

Ključne riječi: Kolektor sunčevog zračenja  
Mjerenja toplinskog učina i pada tlaka  
Faktor iskorištenja kolektora

## SAŽETAK

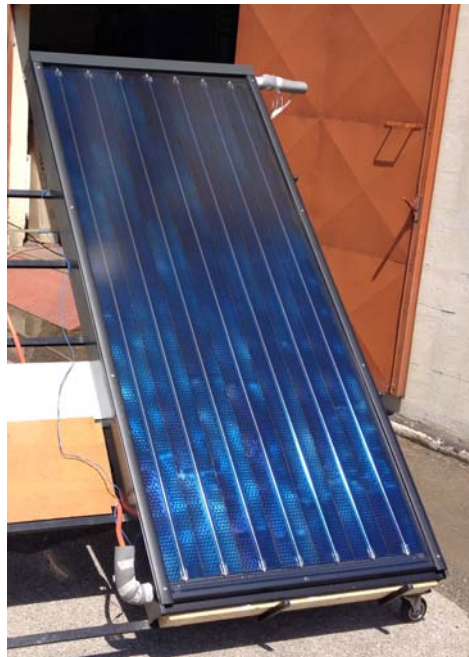
U izvješću su dane toplinsko-hidrauličke karakteristike pločastog kolektora sunčevog zračenja tip **So Kol S** bruto površine 2,52 m<sup>2</sup>. Provedena su ispitivanja učina s vodom kao nosiocem topline prema normi HRN EN 12975-2. Određen je učin za niz ulaznih temperatura vode pri prirodnoj insolaciji te izračunat faktor iskorištenja uz određivanje funkcijske ovisnosti o temperaturi vode, okoline i insolaciji. Izmjereni pad tlaka dan je u ovisnosti o protoku medija. Izvršen je vizualni pregled i provedena tlačna proba čiji su rezultati zadovoljili uvjete iz navedene norme. Izmjerene toplinsko-hidrauličke karakteristike su uspoređene s podacima ostalih proizvođača.

## 1. UVOD

Kolektor sunčevog zračenja tip **So Kol S** proizvođača SOLAR MONTAŽE, Zorislav Krušić, Topolje, Puškaš 3, 31304 Duboševica, primjenjuje se prvenstveno u sustavima za zagrijavanje potrošne tople vode i vode za bazene te u sustavima centralnog grijanja s akumulacijom topline. Proizvodi se po mjeri u veličinama od 2,26 m<sup>2</sup> do 25 m<sup>2</sup> bruto površine. Mjerenja toplinskih i hidrauličkih karakteristika kolektora provedena su u dijelu Laboratorija za toplinu i toplinske uređaje za ispitivanje uređaja i sustava za korištenje obnovljivih izvora energije "Sunce" pri Fakultetu strojarstva i brodogranje Sveučilišta u Zagrebu i to prema normi HRN EN 12975-2. Primijenjena je otvorena mjerna staza za ispitivanje pri prirodnoj insolaciji s vodom kao nosiocem topline. Također izvršeni su vizualni pregled i tlačna kolektora.

## 2. OBJEKT MJERENJA

Kolektor sunčevog zračenja tip **So Kol S** proizvođača SOLAR MONTAŽE, je pločasti kolektor namijenjen prijemu sunčevog zračenja u svrhu zagrijavanja nosioca topline (voda, rasolina) koji struji kroz kolektor.

Slika 1 Pločasti kolektor sunčevog zračenja tip **So Kol S**

Na apsorbersku ploču kolektora pričvršćen je registar od 7 paralelno postavljenih Cu cijevi romboidnog poprečnog presjeka s ulaznom i izlaznom razvodnom Cu cijevi promjera 22 mm. Spoj Cu cijevi s apsorpcijskom Al pločom je mehanički. Kolektor je izoliran sa stražnje strane slojem izolacije od kamene vune debljine 70 mm, a sa bočne 20 mm. Pokrovno staklo je kaljeno debljine 4 mm, elastično brtvljeno i učvršćeno za okvir. Apсорber je tip Sunstrip i sastoji se od niza Al traka na koje je nanesen visoko učinkoviti premaz. Kućište kolektora je izrađeno od Al lima debljine 0,7 mm i OSB ploče debljine 12 mm na stražnjoj strani pokrivena Al limom. Tehnički podaci o karakteristikama kolektora dani su u Tablici 1.

Tablica 1 Karakteristike kolektora **So Kol S**, SOLAR MONTAŽE

Dimenzije kolektora	(mm)	1070×2356×130
Bruto površina	(m <sup>2</sup> )	2.52
Površina upada svjetlosti	(m <sup>2</sup> )	2.21
Premaz apsorbera		Sunstrip
Apsorpcijski koeficijent	(%)	96 ± 2
Emisijski koeficijent	(%)	7 ± 2
Cijevni registri	(mm)	7 romboidnih cijevi
Sakupljačke cijevi	(mm)	promjer 22 mm
Transparentni pokrov		4 mm kaljeno solarno staklo
Transmisijski koeficijent	(%)	91.3
Broj priključaka	(kom)	4
Max. radni pretlak	(bar)	6
Toplinska izolacija	(mm)	70 mm kamene vune

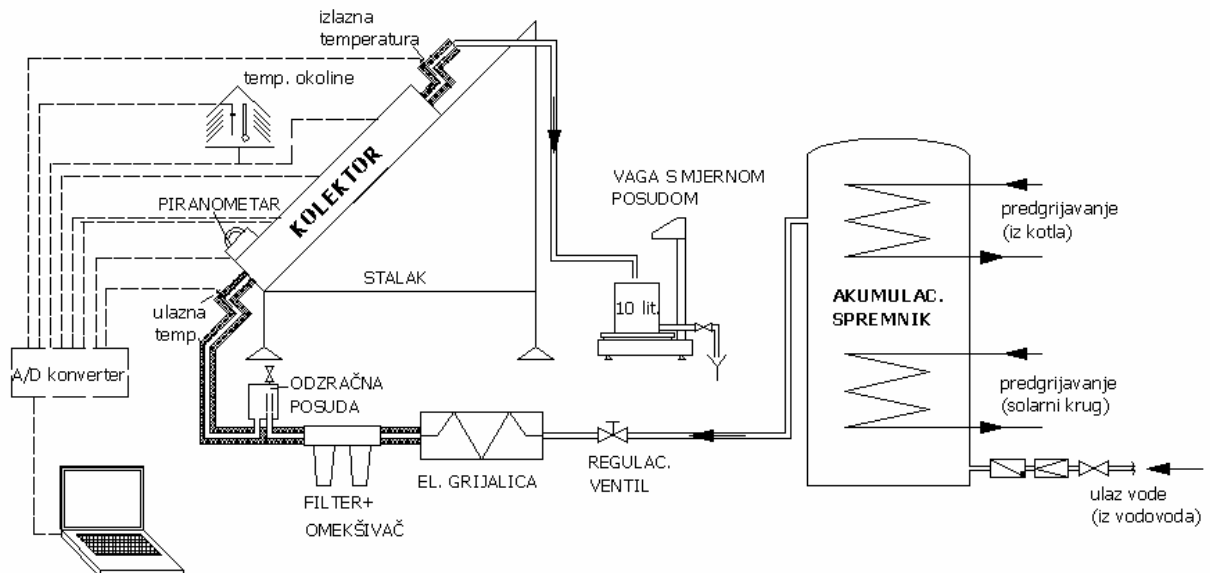
stražnjeg dijela		
Toplinska izolacija stranica		20 mm kamene vune
Radni medij u sustavu		mješavina propilen-glikola i vode

### 3. MJERENJE I MJERNA OPREMA

#### 3.1 MJERNA LINIJA

Mjerna linija sastoji se od kolektora sunčevog zračenja postavljenog na stalak pod kutem od 45° prema horizontali (Slika 2). Kroz kolektor prolazi voda pri jednolikom protoku i jednolikoj ulaznoj temperaturi. Željena temperatura na ulazu se postiže uz pomoć električne grijalice čija se snaga regulira zakretnim transformatorom. Protok vode se mjeri uz pomoć vage, te kontrolira preko ventila i staklenog pokazivača protoka. Ulazna i izlazna temperatura vode mjeri se uz pomoć termoparova postavljenih na način prikazan Slikom 2, a koji omogućuje dobro miješanje slojeva vode pri relativno malim ispitnim protocima od 0.02 kg/s±10% po m<sup>2</sup> površine kolektora. Insolacija se mjeri piranometrom globalnog zračenja (direktno+difuzno) postavljenim pod istim kutem prema horizontali kao i kolektor. Okolišna temperatura se mjeri zasjenjenim termoparom i živinim termometrom. Mjerenje pada tlaka vrši se na ulaznim i izlaznim priključcima kolektora uz pomoć diferencijalnog mjeraca tlaka.

Sva očitavanja termoparovima, piranometrom i diferencijalnim mjeracem tlaka se prikupljaju u vremenskim intervalima od 30 s putem akvizicijskog sustava za kontinuirano praćenje i pohranjuju u računalu.



Slika 2 Shematski prikaz mjerne linije za određivanje toplinsko-hidrauličkih karakteristika kolektora

### 3.2 MJERNA OPREMA

#### 3.2.1 Mjerenje temperatura

Ulazne i izlazne temperature vode te temperatura okolišnog zraka mjerene su termoparovima bakar-konstantan razreda točnosti  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  spojenih preko A/D converter-a "Agilent" tip 34970A switch unit s.br. MY 41022529, 34901A 20-channel multiplexer module na računalo čime je omogućeno praćenje stacioniranja temperatura tijekom perioda mjerenja. Temperatura okolišnog zraka kontrolirana je zasjenjenim živinim termometrom razreda točnosti  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ .

#### 3.2.2 Mjerenje protoka

Protok je mjereno uz pomoću mjerne vage "Ohaus" tip CH30R11 *preciznosti  $\pm 10\text{g}$* . Tijekom svake periode mjerenja izvršeno je 5 kontrolnih mjerenja namještenog protoka.

#### 3.2.3 Mjerenje sunčevog zračenja

Dozračena energija globalnog sunčevog zračenja mjerena je visoko preciznim ('secondary standard' prema klasifikaciji Svjetske meteorološke organizacije i ISO 9060) piranometrom Kipp&Zonen tip CM 11 mjernog područja valnih duljina  $\lambda = (0.3 \div 2.8) \mu\text{m}$ , rezolucije  $\pm < 1\text{W/m}^2$  u mjernom opsegu od  $(0 \div 1400) \text{W/m}^2$  i kalibracijske konstante  $5.11 \text{mV}/(\text{W/m}^2)$ .

#### 3.2.4 Mjerenje pada tlaka

Pad tlaka mjereno je uz pomoć diferencijalnog mjerača tlaka tip OMEGA PX 750 radnog područja do 37365 Pa.

*Napomena: Svi uređaji su umjereni prije ispitivanja.*

### 3.3 POSTUPAK MJERENJA

#### 3.3.1 Mjerenja učina kolektora

Mjerenja se provode pri konstantnoj insolaciji od najmanje  $600 \text{W/m}^2$  u ravnini kolektora, koja pak smije varirati  $< 50 \text{W/m}^2$  tijekom ispitivanja, dok ulazna temperatura smije varirati najviše  $\pm 0.1^\circ\text{C}$ , okolišnja  $\pm 1^\circ\text{C}$  a protok vode  $\pm 1\%$ . Nakon namještanja protoka i ulazne temperature vode te osiguranja gore navedenih uvjeta u periodu mjerenja od 30 minuta, posljednjih 15 minuta te periode stacioniranja bilježe se vrijednosti temperatura, insolacije i protoka, pa potom integriraju i osrednjavaju. Razlika temperatura vode na izlazu i ulazu iz kolektora mora biti manja od 15 K i veća od 1.5 K. Rezultati su prikazani u Dijagramima 1a,b u obliku funkcijske ovisnosti faktora iskorištenja kolektora o temp.vode u kolektoru, temp. okoline i insolaciji.

#### 3.3.2 Mjerenja pada tlaka

Mjerenje pada tlaka nosioca topline(vode) pri prolasku kroz kolektor provodi se pri ulaznim temperaturama vode koje ne odstupaju više od  $\pm 5^\circ\text{C}$  od temperature okolišnjeg zraka. Ukoliko proizvođač nije odredio preporučene vrijednosti protok, mjerenje se provodi u rasponu od  $0,005-0,3 \text{kg/s}$  po  $\text{m}^2$  površine kolektora.

Mjerene veličine su temperatura vode na ulazu u kolektor, protok vode kroz kolektor, razlika tlaka na priključcima pri prolasku vode od donjeg prema gornjem rubu kolektora.

### 3.3.3 Provjera najviše dopuštenog radnog tlaka

Tlačna proba se provodi pri ispitnom tlaku koji je 1,5 puta veći od deklariranog najvećeg dopuštenog radnog tlaka. Ispitivanja se provode pri okolišnoj temperaturi od 5-30°C. Nakon što se ručnom pumpom priključenom na donji ulazni priključak kolektora (izlazni je začepljen) ostvari zadani tlak u cijevnom registru, takvo se stanje održava 15 minuta te provjerava eventualno postojanje mjesta propuštanja.

## 4. PRORAČUN UČINA I FAKTORA ISKORIŠTENJA

Učin kolektora određuje se na temelju izmjerenih veličina masenog protoka i temperatura ulazne i izlazne vode prema izrazu:

$$\Phi_k = q_m \cdot c_p \cdot (\vartheta_i - \vartheta_u) \quad [\text{W}] \quad (1)$$

$c_p$  [J/kgK]- specifični topl. kapacitet određen za srednju temp. kolektora  $\vartheta_{kol,sr}$  (5),  
 $\vartheta_u$  i  $\vartheta_i$  [°C]- ulazne i izlazne temperature vode

Maseni protok se dobiva vaganjem u vremenu  $\tau$

$$q_m = \frac{m}{\tau} \quad [\text{kg/s}] \quad (2)$$

Faktor iskorištenja (efikasnost) kolektora definirana je kao odnos učina kolektora i ukupno dozračene energije sunca

$$\eta = \frac{\Phi_k}{\Phi_{sun}} = \frac{\Phi_k}{G_{sun} \cdot A_k} \quad (3)$$

gdje je  $A_k$  [m<sup>2</sup>] netto površina ozračene plohe kolektora (pokrovnog stakla),  $\Phi_{sun}$  [W] ukupno dozračena energija sunca na površinu  $A_k$ ,  $G_{sun}$  [W/m<sup>2</sup>] piranometrom izmjerena ukupno dozračena energija sunca (insolacija) na 1 m<sup>2</sup> ozračene plohe kolektora.

Funkcijska ovisnost faktora iskorištenja o temperaturi okolišnjeg zraka  $\vartheta_z$  svodi se na reduciranu temperaturu  $\Delta\vartheta$  i insolaciju  $G_{sun}$  prema:

$$\Delta\vartheta = \vartheta_{kol,sr} - \vartheta_{ok} \quad [^\circ\text{C}] \quad (4)$$

gdje je  $\vartheta_{kol,sr}$  srednja temperatura vode u kolektoru

$$\vartheta_{kol,sr} = \frac{\vartheta_{ulaz} + \vartheta_{izlaz}}{2} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (5)$$

Faktor iskorištenja (efikasnost) kolektora prikazuje se u obliku funkcije

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{\Delta \vartheta}{G_{sun}} - a_2 \cdot G_{sun} \left( \frac{\Delta \vartheta}{G_{sun}} \right)^2 \quad (6)$$

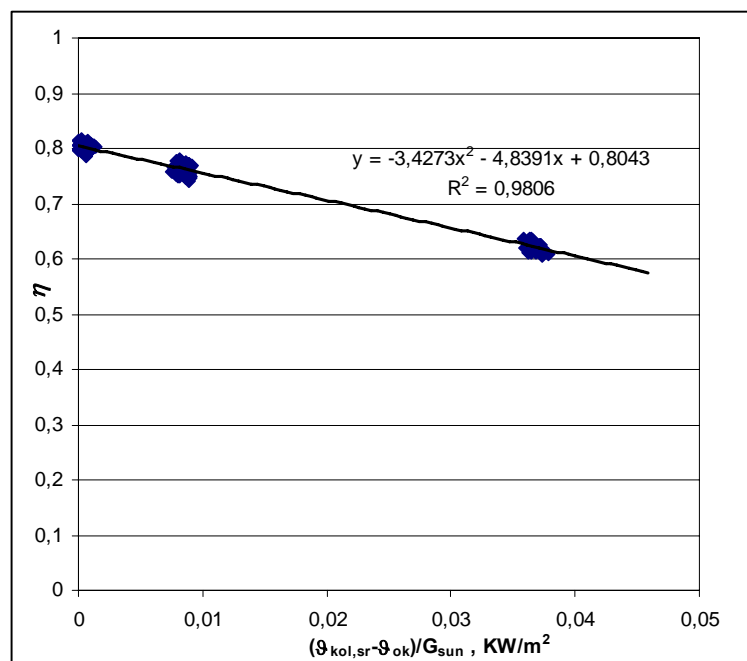
gdje su  $a_1$  i  $a_2$  konstante koje se određuju metodom najmanjih kvadrata iz rezultata mjerenja, a  $\eta_0$  je faktor pretvorbe i određuje se za slučaj kada su okolišnja temperatura i srednja temperatura vode jednake.

Izraz (6) omogućuje prikaz radnih parametara kolektora za zadane uvjete pogona i insolaciju, srednju temperaturu vode u kolektoru te temperaturu okolišnog zraka. Učin kolektora se tada za proizvoljne parametre određuje prema:

$$\Phi_k = \eta \cdot A \cdot G_{sun} \quad [\text{W}] \quad (7)$$

## 5. REZULTATI MJERENJA

Rezultati toplinskih i hidrauličkih mjerenja dani su u Dijagramima 1a,b i 2a,b. U Dijagramima 1a,b su dane regresijske krivulje faktora iskorištenja u ovisnosti o temperaturi radnog medija, okolišnog zraka i insolaciji. U Tablici 2 su dani koeficijenti regresijske krivulje faktora iskorištenja. U dijagramu 1b dana je usporedba kolektora **So Kol S** s kolektorima drugih proizvođača. U Dijagramu 2a je dana regresijska krivulja pada tlaka u ovisnosti o masenom protoku, a u Dijagramu 2b usporedba pada tlaka s podacima ostalih proizvođača koji također imaju paralelni spoj cijevi u registru. Provedena tlačna proba pri 10 bar za radni tlak od 6 bar pokazala je da nema nikakvih propuštanja niti oštećenja dijelova pod tlakom.

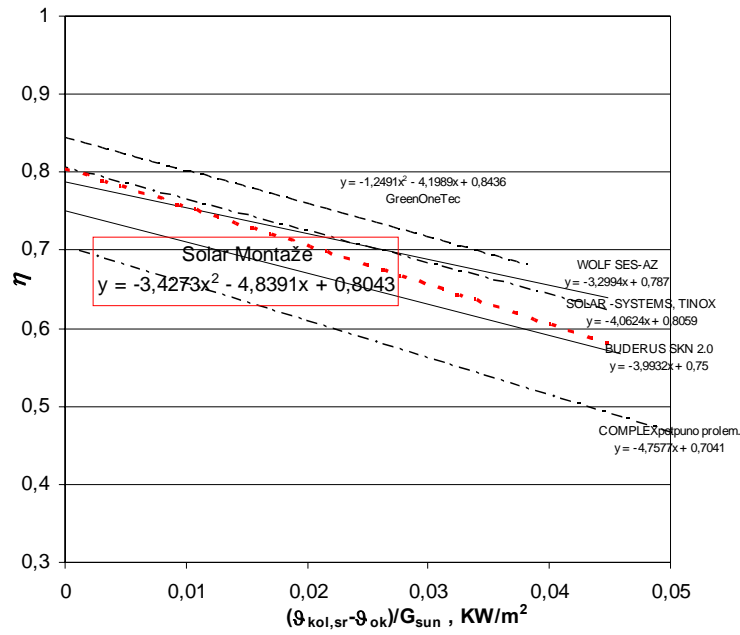


Dijagram 1a Ovisnost faktora iskorištenja kolektora **So Kol S** o temperaturi vode u kolektoru, temp. okoline i insolaciji (svedeno na površinu upada svjetlosti  $A_k=2.21 \text{ m}^2$ )

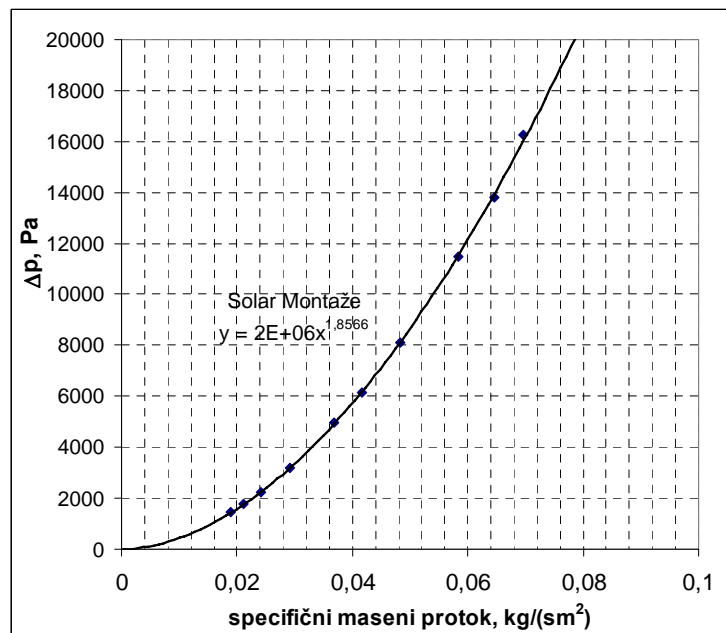
Tablica 2 Koeficijent regresijske krivulje faktora iskorištenja kolektora **So Kol S**

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot \frac{\Delta\vartheta}{G_{sun}} - a_2 \cdot G_{sun} \left( \frac{\Delta\vartheta}{G_{sun}} \right)^2$$

$\eta_0$	0,804	-
$a_1$	4,839	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$
$a_2$	0,00367	$\text{W}/(\text{m}^2\text{K}^2)$

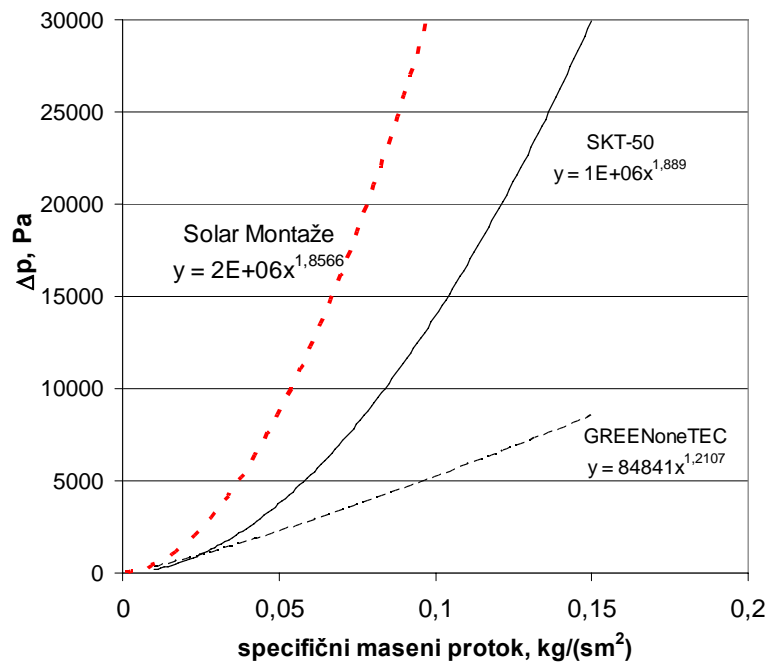


Dijagram 1b Usporedba mjerenih vrijednosti faktora iskorištenja  $\eta_{So\ Kol\ S}$  s podacima ostalih proizvođača



Dijagram 2a Izmjerene vrijednosti pada tlaka za  $\eta_{So\ Kol\ S}$





Dijagram 2b Usporedba padova tlaka **So Kol S** s podacima ostalih proizvođača (protok sveden na  $\text{m}^2$  površine kolektora)

## 6. KOMENTAR REZULTATA I ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata mjerenja dobivena je krivulja faktora iskorištenja (efikasnosti) koja omogućuje određivanje učina kolektora za proizvoljne uvjete rada zadane insolacijom, srednjom temperaturom vode u kolektoru te temperaturom okolišnog zraka. Također temeljem rezultata mjerenja dobivena je krivulja pada tlaka u ovisnosti o različitim masenim protocima radnog medija.

Dobivene krivulje faktora iskorištenja i pada tlaka pružaju mogućnost direktne usporedbe toplinsko-hidrauličkih karakteristika ispitanog kolektora s onima drugih proizvođača čije su krivulje određene prema istoj normi.

Kolektor je zadovoljio uvjete iz norme u pogledu vizualnog pregleda i tlačne probe.

U Zagrebu, 23.07.2012.

Izvešće izradio

---

Doc.dr.sc. Damir Dović