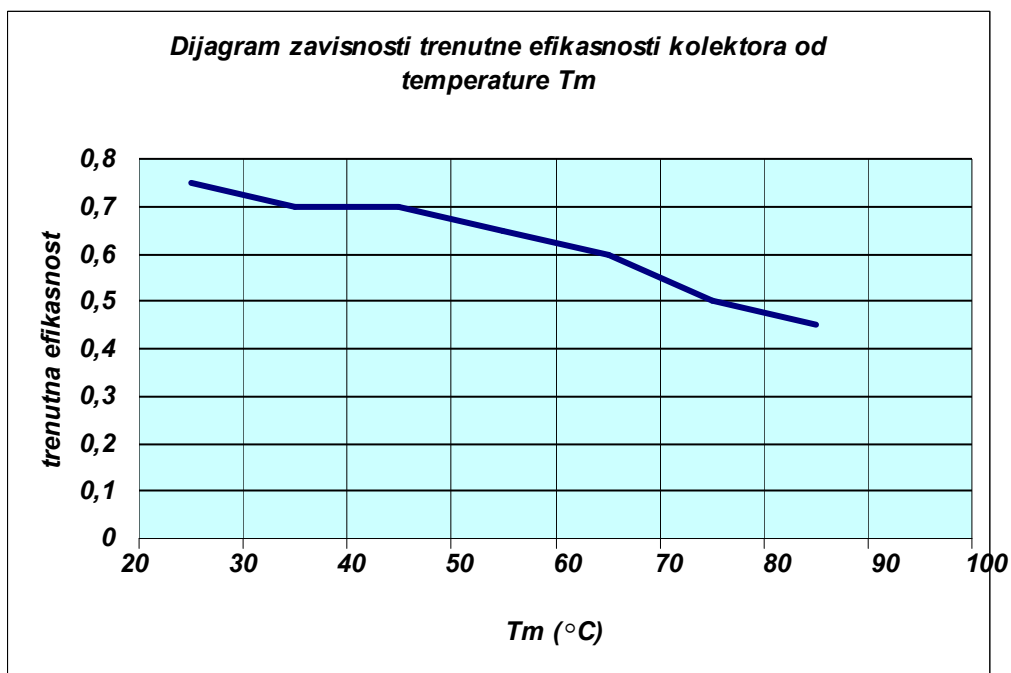
T_{iz} – temperatura vode na izlazu iz kolektora (°C)

Slika 6.8. Zavisnost trenutne efikasnosti PSE od izlazne temperature (T_{iz})

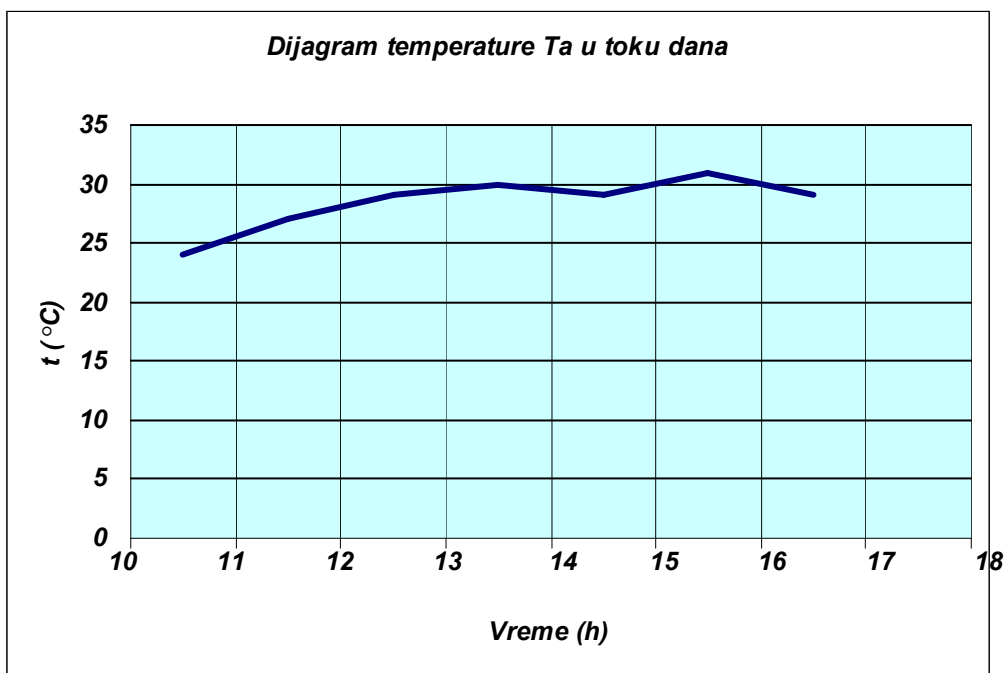


T_{ul} – temperatura vode na ulazu u kolektor (°C)

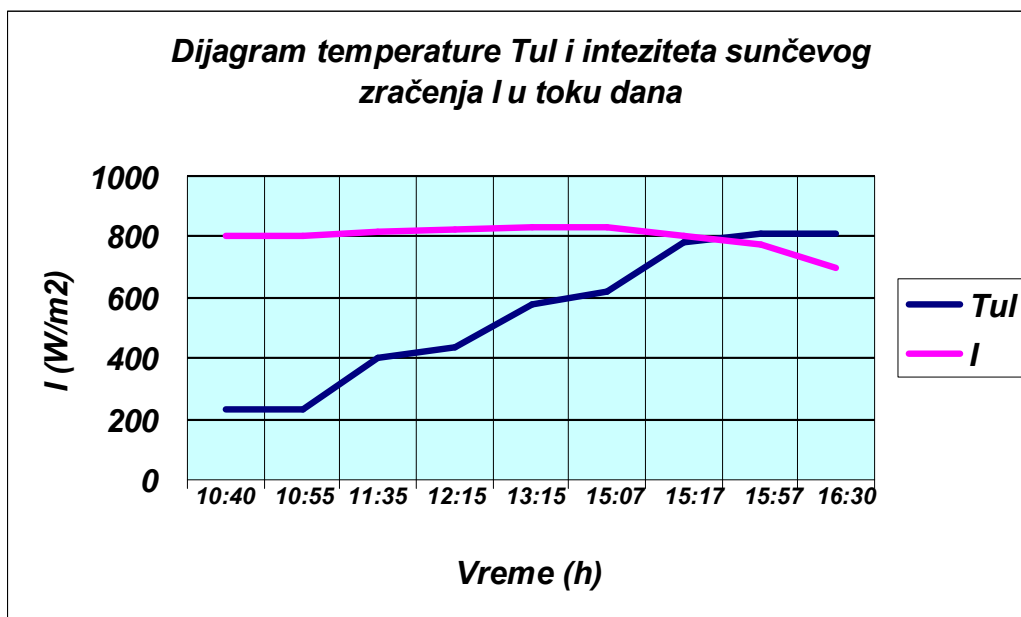
Slika 6.9. Zavisnost trenutne efikasnosti PSE od ulazne temperature (T_{ul})



T_m – srednja temperatura vode u kolektoru
Slika 6.10. Zavisnost trenutne efikasnosti PSE od T_m



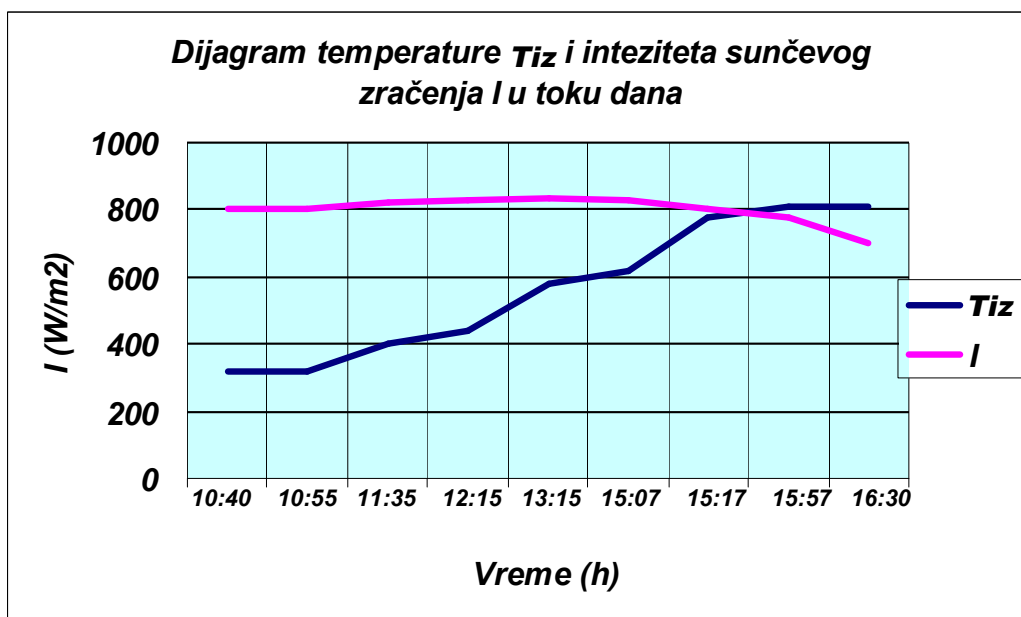
T_a – temperatura ambijenta u toku dana (°C)
Slika 6.11. Kretanje temperature ambijenta (T_a) u toku dana



I – intezitet ukupnog sunčevog zračenja (W/m²)

T_{ul} – temperatura vode na ulazu u kolektor (°C)

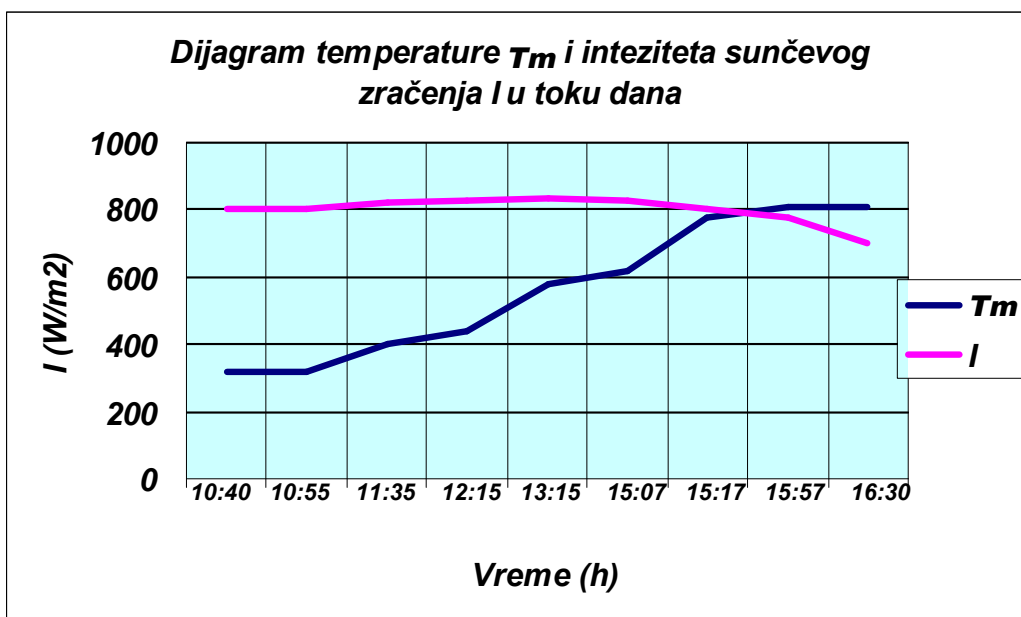
Slika 6.12. Kretanje ulazne temperature (T_{ul}) PSE i inteziteta sunčevog zračenja (I) u datom vremenskom intervalu



I – intezitet ukupnog sunčevog zračenja (W/m²)

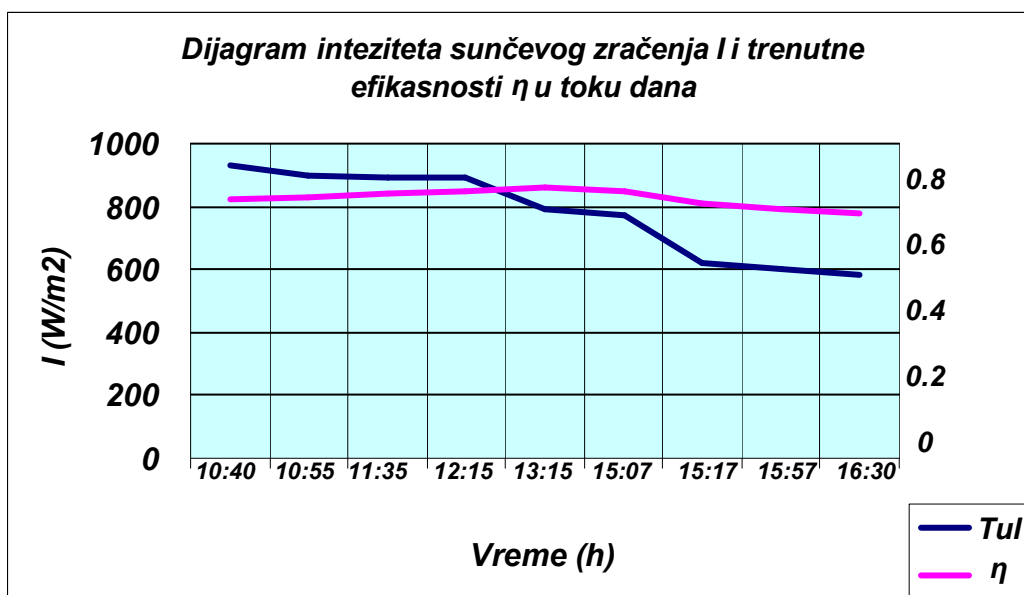
T_{iz} – temperatura vode na izlazu iz kolektora

Slika 6.13. Kretanje izlazne temperature (T_{iz}) PSE i inteziteta sunčevog zračenja (I) u datom vremenskom intervalu



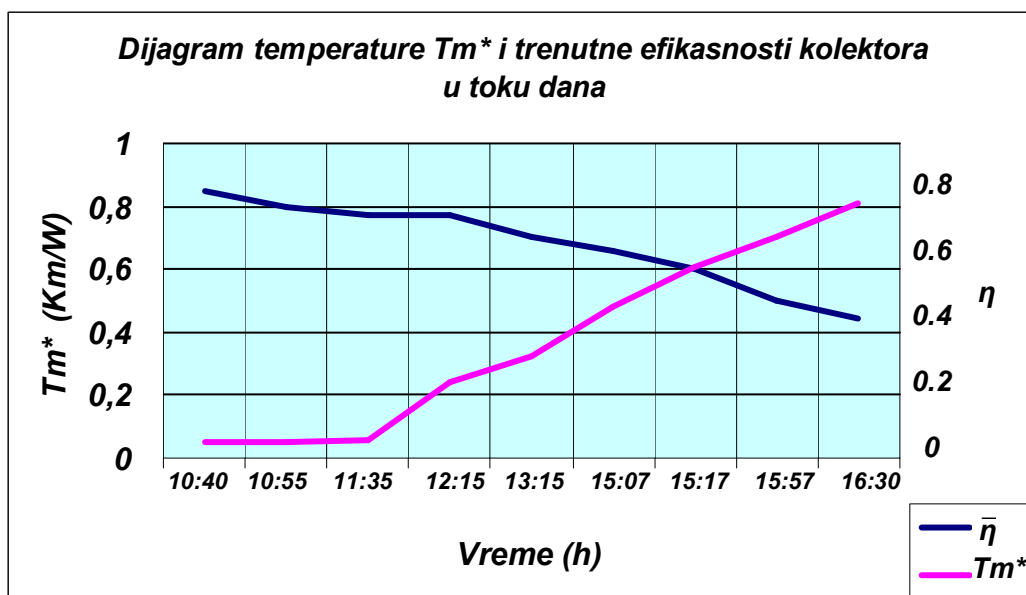
I – intenzitet ukupnog sunčevog zračenja (W/m²)
 T_m – srednja temperatura vode u kolektoru (°C)

Slika 6.14. Kretanje temperature T_m PSE i intenziteta sunčevog zračenja (I) u datom vremenskom intervalu



I – intenzitet ukupnog sunčevog zračenja (W/m²)
 η – trenutna efikasnost kolektora

Slika 6.15. Kretanje intenziteta sunčevog zračenja (I) i trenutne efikasnosti PSE u datom vremenskom intervalu

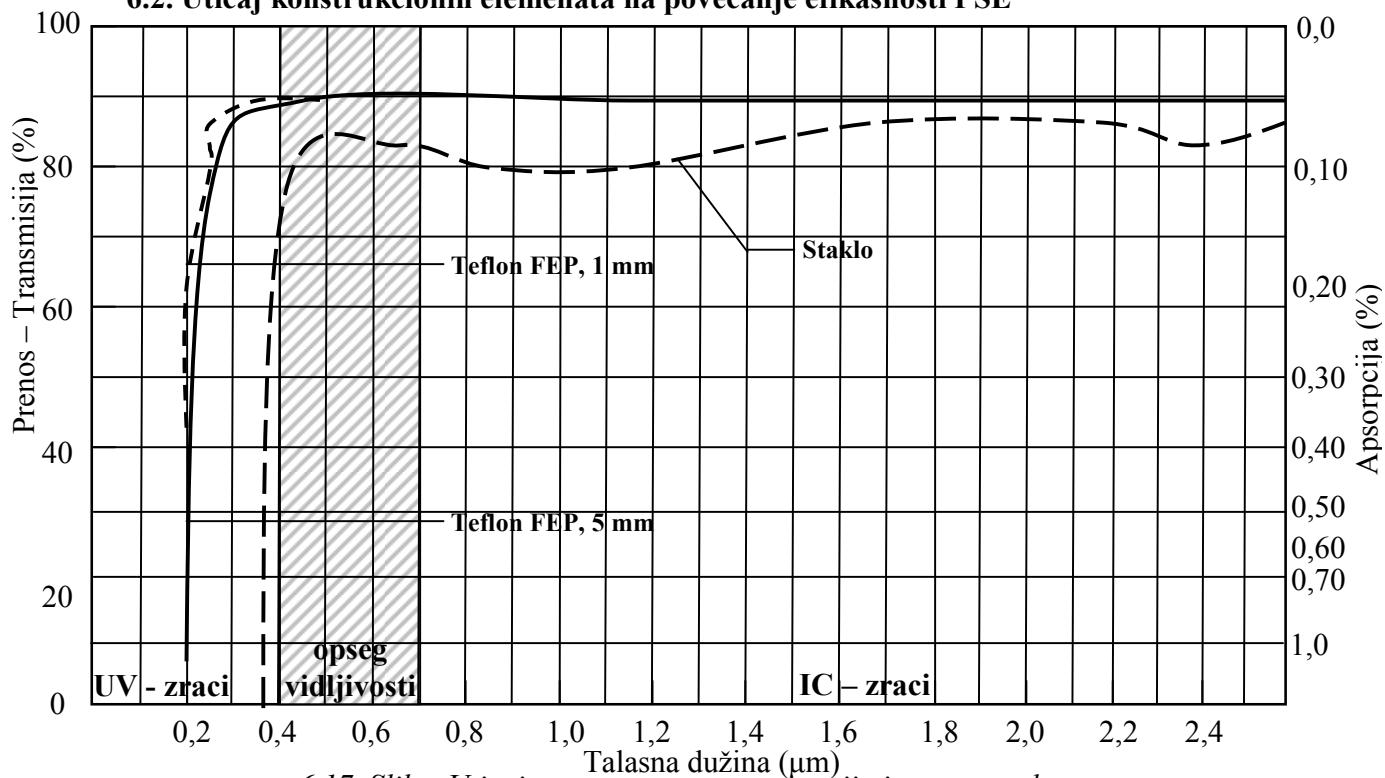


η – trenutna efikasnost kolektora

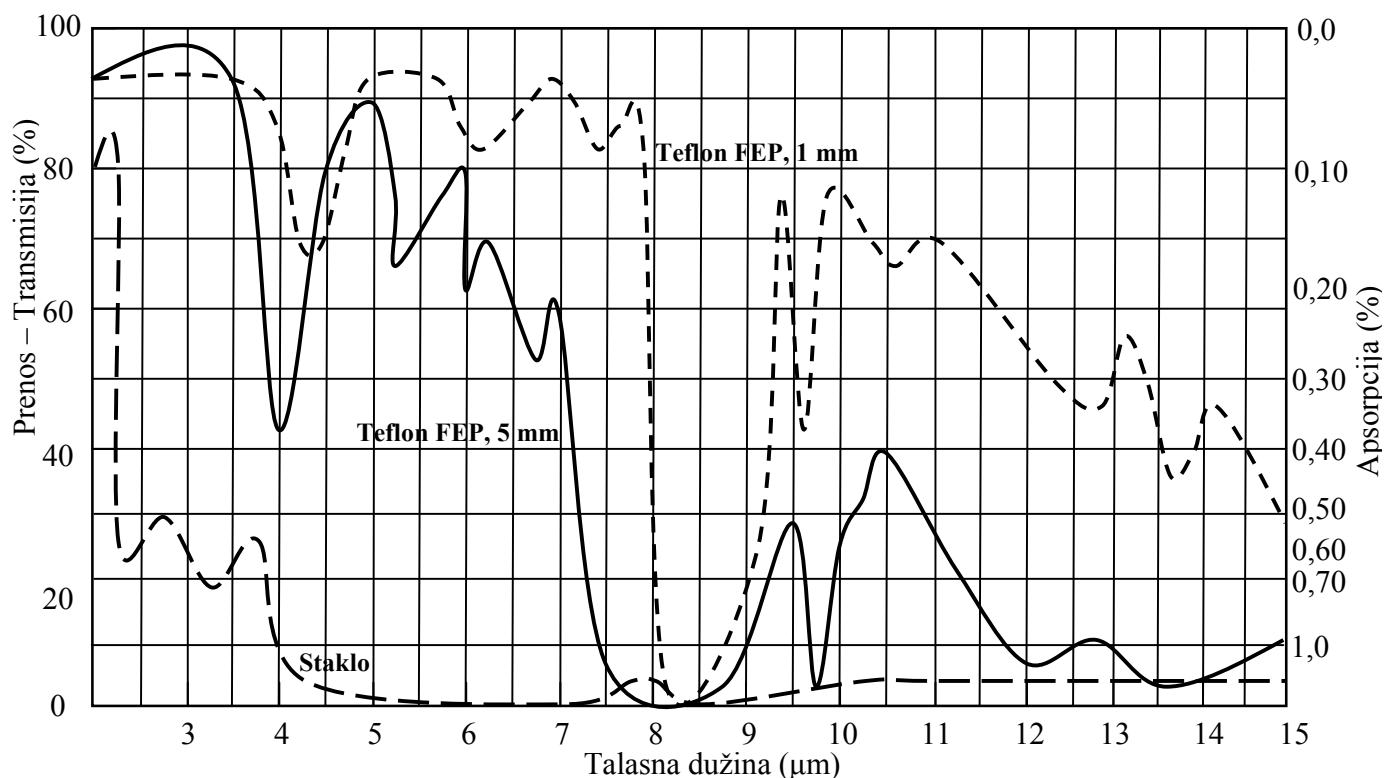
T_m^* - redukovana temperatura kolektora (mK/W)

Slika 6.16. Kretanje temperature T_m i trenutne efikasnosti PSE u datom vremenskom intervalu

6.2. Uticaj konstrukcionih elemenata na povećanje efikasnosti PSE



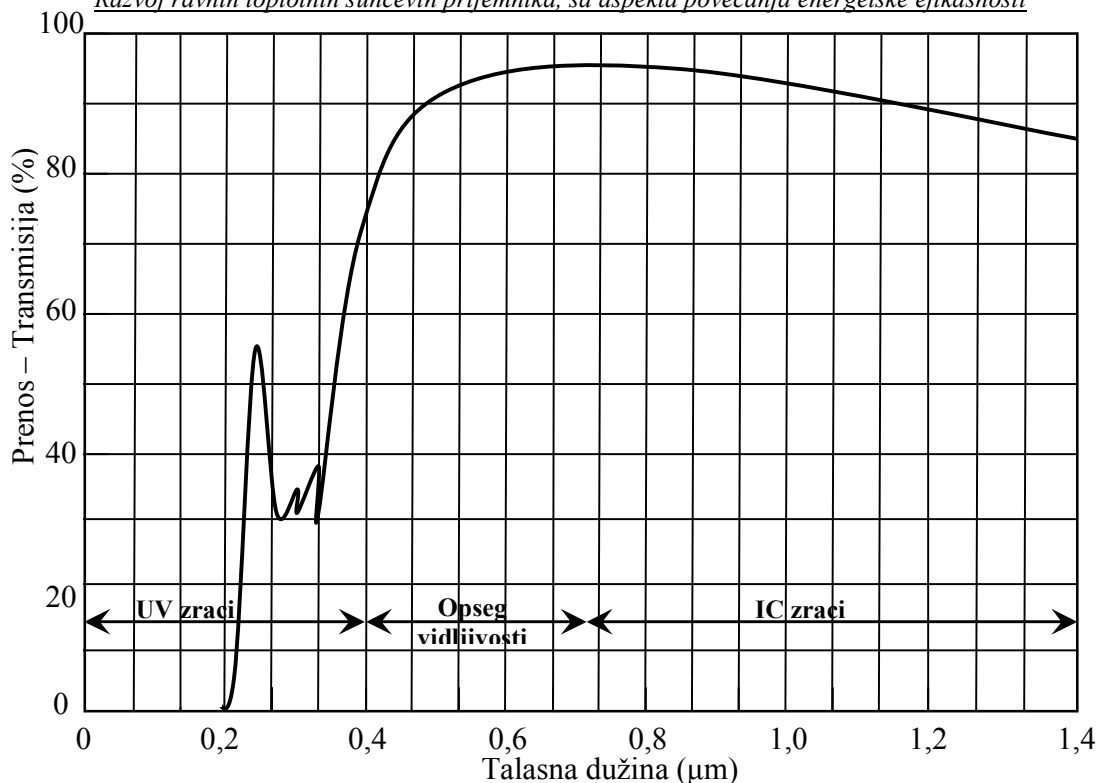
Kod transparentne pokrивke od teflona veća je transmisija (prenos) toplote nego kod transparenta od stakla. Sa povećanjem talasne dužine od 0,5 μm pa naviše ne menja se transmisija niti apsorpcija i za transparentnu pokrивku od teflona iznosi 90%, dok za staklenu pokrивku varira od 80 ÷ 87%.



Slika 6.18. Spektar prenosa toplote kroz transparent od teflona

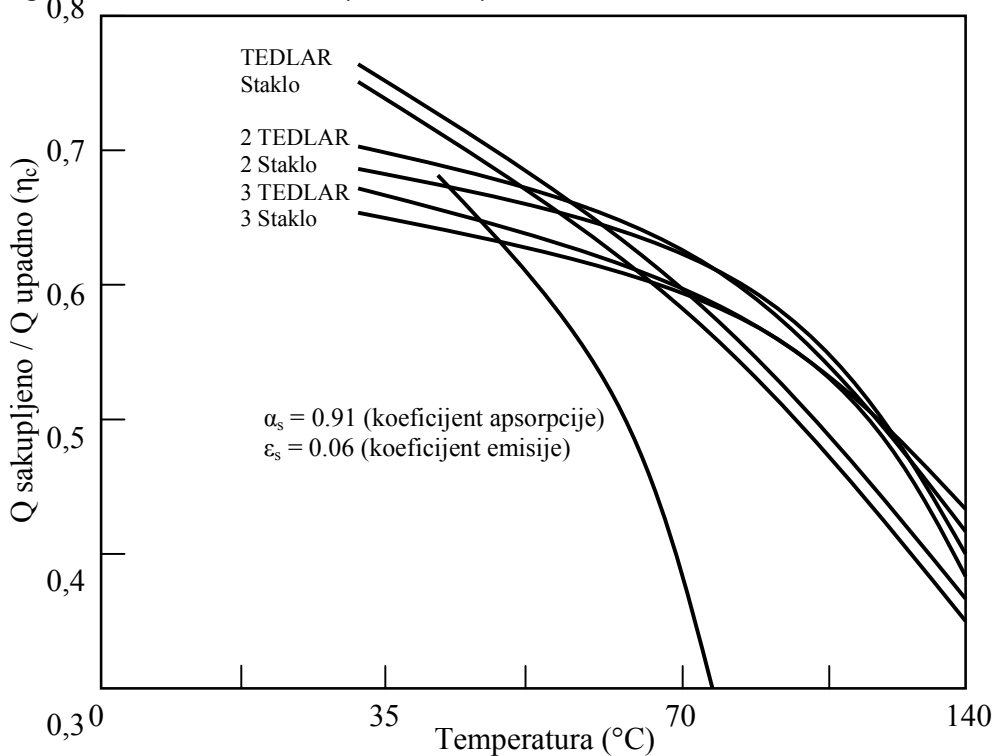
Sa dijagrama na slici 6.18. uočava se da je transparent od teflona debljine 1 mm sa najvećom transmisijom (prenosom) toplote i apsorpcijom u odnosu na transparent od teflona debljine 5 mm a posebno u odnosu na staklenu transparentnu pokrивku.

Vrednost prenosa toplote za sva tri tipa transparenta identična je jedino pri talasnoj dužini od 8,5 μm . Najveću vrednost prenosa toplote transparent od stakla ima pri talasnoj dužini od 2,2 μm i ona iznosi 85%, transparent od teflona FEP debljine 1 mm ima pri talasnoj dužini od 5 μm , dok transparent od teflona FEP debljine 5 mm ima najveću vrednost prenosa toplote (transmisiju) od 97% za talasnu dužinu od 3 μm .



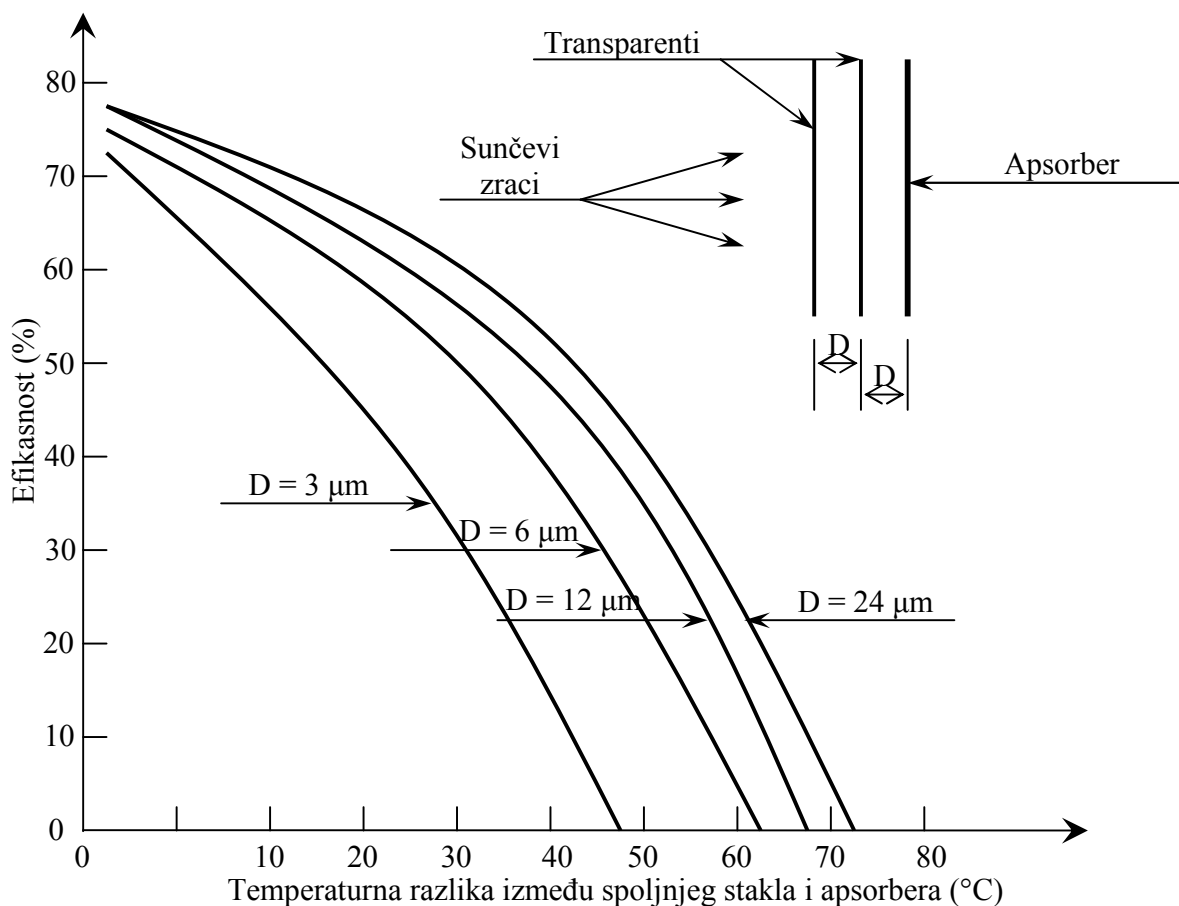
Slika 6.19. Prenos toplote kroz transparent "TEDLAR" debljine 4 mm, presvučen PVF filmom

Nakon ispitivanja prenosa toplote kroz transparent TEDLAR debljine 4 mm presvučenim PVF filmom može se konstatovati da se najveća transmisija ostvaruje u opsegu talasnih dužina od 0,5 μm do 1,2 μm .



Slika 6.20. Performanse solarnih kolektora za različite transparente

Na dijagramu se jasno uočava da transparent *TEDLAR* ima bolje karakteristike od stakla jer odnos Q_s/Q je 0,77 (za temperaturu od 35°C), a za staklo 0,76 pri istoj temperaturi. Takođe se uočava smanjenje vrednosti tog odnosa sa povećanjem broja transparentnih pokrivki i povećanjem temperature radnog fluida.

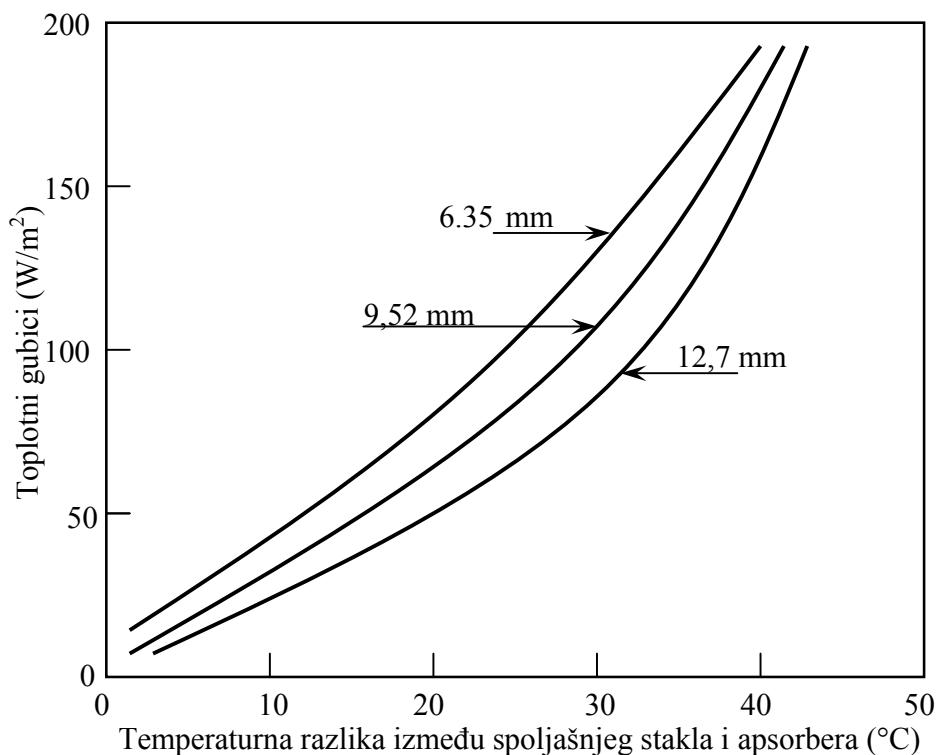


Slika 6.21. Uticaj razmaka između transparentata na efikasnost kolektora

Da razmak između transparentata ima veliki uticaj na efikasnost PSE dokazuje nam dijagram ispitivanja efikasnosti sa različitim razmakom između transparentata. Za temperaturnu razliku između spoljašnjeg stakla i apsorbera od 40°C efikasnost PSE iznosi:

- za razmak između transparentata $D = 24 \mu\text{m}$, $\varepsilon = 54\%$,
- za razmak između transparentata $D = 12 \mu\text{m}$, $\varepsilon = 48\%$,
- za razmak između transparentata $D = 6 \mu\text{m}$, $\varepsilon = 40\%$ i
- za razmak između transparentata $D = 3 \mu\text{m}$, $\varepsilon = 32\%$.

Sve ovo navodi na zaključak da za veću temperaturnu razliku između stakla i apsorbera, u cilju povećanja efikasnosti PSE, razmak između transparentata i apsorbera treba biti veći.



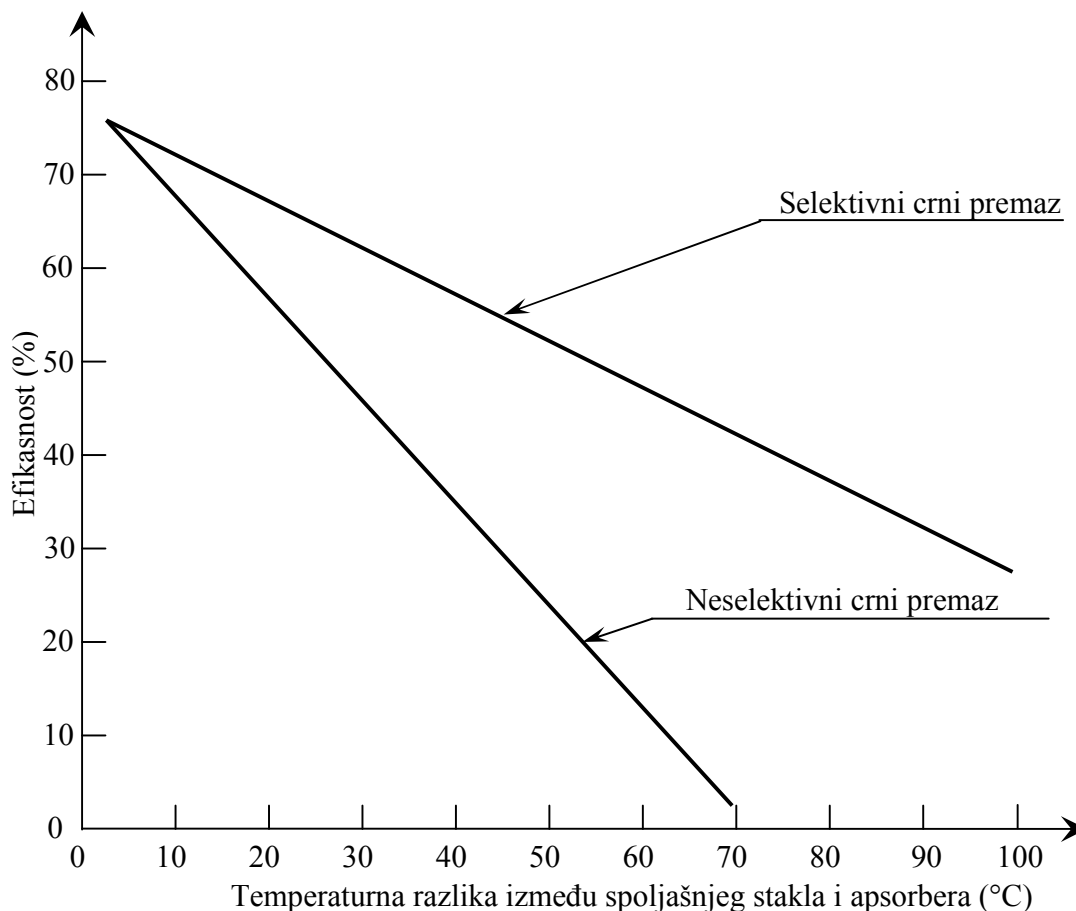
Slika 6.22. Unutrašnji toplotni gubici na kolektoru sa dva transparenta sa različitim razmacima između spoljašnjeg stakla i apsorbera

Iz ovog dijagrama proizilazi da su toplotni gubici srazmerni smanjenju razmaka između transparentata odnosno za manje razmake između transparentata veći su toplotni gubici. Takođe je evidentno da se sa povećanjem temperaturne razlike između spoljašnjeg stakla i apsorbera povećavaju i toplotni gubici.

Toplotni gubici, prema slici 6.22., za temperaturnu razliku između spoljašnjeg stakla i apsorbera od 20°C toplotni gubici iznose za:

- PSE sa razmakom između spoljašnjeg stakla i apsorbera od 6,35 mm iznosi 80 W/m²,
- PSE sa razmakom između spoljašnjeg stakla i apsorbera od 9,52 mm iznosi 65 W/m² i
- PSE sa razmakom između spoljašnjeg stakla i apsorbera od 12,7 mm iznosi 50 W/m².

Pri povećanju temperaturne razlike na 35°C, toplotni gubici su za razmak od 6, 35 mm su 160W/m², za razmak od 9,52 mm su 140 W/m² a za razmak od 12,7 mm toplotni gubici iznose 115 W/m².

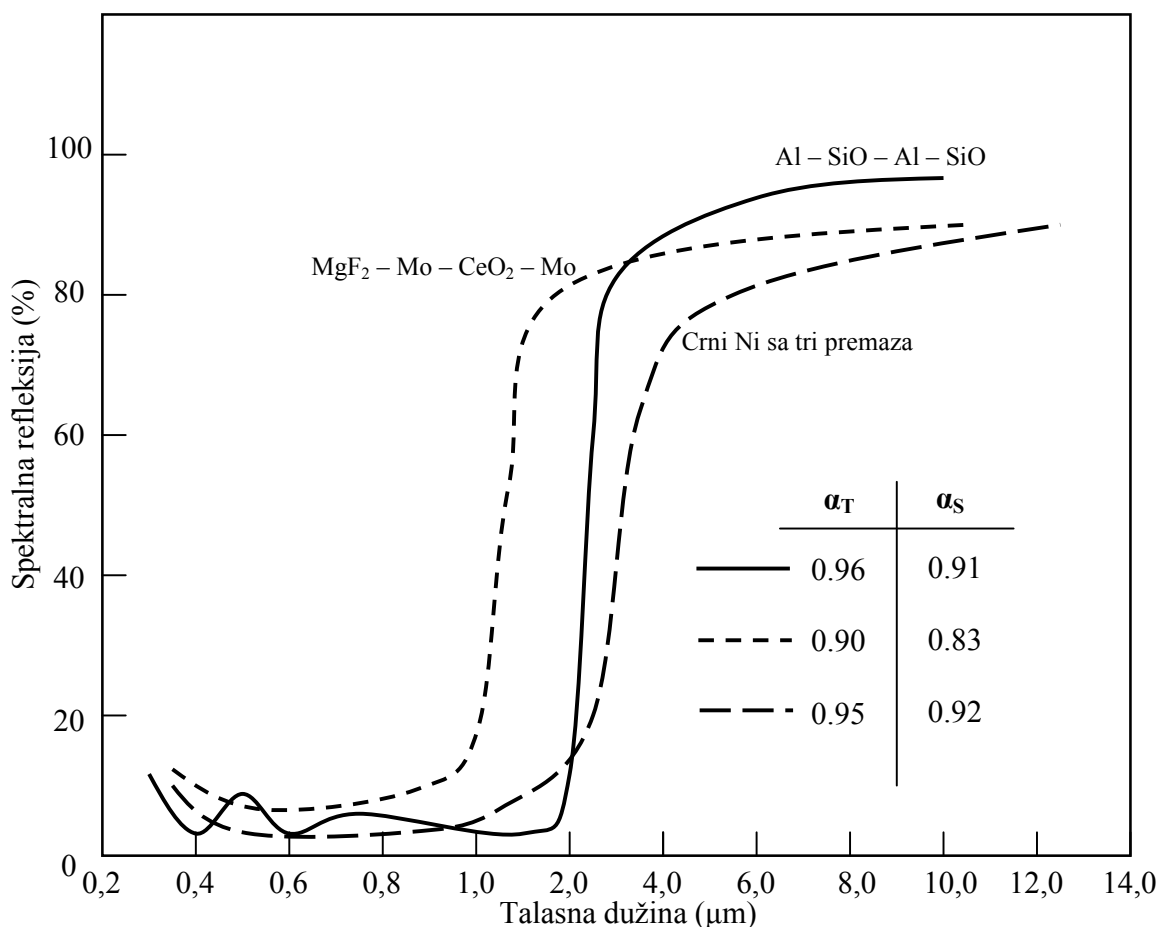


Slika 6.23. Uticaj premaza apsorbera na efikasnost klektora

Efikasnost PSE značajno zavisi od vrste premaza apsorbera i temperature razlike između spoljašnjeg stakla i apsorbera. Iz dijagrama se jasno očitava da pri navedenoj temperaturnoj razlici od 30°C efikasnost za komercijalni crni premaz iznosi 45% a za selektivni crni premaz efikasnost iznosi 65%. Sa povećanjem temperature razlike na 70°C efikasnost PSE sa komercijalnim crnim premazom opada do 4% a sa crnim selektivnim premazom ima vrednost od 48%. To dovodi do zaključka da za povećanu efikasnost PSE treba koristiti selektivni a ne neselektivni crni premaz.

Efikasnost kod PSE sa selektivnim crnim premazom i kod PSE sa neselektivnim crnim premazom za temperaturnu od 4°C ima identičnu vrednost i iznosi 77%.

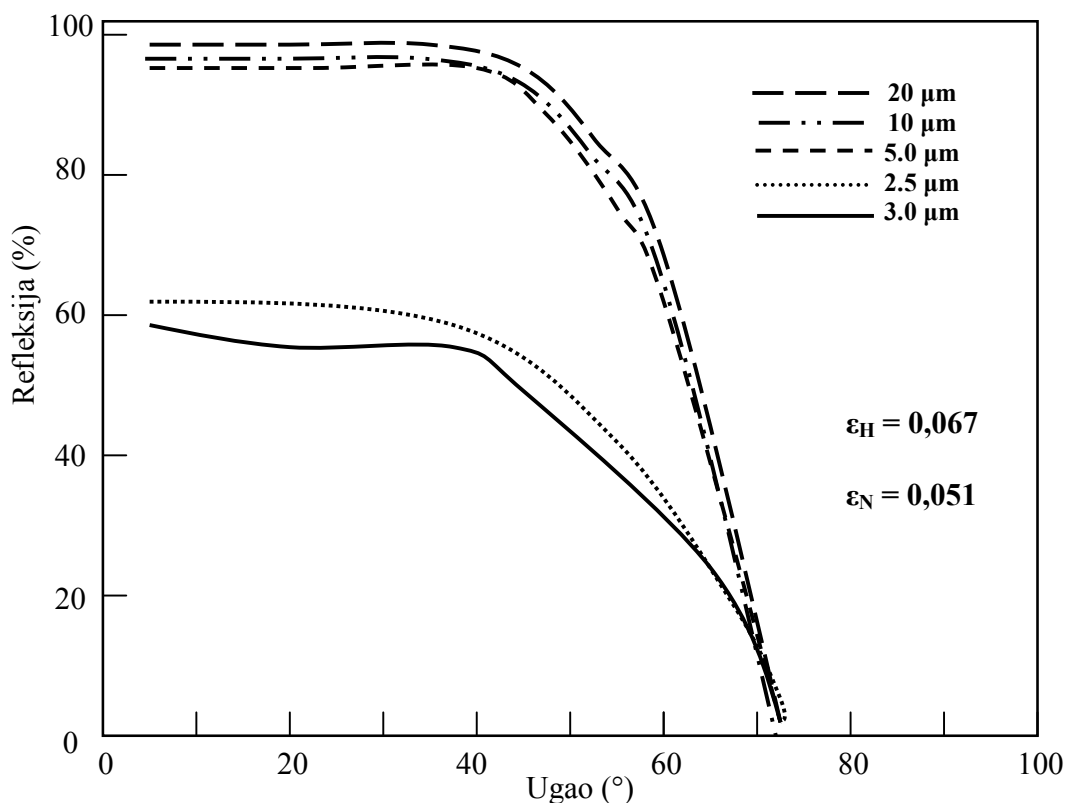
Iz dijagrama se može zaključiti da kod oba tipa apsorbera PSE dolazi do smanjenja efikasnosti sa povećanjem temperature razlike između transparenta i apsorbera.



Slika 6.24. Spektralna refleksija spektralnih selektivnih premaza

Za analizu spektralne refleksije kod apsorbera sa različitim selektivnim premazima i pri čemu se došlo do zaključka da pri malim talasnim dužinama (do 1,8 μm) najveći stepen spektralne refleksije imaju površine sa spektralnim selektivnim premazom od $\text{MgF}_2 - \text{Mo} - \text{CeO}_2 - \text{Mo}$. Za talasne dužine od 2 μm znatnu refleksiju imaju površine sa premazom $\text{Al} - \text{SiO} - \text{Al} - \text{SiO}$ dok se za površine sa tri crna premaza CrNi povećava refleksivnost za talasne dužine veće od 2 μm .

Za vrednost talasne dužine od 4 μm vrednost spektralne refleksije za apsorber sa tri crna premaza CrNi iznosi 77%, za apsorber sa spektralnim selektivnim premazom od $\text{MgF}_2 - \text{Mo} - \text{CeO}_2 - \text{Mo}$ ima vrednost od 85% a za apsorber sa premazom $\text{Al} - \text{SiO} - \text{Al} - \text{SiO}$ spektralna refleksija iznosi 88%

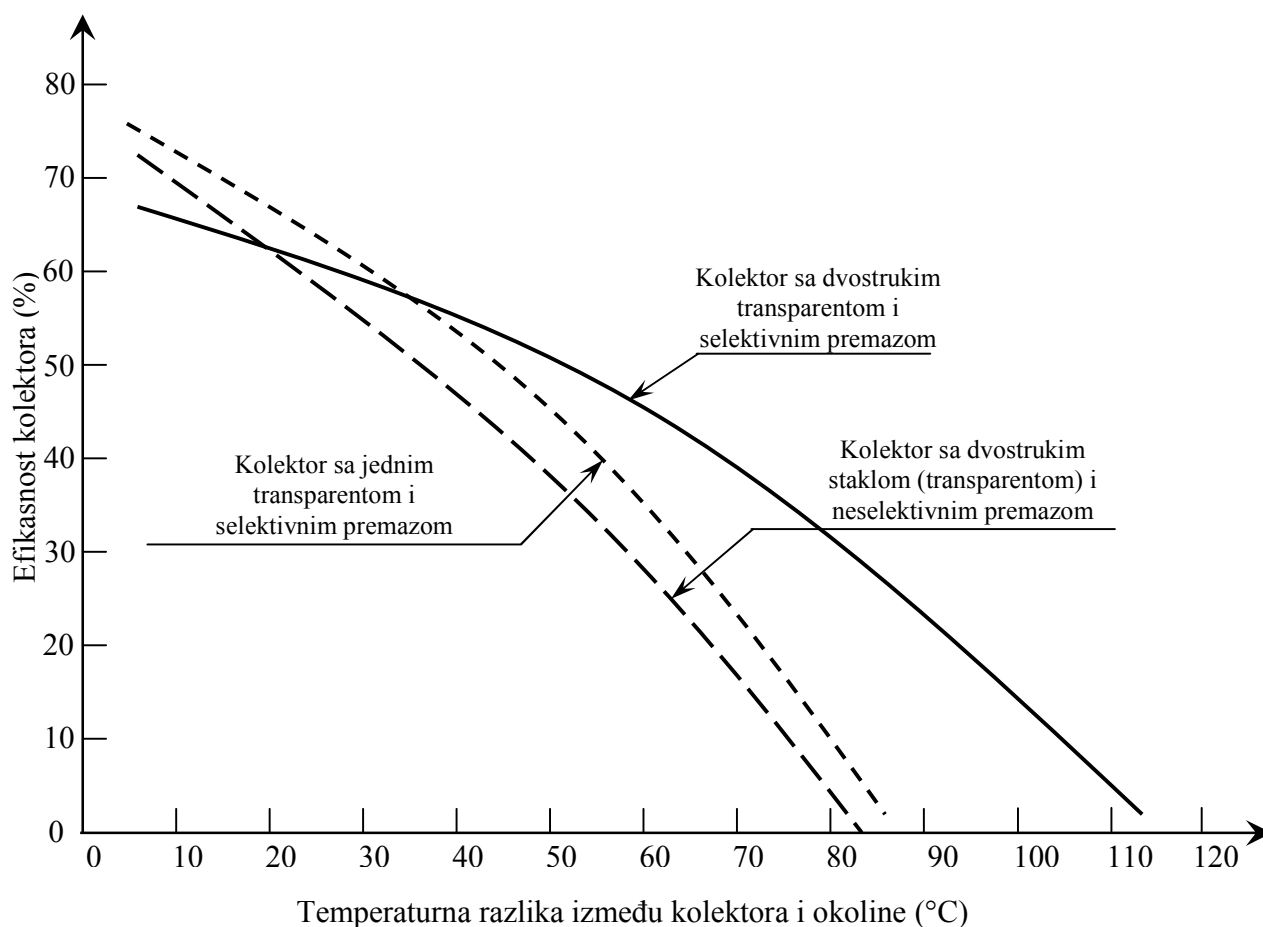


Slika 6.25. Infra – crvena refleksija kobalt – oksidnog premaza za različite uglove

Refleksija apsorbera sa oksidnim premazom od kobalta zavisi i od upadnog ugla sunčevih zraka na površinu PSE. Za smanjenu refleksiju potrebno je da premaz bude debljine 3 μm i upadni ugao veći od 40° a najveća refleksivnost oko 98% evidentna je kod apsorbera sa oksidnim premazom debljine 5 μm. Važno je napomenuti da je merena refleksivnost infra – crvenog zračenja.

Tako, npr., pri uglu od 20° za sloj od 3μm refleksija iznosi 54%, za sloj od 2.5 μm ima vrednost od 61%, za sloj od 5 μm iznosi 92%, za sloj od 10μm ima vrednost od 95% a za sloj od 20 μm ima vrednost od 97%.

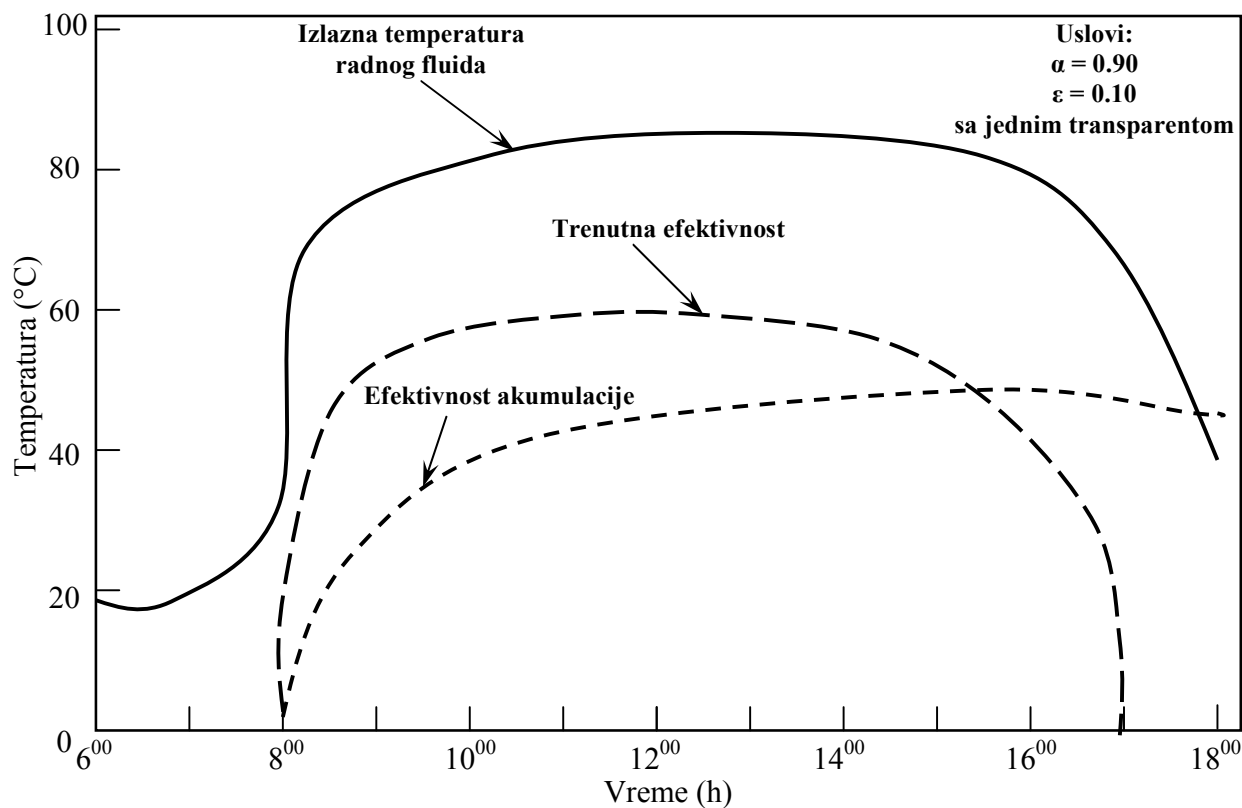
Za slojeve različitih debljina prikazanih na dijagramu važi zaključak da sa porastom ugla preko 70° refleksija je opada na vrednost od svega 2 ÷ 3%.



Slika 6.26. Zavisnost efikasnosti kolektora od temperaturne razlike između kolektora i okoline

Do temperaturne razlike između PSE i okoline od 30°C najveću efikasnost imaju kolektori sa jednim transparentom i jednim premazom, dok se sa povećanjem temperaturne razlike povećava efikasnost sa dvostrukim transparentom i dvostrukim premazom. Najmanju efikasnost imaju PSE sa dvostrukim staklom (transparentom).

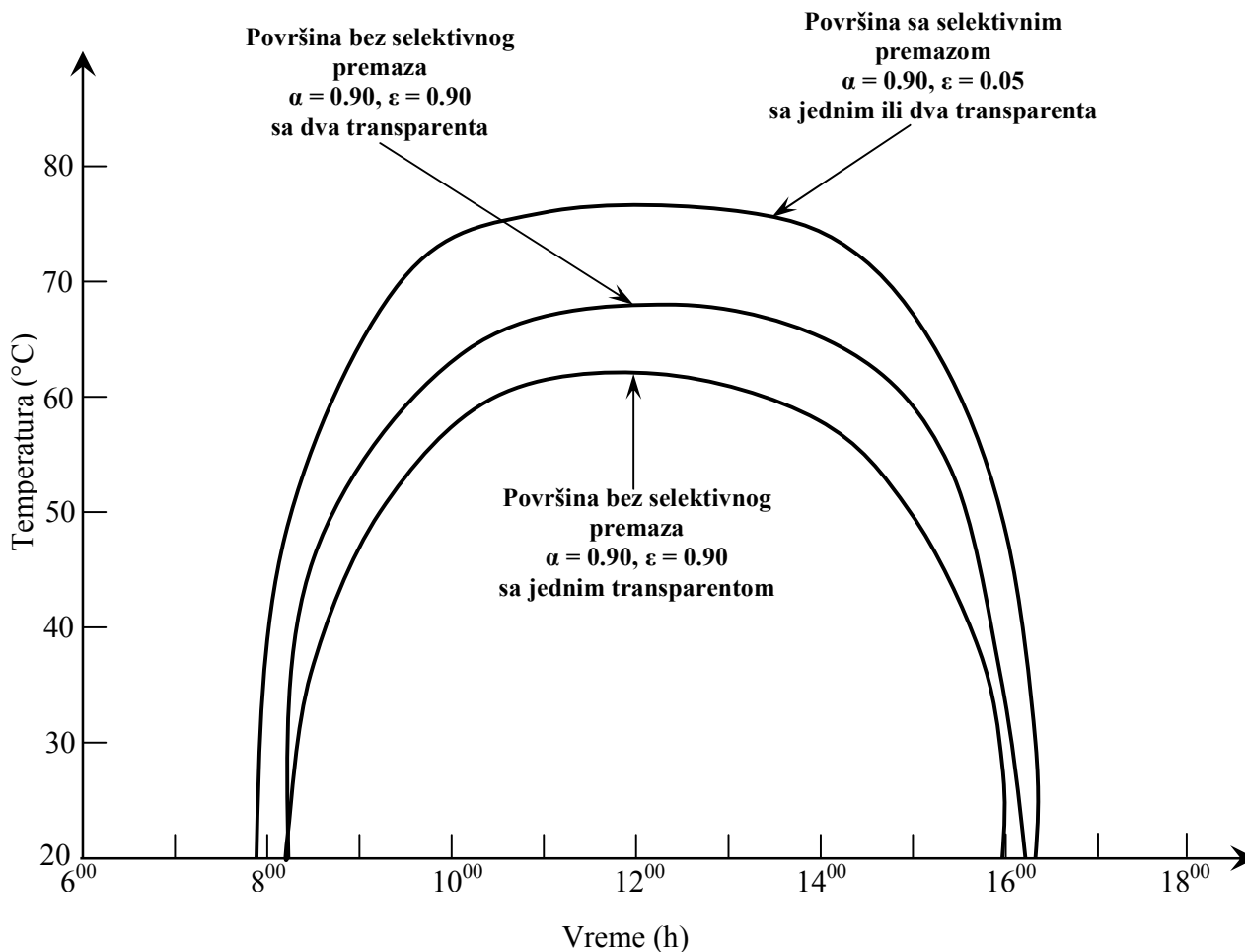
Kolektor sa dvostrukim transparentom i selektivnim premazom ima identičnu vrednost efikasnosti od 57% kao kolektor sa jednim transparentom i selektivnim premazom za temperaturnu razliku između kolektora i okoline od 35°C, do sa kolektorom sa dvostrukim transparentom i neselektivnom premazom ima istu vrednost efikasnosti od 62% za temperaturnu razliku između kolektora i okoline od 20°C.



Slika 6.27. Performanse ravnog pločastog kolektora sa selektivnim premazom i jednom transparentom

Kod ovog dijagrama se može uočiti razlika između trenutne efektivnosti i efektivnosti akumulacije gde trenutna efektivnost ima veće vrednosti sve do 15⁰⁰ h a nakon toga efektivnost akumulacije ima znatno veću vrednost.

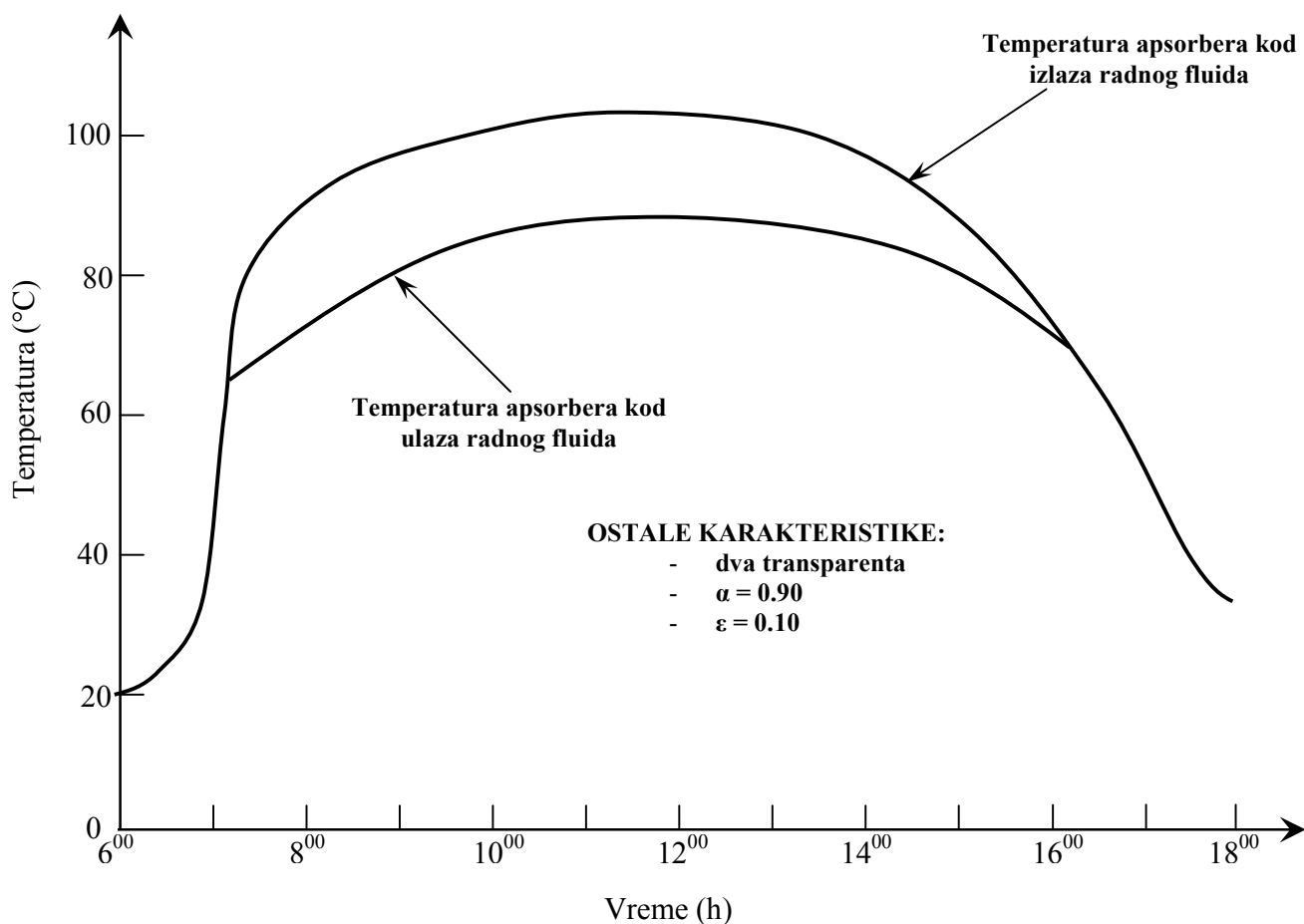
Trenutna efektivnost se na dijagramu na slici 6.27. ponaša slično kao izlazna temperatura radnog fluida, dok efektivnost akumulacije nastavlja rast i nakon opadanja trenutne efektivnosti i izlazne temperature radnog fluida što je naročito izraženo posle 15⁰⁰ h.



Slika 6.28. Karakteristike ravnog pločastog kolektora

Na osnovu dijagrama na slici 6.28. može se uočiti razlika temperature apsorbera od vrste površina apsorbera i broja transparentnih pokrivki. Očigledno je da se najveća temperatura postiže ako je površina apsorbera sa selektivnim premazom i jednim ili dva transparenta, a najmanja ako je bez selektivnog premaza i sa jednim transparentom. Takođe je primetno da je temperatura apsorbera najveća u vremenu kada je i intenzitet sunčevog zračenja najveći.

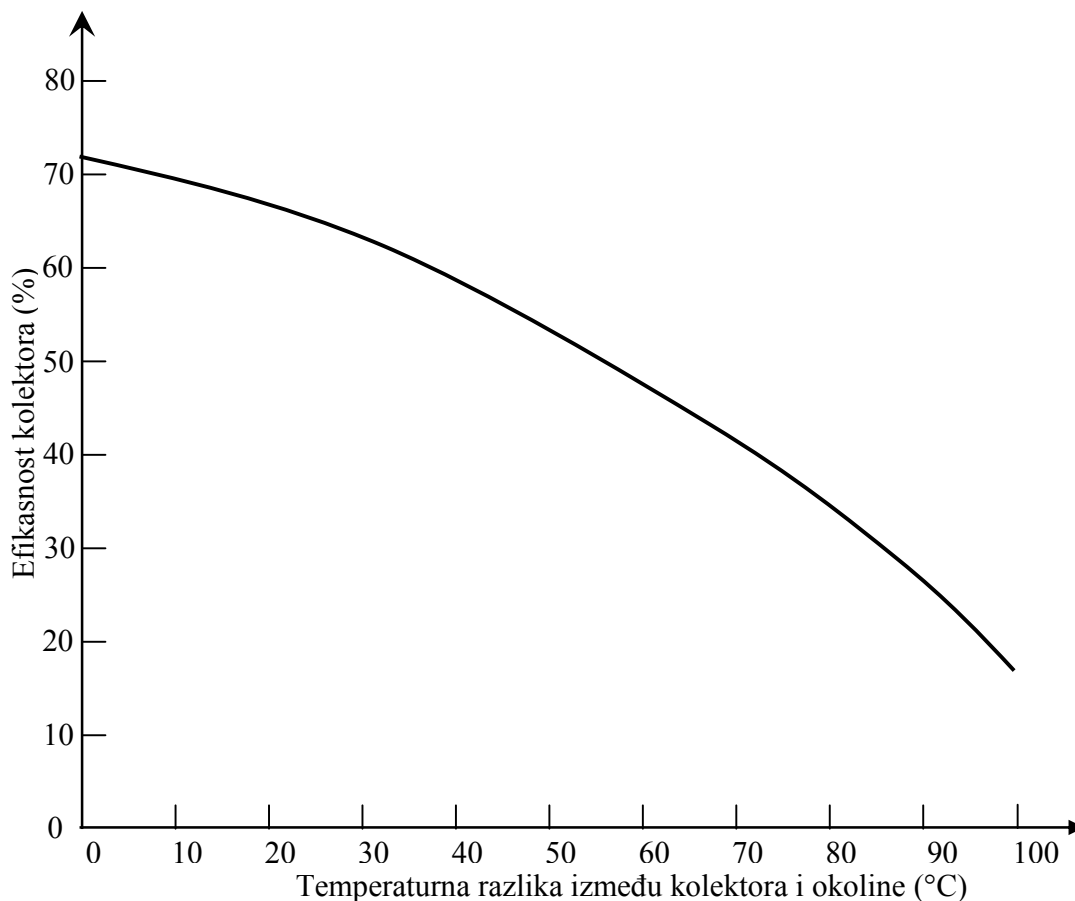
Za površinu bez selektivnog premaza sa jednim transparentom u 12⁰⁰ h temperatura apsorbera iznosi 62°C, za površinu bez selektivnog premaza sa dva transparenta iznosi 68°C a za površinu sa selektivnim premazom sa jednim ili dva transparenta ima vrednost od 77°C.



Slika 6.29. Temperature apsorbera

Na prethodnom dijagramu su predstavljene vrednosti efikasnosti PSE i temperature apsorbera u funkciji vremena za PSE sa dve transparentne pokrivke i karakteristikama $\alpha = 0,90$ i $\varepsilon = 0,10$. Evidentno je povećanje temperature apsorbera pri izlasku radnog fluida u odnosu na njegov ulaz. Takođe se može zaključiti da je najveća temperatura PSE u podnevnim satima kada je intenzitet sunčevog zračenja najveći.

Dijagram na slici 6.29. prikazuje slučaj u praksi gde se uočava da temperatura apsorbera kod ulaza radnog fluida i temperatura apsorbera kod izlaza radnog medijuma identična u intervalu od 6⁰⁰ h do 7⁰⁰ h jer tada još nema direktnog sunčevog zračenja i u intervalu posle 16⁰⁰ h kada direktno sunčevo zračenje prestaje.



KARAKTERISTIKE:

- **Transparent:** Staklo, debljine 1/8" tip *Herculite K*
- **Apsorber:** Aluminijski, *PPG Duracron Super L/G 600 (UC 40437)* sa cevima Ø 2,5", sa *Roll - Bond* premazom debljine 0,060", $\alpha = 0.95$
- **Izolacija:** Fiberglas, debljine 2,5"
- **Položaj:** 45° okrenut ka jugu
- **Dimenzije:** 865× 1930
- **Temperatura okoline:** 20°C
- **Brzina vetra:** 10 m/s

Slika 6.30. Upoređivanje eksperimentalnih i teoretskih rezultata za osnovne tipove kolektora iz prakse

Iz dijagrama na slici 6.30. se može pouzdano zaključiti da efikasnost PSE opada sa porastom razlika temperatura samog prijemnika i okoline. Tako, npr., za razliku temperatura od 10°C efikasnost iznosi 70% a za razliku temperatura od 80°C efikasnost se smanjuje na vrednost od 35%. [3], [4]

7. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI PSE

7.1. Ispitivanje ravnog prijemnika sunčeve energije po JUS M. F5. 110

7.1.1. Opis poligona za ispitivanje, način povezivanja i oprema za ispitivanje

Sunčevo zračenje je mereno putem piranometra tipa “Moll- Gorczyinski” proizvođača “Kipp & Zonen” iz Holandije. Instrument je smešten u metalno kućište a osetljivi deo namenjen za merenje je smešten u dvostruko stakleno kućište. U instrumentu se nalazi i kristalno punjenje koje služi za eliminaciju vlage iz instrumenta koja bitno utiče na preciznost merenja. Izlazni signal sa ovog merača vođen je na digitalni multimetar gde su vršena očitavanja. Konstanta uređaja pomnožena sa očitanom vrednošću sa digitalnog multimetra daje vrednost intenziteta Sunčevog zračenja.

Merenje zapreminskog protoka je izvršeno meračem proizvođača “INSA” iz Zemuna, koji ima maksimalan protok od 3 [m³/h].

Merenje temperature okoline je vršeno u meteorološkoj kućici živinim termometrom opsega 0 – 60 [°C]. Meteorološka kućica je postavljena na stativ visine 2 [m], udaljena od kolektora 5 [m].

Brzina i pravac vetra u blizini kolektora određivani su anemometrom “TESTO” 412 proizvođača “TESTO” Lenzkirch Nemačka.

Merenje temperature fluida na ulazu i izlazu kolektora vršeno je putem digitalnih termometara “TESTO” 915 B sa penetrirajućim sondama.

Vodovi i armatura ispitnog poligona izrađeni su od višestruko izolovanih gumenih i čeličnih cevi. Regulacija temperature radnog medijuma kolektora izvršena je termostatičkom posudom sa razmenom toplote indirektnim putem. Ugrađeni električni grejač omogućava održavanje temperature radnog medijuma u propisanim granicama.

Cirkulaciona pumpa “Grundfos” UPS 15 – 50 sa mogućnošću regulacije brzine korišćena je za prinudnu cirkulaciju fluida kroz kolektor. Snaga pumpe je 95 [W].

Ispitivanje hidrauličnog otpora PSE

Cilj ispitivanja je utvrđivanje hidrauličkog otpora PSE pri protoku prenosioca toplote

Ispitna instalacija je instalacija sa zatvorenim strujnim kolom

Merene veličine

Pri utvrđivanju hidrauličkog otpora PSE praćene su sledeće veličine:

- a) temperatura fluida na ulasku u PSE,
- b) maseni protok fluida kroz PSE, i
- c) pad pritiska između ulaska i izlaska PSE

Metoda merenja

Pad pritiska fluida između ulaska i izlaska iz PSE utvrđuje se pri protoku fluida odozdo do gornjeg ruba PSE. Temperatura na ulasku u PSE nije odstupala više od ± 5 [°C] od temperature spoljašnjeg vazduha sa dozvoljenim oscilacijama ± 5 [°C] u toku merenja. Veličina hidrauličkog otpora PSE utvrđene se za različite vrednosti protoka (prema preporukama proizvođača):

a) za svakih 10 [l/h] u opsegu od 0 do 100 [l/h] protoka fluida kroz kolektor sa dozvoljenim oscilacijama ± 1 [%] u toku merenja.

Merenje hidrauličkog otpora PSE izvršeno je dana 22.11. 2004. godine.

Ispitivanje toplotnih karakteristika PSE

Cilj ispitivanja je da se odrede toplotne karakteristike PSE koje obuhvataju:

- a) utvrđivanje trenutne toplotne efikasnosti PSE,
- b) utvrđivanje efektivnog toplotnog kapaciteta (sadržajnosti),
- c) utvrđivanje gubitaka toplote PSE i zajedničkog koeficijenta prelaska toplote,
- d) utvrđivanje vremenske konstante PSE,
- e) utvrđivanje temperature mirovanja (stagnacije) PSE, i
- f) utvrđivanje faktora upadnog ugla Sunčevih zraka.

Ispitna instalacija

Postavljanje i položaj PSE pri utvrđivanju toplotnih karakteristika

Osnovni uslovi nameštanja i položaj PSE

- a) PSE je postavljen tako da prilikom eventualnih oštećenja ni jedna osoba ne može biti povređena,
- b) PSE je postavljen pod uglom od 45 ± 5 [°] prema horizontali,
- c) PSE je postavljen tako da je najniži deo PSE 0,5 [m] podignut od tla,
- d) PSE je postavljen tako da njegov svetli otvor nije prekriven elementima konstrukcije instalacije za ispitivanje, i
- e) Konstrukcija instalacije za ispitivanje ne utiče na toplotne karakteristike PSE.

Postavljanje PSE pri spoljašnjem ispitivanju

- a) PSE je postavljen tako da je zaštićen od udara vetra,
- b) PSE je postavljen na nepokretnu konstrukciju ispitne instalacije i usmeren je ka jugu,
- c) PSE je postavljen na mesto gde je reflektujuće zračenje okolnih površina zanemarljivo,
- d) PSE je postavljen na mesto gde horizont nije zaklonjen visokim zgradama i gde je ugao između objekata koji zaklanjaju horizont i PSE manji od 15 [°],

e) PSE je postavljen na mesto gde je dugotalsano zračenje okolnih površina, sa višom ili nižom temperaturom od temperature okolnog vazduha, manja od 0,5% Sunčevog zračenja,

f) PSE je postavljen tako da je omogućeno prirodno kruženje okolnog vazduha oko PSE, PSE je postavljen najmanje 1 [m] od vertikalnih površina,

Izvođenje ispitne instalacije

Ispitna instalacija je izvedena prema JUS M. F5. 110.

Cevovodi i vezni elementi

a) Cevovodi upotrebljeni u ispitnoj instalaciji su otporni prema koriziji i postojeni pri temperaturi najmanje 95 [°C],

b) Dužina cevovoda je najkraća moguća, naročito između izlaza iz termostatičke posude i ulaza u PSE, tako da je uticaj okoline na prenosioca toplote na ulasku u PSE minimalan,

c) Cevovodi između temperaturnih senzora i ulaska i izlaska PSE su zaštićeni vodootpornom toplotnom izolacijom i refleksionom folijom tako da je uticaj okoline na pravu vrednost izmerene temperature manji od $\pm 0,05$ [°C]

Regulacija temperature prenosioca toplote

Temperatura na ulasku u PSE nije varirala više od $\pm 0,1$ [°C]. Regulacija temperature se izvodi:

a) termostatičkom posudom,

Instrumenti potrebni za ispitivanje PSE

Merenje Sunčevog zračenja je vršeno piranometrom za merenje globalnog sunčevog zračenja tipa “Moll - Gorczyński” proizvođača “Kipp & Zonen” iz Holandije.

(Instrument za merenje Sunčevog zračenja je baždaren (kalibrisani) u odnosu na etalone, a prema postupku utvrđenim odgovarajućim propisima Srbije i Crne Gore)

Utvrđivanje trenutnog toplotnog iskorišćenja PSE u kvazistacionarnim uslovima u prirodnoj okolini.

Cilj merenja je utvrđivanje krive trenutnog toplotnog iskorišćenja PSE pri uslovima u prirodnoj okolini.

Merene veličine

Pri utvrđivanju trenutnog toplotnog iskorišćenja PSE praćene su i registrovane sledeće veličine:

a) jačina globalnog Sunčevog zračenja,

- b) temperatura prenosioca toplote na ulasku u PSE,
- c) temperaturna razlika prenosioca toplote na izlasku i ulasku PSE,
- d) temperatura spoljašnjeg vazduha,
- e) protok mase prenosioca toplote preko PSE,
- f) brzina i smer vetra,

Priprema PSE za merenje:

- a) PSE se vizuelno pregleda.
- b) Svakog novog dana merenja prenosilac toplote temperature 80 [°C] kružio je kroz PSE 30 minuta da bi se isušila vlaga iz komponenata PSE,
- c) U ispitnu instalaciju ugrađena je providna cev ispred ulaza PSE, kroz koju je posmatrano eventualno prisustvo vazduha ili nečistoće u prenosiocu toplote,
- d) PSE je odzračen (odstranjen vazduh) pomoću automatskog lončića za odstranjivanje vazduha na najvišem delu cevovoda,
- e) Providna pokrivna ploča PSE je detaljno očišćena,

Uslovi ispitivanja

- a) Prenosilac toplote je kružio preko PSE u smeru od donje prema gornjoj ivici PSE,
- b) Protok mase nosioca toplote je bio od 0,02 [kg/s] ± 10 [%] na svaki kvadratni metar svetle pokrivne ploče PSE,
- c) temperaturna razlika prenosioca toplote između ulaska i izlaska PSE nije bila veća od 15 niti manja od 1,5 [K],
- d) jačina globalnog sunčevog zračenja je bila veća od 600 [W/m²], mereno u ravni pokrivne ploče PSE,

Perioda ispitivanja

- a) Dužina periode ispitivanja je bila 30 minuta i u tom periodu beležene su veličine
- b) Trajanje ispitivanja je vremenski period od 30 minuta kada moraju biti ispunjeni sledeći uslovi:
 - 1) Jačina globalnog sunčevog zračenja nije varirala za više od 50 [W/m²],
 - 2) Temperatura prenosioca toplote na ulazu u PSE nije varirala za više od ± 0,1 [K],
 - 3) Temperatura spoljnog vazduha nije varirala za više od 1 [K],
 - 4) Protok mase prenosioca toplote preko PSE nije varirao za više od 1%,
 - 5) Temperaturna razlika prenosioca toplote između ulaska i izlaska PSE nije varirala više od ± 0,1 [K],
- c) Merene vrednosti su integrisane i predstavljaju srednje vrednosti za najmanje 15 minuta periode ispitivanja.

Metode merenja

- a) PSE je ispitivan po uslovima koji su navedeni u prethodnim tačkama. Trenutno toplotno iskorišćenje PSE utvrđeno je se za sve radne temperature, zato je temperatura prenosioca toplote na ulasku u PSE bila promenjena od temperature okoline do 90 [°C].

b) Merenjima se utvrđuje najmanje 10 perioda merenja.

Izračunavanje i prikazivanje rezultata određivanja trenutnog toplotnog iskorišćenja PSE u prirodnoj sredini.

Trenutno toplotno iskorišćenje utvrđuje se prema sledećoj relaciji:

$$\eta = \frac{P_T}{A_a G} \quad (7.1.)$$

gde se korisna toplota utvrđuje kao:

$$P_T = q_m c_f \Delta T \quad (7.2.)$$

Vrednost za c_f je odabrana pri srednjoj temperaturi prenosioca toplote T_m . Maseni protok q_m prenosioca toplote utvrđen je pomoću izmerenog zapreminskog protoka i gustine prenosioca toplote odabrane pri temperaturi prenosioca toplote u zapreminskom brojaču.

Trenutno toplotno iskorišćenja prikazano je grafički kao funkcija reducirane razlike temperature T^* .

$$T^* = (T_m - T_a) / G \quad (7.3.)$$

gde su: T_m – srednja temperatura prenosioca toplote u [K]

T_a – temperatura ambijenta [K]

G – jačina globalnog Sunčevog zračenja [W/m^2]

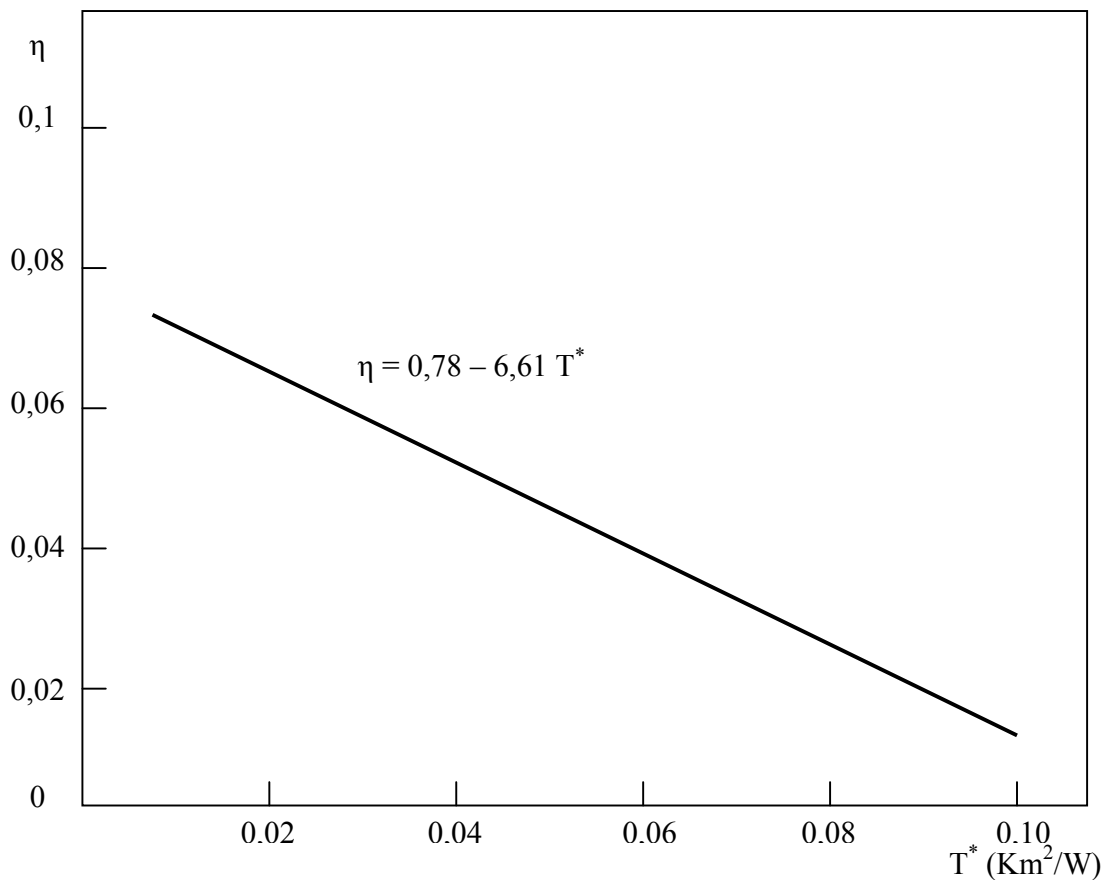
Kriva trenutnog toplotnog iskorišćenja PSE daje se kao statistička funkcija sa najmanjim kvadratnim odstupanjem u obliku:

$$\eta = \eta_o - a_1 T^* - a_2 (T^*)^2 \quad (7.4.)$$

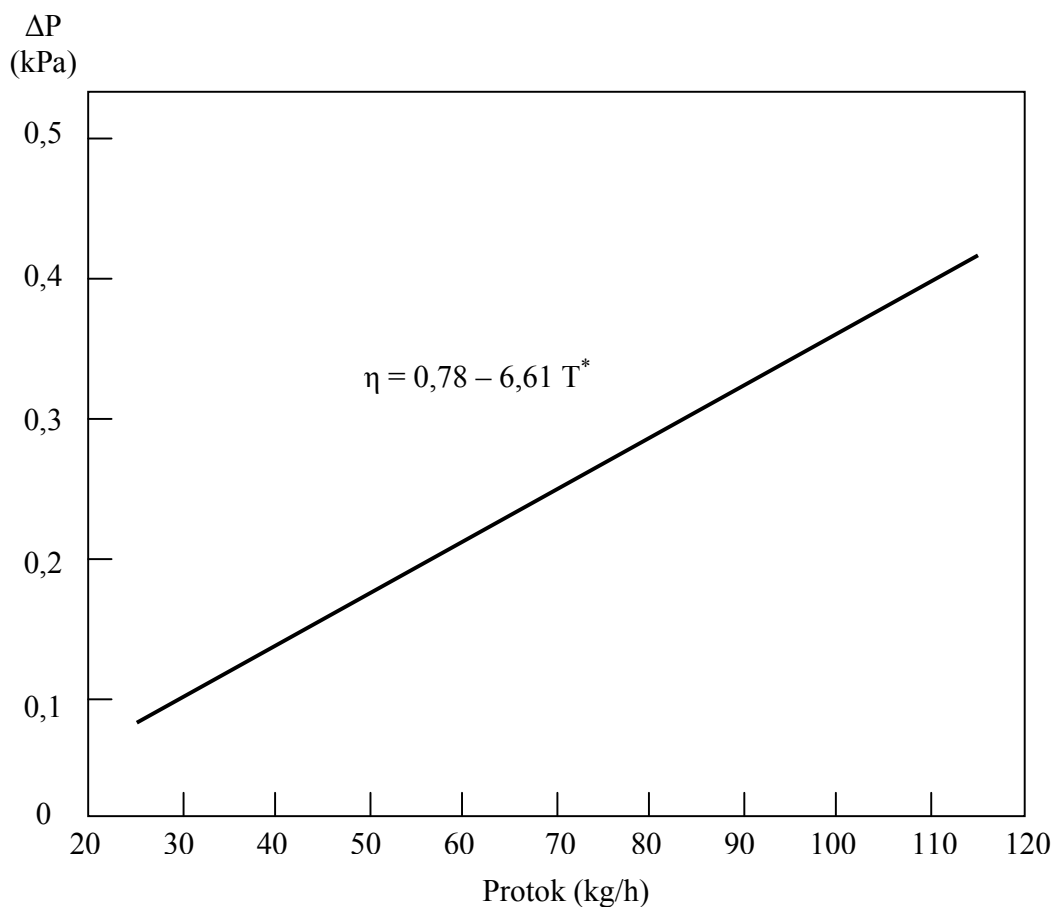
Ispitivanje toplotnih karakteristika PSE izvršeno je dana 22.11. 2004. godine. [8]

Tabela 7.1. Tehničke karakteristike kolektora YD – S2

Dimenzije (mm)	2000× 1000 ×86
Neto površina (m ²)	1,85
Masa (kg)	37
Pokrivač	Staklena ploča debljine 4 mm
Apsorber	Al – profil sa bakarnom cevi Ø 15/14 mm
Optička efikasnost	80%
Radna temperatura	do 100 °C
Izolacija	Poliuretanska pena debljine 40 mm
Donja zaštitna ploča	Al lim
Sadržaj fluida (lit)	2,5
Priključci	Bakarna cev Ø18/17 mm
Koeficijent apsorpcije	$\alpha = 0,94$
Koeficijent refleksije	$\varepsilon = 0,12$
Maksimalni radni pritisak (kPa)	600
Kućište	Okvir, eloksirani Al – profil;



Slika 7.1. Kriva trenutne energetske efikasnosti solarnog kolektora YD – S2



Slika 7.2. Pad pritiska u kolektoru YD – S2

7.2. Ispitivanje ravnog PSE po JUS M. F5. 110 “HELIOSTAR” 400 V – CF “Thermosolar” Žiar nad Hronom, Slovačka

Konstrukcija kolektora

Navedeni prijemnik sunčeve energije za vertikalnu montažu sa cevnim priključcima, namenjen je za sisteme sa prinudnom cirkulacijom, odnosno sa cirkulacionim pumpama. Izrađen je od kompaktnog materijala i sigurnosnog stakla koje se nalazi na konstrukciji kućišta od nekorozivnog aluminijuma. Apsorber je izrađen od ekstrudiranog aluminijumskog profila sa nanetom visoko – selektivnom presvlakom. Priključci kolektora su brzo izmenljivi, dimenzije $\varnothing 40$ mm. Ako postoji osam komada u redu, kolektori se povezuju paralelno. Kao radni medijum umesto postojećeg gasa (vazduha) koristi se kripton.

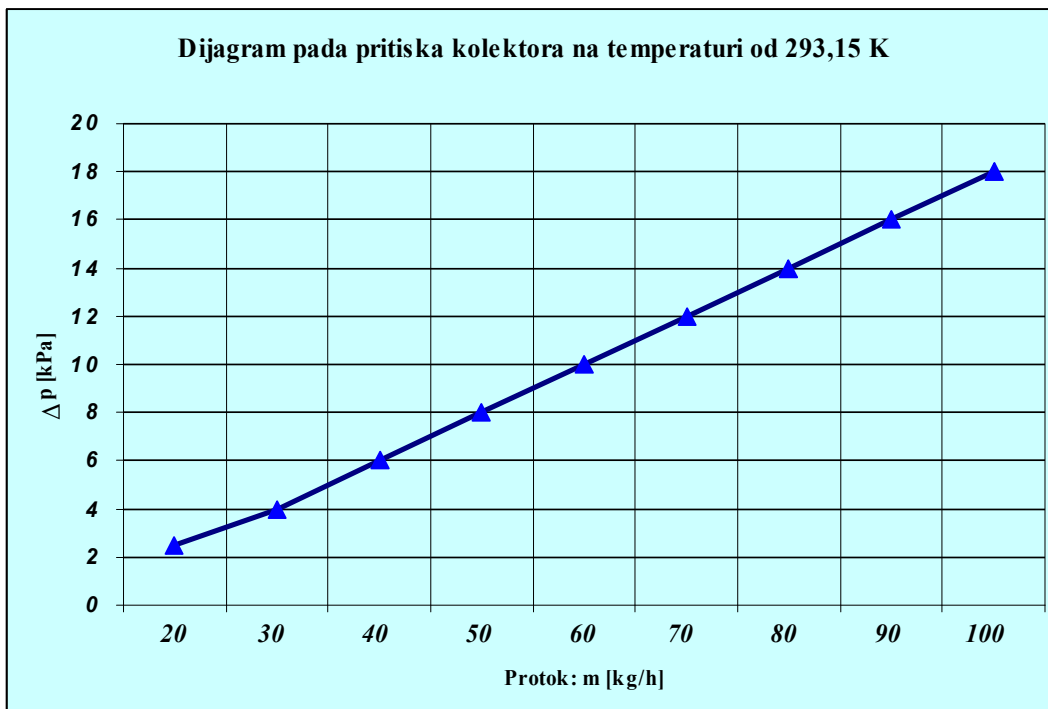
Tehničke karakteristike:

- dimenzije kolektora: $2.009 \times 1.009 \times 75$ [mm]
- bruto površina: 2.03 [m^2]
- površina apsorbera: 1.76 [m^2]

- masa: 48 [kg]
- pokrivka: sigurnosno staklo debljine 4 mm
- priključci: brzo izmenljivi priključci Ø 40 mm
- vakuum: 100 [Pa]
- kućište: odpresak od nekoroziivnog Al – Mg materijala
- apsorber: Al profil presvučen selektivnom prevlakom
- izolacija: vakuum 100 [Pa]
- sadržaj fluida: 1.3 [l]
- prevlaka: visokoselektivna (na bazi koloidnog Ni i pigmentiranog Al)
- koeficijent apsorpcije
- koeficijent emisije: max 0.16
- stepen iskorišćenja: utvrđuje se ispitivanjem
- radna temperatura: iznad 100 [°C]
- maksimalni radni pritisak radnog medijuma: 600 [kPa]
- preporučeni protok radnog medijuma: 30 ÷ 100 [l/h] po kolektoru
- optička efikasnost: 81 [%]

Lokacija na kojoj je izvršeno ispitivanje je mesto Lazarevo kod Zrenjanina, koje se nalazi na geografskoj dužini 20°31' i geografskoj širini od 45°24' i nadmorskoj visini od 82m.

Kod ispitivanja hidrauličkog otpora, karakteristika pada pritiska kroz PSE u funkciji protoka vode (pri spoljnoj temperaturi vazduha od 20°C i temperaturi vode za napajanje PSE od 20°C), došlo se do sledećeg dijagrama.



Slika 7.3. Kriva pada pritiska kroz kolektor $\Delta P = 60,57 \cdot \dot{m}^{1,243}$ [Pa]

Trenutna toplotna karakteristika solarnog kolektora tip “**HELIOSTAR**” 320 N2P je određena izrazom:

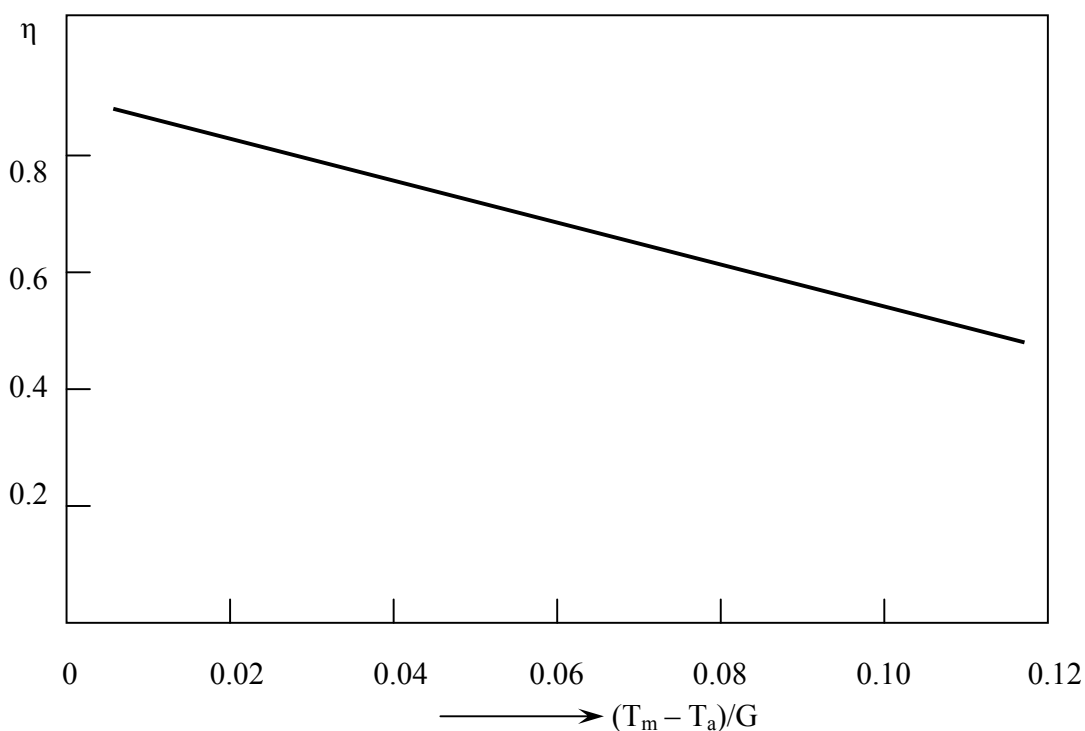
$$\eta = 0,81 - \frac{3,24(T_m - T_a)}{G} \quad (7.5.)$$

gde je:

T_m – srednja temperatura prenosioca toplote [K]

T_a – temperatura ambijenta [K]

G – jačina globalnog Sunčevog zračenja [W/m^2]



*Slika 7.4. Trenutna toplotna karakteristika solarnog kolektora tip “**HELIOSTAR**” 320 N2P*

7.2.1. Rezultati ispitivanja ravnog PSE po JUS M.F5.110 “**HELIOSTAR**” 400 V – CF Thermosolar Žiar nad Hronom, Slovačka

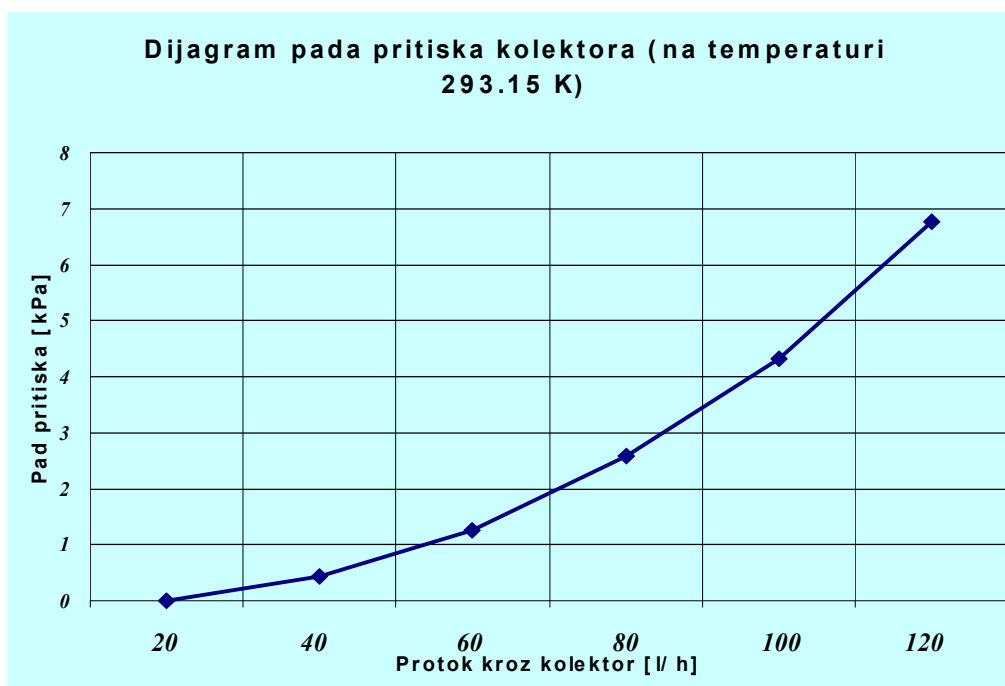
Ovim ispitivanjem se utvrđuje hidraulički otpor PSE pri protoku prenosioca toplote. Ispitna instalacija je sa zatvorenim strujnim kolom. Kod utvrđivanja hidrauličkog otpora potrebno je pratiti sledeće veličine:

- temperaturu fluida na ulasku u PSE,
- maseni protok fluida preko PSE i
- pad pritiska između ulaska i izlaska u kolektor.

Pad pritiska se utvrđuje pri protoku fluida odozdo do gornjeg ruba kolektora. Odstupanje temperature na ulasku u kolektor ne sme biti veće od ± 5 °C od temperature okolnog vazduha koja osciluje u toku merenja ± 5 °C. Hidraulički otpor se utvrđuje za različite vrednosti protoka mase:

- 0,010 [kg/s] ± 10 [%] na svaki [m²] svetlog otvora PSE
- 0,050 [kg/s] ± 10 [%] na svaki [m²] svetlog otvora PSE
- 0,075 [kg/s] ± 10 [%] na svaki [m²] svetlog otvora PSE
- 0,100 [kg/s] ± 10 [%] na svaki [m²] svetlog otvora PSE
- 0,150 [kg/s] ± 10 [%] na svaki [m²] svetlog otvora PSE

Napomena: dozvoljene oscilacije u toku merenja iznose ± 1 %



Slika 7.5. Grafički prikaz izveštaja ispitivanja

Trenutno toplotno iskorišćenje prikazuje se grafički kao funkcija reducirane razlike temperature T^* .

Rezultati ispitivanja toplotnih karakteristika PSE dana 24. 07. 2003. godine.

Tabela 7.2. Dobijene vrednosti u 10^{00} h

MERENE VELIČINE	JEDINICA	VREDNOST
Zapreminski protok, Q	[m ³ /h]	0.360
Gustina fluida, ρ	[kg/m ³]	988.04
Maseni protok, q _m	[kg/s]	0.0716
Temperatura okoline, T _a	[°C]	34,5
Barometarski pritisak	[mbar]	1020
Vlažnost vazduha	[%]	39
Temperatura na ulazu u PSE	[°C]	50.8
Temperatura na izlazu iz PSE	[°C]	53.7
Temperaturna razlika, ΔT	[°C]	3.1
$T^* = U_0 (T_m - T_a)/G$	[°C]	0.298
Vetar: jugoistočni	[m/s]	0.28
Ugao nagiba prema horizontali	[°]	45
Pritisak fluida u instalaciji	[bar]	2.0
Intezitet zračenja (meren piranometrom)	[W/m ²]	713.49
Specifični toplotni kapacitet fluida, c _f	[J/kgK]	4176
Korisna toplota, P _T = q _m · c _f · ΔT	[W]	1163.38
Trenutno toplotno iskorišćenje, η = P _T / (A _a · G)	[%]	64.95

Tabela 7.3. Dobijene vrednosti u 10^{30} h

MERENE VELIČINE	JEDINICA	VREDNOST
Zapreminski protok, Q	[m ³ /h]	0.310
Gustina fluida, ρ	[kg/m ³]	988.04
Maseni protok, q _m	[kg/s]	0.085
Temperatura okoline, T _a	[°C]	34,5
Barometarski pritisak	[mbar]	1020
Vlažnost vazduha	[%]	40
Temperatura na ulazu u PSE	[°C]	50.5
Temperatura na izlazu iz PSE	[°C]	53.7
Temperaturna razlika, ΔT	[°C]	3.2
$T^* = U_0 (T_m - T_a)/G$	[°C]	0.290
Vetar: jugoistočni	[m/s]	0.28
Ugao nagiba prema horizontali	[°]	45
Pritisak fluida u instalaciji	[bar]	2.5
Intezitet zračenja (meren piranometrom)	[W/m ²]	710.43
Specifični toplotni kapacitet fluida, c _f	[J/kgK]	4176
Korisna toplota, P _T = q _m · c _f · ΔT	[W]	1135.87
Trenutno toplotno iskorišćenje, η = P _T / (A _a · G)	[%]	79.94

Tabela 7.4. Dobijene vrednosti u 11⁰⁰ h

MERENE VELIČINE	JEDINICA	VREDNOST
Zapreminski protok, Q	[m ³ /h]	0.26
Gustina fluida, ρ	[kg/m ³]	988.04
Maseni protok, q _m	[kg/s]	0.0716
Temperatura okoline, T _a	[°C]	34,5
Barometarski pritisak	[mbar]	1020
Vlažnost vazduha	[%]	40
Temperatura na ulazu u PSE	[°C]	59
Temperatura na izlazu iz PSE	[°C]	62.1
Temperaturna razlika, ΔT	[°C]	3.1
$T^* = U_0 (T_m - T_a)/G$	[°C]	0.373
Vetar: jugoistočni	[m/s]	0.81
Ugao nagiba prema horizontali	[°]	45
Pritisak fluida u instalaciji	[bar]	2.0
Intezitet zračenja (meren piranometrom)	[W/m ²]	724.36
Specifični toplotni kapacitet fluida, c _f	[J/kgK]	4172
Korisna toplota, P _T = q _m · c _f · ΔT	[W]	1076.41
Trenutno toplotno iskorišćenje, η = P _T / (A _a · G)	[%]	63.92

Tabela 7.5. Dobijene vrednosti u 11³⁰ h

MERENE VELIČINE	JEDINICA	VREDNOST
Zapreminski protok, Q	[m ³ /h]	0.300
Gustina fluida, ρ	[kg/m ³]	971.80
Maseni protok, q _m	[kg/s]	0.081
Temperatura okoline, T _a	[°C]	34,5
Barometarski pritisak	[mbar]	1026
Vlažnost vazduha	[%]	41
Temperatura na ulazu u PSE	[°C]	69.1
Temperatura na izlazu iz PSE	[°C]	72.9
Temperaturna razlika, ΔT	[°C]	3.6
$T^* = U_0 (T_m - T_a)/G$	[°C]	0.526
Vetar: jugoistočni	[m/s]	1.12
Ugao nagiba prema horizontali	[°]	45
Pritisak fluida u instalaciji	[bar]	2.45
Intezitet zračenja (meren piranometrom)	[W/m ²]	710.43
Specifični toplotni kapacitet fluida, c _f	[J/kgK]	4172
Korisna toplota, P _T = q _m · c _f · ΔT	[W]	1216.55
Trenutno toplotno iskorišćenje, η = P _T / (A _a · G)	[%]	85.62

Tabela 7.6. Dobijene vrednosti u 12⁰⁰ h

MERENE VELIČINE	JEDINICA	VREDNOST
Zapreminski protok, Q	[m ³ /h]	0.221
Gustina fluida, ρ	[kg/m ³]	971.80
Maseni protok, q _m	[kg/s]	0.0614
Temperatura okoline, T _a	[°C]	34,8
Barometarski pritisak	[mbar]	1020
Vlažnost vazduha	[%]	40
Temperatura na ulazu u PSE	[°C]	73.1
Temperatura na izlazu iz PSE	[°C]	79.2
Temperaturna razlika, ΔT	[°C]	6.1
$T^* = U_0 (T_m - T_a)/G$	[°C]	0.590
Vetar: jugoistočni	[m/s]	0.36
Ugao nagiba prema horizontali	[°]	45
Pritisak fluida u instalaciji	[bar]	2.0
Intezitet zračenja (meren piranometrom)	[W/m ²]	804.25
Specifični toplotni kapacitet fluida, c _f	[J/kgK]	4170
Korisna toplota, P _T = q _m · c _f · ΔT	[W]	1561.83
Trenutno toplotno iskorišćenje, η = P _T / (A _a · G)	[%]	97.09

Tabela 7.7. Dobijene vrednosti u 12³⁰ h

MERENE VELIČINE	JEDINICA	VREDNOST
Zapreminski protok, Q	[m ³ /h]	0.379
Gustina fluida, ρ	[kg/m ³]	982.31
Maseni protok, q _m	[kg/s]	0.103
Temperatura okoline, T _a	[°C]	35
Barometarski pritisak	[mbar]	1020
Vlažnost vazduha	[%]	40
Temperatura na ulazu u PSE	[°C]	80.2
Temperatura na izlazu iz PSE	[°C]	83.7
Temperaturna razlika, ΔT	[°C]	3.5
$T^* = U_0 (T_m - T_a)/G$	[°C]	0.627
Vetar: jugoistočni	[m/s]	0.54
Ugao nagiba prema horizontali	[°]	45
Pritisak fluida u instalaciji	[bar]	2.0
Intezitet zračenja (meren piranometrom)	[W/m ²]	804.25
Specifični toplotni kapacitet fluida, c _f	[J/kgK]	4166
Korisna toplota, P _T = q _m · c _f · ΔT	[W]	1501.84
Trenutno toplotno iskorišćenje, η = P _T / (A _a · G)	[%]	93.37

Tabela 7.8. Dobijene vrednosti u 13⁰⁰ h

MERENE VELIČINE	JEDINICA	VREDNOST
Zapreminski protok, Q	[m ³ /h]	0.324
Gustina fluida, ρ	[kg/m ³]	965.31
Maseni protok, q _m	[kg/s]	0.088
Temperatura okoline, T _a	[°C]	35.2
Barometarski pritisak	[mbar]	1020
Vlažnost vazduha	[%]	40
Temperatura na ulazu u PSE	[°C]	84.1
Temperatura na izlazu iz PSE	[°C]	88.4
Temperaturna razlika, ΔT	[°C]	4.3
$T^* = U_0 (T_m - T_a)/G$	[°C]	0.688
Vetar: jugoistočni	[m/s]	0.16
Ugao nagiba prema horizontali	[°]	45
Pritisak fluida u instalaciji	[bar]	2.0
Intezitet zračenja (meren piranometrom)	[W/m ²]	804.25
Specifični toplotni kapacitet fluida, c _f	[J/kgK]	4168
Korisna toplota, P _T = q _m · c _f · ΔT	[W]	1577.39
Trenutno toplotno iskorišćenje, η = P _T / (A _a · G)	[%]	98.05

Tabela 7.9. Dobijene vrednosti u 13³⁰ h

MERENE VELIČINE	JEDINICA	VREDNOST
Zapreminski protok, Q	[m ³ /h]	0.367
Gustina fluida, ρ	[kg/m ³]	965.31
Maseni protok, q _m	[kg/s]	0.102
Temperatura okoline, T _a	[°C]	35.8
Barometarski pritisak	[mbar]	1020
Vlažnost vazduha	[%]	40
Temperatura na ulazu u PSE	[°C]	88.2
Temperatura na izlazu iz PSE	[°C]	90.3
Temperaturna razlika, ΔT	[°C]	2.6
$T^* = U_0 (T_m - T_a)/G$	[°C]	0.420
Vetar: jugoistočni	[m/s]	1.72
Ugao nagiba prema horizontali	[°]	45
Pritisak fluida u instalaciji	[bar]	2.0
Intezitet zračenja (meren piranometrom)	[W/m ²]	811.42
Specifični toplotni kapacitet fluida, c _f	[J/kgK]	4162
Korisna toplota, P _T = q _m · c _f · ΔT	[W]	1103.76
Trenutno toplotno iskorišćenje, η = P _T / (A _a · G)	[%]	68.01

Tabela 7.10. Dobijene vrednosti u 14⁰⁰ h

MERENE VELIČINE	JEDINICA	VREDNOST
Zapreminski protok, Q	[m ³ /h]	0.492
Gustina fluida, ρ	[kg/m ³]	977.79
Maseni protok, q _m	[kg/s]	0.140
Temperatura okoline, T _a	[°C]	35.8
Barometarski pritisak	[mbar]	1020
Vlažnost vazduha	[%]	40
Temperatura na ulazu u PSE	[°C]	66.4
Temperatura na izlazu iz PSE	[°C]	68.2
Temperaturna razlika, ΔT	[°C]	1.8
$T^* = U_0 (T_m - T_a)/G$	[°C]	0.972
Vetar: jugoistočni	[m/s]	0.25
Ugao nagiba prema horizontali	[°]	45
Pritisak fluida u instalaciji	[bar]	2.0
Intezitet zračenja (meren piranometrom)	[W/m ²]	710.43
Specifični toplotni kapacitet fluida, c _f	[J/kgK]	4162
Korisna toplota, P _T = q _m · c _f · ΔT	[W]	988.41
Trenutno toplotno iskorišćenje, η = P _T / (A _a · G)	[%]	73.81

Tabela 7.11. Dobijene vrednosti u 15¹⁵ h

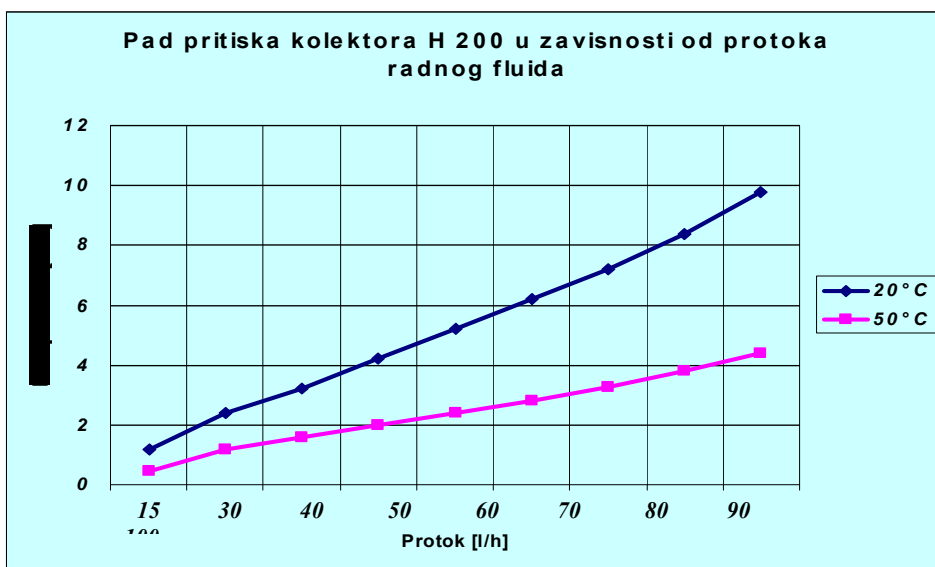
MERENE VELIČINE	JEDINICA	VREDNOST
Zapreminski protok, Q	[m ³ /h]	0.391
Gustina fluida, ρ	[kg/m ³]	988.04
Maseni protok, q _m	[kg/s]	0.107
Temperatura okoline, T _a	[°C]	35
Barometarski pritisak	[mbar]	1020
Vlažnost vazduha	[%]	40
Temperatura na ulazu u PSE	[°C]	49.5
Temperatura na izlazu iz PSE	[°C]	52.8
Temperaturna razlika, ΔT	[°C]	3.3
$T^* = U_0 (T_m - T_a)/G$	[°C]	0.215
Vetar: jugoistočni	[m/s]	0.31
Ugao nagiba prema horizontali	[°]	45
Pritisak fluida u instalaciji	[bar]	2.0
Intezitet zračenja (meren piranometrom)	[W/m ²]	811.42
Specifični toplotni kapacitet fluida, c _f	[J/kgK]	4172
Korisna toplota, P _T = q _m · c _f · ΔT	[W]	1210.39
Trenutno toplotno iskorišćenje, η = P _T / (A _a · G)	[%]	90.77

7.2.2. Rezultati ispitivanja PSE HELIOSTAR 200

Ovo je ravan tip prijemnika Sunčeve energije za vertikalnu montažu sa cevnim priključcima, namenjen za manje sisteme sa prinudnom cirkulacijom uz pomoć cirkulacionih pumpi. Izrađen je od kompaktnog materijala i sigurnosnog stakla koje se nalazi na konstrukciji od nekorozivnog aluminijumskog profila. Apsorber je izrađen od legure Al – Mg na koji je naneta visokoselektivna presvlaka. Priključci kolektora su izvedeni kao brzoizmenljivi priključak dimenzija \varnothing 12 mm.

Tehničke karakteristike:

- dimenzije kolektora: 1040 × 2040 [mm]
- bruto površina: 2.03 [m²]
- površina apsorbera: 1.76 [m²]
- masa: 43 [kg]
- pokrivka: sigurnosno staklo debljine 4 mm
- priključci: brzo izmenljivi priključci \varnothing 12 mm
- kućište: odpresak od nekorozivnog Al – Mg materijala
- izolacija: mineralna vuna
- sadržaj fluida: 1.2 [l]
- prevlaka: visokoselektivna (na bazi koloidnog Ni i pigmentiranog Al)
- koeficijent apsorpcije 0.94
- koeficijent emisije: max 0.16
- radna temperatura: do 100 [°C]
- maksimalni radni pritisak radnog medijuma: 600 [kPa]
- preporučeni protok radnog medijuma: 15 ÷ 35 [l/h] po kolektoru
- optička efikasnost: 80 [%]
- energetska produkcija: 700 ÷ 930 kWh/godina

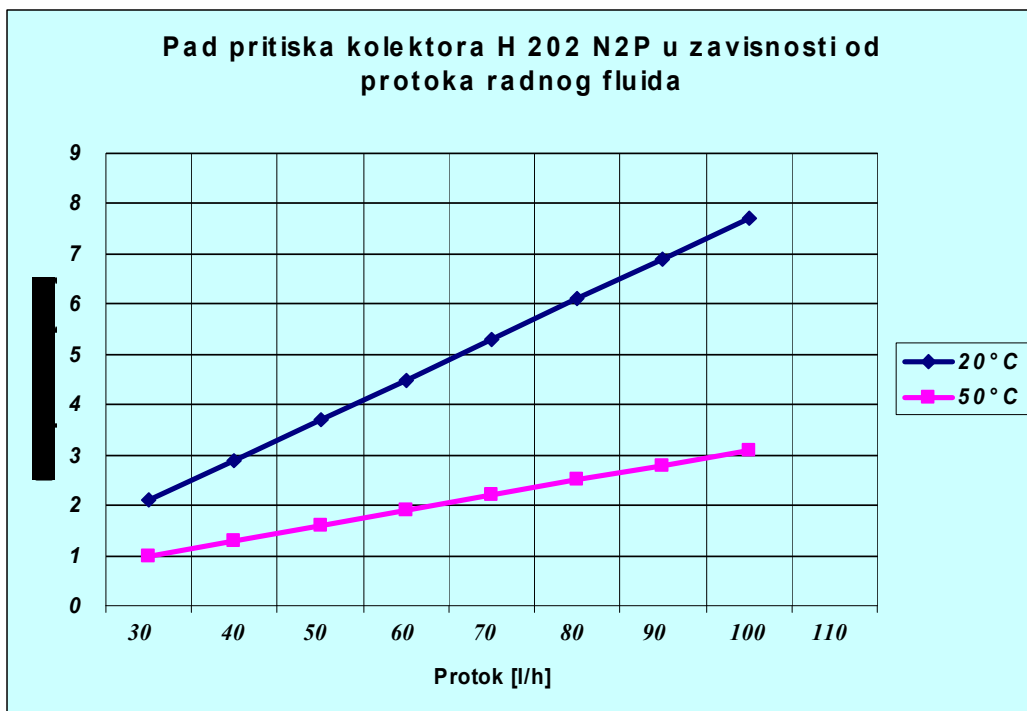


Slika 7.6. Zavisnost pada pritiska od protoka radnog fluida

7.2.3. Rezultati ispitivanja PSE HELIOSTAR 202 N2P

Tehničke karakteristike:

- dimenzije kolektora: 1040×2040 [mm]
- bruto površina: 2.03 [m²]
- površina apsorbera: 1.76 [m²]
- masa: 43 [kg]
- pokrivka: sigurnosno staklo debljine 4 mm
- priključci: brzo izmenljivi priključci $\varnothing 12$ mm
- kućište: odpresak od nekorozivnog Al – Mg materijala
- izolacija: mineralna vuna
- sadržaj fluida: 1.3 [l]
- prevlaka: visokoselektivna (na bazi koloidnog Ni i pigmentiranog Al)
- koeficijent apsorpcije 0.94
- koeficijent emisije: max 0.16
- radna temperatura: do 100 [°C]
- maksimalni radni pritisak radnog medijuma: 600 [kPa]
- preporučeni protok radnog medijuma: $30 \div 100$ [l/h] po kolektoru
- optička efikasnost: 80 [%]
- energetska produkcija: $700 \div 930$ kWh/godina

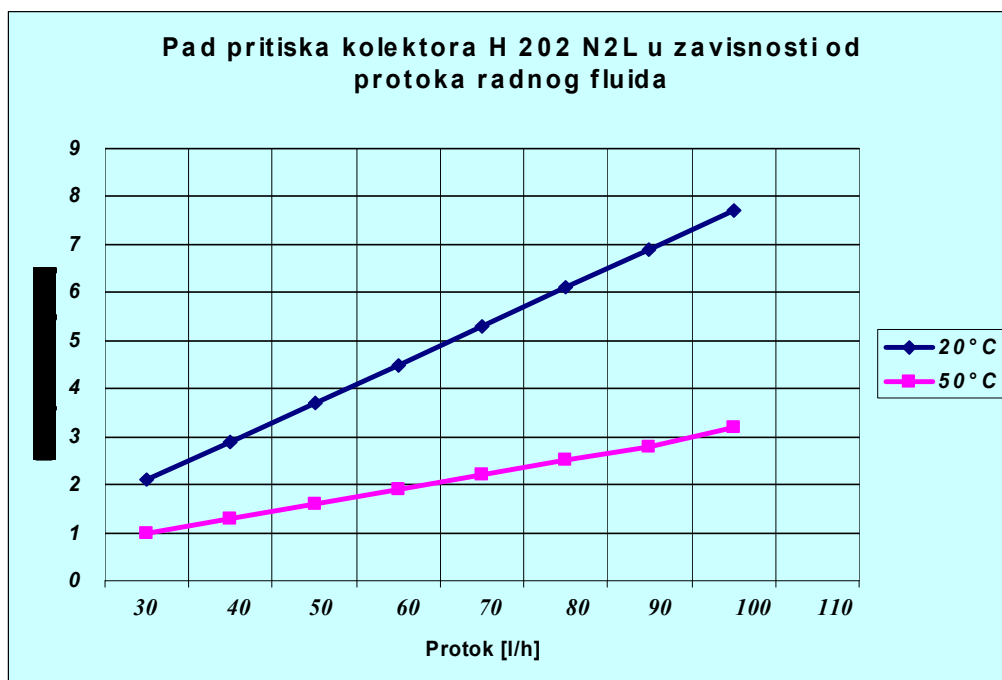


Slika 7.7. Zavisnost pada pritiska od protoka radnog fluida

7.2.4. Rezultati ispitivanja PSE HELIOSTAR 202 N2L

Tehničke karakteristike:

- dimenzije kolektora: 1040 × 2040 [mm]
- bruto površina: 2.03 [m²]
- površina apsorbera: 1.76 [m²]
- masa: 43 [kg]
- pokrivka: sigurnosno staklo debljine 4 mm
- priključci: brzo izmenljivi priključci Ø 18 mm
- kućište: odpresak od nekorozivnog Al – Mg materijala
- izolacija: mineralna vuna
- sadržaj fluida: 1.3 [l]
- prevlaka: visokoselektivna (na bazi koloidnog Ni i pigmentiranog Al)
- koeficijent apsorpcije 0.94
- koeficijent emisije: max 0.16
- radna temperatura: do 100 [°C]
- maksimalni radni pritisak radnog medijuma: 600 [kPa]
- preporučeni protok radnog medijuma: 30 ÷ 100 [l/h] po kolektoru
- optička efikasnost: 80 [%]
- energetska produkcija: 700 ÷ 930 kWh/godina

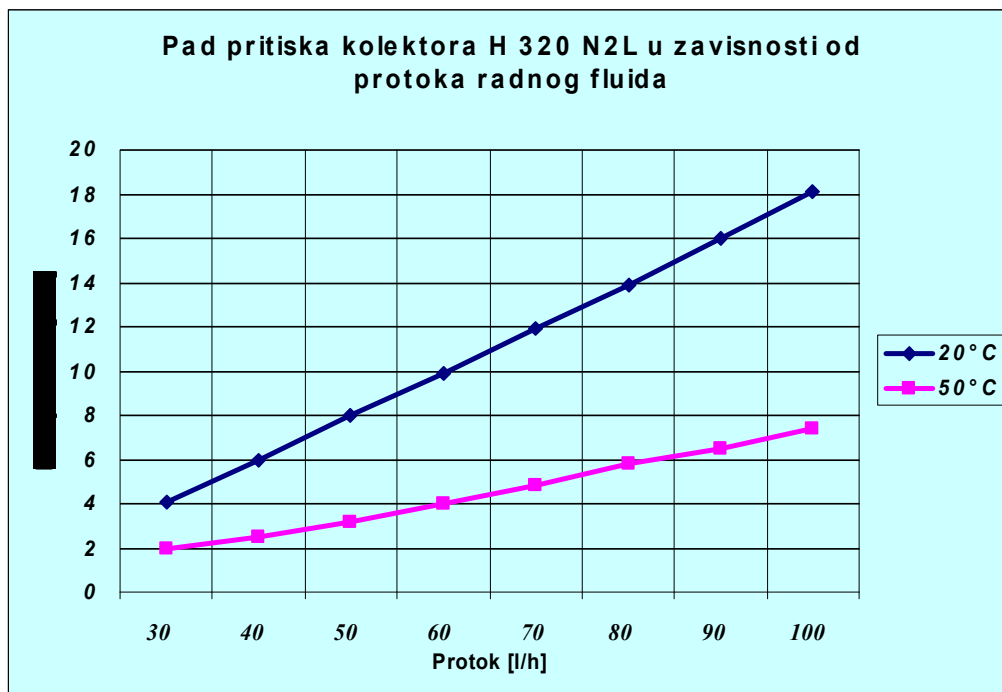


Slika 7.8. Zavisnost pada pritiska od protoka radnog fluida

7.2.5. Rezultati ispitivanja PSE HELIOSTAR 320 N2L

Tehničke karakteristike:

- dimenzije kolektora: 1040×2040 [mm]
- bruto površina: 2.03 [m²]
- površina apsorbera: 1.77 [m²]
- masa: 45 [kg]
- pokrivka: sigurnosno staklo debljine 4 mm
- priključci: brzo izmenljivi priključci $\varnothing 18$ mm
- kućište: odpresak od nekorozivnog Al – Mg materijala
- izolacija: mineralna vuna
- sadržaj fluida: 1.6 [l]
- prevlaka: visokoselektivna (na bazi koloidnog Ni i pigmentiranog Al)
- koeficijent apsorpcije 0.94
- koeficijent emisije: max 0.17
- radna temperatura: do 100 [°C]
- maksimalni radni pritisak radnog medijuma: 600 [kPa]
- preporučeni protok radnog medijuma: $30 \div 100$ [l/h] po kolektoru
- optička efikasnost: 80 [%]
- energetska produkcija: $700 \div 930$ kWh/godina

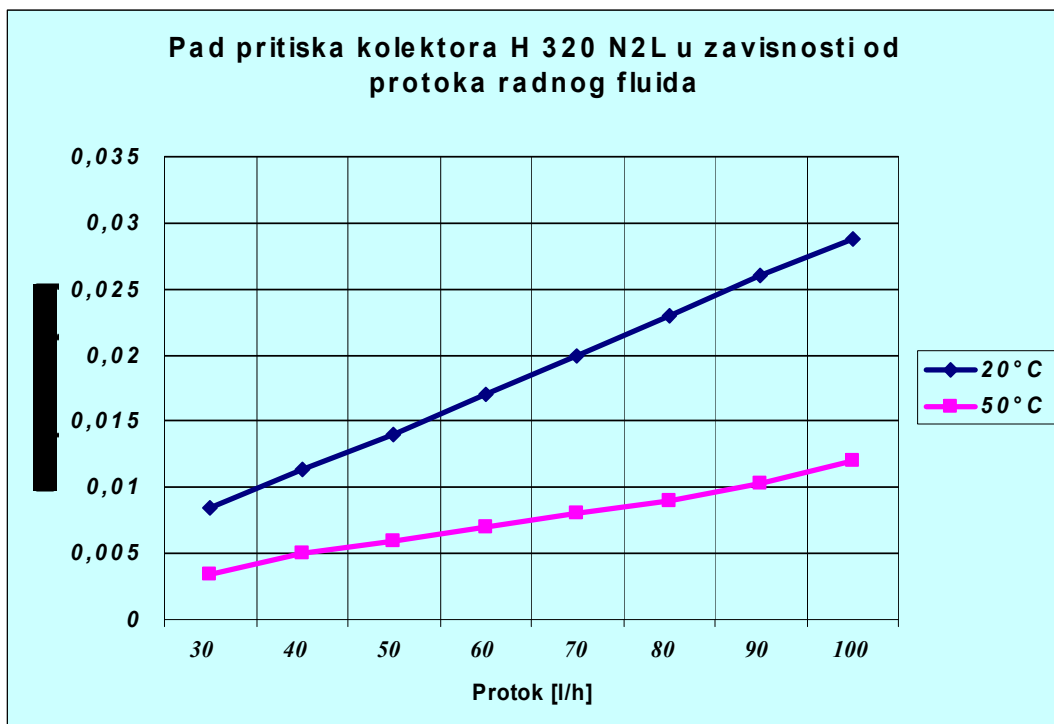


Slika 7.9. Zavisnost pada pritiska od protoka radnog fluida

7.2.6. Rezultati ispitivanja PSE HELIOSTAR 380 N2L – C

Tehničke karakteristike:

- dimenzije kolektora: 1040 × 2040 [mm]
- bruto površina: 2.03 [m²]
- površina apsorbera: 1.77 [m²]
- masa: 46 [kg]
- pokrivka: sigurnosno staklo debljine 4 mm
- priključci: brzo izmenljivi priključci Ø 18 mm
- kućište: odpresak od nekorozivnog Al – Mg materijala
- izolacija: mineralna vuna
- sadržaj fluida: 1.5 [l]
- prevlaka: visokoselektivna (na bazi koloidnog Ni i pigmentiranog Al)
- koeficijent apsorpcije 0.94
- koeficijent emisije: max 0.17
- radna temperatura: do 100 [°C]
- maksimalni radni pritisak radnog medijuma: 600 [kPa]
- preporučeni protok radnog medijuma: 30 ÷ 100 [l/h] po kolektoru
- optička efikasnost: 80 [%]
- energetska produkcija: 700 ÷ 930 kWh/godina

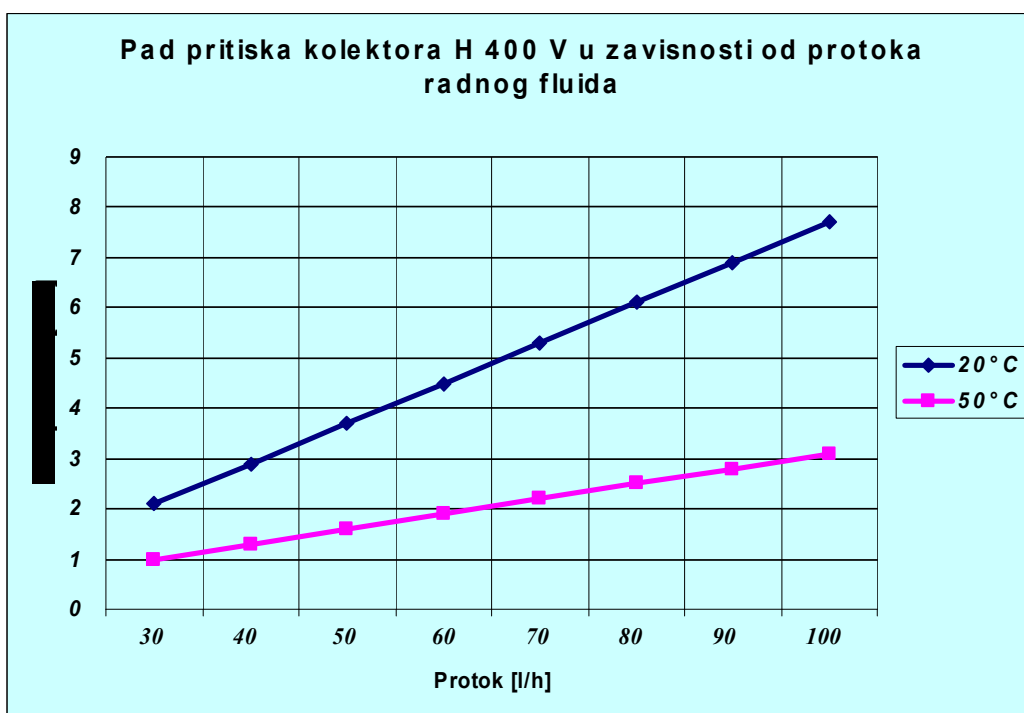


Slika 7.10. Zavisnost pada pritiska od protoka radnog fluida

7.2.7. Rezultati ispitivanja PSE HELIOSTAR 400 V

Tehničke karakteristike:

- dimenzije kolektora: 1040 × 2040 [mm]
- bruto površina: 2.03 [m²]
- površina apsorbera: 1.77 [m²]
- masa: 48 [kg]
- pokrivka: sigurnosno staklo debljine 4 mm
- priključci: brzo izmenljivi priključci Ø 40 mm
- kućište: odpresak od nekorozivnog Al – Mg materijala
- izolacija: mineralna vuna
- sadržaj fluida: 1.3 [l]
- prevlaka: visokoselektivna (na bazi koloidnog Ni i pigmentiranog Al)
- koeficijent apsorpcije 0.94
- koeficijent emisije: max 0.17
- radna temperatura: do 100 [°C]
- maksimalni radni pritisak radnog medijuma: 600 [kPa]
- preporučeni protok radnog medijuma: 30 ÷ 100 [l/h] po kolektoru
- optička efikasnost: 81 [%]
- energetska produkcija: 800 ÷ 1200 kWh/godina [38]



Slika 7.11. Zavisnost pada pritiska od protoka radnog fluida

7.2.8. Rezultati ispitivanja PSE ØOC – 2

Tabela 7.12. Rezultati merenja efikasnosti PSE ØCU – 2 dana 28. 01. 2003.

n	T (h)	P _v	V _v (m/s)	t _a (°C)	t _u (°C)	$\int_{t_1}^{t_2} mc_p dt$ (kJ)	$\int_{\tau_1}^{\tau_2} Id\tau$ (kJ/m ²)	I (W/m ²)	$\frac{t_m - t_a}{I}$ (°Cm ² /W)	η (%)
1	9 ³⁰	NW		- 4.0	1.0					
2	9 ⁴⁵	NW	0.21	- 4.0	10.5	275.9	336.9	375	0.0296	68.3
3	10 ⁰⁰	NW1/4W	0.21	- 3.0	17.5	193.2	378.4	421	0.0435	42.5
4	10 ¹⁵	WNW	0.24	- 3.0	25.5	220.7	412.6	459	0.0551	44.6
5	10 ³⁰	NW1/4W	0.24	- 2.5	30.5	136.5	403.6	489	0.0644	25.9
6	10 ⁴⁵	WNW	0.24	- 2.5	36.0	150.1	457.6	509	0.0717	27.3
7	11 ⁰⁰	WNW	0.24	- 2.0	41.0	136.5	473.8	527	0.0787	24.0
8	11 ¹⁵	NW1/4W	0.24	- 2.0	43.5	68.2	475.6	529	0.0851	12.0
9	11 ³⁰	NW1/4W	0.19	- 2.0	47.5	109.2	479.3	533	0.0906	19.0
10	11 ⁴⁵	NW1/4W	0.21	- 2.0	49.5	54.6	475.6	529	0.0964	9.6

ρ = 2,8 l/min

c_p smeše glicerina – voda (zapreminski odnos 1 : 1) = 3,25 J/g°C

m smeše = 8,4 kg

Tabela 7.13. Rezultati merenja efikasnosti PSE ØCU – 2 dana 02. 02. 2003.

n	T (h)	P _v	V _v (m/s)	t _a (°C)	t _u (°C)	$\int_{t_1}^{t_2} mc_p dt$ (kJ)	$\int_{\tau_1}^{\tau_2} Id\tau$ (kJ/m ²)	I (W/m ²)	$\frac{t_m - t_a}{I}$ (°Cm ² /W)	η (%)
1	11 ⁰⁰	W	0.32	12	46.5					
2	11 ¹⁵	W	0.32	12	56.0	259.3	641.4	0.0562	712	33.7
3	11 ³⁰	W	0.31	12	64.5	232.0	645.0	0.0684	716	30.0
4	11 ⁴⁵	W1/4SW	0.28	12	70.0	150.1	641.4	0.0787	712	19.5
5	12 ⁰⁰	W1/4SW	0.25	12	74.5	122.8	643.2	0.0854	714	15.9

ρ = 3,9 l/min

c_p smeše glicerina – voda (zapreminski odnos 1 : 1) = 3,25 J/g°C

m smeše = 8,4 kg

Tabela 7.14. Rezultati merenja efikasnosti PSE ØCU – 2 dana 03. 02. 2003.

n	T (h)	P _v	V _v (m/s)	t _a (°C)	t _u (°C)	$\int_{t_1}^{t_2} mc_p dt$ (kJ)	$\int_{\tau_1}^{\tau_2} Id\tau$ (kJ/m ²)	I (W/m ²)	$\frac{t_m - t_a}{I}$ (°Cm ² /W)	η (%)
1	10 ⁴⁵			8.0	18.5					
2	11 ⁰⁰	NE1/4E	0.14	8.5	25.0	336.5	587.4	653	0.0180	47.7
3	11 ¹⁵	ENE	0.14	9.0	35.5	307.2	592.8	659	0.0337	43.1
4	11 ³⁰	ENE	0.14	9.5	45.0	278.0	648.6	722	0.0440	35.6
5	11 ⁴⁵	E1/4NE	0.17	10.0	53.0	234.1	625.2	695	0.0575	31.1
6	12 ⁰⁰	E1/4NE	0.17	10.5	59.5	190.2	623.4	693	0.0674	25.4
7	12 ¹⁵	ENE	0.17	10.8	65.0	160.9	618.0	687	0.0761	21.7
8	12 ³⁰	ENE	0.17	10.8	70.5	160.9	603.9	671	0.0859	22.2

ρ = 5.0 l/min
 c_p vode = 4,18 J/g°C
 m vode = 7 kg

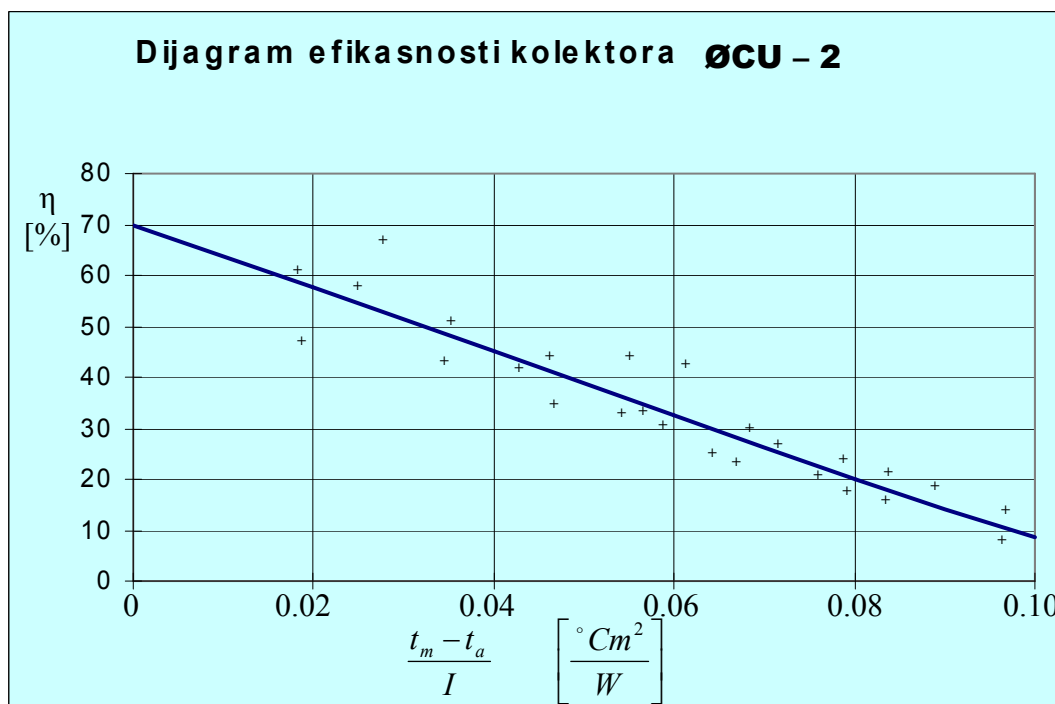
Tabela 7.15. Rezultati merenja efikasnosti PSE ØCU – 2 dana 13. 02. 2003.

n	T (h)	P _v	V _v (m/s)	t _a (°C)	t _u (°C)	$\int_{t_1}^{t_2} mc_p dt$ (kJ)	$\int_{\tau_1}^{\tau_2} Id\tau$ (kJ/m ²)	I (W/m ²)	$\frac{t_m - t_a}{I}$ (°Cm ² /W)	η (%)
1	11 ⁰⁰			10.0	18					
2	11 ¹⁵	W1/4SW	0.38	11.0	24,5	407.5	567.5	631	0.0182	59.7
3	11 ³⁰	W1/4SW	0.42	12.0	30.8	583.8	583.8	649	0.0260	56.3
4	11 ⁴⁵	W1/4SW	0.42	12.0	36.5	555.6	555.6	651	0.0344	50.8
5	12 ⁰⁰	W1/4SW	0.42	12.5	41.5	547.7	547.7	609	0.0451	47.6
6	12 ¹⁵	W1/4SW	0.42	12.5	45.5	529.7	529.7	589	0.0534	34.5
7	12 ³⁰	W1/4SW	0.42	13.0	49.2	502.7	502.7	559	0.0628	43.6

ρ = 4.8 l/min
 c_p vode = 4,18 J/g°C
 m vode = 15 kg



Slika 7.12. Zavisnost pada pritiska od protoka radnog fluida u kolektoru



Slika 7.13. Dijagram efikasnosti kolektora

7.2.9. Rezultati ispitivanja PSE ŠINVOZ

Tabela 7.16. Podaci izmereni 28.01.2003., tip kolektora: ŠINVOZ

R.br.	Vreme	I [W/m ²]	w [m/s]	Ta [°C]	Tu [°C]	Ti [°C]	\dot{v} [l/h]	Cf [J/kgK]	Ap [m ²]	ΔT [K]	ΔT_m [K]	η [%]
1.	9:45	375	0,21	-4	10.5	13.127	168.6	4186	1.224	2,627	15,81	0,01
2.	10:00	421	0,21	-3	17.5	19.081	168.6	4186	1.224	1,58	21,25	0,6
3.	10:15	459	0,24	-3	23.5	27.483	168.6	4186	1.224	3,983	28,49	0,16
4.	10:30	489	0,24	-2.5	30.5	31.99	168.6	4186	1.224	1,49	33,74	0,597
5.	10:45	509	0,24	-2.5	36	37.949	168.6	4186	1.224	1,949	39,47	0,68
6.	11:00	527	0,24	-2	41	42.535	168.6	4186	1.224	1,53	43,76	0,465
7.	11:15	529	0,24	-2	43.5	45.079	168.6	4186	1.224	1,57	44,28	0,47
8.	11:30	533	0,19	-2	47.5	48.491	168.6	4186	1.224	0,991	49,99	0,297
9.	11:45	529	0,21	-2	49.5	48	168.6	4186	1.224	-1,5	50,75	-

Tabela 7.17. Podaci izmereni 02.02.2003., tip kolektora: ŠINVOZ

R.br.	Vreme	I [W/m ²]	w [m/s]	Ta [°C]	Tu [°C]	Ti [°C]	\dot{v} [l/h]	Cf [J/kgK]	Ap [m ²]	ΔT [K]	ΔT_m [K]	η [%]
1.	11:15	716	0,32	12	56	57.4	234	4186	1.45	1,4	44,7	0,366
2.	11:30	712	0,31	12	64.5	66	234	4186	1.45	1,4	53,25	0,368
3.	11:45	714	0,28	12	70	71.4	234	4186	1.45	1,4	58,7	0,367
4.	12:00	715	0,25	12	74.5	76	234	4186	1.45	1,5	63,25	0,394

Tabela 7.18. Podaci izmereni 03. 02. 2003., tip kolektora: ŠINVOZ

R.br.	Vreme	I [W/m ²]	w [m/s]	Ta [°C]	Tu [°C]	Ti [°C]	v̇ [l/h]	Cf [J/kgK]	Ap [m ²]	ΔT [K]	ΔTm [K]	η [%]
1.	10:45	653	0,14	8	13.5	15.5	348	4186	1.45	2	6,5	0,85
2.	11:00	659	0,14	8.5	25	26.9	348	4186	1.45	1,9	17,45	0,8
3.	11:15	722	0,14	9	35.5	37.5	348	4186	1.45	2	27,5	0,77
4.	11:30	695	0,17	9.5	45	46.9	348	4186	1.45	1,9	36,45	0,76
5.	11:45	693	0,17	10	53	55	348	4186	1.45	2	44	0,80
6.	12:00	687	0,17	10.5	59.5	61.2	348	4186	1.45	1,7	49,85	0,69
7.	12:15	671	0,17	10.8	65	66.4	348	4186	1.45	1,4	54,9	0,58
8.	12:30	665	0,17	10.8	70.5	71.5	348	4186	1.45	1	60,2	0,41

Tabela 7.19. Podaci izmereni 13. 02. 2003., tip kolektora: ŠINVOZ

R.br.	Vreme	G [W/m ²]	w [m/s]	Ta [°C]	Tu [°C]	Ti [°C]	v̇ [l/h]	Cf [J/kgK]	Ap [m ²]
1.	11:00	653	0,38	10	15	20.5	168	4186	1.45
2.	11:15	659	0,42	11	24.5	26.9	168	4186	1.45
3.	11:30	722	0,42	12	30.8	32.3	168	4186	1.45
4.	11:45	695	0,42	12	36.5	38.4	168	4186	1.45
5.	12:00	693	0,42	12.5	41.5	42.4	168	4186	1.45
6.	12:15	687	0,42	12.15	45.5	47	168	4186	1.45
7.	12:30	671	0,42	13	49.2	50.7	168	4186	1.45

7.2.10. Rezultati ispitivanja PSE “ELSOL POŽAREVAC”

Tabela 7.20. Podaci izmereni 08.09.04., tip kolektora “ELSOL POŽAREVAC” [37]

R.br.	Vreme	I [W/m ²]	p _b [mbar]	w [m/s]	p [bar]	T _a [°C]	T _u [°C]	T _i [°C]	\dot{v} [l/h]	C _f [J/kgK]	A _p [m ²]
1.	10:00	776,44	1018	0,15	2,2	33,3	35,5	35,9	874,8	4186	1,89
2.	10:30	762,45	1018	0,08	2,2	33	31,4	31,6	673,2	4186	1,89
3.	11:00	748,46	1018	0,21	2,15	33	34,1	35,9	478,8	4186	1,89
4.	11:30	748,46	1018	0,27	2,15	33	38,4	40,9	205,2	4186	1,89
5.	12:00	692,51	1018	0,12	2,15	33,5	47,6	50	403,2	4186	1,89
6.	12:30	657,53	1018	0,41	2,15	33,2	50,5	52,5	457,2	4186	1,89
7.	13:00	664,52	1018	0,08	1	33	57,7	60,3	349,2	4186	1,89
8.	13:30	636,54	1018	0,18	2,15	33,5	58,3	34,2	144	4186	1,89
9.	14:00	601,57	1018	0,08	2,15	33	35	36,8	464,4	4186	1,89
10.	14:30	601,57	1018	0,08	2,15	33	45	47	460,8	4186	1,89

Tabela 7.21. Podaci izmereni 18.10.04., tip kolektora “ELSOL POŽAREVAC”

R.br.	Vreme	G [W/m ²]	p [bar]	Ta [°C]	Tu [°C]	Ti [°C]	\dot{v} [l/h]	Cf [J/kgK]	Ap [m ²]
1.	10:47	720	1,5	22,2	21,8	28,4	75	4186	1.89
2.	11:17	855	1,5	22,7	24	30,6	75	4186	1.89
3.	11:47	900	1,5	23,5	25,9	33,3	75	4186	1.89
4.	12:17	900	1,5	24,4	26,4	33,2	75	4186	1.89
5.	12:47	850	1,5	25	28,6	35,7	75	4186	1.89
6.	13:17	828	1,5	25,8	30,4	38,3	75	4186	1.89
7.	13:47	954	1,5	26,9	31,9	40	75	4186	1.89
8.	14:17	900	1,5	27,8	33,4	40,2	75	4186	1.89
9.	14:47	828	1,5	28,4	33,8	39,9	75	4186	1.89
10.	15:17	90	1,5	28,7	33,7	37,6	75	4186	1.89
11.	15:47	90	1,5	28,8	33,5	36	75	4186	1.89
12.	16:17	90	1,5	28,7	32,5	32,3	75	4186	1.89
13.	16:47	90	1,5	28,6	31,7	30,6	75	4186	1.89
14.	17:17	180	1,5	28,5	29,7	28	75	4186	1.89
15.	17:47	90	1,5	28,3	27,7	25,4	75	4186	1.89
16.	18:17	45	1,5	28,2	25,8	23,6	75	4186	1.89
17.	18:47	45	1,5	28	24,8	22,8	75	4186	1,89

Tabela 7.22. Podaci izmereni 26.10.04., tip kolektora “ELSOL POŽAREVAC”

R.br.	Vreme	I [W/m ²]	p [bar]	Ta [°C]	Tu [°C]	Ti [°C]	v̇ [l/h]	Cf [J/kgK]	Ap [m ²]
1.	11:15	840	1.4	23	27.3	33.7	85	4186	1.89
2.	11:30	840	1.4	23	25	33.5	71	4186	1.89
3.	11:45	845	1.4	23	26.6	34.6	73	4186	1.89
4.	12:00	855	1.4	23	27.6	35.5	75	4186	1.89
5.	12:15	850	1.4	23	29	36.7	74	4186	1.89
6.	12:30	880	1.4	24	29.9	37.2	76	4186	1.89
7.	12:45	850	1.4	24	30.9	38	76	4186	1.89
8.	13:00	832	1.4	24	31.4	37.4	80	4186	1.89
9.	13:15	820	1,4	24	32,9	37,7	100	4186	1.89
10.	13:30	706	1.4	24	33,7	37,9	95	4186	1.89
11.	14:45	610	1.4	24	34,4	38,5	96	4186	1.89
12.	14:00	760	1.4	24	34,5	38,5	94	4186	1.89
13.	14:15	700	1.4	24	34,7	39,5	90	4186	1.89
14.	14:30	560	1.4	24	34,8	37,8	90	4186	1.89
15.	14:45	500	1.4	24	34	36,9	90	4186	1.89
16.	15:00	480	1.4	24	34	36,7	90	4186	1.89
17.	15:15	239	1.4	24	34.5	36.4	110	4186	1.89
18.	15:30	360	1.4	24	34.4	35.3	120	4186	1.89
19.	15:45	329	1.4	24	34.2	35	120	4186	1.89
20.	16:00	240	1.4	24	33.5	33.8	120	4186	1.89
21.	16:15	184	1.4	24	33.2	32.8	120	4186	1.89
22.	16:30	141	1.4	24	32.8	32.1	120	4186	1.89
23.	16:45	115	1.4	24	32.1	31.1	120	4186	1.89

Tabela 7.23. Rezultati merenja karakteristika ravnog PSE *ELSOL* Požarevac

Naziv veličine / vreme merenja	Jedinica	10,00	10,30	11,00	11,30	12,00	12,30	13,00	13,30	14,00	14,30
Zapreminski protok, Q	[m ³ /h]	0,882	0,678	0,482	0,207	0,408	0,457	0,355	0,146	0,468	0,466
Gustina fluida, ρ	[kg/m ³]	992,21	992,21	992,21	992,21	992,21	988,04	982,31	982,31	992,21	988,04
Maseni protok, q_m	[kg/s]	0,243	0,187	0,133	0,057	0,112	0,127	0,097	0,04	0,129	0,128
Temperatura okoline, T_a	[K]	306,45	306,15	306,15	306,25	306,65	306,35	306,15	306,65	306,15	306,15
Barometarski pritisak	[mbar]	1018	1018	1018	1018	1018	1018	1018	1018	1018	1018
Vlažnost vazduha	%	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41
Temperatura na ulazu u PSE T_i	[°C]	35,5	31,4	34,1	38,4	47,6	50,5	57,7	58,3	35,0	45,0
Temperatura na izlazu iz PSE T_e	[°C]	35,9	31,6	35,9	40,9	50,0	52,5	60,3	64,2	36,8	47,0
Temperaturna razlika, ΔT	[°C]	0,4	0,2	1,8	2,5	2,4	2,0	2,6	5,9	1,8	2,0
$T^* = U_0(T_m - T_a)/G$	[°C]	0,031	0,017	0,0507	0,121	0,256	0,308	0,391	0,529	0,078	0,249
Vetar: jugoistočni	[m/s]	0,15	0,08	0,21	0,27	0,12	0,41	0,08	0,18	0,08	0,08
Ugao nagiba prema horizontali	[°]	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Pritisak fluida u instalaciji	[bar]	2,2	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	1	2,15	2,15	2,15
Intenzitet zračenja (meren piranometrom)	[W/m ²]	776,44	762,45	748,46	748,46	692,51	657,53	664,52	636,54	601,57	601,57
Specifični toplotni kapacitet fluida, c_f	[J/kgK]	4180	4180,0	4180	4180	4172	4172	4172	4172	4180	4172
Korisna toplota, $P_T = q_m c_f \Delta T$	[W]	406,30	156,33	1.000,69	595,65	1.121,43	1.059,68	1.210,39	984,59	970,59	1.068,03
Trenutno toplotno iskorišćenje, $\eta = P_T / (A_a G)$	%	28,13	11,02	71,88	42,79	87,06	86,64	85,12	83,16	86,74	95,45

Tabela 7.24. Izračunate vrednosti za ravni prijemnik Sunčeve energije “ELSOL” Požarevac

Naziv veličine / vreme merenja	Jedinica	10,00	10,30	11,00	11,30	12,00	12,30	13,00	13,30	14,00	14,30
Zapreminski protok, Q	[m ³ /h]	0,882	0,678	0,482	0,207	0,408	0,457	0,355	0,146	0,468	0,466
Gustina fluida, ρ	[kg/m ³]	992,21	992,21	992,21	992,21	992,21	988,04	982,31	982,31	992,21	988,04
Maseni protok, q _m	[kg/s]	0,243	0,187	0,133	0,057	0,112	0,127	0,097	0,04	0,129	0,128
Temperaturna razlika, Δ T	[°C]	0,4	0,2	1,8	2,5	2,4	2,0	2,6	5,9	1,8	2,0
T* = U ₀ (T _m - T _a)/G	[°C]	0,031	0,017	0,0507	0,121	0,256	0,308	0,391	0,529	0,078	0,249
Intenzitet zračenja (meren piranometrom)	[W/m ²]	776,44	762,45	748,46	748,46	692,51	657,53	664,52	636,54	601,57	601,57
Korisna toplota, P _T = q _m c _f ΔT	[W]	406,30	156,33	1.000,69	595,65	1.121,43	1.059,68	1.210,39	984,59	970,59	1.068,03
Trenutno toplotno iskorišćenje, η = P _T /(A _a G)	%	28,13	11,02	71,88	42,79	87,06	86,64	85,12	83,16	86,74	95,45
Reducirana temperatura (T*) ² x 10 ⁻³	[K ²]	0,961	0,289	2,57	14,64	65,54	94,86	152,88	279,84	6,08	0,62
Proizvod ((T*) ² x η)	-	0,34	0,48	2,17	0,87	22,21	29,40	34,66	45,83	6,64	20,71
Izračunati stepen iskorišćenja η	%	66,28	67,00	65,21	67,23	48,96	43,38	32,31	13,07	63,58	49,67

Jednačina energetske efikasnosti ovog PSE:

$$\eta = \eta_0 - a_1 (T^*) - a_2 (T^*)^2 = 67,8 - 45,6(T^*) - 109,36 (T^*)^2 \quad (7.6.)$$

LITERATURA

1. Cheremisionoff P. N., Regino, T.C., Principles & Applications of Solar Energy, Ann Arbor, Michigan, 1978.
2. Duffie, J. A., Beckman, W. A., Solar Energy Thermal Processes, J. Wiley & S., New York, 1974.
3. Experimental Results for Test at Melbourne, FLA – May 20, 1974.
4. Experimental Results of Test by E. I. Du Pont De Nemours & Co, Film Department, Speciality Markets Division, Wilmington, Delaware, USA, 1989.
5. Feninger, G., Solar Heizungssysteme, ASSA, Wien, 1980.
6. Garg, H. P., Prakosh, J., Solar Energy – Fundamentals and Applications, Tata Mc Graw – Hill Publishing Comp. Limited, New Delhy, 2000.
7. Garg, H. P., Advances in Solar Energy Technology, D. Reidev Publishing Comp. Dordrecht, Holland, 1987.
8. Izveštaj o ispitivanju ravnog prijemnika sunčeve enegrije “YD – S2” po JUS–u M.F5.110, Tehnički fakultet “Mihajlo Pupin”, Zrenjanin, 2004.
9. Kreith, K., Kreider, J. F., Principles of Solar Engeneering, Mc Graw – Hill Book Comp., New York, 1971.
10. Lambić, M., Termotehnika sa energetikom, Tehnički fakultet “Mihajlo Pupin”, Zrenjanin, 1998.
11. Lambić, M., Energetika, Tehnički fakultet “Mihajlo Pupin”, Zrenjanin, 2003.
12. Lambić, M., i dr., Neke uporedne karakteristike ravnih prijemnika sunčevog zračenja sa cevno – pločastim i dvoslojno pločastim apsorberom, Zbornik radova jugoslovenskog simpozijuma o praktičnim iskustvima u primeni solarne energije, Zrenjanin, 1984. str 66 – 78.
13. Lambić, M., i dr., Prilog analizi karakteristika ravnih pločastih kolektora, Sunčeva energija, Vol. 3, No. 1 – 2, 1981.
14. Lambić, M., Priručnik za solarno i klasično grejanje, Naučna knjiga, Beograd, 1992.
15. Lambić, M., Samogradnja solarnih uređaja, Tehnička knjiga, Beograd, 1990.
16. Lambić, M., Solarni uređaji, Tehnička knjiga, Beograd, 1987.

17. Lambić, M., i dr., Supplement to the characteristics analysis of plan plate collectors. Proc., "3rd International Congress on the New Energy Sources", Istanbul, 1984. p. 1.1. – 1.12.
18. Lambić, M., Termoenergetika prijemnika sunčeve energije, Tehnička knjiga, Beograd, 1991.
19. Lambić, M., Toplotni gubici kod ravnih prijemnika sunčeve energije, Zbornik radova savetovanja o energiji, Opatija, 1987. str. 1.03.1 – 1.03.8.
20. Lambić, M., Toplotni gubici solarnog prijemnika sa vakuumom u međutransparentnom prostoru, Zbornik radova, Tehnički fakultet "Mihajlo Pupin", Zrenjanin, Vol. 1/1990. str 13 – 22.
21. Lambić, M., The influence of heat – inertia characteristics of solar energy collector on heat losses due the "Respiration efect", Conference Procendigs International Conference on Applied Optics in Solar Energy III, Praha, 1989. p. 11.1 – 11.6.
22. Lambić, M., i dr., Uticaj "Efekta disanja" na energetski bilans prijemnika sunčevog zračenja, 17. Kongres o KGH, Beograd, 1986. str. 271 – 281.
23. Lambić, M., i dr., Degradacija transparentne karakteristike plastične pokrivke prijemnika sunčeve energije, DIT br. 8 – 9 (1997.), str 15 – 24.
24. Lambić, M., Solarno grejanje, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 2002.
25. Lambić, M., Stojićević, D., Solarna tehnika, Srbija Solar, Zrenjanin, 2004.
26. Mc Veight, J. C., Sun Power – An Introduction to the Applications of Solar Energy (2nd Edition), Robert Maxwell, Exeter, 1983.
27. Pavlović, T., Čabrić, D., Fizika i tehnika solarne energetike, Građevinska knjiga, Beograd, 1999.
28. Szokolay, S. V., Solar World Congress, Architectural Science Unit, University of Queensland, Australia, 1984.
29. www.solarnetix.com
30. www.kingsolar.com
31. www.sunearth.com
32. www.sunray.com
33. www.thermocell.com
34. www.ezinc.com
35. www.yudanone.co.yu

36. www.thermosolar.com
37. www.elsol.co.yu
38. Žiar nad Hronom, Slovačka, Thermosolar – Ispitivanje ravnog prijemnika sunčeve energije *Heliostar* po JUS – u M.F5.110. (prevod)

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. STANJE ISTRAŽIVANJA PREDMETNE PROBLEMATIKE	2
3. IDENTIFIKACIJA KLJUČNIH PARAMETARA KONSTRUKCIJE PSE	4
3.1. Termička izolacija	6
3.2. Prozirna pokrivka PSE (transparent)	6
3.3. Kućište PSE, spojni i zaptivni elementi PSE	8
3.4. Anti refleksioni premazi	8
4. ENERGETSKI BILANS RAVNIH PSE	17
4.1. Toplotni bilans ravnih prijemnika	17
4.2. Toplotni gubici PSE	17
4.3. Efektivnost apsorbera (efikasnost prenosa toplote od apsorbera na radni fluid)	34
4.4. Energetska efikasnost PSE	39
5. PREGLED I KARAKTERISTIKE KOMERCIJALNIH TIPOVA RAVNIH PSE	43
5.1. Prijemnik sa tečnošću kao nosiocem toplote – vodeni prijemnik	43
5.1.1. Izgled i konstrukcija prijemnika	43
5.1.2. Detalji konstrukcije prijemnika	45
5.2. Prikaz vodenih termalnih PSE relevantnih proizvođača	46
5.2.1. Solametix	46
5.2.2. King Solar	48
5.2.3. Sun Ray	52
5.2.4. Sunearth	53
5.2.5. Thermocell	54
5.2.6. Helional	55
5.2.7. Nissal	55
5.2.8. Elsol	56
5.2.9. Yugo Danone	57
5.2.10. Ezinc	58
6. KRITIČKA ANALIZA KONSTRUKTIVNIH, ENERGETSKIH I TEHNOLOŠKIH KARAKTERISTIKA KOMERCIJALNIH TIPOVA PRIJEMNIKA SUNČEVE ENERGIJE	60
6.1. Solarni kolektor NAIS – 80	60
6.2. Uticaj konstrukcionih elemenata na povećanje efikasnosti PSE	71
7. EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI PSE	84
7.1. Ispitivanje ravnog prijemnika po JUS M.F5.110.	84
7.1.1. Opis poligona za ispitivanje, način povezivanja i oprema za ispitivanje	84
7.2. Ispitivanje ravnog PSE po JUS M.F5.110. <i>Heliostar 400V – CF</i> Thermosolar Žiar nad Hronom, Slovačka	90

7.2.1. Rezultati ispitivanja ravnog PSE po JUS M.F5.110. <i>Heliostar 400V – CF</i> Thermosolar Žiar nad Hronom, Slovačka	92
7.2.2. Rezultati ispitivanja ravnog PSE po JUS M.F5.110. <i>Heliostar 200</i> Thermosolar Žiar nad Hronom, Slovačka	99
7.2.3. Rezultati ispitivanja ravnog PSE po JUS M.F5.110. <i>Heliostar 202N2P</i> Thermosolar Žiar nad Hronom, Slovačka	100
7.2.4. Rezultati ispitivanja ravnog PSE po JUS M.F5.110. <i>Heliostar 202N2L</i> Thermosolar Žiar nad Hronom, Slovačka	101
7.2.5. Rezultati ispitivanja ravnog PSE po JUS M.F5.110. <i>Heliostar 320N2L</i> Thermosolar Žiar nad Hronom, Slovačka	102
7.2.6. Rezultati ispitivanja ravnog PSE po JUS M.F5.110. <i>Heliostar 380N2L – C</i> Thermosolar Žiar nad Hronom, Slovačka	103
7.2.7. Rezultati ispitivanja ravnog PSE po JUS M.F5.110. <i>Heliostar 400V</i> Thermosolar Žiar nad Hronom, Slovačka	104
7.2.8. Rezultati ispitivanja PSE OCU – 2	105
7.2.9. Rezultati ispitivanja PSE <i>ŠINVOZ</i>	109
7.2.10. Rezultati ispitivanja PSE <i>ELSOL</i> – Požarevac	112
LITERATURA	117