

Оригиналан научни рад
UDC: 536.7((497.6 Bijeljina)

OPTIMALNI PARAMETRI GEOTERMALNOG TOPLIFIKACIONOG SISTEMA BIJELJINE

Veljko V. Đuričković¹, Aleksandra V. Đuričković¹

¹*Termotehnika-invest d.o.o. Banja Luka, e-mail: termotehnika-invest@blic.net*

REZIME

Optimizacija rada klasičnog toplifikacionog sistema daje efekte veoma kratko vrijeme jer se stanje utoplifikacioni sistem ima toplotni izvor (bušotinu) konstantnog toplotnog kapaciteta, pa se ne priključuju novi potrošači. Radi toga se stanje sistema ne mijenja, pa je optimizacija takvog sistema veoma važan zahtjev, jer se time osigurava da sistem radi u optimalnom području čitavo vrijeme eksploatacije.

Lokacija geotermalne bušotine se određuje na osnovu hidrogeoloških istražnih radova, bez obzira na udaljenost od centra potrošnje toplotne energije. Radi toga je ekonomičnost transporta termalne vode od bušotine do potrošača veoma važan projektni zahtjev, koji zavisi, kako od kapaciteta bušotine, tako i od broja sati rada toplifikacionog sistema u toku godine. U radu je određena funkcionalna zavisnost ovih veličina, inače osnovnih projektnih parametara geotermalnog toplifikacionog sistema.

Ključne riječi: *geotermalni toplifikacioni sistem, geotermalna bušotina.*

OPTIMAL PARAMETERS OF GEOTHERMAL DISTRICT HEATING SYSTEM BIJELJINA

ABSTRACT

Optimization of the regular district heating system is effective only for a short period of time, because the situation is constantly changing as new consumers and new heating sources are added. On the other side, heating source of geothermal district heating system is of constant capacity and therefore new consumers are not to be added to the system. The system condition is not changing, and because of that it is very important to optimize such system, which ensures that system works in an optimal range for the whole period of exploitation.

The location of geothermal well is determined on the basis of hydrogeological research, no matter how distant it is from the city. Therefore, the economic aspects of transporting geothermal water from the well to the consumer is an important task, which depends on the well capacity, but also on the number of working hours of the district heating system during the year. This paper examines functional dependency of these parameters, which are considered as the main project parameters of the geothermal district heating system.

Key words: *geothermal district heating system, geothermal well*

UVOD

Pri razradi projektne dokumentacije za izgradnju klasičnog toplifikacionog sistema (misli se na toplifikacioni sistem sa fosilnim gorivom), lokaciju kotlovnice projektant određuje na osnovu tehničko-ekonomske analize, nastojeći da je što više približi središtu konzumnog područja, uvažavajući pri tome dozvoljeni nivo zagađenosti grada i njegove okoline. Međutim, lokacija geotermalne bušotine se određuje na osnovu hidrogeoloških istražnih radova, bez obzira na njenu udaljenost od centra potrošnje toplotne energije. Radi toga je ekonomičnost transporta termalne vode od bušotine do potrošača veoma važan projektni zahtjev, koji zavisi, kako od kapaciteta bušotine, tako i od broja sati rada toplifikacionog sistema u toku godine.

Bijeljinski toplifikacioni sistem je zamišljen sa pet geotermalnih bušotina, razmještenih po periferiji grada, na manjoj ili većoj udaljenosti. Obzirom da se radi o toplovodnom toplifikacionom sistemu grijanja sa malom temperaturnom razlikom polazne i povratne vode (20°C), i relativno velikim protocima u magistralnom vodu, transportni troškovi termalne vode (investicioni i pogonski) će značajno uticati na ekonomičnost rada čitavog sistema. Radi toga je za projektanta takvog toplifikacionog sistema veoma važno da zna na koju udaljenost može transportovati termalnu vodu pri datom kapacitetu bušotine i broju sati rada toplifikacionog sistema u toku godine, a da pri tome ukupni troškovi ne prekorače razumnu mjeru. Bez poznavanja funkcionalne zavisnosti ovih osnovnih parametara (kapaciteta bušotine, broja sati njenog pogona i udaljenosti bušotine od konzumnog područja) projektant ne može logično osmisliti toplifikacioni sistem u cjelini.

PROGNOZIRANI KAPACITET GEOTERMALNOG TOPLIFIKACIONOG SISTEMA BIJELJINE

Planirana je izgradnja pet bušotina sa pojedinačnom izdašnošću samoizljevom 100 l/s, pri čemu toplotni kapacitet jedne bušotine iznosi:

$$Q_B = 10^{-6} \cdot \dot{m} \cdot c_v \cdot (T_R - T_P) = 10^{-6} \cdot \dot{V} \cdot \rho \cdot c_v \cdot (T_R - T_P), \text{ MW} \quad (1)$$

Pri tome je sa \dot{m} i \dot{V} označena izdašnost bušotine, to jest, protok geotermalne vode od bušotine do toplifikacionog izmjenjivača u Geotermalnoj toplani, 0,10 m³/s, odnosno 98,32 kg/s, sa c_v specifična toplota termalne vode pri srednjoj temperaturi 60°C, 4.195 J/kg·K, sa T_R temperatura termalne vode na izlazu iz bušotine, 95°C, te sa T_P temperatura termalne vode u povratu (na ulazu u povratnu bušotinu), odnosno, nakon potpunog iskorištenja, 35°C.

Ukoliko se ostvare planirani parametri, kapacitet bušotine bi bio, prema izrazu (1):

$$Q_B = 24,75 \text{ MW} \quad (2)$$

Ugradnjom pumpe za crpljenje termalne vode (tip Line Shaft Turbine, sa vanjskim motorom snage 150 kW, sa vertikalnim vratilom, rotorom na dubini oko 130 m i promjenljivim brojem okretaja) kapacitet svake bušotine se može povećati 2 do 2,5 puta, prema [5]. Na taj način bi se kapacitet jedne bušotine mogao povećati na vrijednost:

$$Q'_B = (2 \div 2,5) \cdot Q_B = (49,44 \div 61,80) \approx 55 \text{ MW} \quad (3)$$

U tom slučaju bi se kapacitet svih pet planiranih bušotina mogao povećati na vrijednost:

$$(Q'_B)_{UK} = 5 \cdot Q_B \approx 275,0 \text{ MW} \quad (4)$$

Analiza u radu je izvedena za nepovoljniji slučaj, to jest, za kapacitet jedne bušotine pri samoizljevu 24,75 MW (100 l/s). Od tog kapaciteta za grijanje grada se može koristiti samo jedna trećina (na temperaturnoj razlici (95-75)), jer je u stambenim objektima već izvedeno radijatorsko grijanje za temperaturni režim 90/70°C:

$$Q_{GR} = 0,10 \cdot 983,20 \cdot 4,195 \cdot (95 - 75) = 8.249,0 \text{ kW} \quad (4.a)$$

a za ostale potrebe (zagrijavanje plastenika, sport i rekreacija, balneologija i dr) dvije trećine:

$$Q_{PL} = 0,10 \cdot 983,20 \cdot 4,195 \cdot (75 - 35) = 16.498 \text{ kW} \quad (4.b)$$

Obzirom da će ovim projektom doći do značajnije primjene geotermalne energije u plasteničkoj proizvodnji povrća, čitalac se upućuje na radove [6, 7, 8].

GODIŠNJI TROŠKOVI GEOTERMALNOG TOPLIFIKACIONOG SISTEMA

Godišnji troškovi izgradnje i održavanja geotermalnog toplifikacionog sistema se mogu izraziti sumom:

$$T_G = T_{GB} + T_{GT} + T_M + T_T + T_Q \quad \text{€/MW} \cdot \text{god} \quad (5)$$

u kojoj su sa T_{GB} označeni investicioni troškovi izgradnje geotermalne bušotine, sa T_{GT} troškovi izgradnje geotermalne energane, sa T_M troškovi izgradnje toplotne mreže sa T_T troškovi transporta termalne vode od bušotine do potrošača te sa T_Q troškovi za pokriće toplotnih gubitaka u vanjskoj toplotnoj mreži.

Troškovi izgradnje geotermalne bušotine se sastoje iz konstantnih (investicionih) troškova T_{GK} i promjenljivih (pogonskih) troškova T_{GP} :

$$T_{GK} = 10^6 \cdot \frac{a \cdot I_B}{Q_B} \quad \text{€/MW} \cdot \text{god} \quad (6)$$

$$T_{GP} = 3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{P \cdot C_{el} \cdot n}{Q_B} \quad \text{€/MW} \cdot \text{god} \quad (7)$$

U prethodnim izrazima su sa I_B označeni troškovi izgradnje geotermalne bušotine u €, sa P snaga pumpe za crpljenje termalne vode, kW, sa "a" troškovi servisiranja kredita, sa C_{el} cijena električne energije, 50,00 €/MWh, te sa n_B vrijeme rada bušotine u h/god. Ovdje bi trebalo napomenuti da je snagu za pogon pumpe za crpljenje termalne vode iz bušotine teško izraziti analitički, jer ona zavisi od pritiska vode, dubine bušotine i njenog kapaciteta, a to su parametri koji se unaprijed mogu samo približno procijeniti. Radi toga je snaga ove pumpe procijenjena na 150 kW, prema nekim sličnim, već izvedenim bušotinama [5].

U prethodnom radu autora [5] određeni su troškovi za izgradnju toplotne mreže od bušotine do potrošača T_M , troškovi za izgradnju geotermalne toplane T_{GT} , troškovi transporta vode do potrošača T_P , kao i troškovi za pokriće toplotnih gubitaka u vanjskoj mreži pri transportu vode T_Q . Ovdje se navode u malo sažetijem obliku:

Troškovi izgradnje mreže:

$$T_M = \frac{a \cdot I_M}{Q_M} = \frac{a \cdot (A \cdot d + B)}{\dot{V} \cdot \rho \cdot c_v \cdot (t_R - t_P)} \cdot \ell =$$

$$\frac{a \cdot A}{\rho \cdot c_v \cdot (t_R - t_P)} \cdot \ell \cdot \frac{d}{\dot{V}} + \frac{a \cdot B}{\rho \cdot c_v \cdot (t_R - t_P)} \cdot \ell \cdot \frac{1}{\dot{V}}$$

$$T_M = C \cdot \ell \cdot \frac{d}{\dot{V}} + D \cdot \ell \cdot \frac{1}{\dot{V}} \quad \text{€/MWgod} \quad (8)$$

Troškovi za izgradnju geotermalne toplane:

$$T_{GT} = \frac{a \cdot I_{GT}}{Q_{GT}} \quad \text{€/MWgod} \quad (9)$$

Troškovi za transport vode do potrošača:

$$T_T = N \cdot n \cdot C_{el} = K_1 \cdot C_{el} \cdot n \cdot \ell \cdot \frac{\dot{V}^2}{d^{5,25}} \quad \text{€/MW} \cdot \text{god} \quad (10)$$

pri čemu je potrebna snaga za pogon cirkulacionih pumpi jednaka:

$$N = \frac{\dot{V} \cdot R}{\eta_p} \cdot \frac{1 + \alpha}{Q_M} \cdot \ell = \frac{\dot{V} \cdot R}{\eta_p} \cdot \frac{1 + \alpha}{\dot{V} \cdot \rho \cdot c_v \cdot (t_R - t_P)} \cdot \ell = K_1 \cdot \ell \cdot \frac{\dot{V}^2}{d^{5,25}} \quad \text{MW/MW} \quad (11)$$

Troškovi za pokriće toplotnih gubitaka pri transportu vode:

$$T_Q = Q_{gub} \cdot n \cdot \ell \cdot C_Q = \frac{E \cdot d + F}{\dot{V} \cdot \rho \cdot c_v \cdot (t_R - t_P)} \cdot n \cdot \ell \cdot C_Q = G \cdot n \cdot \ell \cdot \frac{d}{\dot{V}} + H \cdot n \cdot \ell \cdot \frac{1}{\dot{V}} \quad (12)$$

Prema katalogu proizvođača cijevi konstanta [9], određene su vrijednosti konstanti E = 68,5 i F = 26,7. Grupe konstanti u prethodnim izrazima su određene uslovima u kojima toplifikacion sistem radi:

$$C = \frac{10^6 \cdot a \cdot A}{\rho \cdot c_v \cdot (t_R - t_P)}; \quad D = \frac{10^6 \cdot a \cdot B}{\rho \cdot c_v \cdot (t_R - t_P)}; \quad G = \frac{E \cdot C_Q}{\rho \cdot c_v \cdot (t_R - t_P)}; \quad (13)$$

$$H = \frac{F \cdot C_Q}{\rho \cdot c_v \cdot (t_R - t_P)}; \quad K_1 = 8,92 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{k^{0,25} \cdot (1 + \alpha)}{\eta_p \cdot c_v \cdot 10^{-6} \cdot (t_R - t_P)} = 0,2323 \cdot 10^{-6}$$

Uvrštavanjem (6), (7), (8), (9), (10) i (12) u početni izraz (5) dobiće se ukupni investicioni i pogonski troškovi geotermalnog toplifikacionog sistema:

$$T_G = \frac{a \cdot I_B}{Q_B} + \frac{a \cdot I_{GT}}{Q_M} + \frac{P \cdot C_{el}}{Q_B} \cdot n + C \cdot \ell \cdot \frac{d}{\dot{V}} + D \cdot \ell \cdot \frac{1}{\dot{V}} + K_1 \cdot n \cdot C_{el} \cdot \ell \cdot \frac{\dot{V}^2}{d^{5,25}} +$$

$$+ G \cdot n \cdot \ell \cdot \frac{d}{\dot{V}} + H \cdot n \cdot \ell \cdot \frac{1}{\dot{V}} \quad \text{€/MWgod} \quad (14)$$

Ukupni investicioni i pogonski troškovi za izgradnju i održavanje vanjske toplotne mreže dobiće se sabiranjem izraza (8), (10) i (12):

$$T_M = (C + G \cdot n) \cdot \ell \cdot \frac{d}{\dot{V}} + (D + H \cdot n) \cdot \ell \cdot \frac{1}{\dot{V}} + K_1 \cdot C_{el} \cdot n \cdot \ell \cdot \frac{\dot{V}^2}{d^{5,25}} \quad \text{€/MWgod. (15)}$$

Vidi se da, pri zadatom protoku, troškovi transporta vode predstavljaju nelinearnu funkciju promjera cjevovoda., pa optimalna vrijednost promjera slijedi iz izraza:

$$\frac{\partial(T_M)}{\partial d} = 0 \quad (16)$$

čijim se rješenjem dobija:

$$d_{opt} = 0,2116 \cdot \left(\frac{n}{C + G \cdot n} \right)^{0,16} \cdot \dot{V}^{0,48} = K_2 \cdot \dot{V}^{0,48} \quad (17)$$

Uvrštavanjem d_{opt} u (15) dobija se, nakon sređivanja, izraz za funkciju optimalnih troškova transporta termalne vode pri datoj dužini toplotne mreže i kapacitetu:

$$(T_M)_{opt} = (C + G \cdot n) \cdot \ell \cdot K_2 \cdot \frac{1}{\dot{V}^{0,52}} + (D + H \cdot n) \cdot \ell \cdot \frac{1}{\dot{V}} + \frac{K_1}{K_2^{5,25}} \cdot n \cdot \ell \cdot \frac{1}{\dot{V}^{0,52}} \quad \text{€/MWgod. (18)}$$

Ako se u izraz za d_{opt} uvrste planirane projektne numeričke vrijednosti u konstantama (13) za toplifikacioni sistem Bijeljine: broj sati rada sistema $n = 4.464$, h/god, cijena električne energije $C_{el} = 50$ €/MWh, troškovi servisiranja kredita $a = 0,10$, investicije za izgradnju geotermalne energane $I_{GT} = 471.510$ €, prema [1], apsolutna hrapavost cijevi $k = 0,0005$ m, temperatura polazne i povratne vode u toplotnoj mreži $t_R/t_P = 90/70^\circ\text{C}$, te konstante $A = 1.300$ i $B = -20, |9|$, dobiće se izrazi za optimalni promjer i optimalnu brzinu vode na dionici mreže sa protokom \dot{V} m³/s:

$$d_{opt} = 0,753 \cdot \dot{V}^{0,48}, \text{m} \quad (19)$$

$$w_{opt} = 0,225 \cdot \dot{V}^{0,04} \text{m/} \quad (19.a)$$

O specifičnim problemima transporta tople vode na veće udaljenosti vidjeti u radovima autora [1,2, 3].

GODIŠNJI TROŠKOVI KLASIČNOG TOPLIFIKACIONOG SISTEMA

Snabdjevanje toplotnom energijom iz hidrogeotermalne bušotine je ekonomski prihvatljivo samo ako su specifični troškovi proizvodnje toplotne energije iz bušotine, T_G , manji nego iz kotlovnice na fosilno gorivo, T_K :

$$T_G \leq T_K \quad (20)$$

Troškovi proizvodnje toplotne energije u kotlovnici se, kao i kod bušotine, sastoje iz konstantnih (investicionih), T_{KK} i promjenljivih (pogonskih), T_{KP} , troškova:

$$T_{KK} = \frac{a \cdot I_K}{Q_K}, \quad \text{€/MW} \cdot \text{god} \quad (21)$$

$$T_{KP} = 3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{C_G}{H_d \cdot \eta_K}, \quad \text{€/MW} \cdot \text{god} \quad (22)$$

$$T_K = T_{KK} + T_{KP} = \frac{a \cdot I_K}{Q_K} + \frac{C_G \cdot n}{H_d \cdot \eta_K}, \quad \text{€/MW} \cdot \text{god} \quad (23)$$

U izrazima je sa I_K označena specifična vrijednost investicionih ulaganja u kotlovsko postrojenje sa pogonom na ugalj u €/MW, sa C_G troškovi nabavke goriva (sa PDV), 0,028 €/kg, sa H_d donja toplotna vrijednost uglja rudnika Stanari, 9.750 kJ/kg te sa η_K stepen djelovanja kotla, 0,85.

PROJEKTNI PARAMETRI

Međusobna zavisnost osnovnih projektnih parametara geotermalnog toplifikacionog sistema (kapaciteta bušotine, njene udaljenosti od središta konzumnog područja i broja sati rada bušotine u toku godine) dobija se izjednačavanjem izraza (14) i (23). Nakon sređivanja, dobija se nejednačina kojom je ograničena ekonomski prihvatljiva udaljenost geotermalnog toplifikacionog sistema od hidrogeotermalne bušotine do centra konzumnog područja:

$$\ell \leq \frac{(T_{KK} - T_{GK} - T_{GT}) + (T_{KP} - T_{GP}) \cdot n}{(C + G \cdot n) \cdot \frac{d}{V} + (D + H \cdot n) \cdot \frac{1}{V} + K_1 \cdot n \cdot C_{el} \cdot \frac{\dot{V}^2}{d^{5,25}}}, \quad \text{m} \quad (24)$$

u kojoj su sa T_{GK} , T_{GT} i T_{KK} označeni konstantni (investicioni) troškovi izgradnje geotermalne bušotine (6), geotermalne toplane (9) i kotlovskog postrojenja (21), sa T_{GP} i T_{KP} promjenljivi (pogonski) troškovi geotermalnog toplifikacionog sistema (7) i kotlovskog postrojenja (22). Uvrštavanjem numeričkih vrijednosti u ove izraze, kao i u konstante (13) dobije se:

$$T_{GK} = 10^6 \cdot \frac{a \cdot I_B}{Q_B} = \frac{0,10 \cdot 2.000 \cdot 1.000}{24,75} = 8.080,80 \quad \text{€/MW} \cdot \text{god} \quad (25)$$

$$T_{GP} = 3,6 \cdot 10^6 \cdot \frac{P \cdot C_{el}}{Q_B} \cdot n = \frac{0,150 \cdot 50,00}{24,75} \cdot n = 0,303 \cdot n \quad \text{€/MW} \cdot \text{god} \quad (26)$$

$$T_{KK} = \frac{a \cdot I_K}{Q_K} = \frac{0,10 \cdot 1.600.000 \cdot 1,17}{24,75} = 7.563,60 \quad \text{€/MW} \cdot \text{god} \quad (27)$$

$$T_{KP} = \frac{C_G}{H_d \cdot \eta_K} \cdot n = \frac{0,028 \cdot 3.600}{9,75 \cdot 0,85} = 12,16 \cdot n \quad \text{€/MW} \cdot \text{god} \quad (28)$$

$$T_{GT} = \frac{a \cdot I_{GT}}{Q_B} = \frac{0,10 \cdot 471.000}{24,75} = 1,90 \quad \text{€/MW} \cdot \text{god} \quad (29)$$

$$C = 1,594 \quad H = 2,32 \cdot 10^{-5} \quad D = -2,45 \cdot 10^{-2}$$

(30)

$$K = 0,2323 \cdot 10^{-6} \quad G = 5,95 \cdot 10^{-5}$$

Uvrštavanjem izraza (17) u (24) dobija se prikladniji izraz za analitičku obradu:

(31)

$$\ell \leq \frac{11,857 \cdot n - 51900}{0,2116 \cdot (C + G \cdot n)^{0,84} \cdot n^{0,16} \cdot \frac{1}{V^{0,52}} + (D + H \cdot n) \cdot \frac{1}{V} + 4,037 \cdot 10^{-2} \cdot (C + G \cdot n)^{0,84} \cdot n^{0,16} \cdot \frac{1}{V^{0,52}}}$$

U krugu opisanom oko bušotine sa radijusom $r = \ell$ snabdjevanje toplotnom energijom iz bušotine je ekonomski povoljnije nego iz klasične kotlovnice na čvrso gorivo. Ova udaljenost se povećava povećavanjem kapaciteta bušotine i vremena njenog rada u toku godine, što je vidljivo iz tabele 1.

Tabela 1. Granična udaljenost geotermalne bušotine od centra konzumnog područja u metrima, u zavisnosti od kapaciteta (izdašnosti) bušotine i broja sati korištenja, prema formuli (24).

Table 1. Limit distance from the center of the geothermal wells konzumnog area in meters, depending on the capacity (yield) wells and the number of hours of use, according to the formula (24).

Poz.	Vrijeme pogona h/god	Izdašnost geotermalne bušotine u m ³ /s. Kapacitet bušotine pri temperaturnom režimu 95/35 ⁰ C			
		0,05 m ³ /s 12,23 MW	0,10 m ³ /s 24,75 MW	0,15 m ³ /s 37,22 MW	0,20 m ³ /s 49,50 MW
1.*	1.488 h/god, (8 h/dan)	2.565	3.997	4.941	5.711
2.*	2.976 h/god, (16 h/dan)	4.072	6.002	7.538	8.835
3.*	4.464 h/god, (24 h/dan)	6.152	8.474	10.712	11.692
4.	8.760 h/god. U toku čitave godine, 24 h/dan	7.580	12.183	15.640	18.590

* Odnosi se na korištenje geotermalne energije u sezoni grijanja (186 dana)

ZAKLJUČAK

U radu je određena funkcionalna zavisnost osnovnih projektnih parametara geotermalnog toplifikacionog sistema, to jest, zavisnost kapaciteta bušotine, njene udaljenosti od centra konzumnog područja i broja sati njenog rada u toku godine. Za bušotinu datog kapaciteta, jednačinom (24) je moguće odrediti graničnu vrijednost udaljenosti bušotine od centra konzumnog područja pri proizvoljnom broju sati rada, a isto tako i minimalni broj sati rada te bušotine na datoj lokaciji, da bi njen pogon bio ekonomski prihvatljiv, to jest, da bi toplotna energija iz nje bila jeftinija nego iz kotlovnice koja koristi ugalj.

U radu je takođe određen optimalni promjer cjevovoda, to jest, promjer pri kojem su investicioni i pogonski troškovi transporta vode minimalni. Time su određeni osnovni projektni parametri za projektovanje ovih, inače veoma specifičnih energetske sistema.

LITERATURA

1. Đuričković V. (1995): Transport vode na veće udaljenosti. Novi pristup hidrauličnom proračunu. Procesing 95, Tivat.

2. Đuričković V.(1987): Toplotne mreže. Univerzitetska knjiga. Banja Luka. s. 97.
3. Đuričković V., Ištvanic Z. (1988): Hidraulični proračun inženjerskih cijevnih mreža različitih temperaturnih režima rada. XIX Kongres o grejanju, hlađenju i klimatizaciji, Beograd, s. 85-101.
4. Đuričković V. (2010): Optimalni intervali rada toplotne mreže geotermalnog toplifikacionog sistema. Tehnički institut Bijeljina, Arhiv za tehničke nauke, br. 2.
5. Huttner W.G. (2004): Preliminary Revaluations Regarding the Potential for use of Deep Geothermal Resources in the District Heating System of Banja Luka, Burgess & Niple Lmt. Columbus Ohio USA.
6. Lawrence S.A. and G.N. Tiwari G.N. (1991): Performance of a greenhouse cum solar still for the climatic condition of Port Moresby. Renewable Energy, Vol.1, Issue 2, P. 249-255.
7. Sharma P.K., Tiwari G.N. and Sarayan V.P. (1998): Parametric studies of a greenhouse for summer conditions. Energy, Vol. 23, Issue 9, P. 733-740.
8. Tiwari G.N., Sharma P.K., Goyal R.K. and Sutar R.F. (1998): Estimation of a greenhouse: a numerical and experimental study. Energy and Buildings. Vol. 28 Issue 3, nov. 1998., p. 241-250
9. Katalog proizvođača cijevi BRUGG ROHRSYSTEME.