

IZVEDBE IN DIMENZIONIRANJE ZEMELJSKIH KOLEKTORJEV ZA OGREVANJE IN HLAJENJE S TOPLOTNO ČRPALKO

Sestavek obravnava različne izvedbe zemeljskih kolektorjev toplotne črpalke za ogrevanje in hlajenje energijsko varčnih hiš. Obravnavane so osnovne smernice za dimenzioniranje zemeljskega kolektorja in TČ ter način vgradnje. Energetske vrtine kot vir toplote za ogrevanje v tem članku niso obravnavane.

1. Osnovne smernice za dimenzioniranje zemeljskega kolektorja

Zemeljski kolektor dimenzioniramo glede na hladilno moč toplotne črpalke. Kot vir toplote se koristi zemlja, v kateri je shranjena sončna energija. Izkoriščamo samo gornji sloj zemlje, ki dobiva energijo preko sončnega sevanja in s padavinami. Toplotni tok, ki prehaja iz globine zemlje na površino in znaša od 0,2 do 0,5 W/m² ne moremo koristiti kot vir toplote. Toplotna prevodnost zemlje narašča z vsebnostjo vode v zemlji (suha tla so manj prevodna; čim večja je vsebnost vode, tem večja je zmožnost akumulacije toplote). Zaledenitev površine okrog cevi kolektorja vodi k povečanju pridobljene toplote (zaradi spremembe agregatnega stanja vode, iz tekočega v trdno, se sprošča latentna toplota, približno 93 Wh/kg). To pomeni, da bi za optimalno izkoriščanje zemeljskega kolektorja zaledenitev površine okrog cevi lahko bila prednost in ne slabost, vendar mora kolektor mora tako vgrajen, da zmrzal ne povzroči dviganje tal. To preprečimo, da okrog kolektorja položimo plast drobnega peska, v debelini 20 do 30 cm.

Odvzem toplote je odvisen od toplotne prevodnosti zemlje (vrednosti za prevodnost znašajo $\lambda = 1$ do 3 W/mK), gostote zemlje in specifične toplotne kapacitete zemlje (W/m²).

Pri dimenzioniranju zemeljskega kolektorja moramo razpolagati s sledečimi podatki:

- sestavo zemlje (toplotna oddaja), možnost regeneracije površine (površina zemlje ne sme biti zazidana ali predvidena za zazidavo),
- temperaturno območje zemlje (na globini 1,2 do 1,5 m: 0 °C do + 17 °C),
- delovno območje toplotne črpalke - 5 °C do + 15 °C (temperatura mešanice glikol/vode),
- razpoložljivost vira: vse leto ali omejitev vira (zaradi premajhne površine prostega zemljišča, preveč razgibanega terena ali nedostopnega terena),
- način ogrevanja s TČ: monovalentno/ bivalentno.

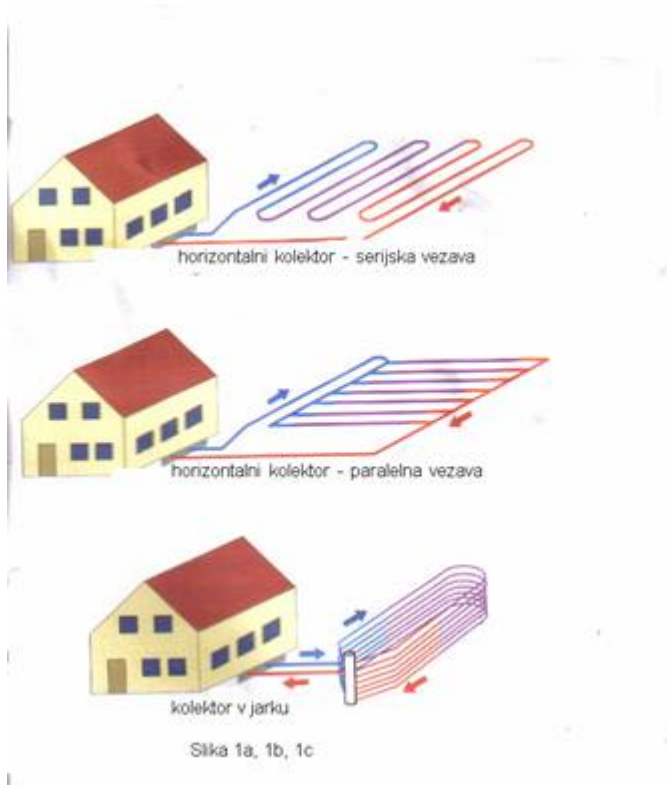
Na osnovi teh osnovnih podatkov je potrebno dimenzionirati cevni razvod, izračunati delovne parametre obtočne črpalke (pretok, padec tlaka skozi kolektor) in izvesti določena zemeljska in gradbena dela.

2. Zemeljski kolektorji, izvedbe in način vgradnje

Kolektorje, kjer v ceveh kroži delovni medij (mešanica vode in glikola oz. etanola) delimo na:

- klasične talne (horizontalni) kolektorje,
- kompaktne in zelo kompaktno vertikalne in horizontalne kolektorje,
- spiralne (»slinky« in »svec« izvedba),
- kolektorje v zbiralnem jarku - kompaktna izvedba (razširjeni predvsem v Avstriji, t.i. »graben kollektor«),
- vertikalne kolektorje v vrtini (energetska vrtina).

Na slikah 1.a, 1.b, 1.c, 1.d, 1.e, 1.f so prikazane osnovne izvedbe zemeljskih kolektorjev. Na slikah 2.a, 2.b, 2.c, 2.c, 2.d, so prikazane izvedbe na terenu (direktni uparjalniki, kjer v ceveh kroži hladivo v tem članku niso obravnavani).





spiralni kolektor "Slinky" izvedba



spiralni kolektor - "Svec" izvedba

Slika 1c, 1d



Slika 2a - klasični horizontalni kolektor



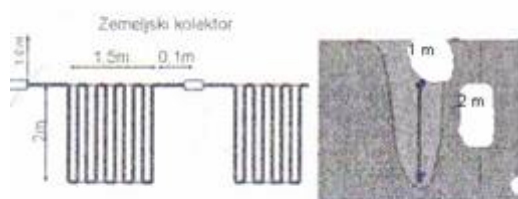
Slika 2b Klasični kolektor v izkopanem kanalu



Slika 2 c " Graben kolektor"

Vir: www.hausbauer.at

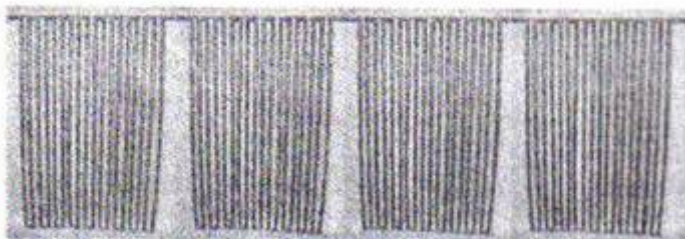
Princip vgradnje zelo kompaktnega kolektorja



Slika 2 d

Vir: www.knut.si

Kompaktni kolektorji vezani v serije
7 do 10 kompletov za normalno velikost NEH
(vgradnja v povezavi z rekuperacijo toplote pri prezračevanju)

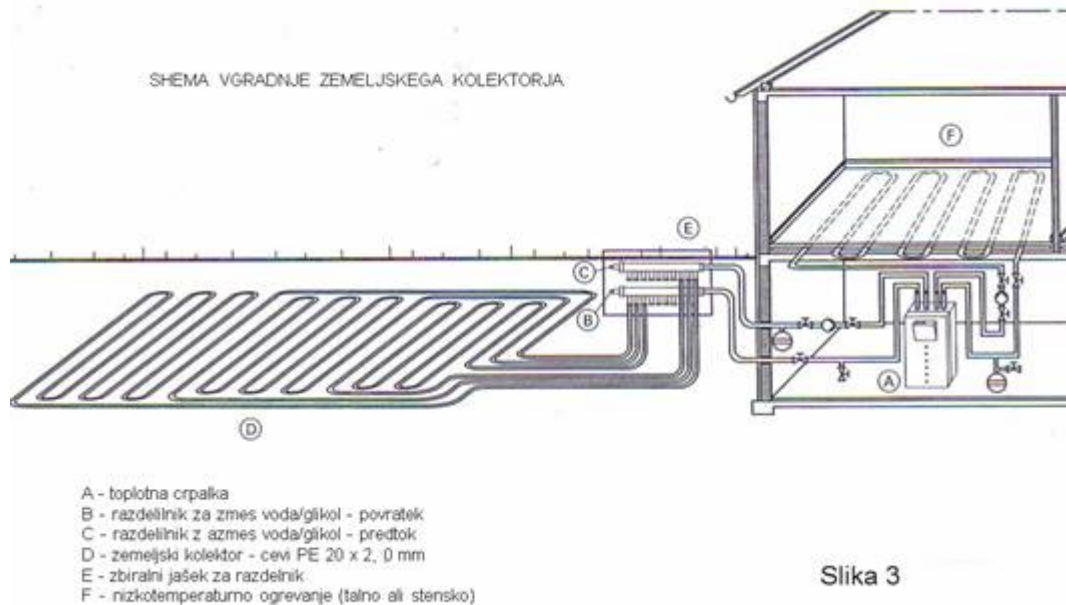


Slika 2 e

Primer:
200 m² ogrevalne površine
toplotna moc crpalke 6 kW (- 20 °C)
8 kolektorjev, izkop kanala 15 m

2.1. Smernice pri vgradnji horizontalnega zemeljskega kolektorja

Na sliki 3 je prikazana vgradnja horizontalnega zemeljskega kolektorja z osnovnimi elementi in priklopom na TČ.



Slika 3

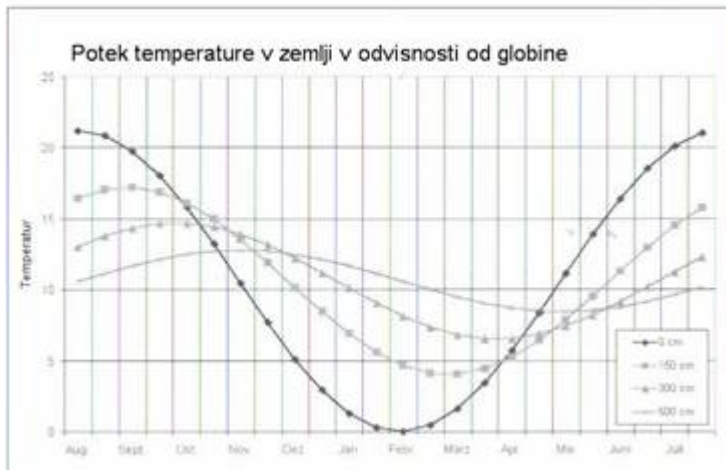
Pri vgradnji zemeljskega kolektorja je potrebno upoštevati sledeče:

- globina polaganja,
- razmiki med cevmi, dolžine in dimenzije cevi,
- površina razpoložljivega zemljišča,
- način polaganja kolektorja,
- polnjenje sistema z mešanico glikol/voda

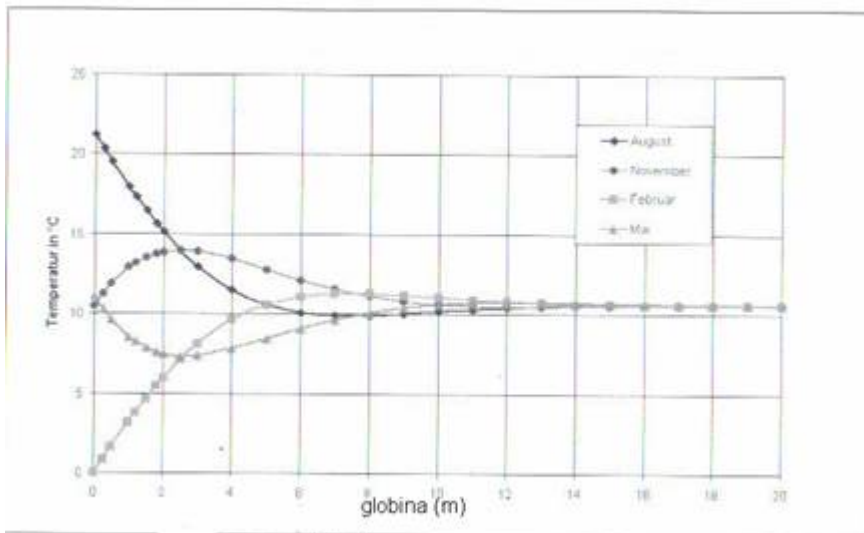
Toplotna oddaja horizontalnega zemeljskega kolektorja (temperatura vira toplote – 5 + 15°C) znaša 15 - 40 W/m², vertikalne izvedbe kolektorjev dosegajo 30 - 100 W/m² pri temperaturi vira toplote – 2 do + 10 °C. Največjo oddajo toplote imajo kompaktni vertikalni kolektorji v kombinaciji z rekuperacijo toplote prezračevanja in sicer do 130 W/m² (povprečna temperatura vira v zimskem času + 2 °C)

Toplotna oddaja t.i. "graben kolektorja" (temperatura vira toplote – 5 + 10°C) znaša 10 - 15 W/m².

Na sliki 4 in 5 je prikazan potek temperature v zemlji, ki narašča z globino.



Slika 4



Slika 5

a. Globina polaganja

Tudi brez odvzema toplote, lahko na globini 1 m temperatura zemlje doseže ledišče oziroma pride do zamrznitve. Na globini 2 m je minimalna temperatura + 5 °C. Z naraščanjem globine narašča temperatura zemlje, zmanjšuje pa se toplotni tok iz površine zemlje (sončna energija in toplota padavin). V primeru, da pride do zamrznitve tal in zamrznitve kolektorja, se lahko zgodi, da ne pride do odmrznitve tudi poleti. Iz teh razlogov znaša globina polaganja klasičnega horizontalnega kolektorja najmanj 1,2 m in največ 1,5 m. V primeru polaganja cevi v širok jarek je lahko globina 1,25 m.

b. Razmik med posameznimi vodi

Cona zamrznitve okrog cevi v obliki kolobarja se širi od cevi navzven zato je potrebno pri polaganju cevnih vodov zagotoviti minimalno razdaljo med njimi. Razdalja mora biti takšna, da je onemogočeno, da bi med dvema cevema, ledena kolobarja prešla v ledeno ploščo (nastala zamrznjena plast zemlje, ki se tudi poleti ne bi odtalila). Pri vlažni in kompaktni zemlji mora biti razdalja med cevmi od 0,7 do 1 m in pri pesku minimalno 0,5 m.

c. Dolžina posameznih cevi, material in premer cevi, površina zemlje

Ker je potrebna zemeljska površina odvisna od razmika med cevmi, je potrebno pri dimenzioniranju kolektorja najprej izračunati skupno dolžino cevi. Postopek je sledeč:

- določiti potrebne toplotne izgube stavbe, število obratovalnih ur sistema oziroma potrebno toploto za ogrevanje (toplotna moč),
- določiti temperaturo predtoka ogrevalnega sistema (T_v),
- določiti minimalno temperaturo medija (mešanice vode + glikola), na primer 0°C,
- določitev hladilne moči toplotne črpalke $Q_h = Q_{Tč} - P_{Tč}$ (toplotna moč - električna moč)
- določiti odzvem toplote iz tal glede na vrsto zemlje in odzvem energije (tabela 2 in 3).

V tabeli 1 je prikazana potrebna površina (povprečna) zemlje v odvisnosti od specifičnih toplotnih izgub, površine stanovanja in načina obratovanja (monovalenten pogon ali bivalentno alternativni pogon). Vrednosti so določene pri grelnem številu toplotne črpalke 2,5 in toplotni oddaji zemlje 30 W/m².

Tabela 1

stanovanjska površina	specifične toplotne izgube		
	50 W/m ²	80 W/m ²	100 W/m ²
monovalenten pogon	potrebna površina zemlje (m²)		
100 m ²	100	160	200
150 m ²	150	240	300
200 m ²	200	320	400
bivalenten pogon			
100 m ²	50	80	110
150 m ²	75	120	165
200 m ²	100	160	220

Na razdalji med cevmi > 70 cm, ki so položene v 120 cm lahko uporabimo vrednosti oddaje toplote za različne zemeljske sestave, tabela 2 (VDI 4640) :

Tabela 2

Vrsta zemlje	odvzem energije (q)
suha, peščena tla	10 W/m ²
vlažna, peščena tla	15 - 20 W/m ²
suha, ilovnata tla	20 - 25 W/m ²
vlažna, ilovnata tla	25 - 30 W/m ²
zelo mokra ilovnata tla	30 W/m ²

Tabela 3 (VDI 4640 - smernice za zemeljske kolektorje) prikazuje odvzem energije (1800 ur letno in 2400 ur letno) pri upoštevanju letne rabe energije med 50 do 70 kW h/m² leto.

Tabela 3

Vrsta zemlje	Odvzem energije Pri 1800 h/a	Odvzem energije Pri 2400 h/a	Odmiki med cevmi	Globina polaganja	Min.var.odmiki za dovodne cevi
Suha, ne kompaktna	10 W/m ²	8 W/m ²	1 m	1, 2 - 1, 5 m	³ 0,7 m
Vlažna, kompaktna	20 - 30 W/m ²	16 - 24 W/m ²	0, 8 m	1, 2 - 1, 5 m	³ 0,7 m
Nasičena (pesek, gramoz)	40 W/m ²	32 W/m ²	0, 5 m	1, 2 - 1, 5 m	³ 0,7 m
Letna raba energije iz zemeljskega kolektorja 50 do 60 kW h/m ² leto					

$F_E = Q_h/q =$ hladilna moč/odvzem energije (m²) površina zemlje

$F_E = L \times s$ (m²) = Q_h/q

$L = F_E/s = Q_h/(q \cdot s)$...skupna dolžina cevi (m)

s (m)..razmik med cevmi

Za cevi kolektorja iz PE in premere F 20 x 2mm in F 32 x 2,9 mm veljajo sledeč enačbe:

Število zank (X) za cevi PE F 20 x 2 mm, l = 100 m

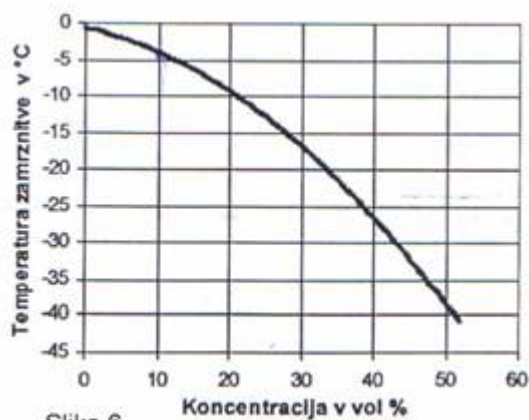
$$X = F_E \cdot 3/100 = \text{število zank}$$

V primeru, da izberemo večji premer cevi, je število zank manjše.

Število zank (X) za cevi PE F 32 x 2,9 mm, l = 100 m

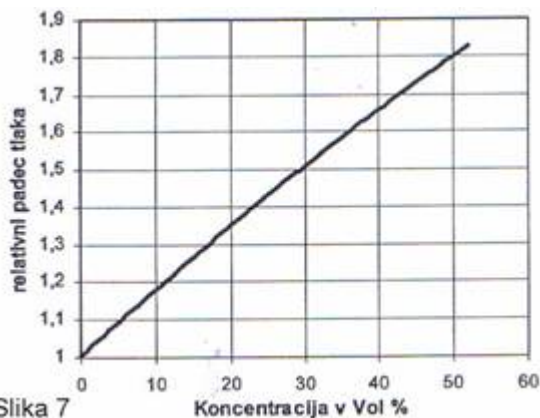
$$X = F_E \cdot 1,5/100 = \text{število zank}$$

Cevi so izdelane iz PE - HD , PN 10 (nazivni tlak 10 bar), predtlak v ekspanzijski posodi znaša 0,5 bar. Koncentracija delovnega medija (voda + glikol) je 25 % do 30 % (zaščita do temperature – 14°C). Na sliki 6 je prikazana krivulja zamrznitve pri različni koncentraciji glikola



Slika 6

Na sliki 7 je prikazan relativni padec tlaka delovnega medija (mešanice vode + glikol) v primerjavi s čisto vodo pri 0 °C. Z nižanjem temperature in naraščanjem dodanega glikola, narašča padec tlaka.



Slika 7

2.2. Določitev zemeljskega kolektorja (voda/glikol) - računski primer

Predpostavimo, da poznamo toplotne izgube in potrebno hladilno moč energijsko varčne hiše ter je potrebno izbrati TČ zemlja/voda za ogrevanje in hlajenje.

Grelno število TČ lahko izračunamo ali odčitamo iz delovnega diagrama TČ:

$$Q_k = Q_{TČ} - P_{TČ} = 12,8 - 2,8 = 10 \text{ kW ...hladilna moč}$$

$$e = Q_{TČ}/P_{TČ} = 12,8/2,8 = 4,57 \text{ (COP)...grelno število}$$

Glede na hladilno moč toplotne črpalke določimo število zank, ki jih potrebujemo. Za 1 kW moči potrebujemo med 30 in 40 m² zemeljske površine. Pomembna je energijska vrednost zemlje - odvzem toplote, ki naj ima približno 25 W/m². Glede na manjšo ali večjo energijsko vrednost zemlje, lahko površino tal oziroma število zank v kolektorju povečamo ali zmanjšamo.

Izračun:

Izberem toplotni odvzem iz zemlje $q_E = 25 \text{ W/m}^2$

Površina zemlje:

$$F_E = Q_k / q_E = 10000/25 = 400 \text{ m}^2$$

Število zank za cevi PE F 20 x 2mm, $l = 100 \text{ m}$

$$X = F_E \cdot 3/100 = 400 \cdot 3/100 = 12 \text{ zank}$$

V primeru, da izberemo večji premer cevi, je število zank manjše.

Število zank za cevi PE F 32 x 2,9 mm, $l = 100 \text{ m}$

$$X = F_E \cdot 1,5/100 = 400 \cdot 1,5/100 = 6 \text{ zank}$$

Za kolektor izberemo 12 zank, $l = 100 \text{ m}$ (F 20 x 2 mm). Količina vode/glikola znaša 0,2 liter/m.

Povezava med razdelilnikom in prenosnikom je s cevmi PE 32 x 2,9 mm, dolžine = 10 m.

Količina vode/glikola

$$m = 12 \times 100 \text{ m} \times 0,2 \text{ l} + 10 \text{ m} \times 0,53 \text{ l} = 257,3 \text{ l} - \text{izberemo } 260 \text{ litrov.}$$

Pretok črpalke izberem $q_{\check{c}} = 3000 \text{ l/h}$, $D_{p_{T\check{c}}} = 14000 \text{ Pa}$

Pretok skozi eno zanko:

$$q_z = 3000 \text{ l/h} = 3000/12 \text{ zank} = 250 \text{ l/h}$$

$$D_{p_1} = 193,5 \text{ Pa/m (PE 20 x 2 pri } q_z = 250 \text{ l/h)}$$

$$D_{p_2} = 1564 \text{ Pa/m (PE 32 x 2,9 pri } q_z = 3000 \text{ l/h)}$$

$$D_{p_z} = 193,5 \times 100 \text{ m} = 19350 \text{ Pa}$$

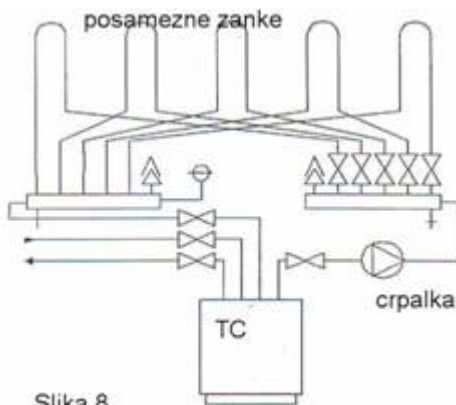
$$D_{p_k} = 1564 \times 10 \text{ m} = 15640 \text{ Pa}$$

$$Dp_{SKUPNI} = Dp_z + Dp_k + Dp_{T\check{c}}$$

$$Dp_{SKUPNI} = 19350 + 15640 + 14000 = 48990 \text{ Pa (} \gg 5,0 \text{ m)}$$

2.3. Priprava kolektorja in povezava zank, dimenzioniranje obtočne črpalke

Posamezne cevne zanke naj bodo na sredini med razdelilnikom in zbiralnikom, tako da je dolžina zank vseh tokokrogov enaka. Povezava je prikazana na sliki 8.



Pri vezavi posameznih zank kolektorja je potrebno upoštevati sledeče:

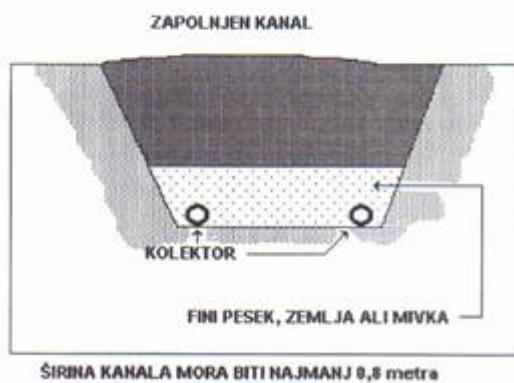
- zemeljski kolektor položiti vsaj en mesec pred kurilno sezono, da se zemlja primerno utrdi - usede nad kolektorjem,
- pri polaganju cevi kolektorja upoštevati minimalni radij krivljenja cevi glede na zahteve proizvajalce cevi,
- razdelilnik in zbiralnik mora biti vgrajen na najvišjem mestu položenega kolektorja da lahko sistem odzračimo,
- na vsaki posamezni cevni zanki mora biti vgrajen zaporni ventil,
- vse zanke morajo imeti enake dolžine, da je zagotovljen enakomeren pretok in odvzem toplote,
- odzračevalni ventil montiramo na najvišjem mestu,
- povezovalne cevi med toplotno črpalko in kolektorjem je potrebno izolirati na prehodu v stavbo (da se prepreči kondenzacija),
- vsa instalacija za delovni medij (voda + glikol oz. etanol) mora biti izdelana iz korozijsko odpornega materiala,
- dolžina posameznega cevne voda ne sme preseči 100 m,
- obtočno črpalko, razdelilnik, zbiralnik in ekspanzijsko posodo najbolje vgraditi izven stavbe (če se oprema vgradi v objektu, jo je potrebno izolirati),

- oddaljenost cevne napeljave z delovnim medijem (kolektor in cevne povezave do TČ) naj znaša vsaj 1,5 m od vodovodnih napeljav, sten objekta ali jaškov, da preprečimo možnost zamrznitve (če to ni možno izvesti, je potrebno vgraditi izolacijo)
- zemeljska površina, kjer je položen kolektor ne sme biti pozidana in asfaltirana, da se omogoči dostop padavin do kolektorja,
- razdelilnik mora biti instaliran na sesalni strani obtočne črpalke,
- glavni odzračevalni ventil mora biti instaliran na najvišjem mestu pred razdelilnikom in zbiralnikom posameznih cevni zank,
- polnjenje delovnega medija v sistem s tlakom 2 bar in maksimalno 2,5 bar,
- za ugotavljanje pomanjkanja mešanice ali prisotnosti zračnih mehurčkov lahko v sistem vgradimo nizkotlačno tipalo, ki ga priključimo na krmilno regulacijsko enoto TČ, kjer lahko spremljamo in nadziramo tlačne spremembe,
- obvezno narediti kontrolo pripravljene mešanice glede na odpornost proti zmrzovanju.

2.3.1 Zemeljska in gradbena dela pri polaganju kolektorja

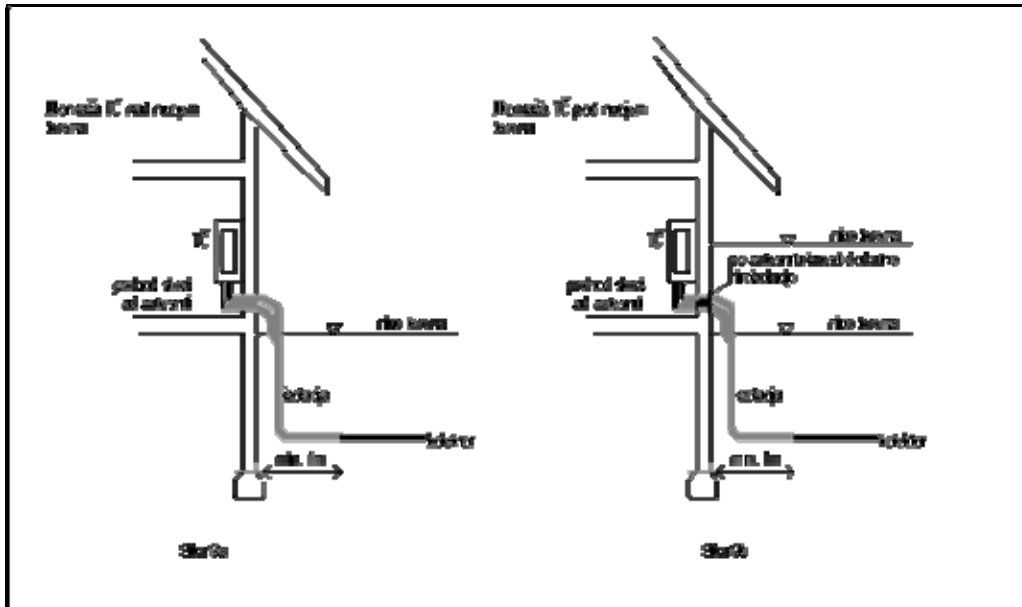
Na sliki 9 je prikazan prerez kanala za kolektor. Po vstavitvi zemeljskega kolektorja v vrtno, se tega odreže nad pokrovom jaška in s kotnimi priključki poveže s cevmi, ki vodijo do objekta. Najbolje je, da uporabimo kotne priključke tudi pri prehodu skozi steno. Začetek kanala za kolektor naj bo čim bližje toplotni črpalki, ki je postavljena v stavbi. Najenostavnejši je izkop ravnega kanala, vendar je lahko tudi ukrivljen ali s koleni. Radiji krivljenja pri klasičnem horizontalnem kolektorju, ki so manjši od enega metra niso priporočljivi (če to ni možno izvesti, je potrebno uporabiti kotne priključke). Odprtini za prehod skozi steno sta dve s premerom 55 cm. Po zaključku montaže je potrebno odprtini zatesniti.

SLIKA 9 : Prerez kanala za kolektor

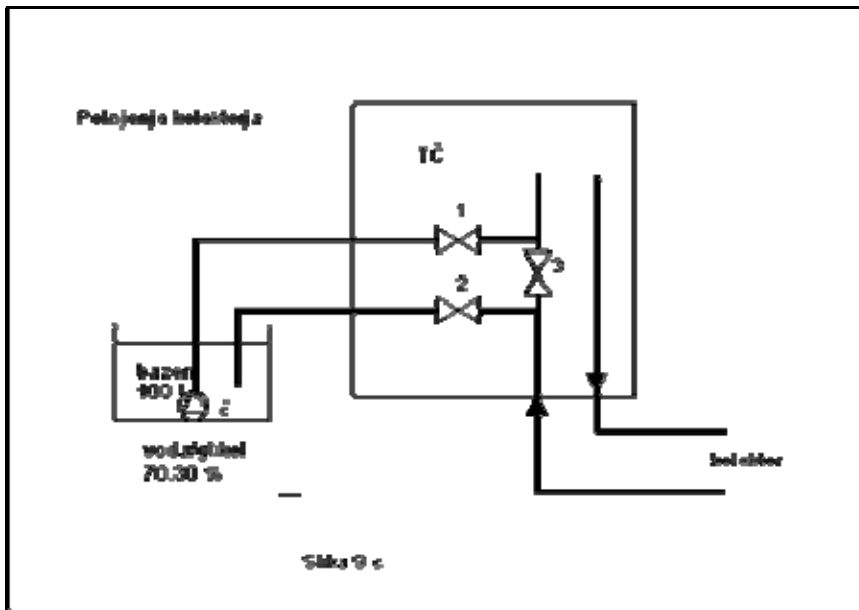


Del kolektorja od toplotne črpalke do dna kanala mora biti izoliran vsaj en meter od hiše, da ne pride do poškodb zaradi zmrzali. Način izoliranja je prikazan na slikah 9 a in 9 b. V primeru, da je TČ nameščena v kleti, ki je pod

nivojem zemlje, je potrebno izolacijo ob zidu prekiniti in zatesniti odprtino s poliuretansko peno (zaradi prisotnosti morebitne talne vode). Na zunanji strani zidu je potrebno izolirati kolektor v dolžini 1 m (na primer z Armaflex izolacijo).



Pri izkopu kanala za kolektor moramo računati s tem, da lahko nastane o krog kolektorja debela plast ledu, kar povzroči pri vlažnih in ilovnatih tleh dviganja tal na površini, t.i. zmrzal. Izkop naj bo zato na takem mestu, da zmrzal ne bo povzročila škode. Zaradi morebitne zmrzali kolektor ne vgradimo blizu nosilnih zidu, kanalizacije in vodovodnih cevi. Minimalni odmiki naj znašajo 1 m. V primeru, da se križata vodovodna in kanalizacijska cev, je potrebni cevi izolirati v dolžini enega metra na vsaki strani križanja. Položite v kolektorja pod potmi se izvede pravokotno na pot, kolektor pa zasuje z nekaj decimetrov debelo plastjo drobnega peska. Na plast peska še položimo dodatni izolacijsko ploščo, odporno na vlago. Mesto položitve kolektorja naj bo na prostoru, s katerega ne odstranjujejo sneg, saj sneg ščiti zemljo pred premočnih ohlajevanjem (zagotavlja ugodne pogoje za delovanje TČ). Kanal mora biti delno zasut pred začetkom preizkusnega delovanja. Končno zasutje kanala je potrebno izvesti po tlačnem preizkusu in poskusnem obratovanju. Pri rezanju kolektorskih cevi, odrezki ne smejo zaiti v cevi.



Kolektor je potrebno napolniti z mešanico vode in glikola v razmerju 70 : 30 %. Način polnjenja izvesti s posebno pripravo in črpalko, kapacitete minimalno 6 m³/h. Sistem je poln, ko na povratnem vodu ne izstopa zrak. Zaželeno je, da je v kolektorju nekaj nadtlaka. V času polnjenja je odprt ventil 1 in 2, ventil 3 je zaprt (slika 9 c). Prvi litri mešanice so običajno onesnaženi, zato jih izpustimo v posebno posodo. Ventil na ekspanzijski posodi odpremo, ko se posoda napolni do 2/3. Ko nivo mešanice pade na 25 % prostornine posode, izklopimo črpalko in dopolnimo posodo z mešanico. Po končanju polnjenja odpremo ventil 3 in zapremo ventil 2 ter po nekaj minutah ventil 1.

2.2.1. Dimenzioniranje obtočne črpalke kolektorja

Pretok ogrevne vode mora biti prilagojen grelni moči TČ. Ustrezen pretok in ga zagotavlja obtočna črpalka. Poleg pretoka je pomemben tudi padec tlaka, kar moramo upoštevati pri izbiri črpalke. Dodaten padec v sistemu pa povzroča še delovni medij (voda + glikol), kar pomeni povečanje za faktor 1,5 do 1,7. Pretok delovne ga medija lahko izračunamo po enačbi:

$$V_m = (3600 \times Q_h) / (r_m \cdot C_m \cdot \Delta t_m) \text{ (m}^3/\text{h)}$$

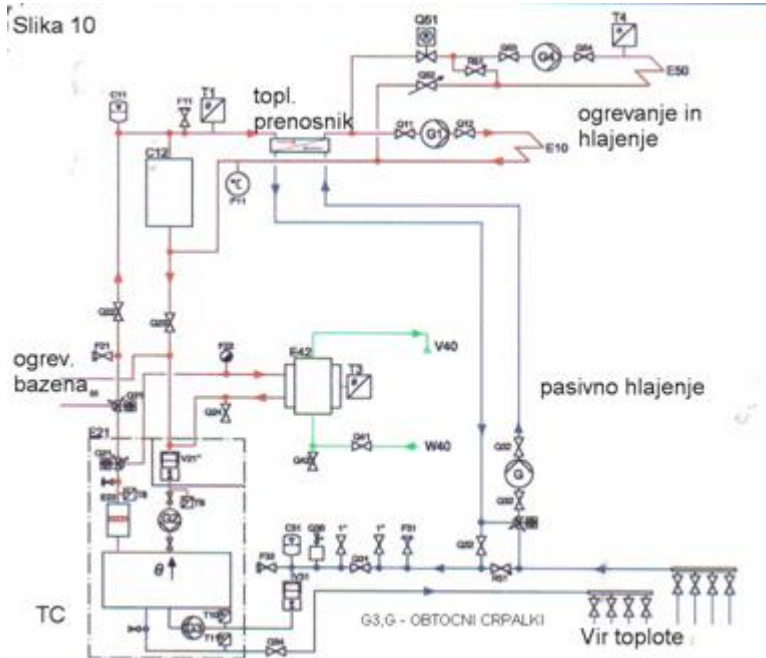
Q_h - hladilna moč (W)

r_m - gostota medija (glikol + voda) pri 25 % koncentraciji in 0 °C (1,05 kg/m³)

C_m - specifična toplota medija pri 25 % koncentraciji in 0 °C (3,7 kJ/kgK)

$\Delta t_m = 3 \text{ K}$. temperaturna razlika

Na slik 10 je prikazana instalacijska shema ogrevanje stavbe in bazena ter pasivno hlajenje s toplotno črpalko. Obtočni črpalke imata pozicijo G3 in G.



4. Zaključek

V primeru, če koristimo za ogrevanje toploto zemlje, moramo računati, da bo vegetacija zamujala približno 3 tedne. Glede na velikost parcele imamo različne možnosti pri izbiri kolektorja. Poznati moramo sestavo zemlje (zaradi toplotne oddaje), temperaturno območje zemlje in način ogrevanja (monovalento, bivalento).

Delež toplote, ki jo naj pokrije toplotna črpalka je odvisen od vira toplote in načina obratovanja. Da dosežemo čim boljše grelno število, naj bo temperatura predtoka čim nižja. Grelna število je višje, če ima vir toplote sorazmerno visoko temperaturo in če je temperatura ogrevalnega medija (predtoka) nizka. Da to dosežemo, moramo uporabiti nizko temperaturne ogrevalne sisteme (talno, stensko, stropno, toplozračno, konvektorsko). Najpogosteje vgrajujemo v zemljo horizontalni cevni prenosnik. V globino približno 1,2 metra se položijo PE cevi dimenzije $\varnothing 25 \times 2,3$ mm v dolžini 100 metrov/zanko. Na vsaki zanki so nameščeni ventili, da lahko posamezno vejo zapremo. Od razdelilnika povežemo dvilini in povratni vod s toplotno črpalko. Vmes namestimo obtočno črpalko, ki omogoča kroženje medija pa ceveh. Osnovne smernice, ki jih je potrebno upoštevati : idealna so vlažna ilovnata tla, ne smemo narediti drenaže za odtok deževnice, saj bi s tem preprečili regeneracijo tal, površina kjer so zemeljski kolektorji, ne sme biti asfaltirana (določeni deli so mogoči), izogniti se moramo nasadom z globokimi koreninami.

Bojan Grobovšek, univ.dipl.inž.str.