

# Dinamička simulacija energetskeg sistema zatvorenih plivačkih bazena primenom programskog paketa TRNSYS

Dragoljub S. Živković\*, Marko V. Mančić, Dragan S. Milčić

Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet u Nišu  
Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija

e-mail: [dzivkovic@masfak.ni.ac.rs](mailto:dzivkovic@masfak.ni.ac.rs); [markomancic.ni@gmail.com](mailto:markomancic.ni@gmail.com); [milcic@masfak.ni.ac.rs](mailto:milcic@masfak.ni.ac.rs)

**Sadržaj** — Energetska analiza zatvorenih plivačkih bazena, izvršena primenom metode energetskeg bilansiranja, pokazala je da postoje brojne mogućnosti za povećanje energetske efikasnosti. Dve ključne mere su: izgradnja sopstvene kotlarnice na prirodni gas ili biomasu i uvođenje solarnih kolektora radi zagrevanja vode za potrebe grejanja i pripremu sanitarne tople vode.

U radu je izvršena dinamička simulacija energetskeg sistema zatvorenih plivačkih bazena nakon uvođenja autonomnog sistema grejanja, zasnovanog na prirodnom gasu ili mazutu, i solarnih kolektora, radi pripreme sanitarne tople vode. Rezultati numeričke analize pokazuju da je primena solarnih kolektora dovela do značajnog povećanja energetske efikasnosti sistema i bitnog smanjenja emisije CO<sub>2</sub>, gasa sa efektom staklene bašte.

**Ključne reči** - energetske bilansiranje; energetska efikasnost; zatvoreni plivački bazen, dinamička simulacija

## I. UVOD

U Sportsko rekreativnom centru (SRC) „Dubočica“ nalaze se tri bazena čije su površine 1050 m<sup>2</sup>, 330 m<sup>2</sup> i 100 m<sup>2</sup>, dubine 2 m, 1,45 m i 0,5 m respektivno (sl.1). Ukupna vodena površina bazena iznosi 1480 m<sup>2</sup>. Za potrebe obezbeđenja uslova termičkog komfora u hali bazena i pomoćnim prostorijama instalisan je energetskeg sistem ukupne snage izmenjivača toplote od približno 3,35 MW (tab.1) [1]. Bazen radi u dve dnevne i jednoj noćnoj smeni koje traju po 4 sata. Korisnici bazena su odrasli ljudi, deca i sportisti u ukupnom broju od oko 55000 posetilaca godišnje.

Na osnovu instalisanih snaga izmenjivača toplote vidi se da se najveća količina toplotne energije troši za potrebe zagrevanja bazenske vode, vazdušno grejanje i ventilaciju hale bazena. Osnovne potrebe za vazduhom u hali bazena diktirane su veličinom kondenzacije na zidovima i staklenim površinama. Ventilacija najčešće preuzima i približno 50 do 70 % grejanja hale bazena. Količina vazduha za ventilaciju zavisi od načina prečišćavanja vode bazena. Naime, ako se u vodu umesto hlora stavlja ozon, može se smanjiti količina vazduha potrebna za ventilaciju.

Za potrebe pripreme sanitarne tople vode osim izmenjivača toplote predviđeni su i elektro grejači snage 60

kW. Izmenjivači toplote i elektro grejači smešteni su u bojleru ukupne zapremine 5 m<sup>3</sup>.

Snabdevanje zatvorenih plivačkih bazena toplotnom energijom vrši se iz toplane na mazut kompanije „Zdravlje – Aktavis“, koja se nalazi na oko 200 m udaljenosti. U toplani ovog preduzeća ugrađeni su kalorimetri koji mere količinu predate toplotne energije. Isporučilac toplotne energije za proračun troškova preko „utrošene“ količine mazuta koristi konverzioni faktor 7,51.

Tabela 1. Instalirana snaga izmenjivača toplote [1]

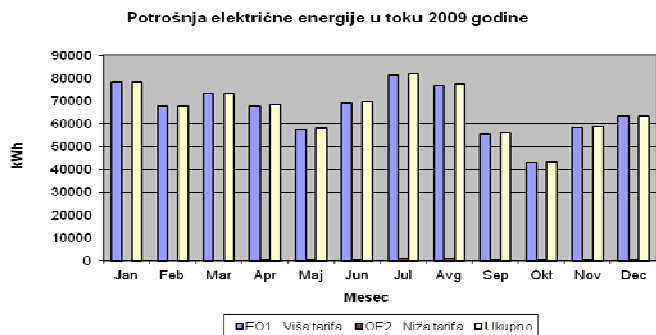
Radijatorsko grejanje (90/70 °C)	276,2 kW
Konvektorsko grejanje za odmagljivanje stakla hale (90/70 °C)	261,6 kW
Podno grejanje hale bazena (35/45 °C)	87,5 kW
Priprema sanitarne tople vode (60 °C)	145,1 kW
Zagrevanje bazenske vode (24 do 26 °C)	1510,0 kW
Vazdušno grejanje i ventilacija	1069,5 kW
- Ventilacione komore za odmagljivanje stakla bazenske hale	518,2 kW
- Ventilaciona komora tribine hale bazena	403,1 kW
- Ventilaciona komora za ventilaciju holova	96,8 kW
- Ventilaciona komora za ventilaciju garderobe	51,4 kW
Ukupno instalirana snaga izmenjivača toplote	3349,9 kW



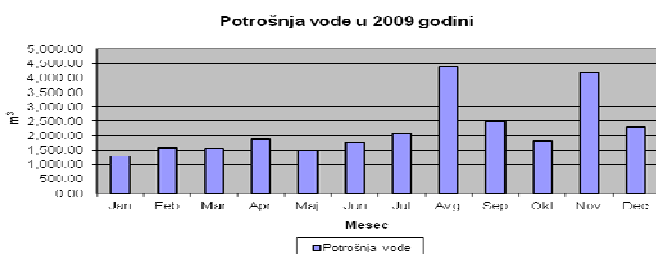
Slika 1. Zatvoreni plivački bazeni u SRC „Dubočica“ u Leskovcu

## II. REZULTATI ENERGETSKOG BILANSIRANJA

Rezultati energetskog bilansa predstavljeni su na slikama 2 i 3 i tabelama 2 do 5 i dijagramima [2]. Za baznu godinu izabrana je 2009. godina zato što ona predstavlja vremenski period za koji postoje kompletni podaci o odgovarajućoj energetskoj potrošnji. Kako je to već uobičajeno, u okviru energetskog bilansa prikazan je i utrošak vode (tab.4, sl.3).



Slika 2. Dijagram potrošnje električne energije u toku 2009. godine



Slika 3. Dijagram potrošnje vode u toku 2009. godine

Tabela 2. Potrošnja mazuta i emisija CO<sub>2</sub> u toku referentne 2009. godine

Energent br. 1	Potrošnja mazuta i emisija CO <sub>2</sub>			
	Mesec, god.	Potrošnja mazuta (t)	Proizvedena energija (MWh)	Emisija CO <sub>2</sub> (t)
Jan, 2009		42,00	462,0	129,360
Feb, 2009		21,00	231,0	64,680
Mar, 2009		33,00	363,0	101,640
Apr, 2009		38,00	418,0	117,040
Maj, 2009		12,00	132,0	36,960
Jun, 2009		8,00	88,0	24,640
Jul, 2009		4,00	44,0	12,320
Avg, 2009		7,00	77,0	21,560
Sep, 2009		10,00	110,0	30,800
Okt, 2009		33,00	363,0	101,640
Nov, 2009		29,00	319,0	89,320
Dec, 2009		44,00	484,0	135,520
Ukupno 2009		281,00	3091,0	865,480

### A. Indikatori energetske efikasnosti

Indikatori energetske efikasnosti predstavljaju specifične energetske pokazatelje koji se koriste za definisanje potencijala uštede potrošnje energije i utvrđivanje mogućih

Tabela 3. Vrednosti indikatora energetske efikasnosti za zatvorene plivačke bazene\* [3,4]

Indikatori energetske potrošnje na nivou godine	Željene vrednosti	Stvarne vrednosti
Potrošnja toplotne energije [kWh/m <sup>2</sup> ]	1800	2089
Potrošnja električne energije [kWh/m <sup>2</sup> ]	414	538
Potrošnja toplotne energije po posetiocu [kWh]	9,5	56,2
Potrošnja vode po posetiocu [m <sup>3</sup> ]	0,1–0,25	0,486
Instalisana snaga izmenjivača toplote [kW/m <sup>2</sup> ]	3,0	2,26

\* Vrednosti indikatora energetske efikasnosti date su po metru kvadratnom površine vodenog ogledala.

efekata sprovođenja mera za povećanje energetske efikasnosti (tab.3). Njihov značaj je u tome što se poređenjem proračunatih (stvarnih) vrednosti indikatora, dobijenih na osnovu prikupljenih podataka, sa ciljnim vrednostima indikatora energetske efikasnosti [2,3,4,5], može jasno uočiti u kojim sektorima su moguća smanjenja potrošnje energije i koji sektori su dovoljno efikasni.

Upoređivanjem proračunatih (stvarnih) vrednosti indikatora energetske efikasnosti sa ciljnim vrednostima indikatora može se zaključiti da postoje mogućnosti za povećanje energetske efikasnosti smanjenjem potrošnje, i to:

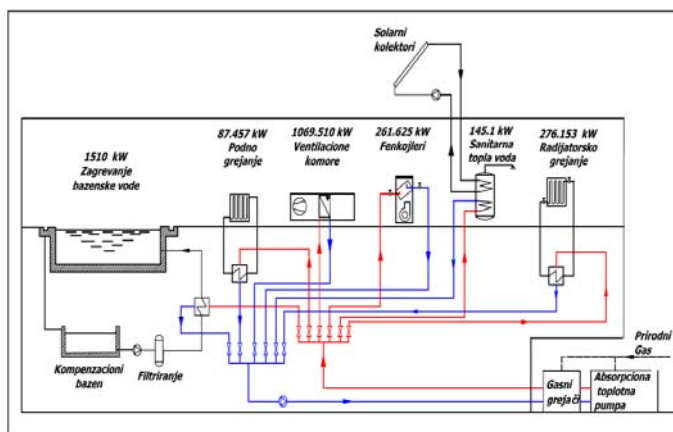
- potrošnja toplotne energije se može smanjiti minimalno za oko 14%,
- potrošnja električne energije se može smanjiti minimalno za oko 23% i
- potrošnja vode se može smanjiti minimalno za oko 50%.

Parametar koji je najnepovoljniji odnosi se na godišnju potrošnju toplotne energije po posetiocu/korisniku bazena. Naime, stvarna vrednost godišnje potrošnje toplotne energije po korisniku iznosi 56,2 kWh, što je skoro 6 puta više od preporučene vrednosti tog parametra koja iznosi 9,5 kWh. Jedini način da se vrednost ovog parametra popravi jeste povećanje broja korisnika bazena što predstavlja zadatak ne samo od ekonomskog već od šireg društvenog značaja.

### B. Predlog mera za povećanje energetske efikasnosti

Povećanje energetske efikasnosti ima za cilj smanjenje utroška energije a posledica toga su poboljšanje ekonomske situacije i bolja zaštita životne sredine. Tipične mere za povećanje energetske efikasnosti su: uvođenje spregnute proizvodnje toplotne i električne energije, poboljšanje toplotne izolacije zgrade, zamena stolarije, zamena delova cevovoda u sistemu daljinskog grejanja, korišćenje pumpi i kompresora sa elektromotorima promenljive brzine, automatizacija energetskog sistema, korišćenje obnovljivih izvora energije, kao i upotreba modernih i efikasnijih sistema osvetljenja i sl.

U radu [10], kao dve ključne visokobudžetske mere, predloženi su:



Slika 4. Prikaz novog rešenja energetskog sistema zatvorenih plivačkih bazena

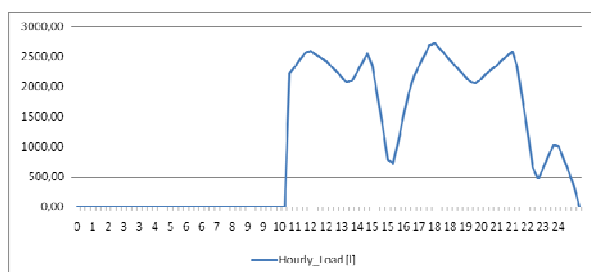
- izgradnja sopstvene kotlarnice na prirodni gas ili biomasu i
- uvođenje solarnih kolektora radi zagrevanja vode za potrebe grejanja i pripremu sanitarne tople vode (sl.4).

### III. DINAMIČKA SIMULACIJA ENERGETSKOG SISTEMA ZATVORENIH PLIVAČKIH BAZENA

Simulacija energetskog sistema zatvorenih plivačkih bazena izrađena je pomoću softverskog paketa TRNSYS 17, koji je specijalizovan za proračune različitih sistema koji u sebe uključuju i solarne sisteme.

Na sl.5, datoj u Prilogu, prikazana je šema kombinovanog postrojenja za proizvodnju tople vode koja je korišćena za simulaciju procesa. Sastavni delovi šeme su: kolektorsko polje, akumulator toplote, kotao na prirodni gas/mazut, pumpe, razdelnik, sabirnik, upravljački i regulacioni sistemi, meteorološki podaci i zadata opterećenja sistema.

Dinamička simulacija je sprovedena za 6-to mesečni period eksploatacije zatvorenih plivačkih bazena od 15. aprila do 15. oktobra. Ovaj period eksploatacije je izabran zato što tada dolazi do izražaja upotreba solarnih kolektora. Pošto se proračun kombinovanog sistema za proizvodnju sanitarne tople vode vrši za letnji režim rada, kao radni fluid u primarnom krugu, koji struji kroz solarne kolektore, usvojena je voda jer nema opasnosti od zamrzavanja fluida. U suprotnom bi bilo potrebno usvojiti neki drugi nosilac toplote čija je temperatura mržnjenja niža od najniže temperature koja se može javiti tokom rada kombinovanog sistema.



Slika 6. Pretpostavljeni dnevni profil potrošnje STV

Model potrošnje sanitarne tople vode (STV) napravljen je sa vremenskim korakom od 1h. Pretpostavka je da se potrošnja vode menja svakog dana po istom zakonu. Formirani model potrošnje odgovara maksimalnoj dnevnoj poseti bazena od 500 posetilaca, pri čemu se za svakog posetioca potroši 50 litara STV [4]. Profil potrošnje je urađen za letnji režim, kada SC Dubočica radi u 3 smene (10-14h, 15-19h i 20–24h). Dnevna promena potrošnje STV data je na sl. 6.

Za potrebe zagrevanja bojlera zapremine 5m<sup>3</sup>, Sportskog centra „Dubočica”, odabrano je solarno polje površine 400m<sup>2</sup>. Razmatrani kolektori su tipa Viessman Vitasoll 100F. Preporuka je da minimalna temperatura STV u sportskim centrima i plivačkim bazenima bude temperature 45°C [4]. Karakteristike solarnih polja različite površine date su u tabeli 4.

Akumulator toplote je modeliran kao stratifikovani toplotni akumulator sa visine 2.5m sa 10 nodalnih tačaka. Visina i zapremina rezervoara odgovara izvedenom stanju sistema STV u Sportskom centru „Dubočica”.

Tabela 4. Karakteristike solarnih polja različitih površina

Površina solarnog polja [m <sup>2</sup> ]	Protok pumpe [kg/h]	Potrošnja električne energije za grejanje STV [kWh]	Razmenjena količina toplote u solarnom polju [kWh]
100	1200	77 506,87	35 655,28
200	2400	61 223,93	59 471,82
300	3600	51 932,54	71 582,57
400	4800	48 188,80	77 245,16
500	6000	45 662,18	81 122,46

\* Sistem upravljanja električnih zagrejača je podešen tako da se održava temperatura vode 65°C, sa histerezisom 10°C

#### A. Rezultati dinamičke simulacije

Sinteza i simulacija postrojenja izvršena je pomoću TRNSIS softvera, primenom standardne biblioteke komponenta. Analizom objekta, i njegove lokacije, utvrđeno je da postoji mogućnost upotrebe pločastih solarnih kolektora, koji bi mogli da se instaliraju na površini pored objekta [5,6]. Kako bi se utvrdio potencijal za primenu solarne energije, urađena je simulacija polugodišnje prosečne proizvodnje toplotne energije primenom ovih kolektora za snabdevanje objekta toplom vodom tokom polovine godine.

Rezultati simulacije pokazuju da je ovaj sistem, sa cirkulacionom pumpom nominalnog protoka 500kg/h, u stanju da obezbedi dovoljnu temperaturu vode u akumulatoru, tj. dovoljnu temperaturu STV za pretpostavljeni profil potrošnje vode. Na slici 7, datoj u Prilogu, prikazana je promena temperature na izlazu iz polja solarnog kolektora.

U toku navedenog perioda sanitarna topla voda se uglavnom priprema korišćenjem električnih grejača snage 60 kW, koji su u toku dana uključeni oko 12 sati. Ukupno utrošena električna energija za 6 meseci za potrebe pripreme sanitarne tople vode (STV) iznosi, dakle, približno:  $Q_{STV_{el}}=131760 kWh$ .

Na osnovu potrebnog konzuuma STV određuje se da je 6-to mesečna potrošnja energenata u kotlu za potrebe pripreme STV:

Prirodnog gasa:

$$B_{pg} = \frac{Q_{STVel}}{H_{dpg} \cdot \eta_k} = \frac{131760 \cdot 3600}{34000 \cdot 0,89} = 15675,35 m^3$$

Mazuta:

$$B_m = \frac{Q_{STVel}}{H_{dm} \cdot \eta_k} = \frac{131760 \cdot 3600}{39000 \cdot 0,89} = 13665,69 kg,$$

gde su  $H_{dpg}$  i  $H_{dm}$  donja toplotna moć prirodnog gasa i mazuta, a  $\eta_k$  stepen korisnosti kotla.

Produkcija  $CO_2$  koja nastaje prilikom pripreme STV iznosi:

pri korišćenju električne energije: 105,41 t  $CO_2$ ,  
pri korišćenju prirodnog gasa: 26,35 t  $CO_2$  i  
pri korišćenju mazuta: 36,89 t  $CO_2$ .

Ostali rezultati dinamičke simulacije energetskog sistema zatvorenih plivačkih bazena u Sportsko rekreacionom centru „Dubočica“ dati su na slikama 8,9 i 10 u Prilogu.

#### ZAHVALNICA

Ovaj rad je urađen u okviru projekta III 42006 – „Istraživanje i razvoj energetski i ekološki visoko efektivnih poligeneracionih sistema zasnovanih na korišćenju obnovljivih izvora energije” i projekta TR 33015 - „Istraživanje i razvoj srpske kuće neto-nulte energetske potrošnje“ (2011-2014), finansiranih od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije. Izražavamo zahvalnost Ministarstvu prosvete i nauke Republike Srbije.

#### LITERATURA

- [1] Projektna dokumentacija zatvorenih plivačkih bazena u SRC „Dubočica“, Javno preduzeće „Direkcija za urbanizam i izgradnju“, Leskovac, 1996.  
[2] Živković D., Milčić S., Stefanović V., Mančić M., Pavlović S., Analiza energetske efikasnosti zatvorenih plivačkih bazena primenom metode energetskog bilansiranja, Zbornik radova, 43. Međunarodni kongres i izložba o grejanju, hlađenju i klimatizaciji, Beograd, 2012., s.289-298.  
[3] Tehnička uputstva Udruženja inženjera Nemačke – VDI (Verein Deutscher Ingenieure e.V.) 3807

[4] Recknagel H., Sprenger E., Grejanje i klimatizacija, Građevinska knjiga, 1982.

[5] Lambić M., Solarna tehnika, Srbija Solar, Novi Sad, 2004.

[6] Lukić N., Babić M., Solarna energija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 2008.

#### ABSTRACT

Results of energy analysis of indoor swimming pools, acquired by means of energy balance method, point out many possibilities for energy efficiency improvement. Two key measures are: retrofit of a local gas or biomass fired boiler, and introduction of solar collectors for heating sanitary hot water.

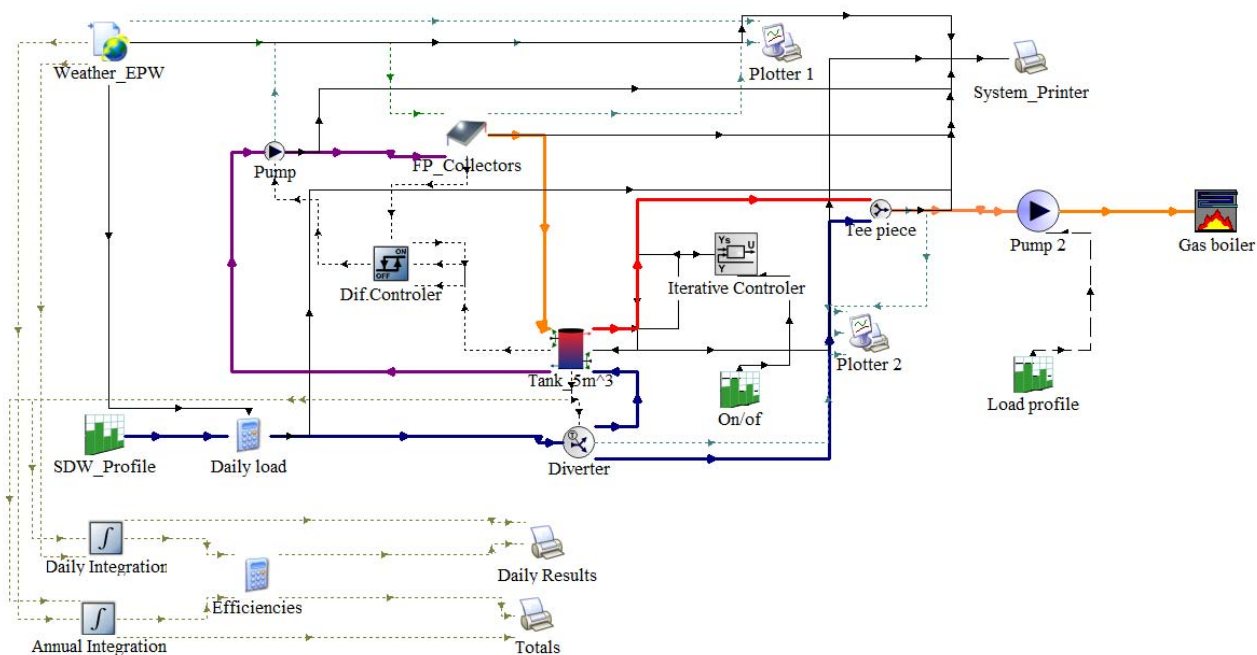
In this paper, a dynamical simulation of the energy system of indoor swimming pools is presented, after retrofitting local natural gas or oil fuel fired heating system, and solar collector array for heating sanitary hot water. The results of the numerical analysis indicate that the use of solar collectors may lead to significant energy efficiency improvement and a significant  $CO_2$  and green house gas emission reduction.

**Key words - energy balance; energy efficiency; indoor swimming pool, dynamical simulation**

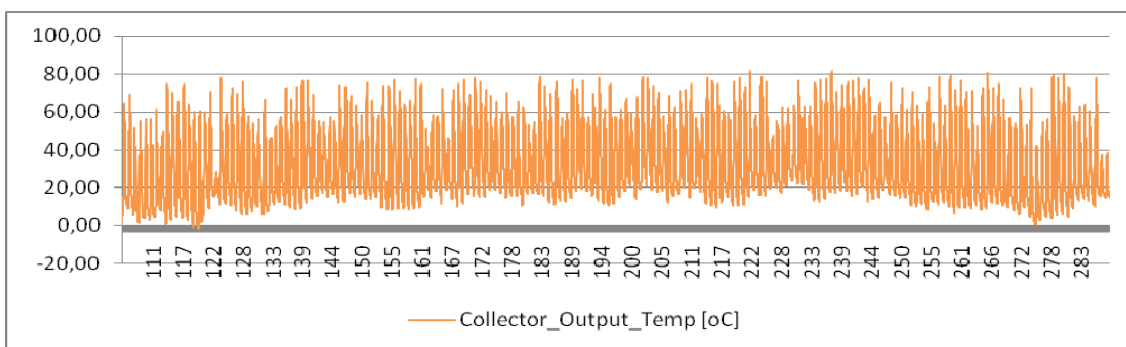
#### **Dynamical simulation of the energy system of indoor swimming pools using TRNSYS software**

Dragoljub S. Živković\*, Marko V. Mančić, Dragan S. Milčić

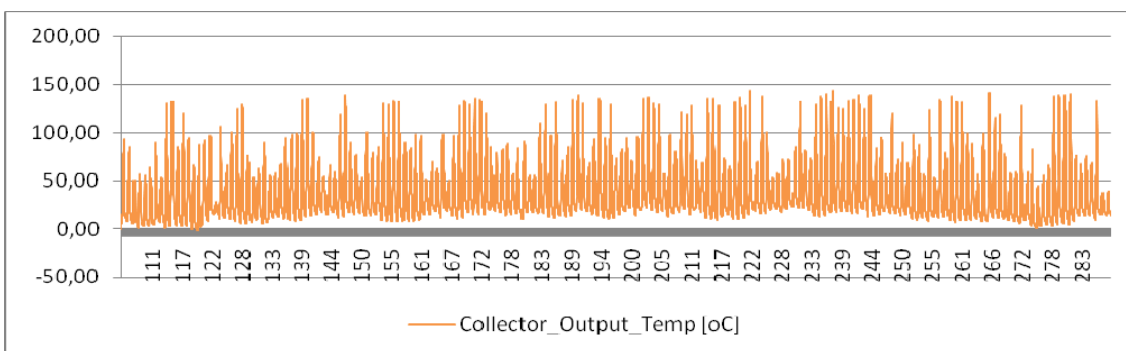
*University in Niš, Mechanical Engineering Faculty  
Aleksandra Medvedeva 14 Str., 18000 Niš, Serbia*



Slika 5. Šematski prikaz kombinovanog postrojenja za proizvodnju tople vode



a)



b)

Slika 7. Temperatura na izlazu polja solarnih kolektora: a) 100m<sup>2</sup>, b) 500m<sup>2</sup>

