

Dario HRASTOVIĆ¹

PROJEKTIRANJE DIZALICA TOPLINE*

Sažetak: Tematika rada se oslanja na rezultate terenskog ispitivanja sustava dizalica topline The Energy Saving Trust koje je provedeno u Velikoj Britaniji 2010. Oslanjajući se samo na tehničke podloge i savjete koji se mogu dobiti iz literature te od distributera opreme, može se doći do dosta različitih rezultata u pogonu dizalica topline. Bazirano na rezultatima terenskog ispitivanja izvedenih sustava dizalica topline, kombiniranjem vlastitih postojećih saznanja i komentara na terensko ispitivanje, daju se preporuke što je potrebno izbjegavati u sustavima da se dobije što veći ukupni godišnji koeficijent učinka grijanja. Iz podataka terenskog ispitivanja za zračne dizalice topline su dobiveni ukupni godišnji učinci 1,2–3,3 dok je za geotermalne dizalice topline dobiven učinak na razini 1,3–3,6 što je jako malo te se ističu razlozi tako loših rezultata. Osnovni problem koji se pojavio je prevelika količina električne energije koja je korištena u ukupnom sustavu te su na kraju dobiveni jako mali učinci za cijeli sustav kada se uspoređuje dovedena električna energija te dobivena toplinska energija. Navesti će se nekoliko primjera kada se dizalice topline mogu koristiti, a kada ne te u kojim slučajevima nije preporučljiva njihova primjena.

Ključne riječi: *dizalice topline, električna energija, faktor učina grijanja*

1. UVOD

Predmet ovog rada biti će analiza ukupnog godišnjeg faktora učinka u radu sustava grijanja kojeg pokreće dizalica topline ili SPF (Sesonal Performance Factor). Često se ukupni godišnji učinak zanemaruje ili se namjerno prikriva da se ne pokažu sve negativnosti primjene dizalica topline u određenoj kombinaciji toplinskog sustava. Investitorima treba realno pokazati što dobivaju ako se odluče uložiti u sustav grijanja dizalicom topline jer investicija u sustav često može biti puno veća od investicije u uređaje pokretane klasičnim energentima. Loše dimen-

* Rad je lektorisan u skladu sa hrvatskim pravopisom.

¹ Dario Hrastović, dipl. inž. stroj., Hrastović inženjering d. o. o., Đakovo, K. P. Svačića 37a, 31400 Đakovo, 099-221-6503, *e-mail:* dario.hrastovic@gmail.com, *web:* www.hrastovic-inzenjering.hr

zioniranje cijelog sustava može dovesti do visokih troškova pogona ili jednakih troškova klasičnim energentima zemnom plinu, ukapljenom naftnom plinu ili lož-ulju. Cilj je dimenzionirati sustav koji će imati manje troškove pogona te će dugoročno ostvariti uštedu u pogonu i opravdati puno veću investiciju.

Osnova ovog rada je analiza rezultata terenskog ispitivanja dizalica topline u Velikoj Britaniji 2010 godine. Ispitivanje je provela organizacija The Energy Saving Trust a ispitivanje je bilo izvedeno pod nazivom Getting Warmer: A field trial of heat pumps. Terenska ispitivanja su korisna da bi se izmjerila stvarna učinkovitost sustava prilikom stvarnog korištenja u odnosu na laboratorijska istraživanja i ispitivanja te daju smjernice kako se može povećati učinkovitost cijelog sustava. Prednosti ovakvog tipa istraživanja su za same korisnike jer ih se savjetuje kako pravilno koristiti uređaje, za industriju u kojem smjeru moraju redizajnirati uređaje te za davatelje subvencija da se dokaže opravdanost subvencija za obnovljive izvore energije. Osnovni razlog primjene dizalica topline je smanjivanje emisije CO₂ te se terenskim ispitivanjima pokušava dokazati da dizalice topline stvarno djeluju na realno smanjivanje emisije u odnosu na klasične energente zemni plin, ukapljeni naftni plin i lož-ulje.

U slijedećih deset do dvadeset godina može se očekivati velika ekspanzija primjene sustava obnovljivih izvora energije te će se izvoditi sve više instalacija obnovljivih izvora energije solarnih toplinskih sustava, solarnih fotonaponskih sustava, raznih izvedbi sustava dizalica topline te rekuperacijskih ventilacijskih sustava. Sukladno budućim zahtjevima potrebno je definirati koji oblik dizalice topline je uistinu obnovljivi izvor energije te kako postići da sustav dizalice topline bude konkurentan po pitanju smanjivanja emisije CO₂, te da li dizalice topline opravdavaju subvencije na njihovu instalaciju. Sustavi dizalica topline se primjenjuju već desetljećima no ekspanzija veće primjene sustava je počela kao posljedica mnogobrojnih radova na temu zaštite okoliša, ozonskog omotača, smanjivanja emisije stakleničkih plinova i povećanje energetske učinkovitosti. Početni sustavi su temeljeni na podacima koji su se mogli dobiti iz literature koju dostavljaju proizvođači opreme, a podatci su temeljeni na laboratorijskim ispitivanjima u idealnim uvjetima te se često prikazuje samo učinak u radu uređaja, a ne učinak cijelog sustava.

U Velikoj Britaniji The Energy Saving Trust je vodeća nezavisna organizacija koja pomaže široj zajednici da smanji troškove grijanja te ujedno djeluje u pravcu smanjivanja emisije CO₂. Organizacija je potpomognuta širokim brojem konzultanata koji daju savjete potrošačima za uštedu energije, vrše terenska ispitivanja rada sustava. Organizacija je razvijena jer je uočen veliki porast potražnje za primjenom obnovljivih izvora energije te su 2009. izvršili terensko ispitivanje rada vjetroturbina, 2010. je izvršeno terensko ispitivanje rada dizalica topline, dok 2011. planiraju napraviti terensko ispitivanje rada solarnih toplinskih sustava. Kako je

organizacija nezavisna, njezina ispitivanja su neovisna te se rezultati mogu objektivno promatrati, a rezultati se usmjeruju kroz javne izvještaje.

Dobiveni podatci se koriste da bi se proizvođačima dizalica topline istaknulo gdje su nedostaci u konstrukciji sustava, nedostaci u uputstvima za korištenje te uputstvima za instalaciju sustava. Analizama stvarnih instaliranih sustava dolazi se do kritičnih elemenata koji uzrokuju smanjivanje ukupnog faktora učinka grijanja COP te se dolazi do navika korisnika sustava te do podataka kako poboljšati buduće instalacije. Dobivene podatke terenskog ispitivanja potvrdili su SP tehnički istraživački institut Švedske, Planair iz Švicarske i Fraunhofer institut iz Njemačke te Energy Technologies Institute ETI iz Velike Britanije.

2. TERENSKO ISPITIVANJE

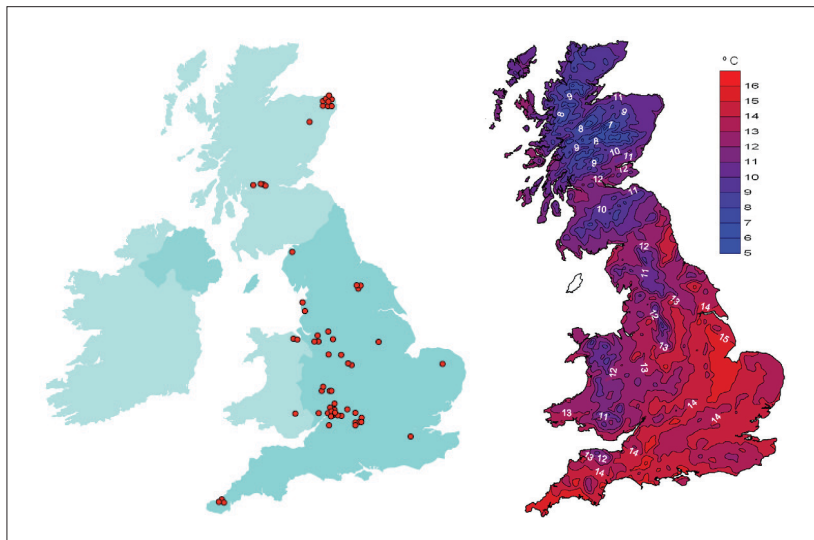
Obzirom da gotovo i ne postoje podatci stvarnih karakteristika cijelog sustava dizalica topline, napravljeno je terensko ispitivanje da se dobiju podatci na godišnjoj razini. Ispitivanje je trajalo godinu dana te je nadziran rad 83 instalirana sustava u Velikoj Britaniji, a ukupni rezultat su podatci iz kojih se može dobiti zaključak što sve djeluje na ukupni godišnji faktor učinka sustava SPF. Analizom su obrađene dizalice topline od zračnih do geotermalnih te su uspoređivani novi sustavi i rekonstruirani postojeći sustavi te je zbog tih razloga velika oscilacija u dobivenim ukupnim godišnjim učincima sustava. Mjerenja su obavljena na instalacijama koje su dobile subvencije za instalaciju te je terensko ispitivanje trebalo potvrditi opravdanost investicije i subvencija te dokazati realno smanjivanje emisije CO₂.

Osnovni elementi koji su promatrani terenskim ispitivanjem su:

- mjerenje faktora učinka grijanja dizalice topline COP (faktor dizalice);
- mjerenje faktora ukupne godišnje učinkovitosti sustava SPF (faktor sustava);
- vrsta instalirane dizalice topline;
- analiza projektne dokumentacije;
- analiza ispravnosti instaliranog sustava;
- ponašanje i navike korisnika sustava;
- temperature grijanja građevine;
- temperature grijanja sanitarne vode;
- ekonomska isplativost i opravdanost investicije;
- energetska učinkovitost građevine.

Od 83 instalirana sustava koji su obrađeni mjerenjem, 29 su zračne dizalice topline i 54 su geotermalne dizalice topline, a 14 je različitih proizvođača opreme. Od svih ispitanih instalacija samo 13% je imalo faktor sustava iznad 3,0. Različite su instalacije u kojima su dizalice korištene:

- sustavi grijanja;
- sustavi grijanja i pripreme sanitarne vode;



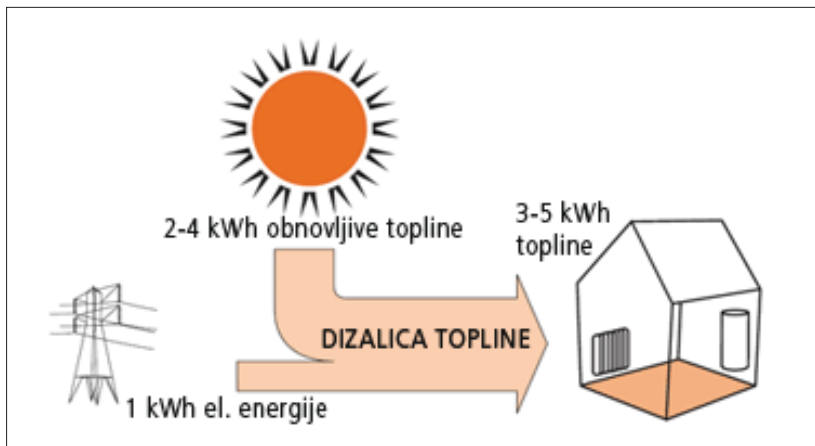
Slika 1. Lokacije ispitivanih dizalica topline [1],
temperature na 100 m dubine [19]

- dizalica topline u kombinaciji s još jednim izvorom topline;
- sustav s plošnim grijanjem;
- sustav s radijatorskim grijanjem;
- složeni sustavi sa kombinacijom solarnog sustava.

A dizalica topline je?

Osnovna definicija kaže da je to uređaj koji koristi električnu energiju da bi prebacio toplinsku energiju iz jednog toplinskog spremnika u drugi. Potreban je izvor topline koji može biti: okolišnji i otpadni zrak, zemlja, podzemne i otpadne vode itd. Energija se prebacuje u toplinski ponor: sustav grijanja građevine ili se energija koristi za pripremu sanitarne vode. Dizalice topline manjih snaga su prisutne u svakom domaćinstvu u zamrzivačima i klima jedinicama (zračna dizalica). Za sustave grijanja promatraju se dizalice topline većih snaga od 5 kW na više ovisno o potrebnoj toplinskoj snazi sustava. Energiju s niže razine na višu podiže kompresor u koji se unosi električna energija da se ostvari krug rada dizalice topline.

Pretpostavimo da je izvor električne energije termoelektrana pokretana fosilnim gorivom. Elektrane tog oblika imaju faktore pretvorbe na razini 35% odnosno $1 / 2,85$, odnosno potrebno je uvesti 2,85 jedinica zemnog plina u elektranu da

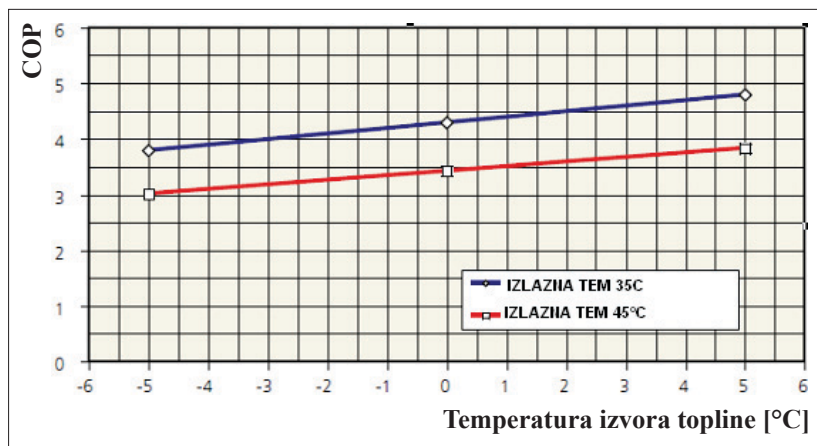


Slika 2. Energetska bilanca dizalice topline [2]

se dobije 1 jedinica električne energije. Potom se električna energija koristi u sustavu dizalice topline koja ima faktor sustava SPF 5,5. Ako je učinkovitost plinskog uređaja 90%, dolazi se do podatka da je za usporedivi plinski sustav potrebno $550\% / 90\% = 6,1$ jedinica toplinske energije zemnog plina. Grubom računom $6,1 / 2,85 = 2,14$ dobiva se podatak da je potrebno duplo više zemnog plina da se dobije ista snaga sustava. Nizom sličnih analiza došlo se do zaključka da je usporedna razina faktora sustava SPF zemnog plina na razini 1,8–2,2, što je osnovni podatak za daljne tehno-ekonomske analize opravdanosti investicije. Velika prednost dizalica će se ostvariti kod korištenja obnovljivih izvora energije za dobivanje električne energije [17].

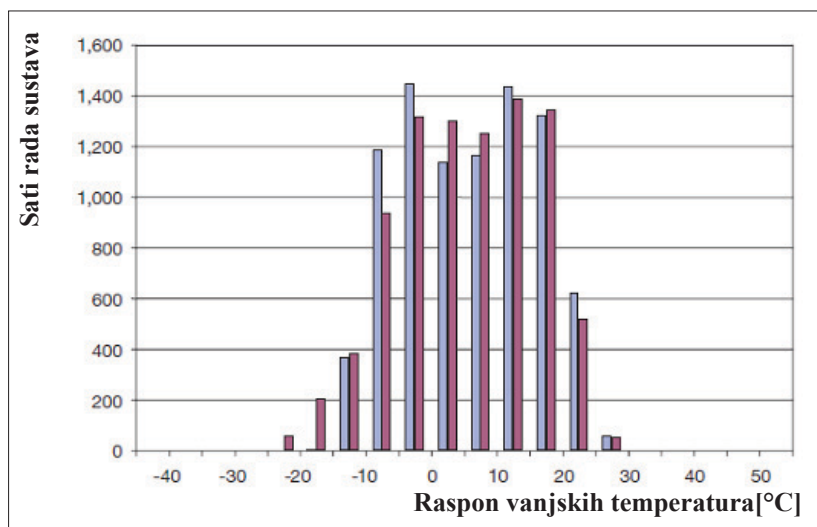
Faktor dizalice ili COP predstavlja odnos toplinske energije koju proizvede dizalica topline u odnosu na električnu energiju koja je dovedena uređaju. Što je veći COP, potrebno je manje električne energije da se stvori ista snaga toplinske energije, te što je veći COP, to je bolji uređaj. Za COP 3,0 potrebno je u dizalici topline – uređaj dovesti 1 kW električne energije da se dobiju 3 kW toplinske energije. Učinkovitost dizalica topline nije jednaka za sve modele i proizvođače te treba odabirati uređaje klase A odnosno energetski učinkovite uređaje. Dizalice topline se ispituju prema normi BS EN 14511–2 i kroz standardne uvjete B 0 W 50 (engl. brine, glikol pri 0°C i engl. water, voda pri 50°C) dodatni testovi su pri B 0 W 35 (0°C / 35°C) i B 5 W 35 (5°C / 35°C) te se testovima pri tim uvjetima dobiva COP ispitivane dizalice topline.

Ukupna godišnja učinkovitost sustava (faktor sustava) predstavlja odnos toplinske energije koju je proizvela dizalica topline u odnosu na ukupnu električnu energiju koja je dovedena u sustav da bi se ostvarilo grijanje građevine, priprema



Slika 3. Faktor dizalice u odnosu na temperaturu toplinskog izvora [7]

sanitarne vode, dodatno dogrijavanje te rad crpki i automatske regulacije. Za faktor sustava od 3,0 potrebno je dovesti 1 kW električne energije u sustav da se dobije 3 kW toplinske energije na toplinskim ponorima: podnom grijanju, spremniku sanitarne vode. Da se ostvari ukupni faktor sustava od 3,0 potrebno je da je COP dizalice topline veći i na razini od oko 3,5–4,0 da se pokriju električne potrebe na pumpama i automatskoj regulaciji. Razlika temperature toplinskog izvora



Slika 4. Vremenski udio različitih temperatura tijekom godine [22]

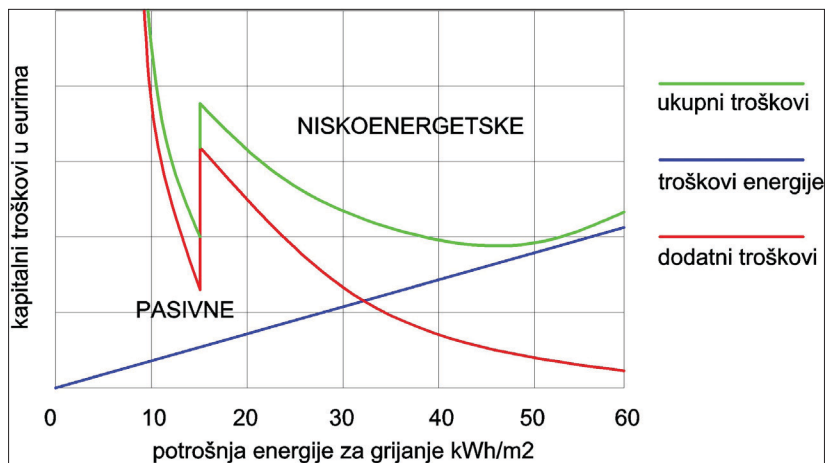
(zrak, zemlja, voda) mora biti što bliža temperaturi toplinskog ponora (podno grijanje, ventilokonvektori, radijatori, zrak). Nailazi se često na preporuke da se dizalica topline ne dimenzionira na maksimalno opterećenje već na 70–80% potrebne maksimalne toplinske snage te da bi dizalica topline tim odabirom mogla pokriti 85–95% dana grijanja. Pokazati će se da taj model odabira negativno djeluje na faktor sustava. Primjena električnog dogrijavanja će se zabraniti poslije 2015. godine jer električni grijači imaju najveću emisiju CO₂.

Priprema građevine

Investitorima koji izgrađuju nove građevine treba objasniti prednosti moderne pasivne i niskoenergetske arhitekture te strojarskih instalacija koje se ugrađuju u spomenute građevine. Instalirana snaga dizalice topline je usko vezana uz tip građevine te ovisi da li je ona klasična, niskoenergetska ili pasivna. Najmanju instaliranu snagu trebaju pasivne građevine pa je preporuka da se prvo napravi kvalitetna izolacija građevine na razini pasivne građevine 20–25 cm izolacije za kontinentalnu Hrvatsku ili 15–20 cm za primorsku. Nakon definiranja toplinske ovojnice građevine se dimenzionira sustav grijanja te se odabire i toplinski izvor dizalice topline. Investicija u izolaciju će dugoročno smanjiti troškove energenata te će smanjiti i početnu investiciju u sustav grijanja. Pasivna građevina po definiciji ima toplinsko opterećenje od maksimalno 15 W/m² pa iz tako malog opterećenja slijedi i manja snaga dizalice topline, mala potrebna površina zemnog izmjenjivača, manji broj potrebnih sonde te ukupno manji sustav. Kombinacijom solarne pasivne arhitekture, velike izolacije moguće je postići jako malu investiciju u sustav grijanja.

Ako se dizalica topline instalira u postojeće građevine, potrebno je prvo poboljšati izolaciju građevine, zamjeniti prozore boljima te smanjiti ukupnu energetska potrebu građevine. Provesti energetska certificiranje građevine u kojem će se dobiti niz mjera za povećanje energetske učinkovitosti građevine, mjere za poboljšanje korištenja građevine i preporuke za nove instalacije primjenjive u postojećoj građevini. Jedno od ispitivanja koje se provodi tijekom energetska certificiranja je i blower door test ili ispitivanje infiltracije zraka u građevini, a podatak je važan za proračun transmisijskih gubitaka građevine. Ugradnja dizalica topline je moguća u starim građevinama, ali uz nužne rekonstrukcije građevine.

Osnovno pitanje je uvijek: Koliko to sve košta? Ako se klasične instalacije ugrađuju u niskoenergetske građevine, jako brzo se može doći do visoke investicije u strojarske instalacije. Krivulja ukupnih troškova raste s brojem instalacija koje se mogu ugraditi: zemni kolektori ili sonde, geotermalne ili zračne dizalice, podno grijanje i stropno hlađenje, rekuperacija zraka, solarni toplinski sustav, solarni fotonaponski sustav. U području pasivnih građevina dolazimo do točke pada investicije, a to je točka u kojoj se kombinira solarna pasivna arhitektura sa re-



Slika 5. Optimiziranje instalacija u pasivnim i niskoenergetskim građevinama

kuperatorskim sustavima. Zona minimalnih sustava potrebnih za grijanje građevine te područje najmanje investicije.

Sunce je izvor energije

Sve dizalice topline posredno koriste energiju Sunca koja se akumulirala u zraku, zemlji, vodi i biomasi. Sunčeva energija se kroz transformacije može koristiti za grijanje odnosno hlađenje građevina te za proizvodnju električne energije pomoću koje se pokreću dizalice topline. Stalni dotok energije Sunca osigurava nesmetani rad projektiranih sustava i stabilnost temperatura odabranih toplinskih izvora pri čemu se toplinski tok kreće u granicama od 40 do 80 W/m² za područje Europe [19]. Potencijal iskorištenja energije koju dobivamo od Sunca je ogroman te je taj potencijal trenutačno neiskorišten. Tendencija je da se do 2020. godine udio obnovljivih izvora energije poveća na 20%, dok je ambiciozni plan da se udio poveća do 2100. godine na 100% energije iz Sunca. Godišnje na Zemlju zračenjem od Sunca dolazi količina energije koja je tisuću puta veća od godišnjih potreba. Godišnje Sunce na svaku građevinu dozrači nekoliko puta više energije nego što ta građevina treba energije za grijanja i pripremu sanitarne vode.

Izvor topline zrak – zračne dizalice topline

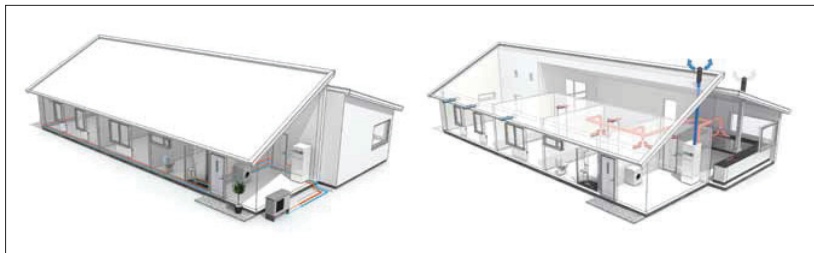
Zračne dizalica topline su poznate kao klima jedinice ili zrak-zrak uređaji koje se koriste masovno za hlađenje tijekom ljeta, te za grijanje u krajevima koji ima-

ju prosječne zimske projektne temperature na razini -5 do 0 °C, odnosno u primorskoj Hrvatskoj. Broj unutrašnjih jedinica može biti od jedne (mono sustavi) do nekoliko (multi-split sustavi). To su sustavi kod kojih je freon u cijevima prenosnik topline. Složeniji sustavi su VRV ili variable refrigerant volume, sustavi s promjenljivim volumenom radne tvari koji mogu istovremeno vršiti grijanje i hlađenje građevine. Složeni freonski sustavi koji se u praksi nisu pokazali idealnim za održavanje u slučaju puštanja freona na jednom od varova, spojeva cijevi. Oko cijevi se postavlja izolacija koja dodatno onemogućuje pronalazak mjesta propuštanja.

Sustavi zrak-voda koriste vanjsku jedinicu koja crpi toplinu iz okolišnjeg zraka te se toplina prenosi vodom na sustav grijanja ili spremnik tople vode. Preporuča se da sustav ima spremnik koji na sebe prima oscilacije energetskih potreba građevine te se primjenom toplinskog spremnika smanjuje broj paljenja i gašenja kompresora čime se povećava vijek trajanja uređaja. Toplinski spremnik ili buffer za obiteljske kuće bi trebao imati zapreminu od 60 do 200 litara ovisno o snazi sustava te modelu grijanja da se smanji broj paljenja i gašenja dizalice topline.

Vanjska jedinica ima u sebi isparivač, kompresor, eskpanzijski ventil te regulacijske elemente. Kod temperatura vanjskog zraka nižih od 5 do 7 °C dolazi do postepenog zaleđivanja isparivača jer je temperatura freona u isparivaču niža za 5 do 10 °C od vanjskog zraka da se ostvari prijelaz topline. Zbog zaleđivanja, vanjske jedinice koje se koriste za grijanje moraju imati režim odleđivanja u kojem se proces rada dizalice topline okreće te se jedinica odleđuje toplim freonom. Kod odleđivanja toplina se odvodi iz građevine odnosno spremnika sanitarne vode te građevina postaje toplinski izvor. Tijekom procesa odleđivanje ne grije se građevina već se hladi te je potrebno dimenzionirati zračnu dizalicu topline na veću snagu nego nominalnu da se niveliraju oscilacije u toplinskom radu. Pojedini proizvođači garantiraju rad uređaja do temperatura vanjskog zraka od -15 do -20 °C. Uređaji mogu teoretski raditi na niskim temperaturama ali im je SPF onda na razini $1,0$ – $1,5$ što je istovjetno grijanju klasičnim energentima ili električnim grijačima koji imaju COP $1,0$. Koliki će biti iznos faktora sustava SPF ovisi prvenstveno o temperaturi okolišnjeg zraka te će SPF na svakoj lokaciji biti drugačiji. Treba obratiti pozornost na geografsku lokaciju kada se odabiru zračne dizalice topline jer kod krivog odabira nastaju dugoročno visoki troškovi energenta.

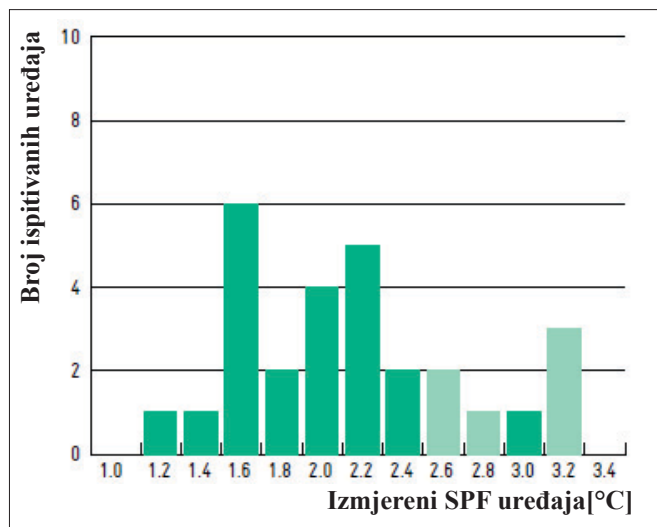
Po investiciji je najpovoljnija zračna dizalica topline koja i u idealnim uvjetima ne može postići visoki faktor sustava, dok je po cijeni pogona u rangu s klasičnim energentom – zemnim plinom. Velika prednost zračne dizalice topline je što joj je za pogon potrebna električna energija te se može koristiti kao uređaj za grijanje na izoliranim područjima koji imaju instalirane fotonaponske sustave za proizvodnju električne energije. Zračne dizalice mogu imati veliku primjenu na otocima gdje ne postoji plinska mreža, spremnici ukapljenog naftnog plina ili se žele zamjeniti



Slika 6. Zračni toplinski izvor: zračna dizalica i toplina otpadnog zraka [1]

postojeći sustavi grijanja lož-uljem. Osnovni nedostatak zračnih dizalica je buka koju stvaraju tijekom rada, a riječ je o konstantnoj buci koja može negativno utjecati na korisnike prostora te susjedne građevine i korisnike.

Koncepcija korištenja energije otpadnog zraka za grijanje građevine je nova i sustavi su predviđeni za grijanje građevina malih toplinskih zahtjeva kao što su pasivne građevine. Kanalima se zrak temperature oko 20°C odvodi iz sanitarija, kuhinje i hodnika te se vodi do zračne dizalice koja koristi otpadni zrak kao toplinski izvor koji ima stabilnu temperaturu. Zagrijani svježi zrak temperature oko 26 do 30°C se potom ubacuje u građevinu u zone boravka – dnevnu sobu i spavaće sobe. Koncepcija ove zračne dizalice se može kombinirati s radom rekuperatorske ili regeneratorske jedinice koja preko izmjenjivača vrši povrat topline otpadnog zraka građevine. Ovim sustavima se može napraviti klimatizacija građevine,



Slika 7. SPF ispitivanih zračnih dizalica topline [1]

grijanje i hlađenje zraka, povrat topline te filtriranje zraka. Na tržištu postoji mali broj uređaja koji mogu zadovoljiti tražene uvjete no očekuje se razvoj novih tehnoloških rješenja kako se bude povećavao udio pasivnih građevine jer su ove jedinice prvenstveno namjenjene za primjenu u kombinaciji sa solarnom pasivnom arhitekturom. Uređaj je namjenjen prvenstveno za grijanje građevine te se priprema tople sanitarne vode mora osigurati zasebnim sustavom kao što je solarni sustav.

Ispitivane zračne dizalice topline su postigle faktore učinka u prosjeku 2,2, dok je maksimalni postignuti učinak sustava 3,2. Postignuti COP samog uređaja je na razini minimalno 1,2 do maksimalnog učinka 3,3. Učinak zračnih dizalica topline ovisi o vanjskoj temperaturi zraka te im učinak pada sa snižavanjem okolišne temperature zraka, a i velike su oscilacije temperature toplinskog izvora odnosno zraka. Sustavi koji su postigli učinkovitost ispod 2,0 su pogrešno instalirani ili su instalirani na pogrešnim lokacijama. Zračne dizalice topline nisu u pravilu predviđene za instaliranje u krajevima s niskim temperaturama zraka u sezoni grijanja, a posljedica takvih instalacija je učinak sustava od 1,2.

Izvor topline zemlja – geotermalne dizalice topline

Iz zemlje se ne može dobiti više energije nego što posjeduje toplinski akumulator, a toplinski kapacitet je konačan te ga je potrebno postepeno prazniti da se omogući regeneracija putem dotoka energije Sunca $40\text{--}80\text{ W/m}^2$ [19], te padalina kiše ili dotoka površinske vode. Drugi izvor energije koji obavlja regeneraciju je dubinski toplinski tok koji dolazi iz središta zemlje te je usmjeren prema površini, stabilan je jednako raspoređen tok na razini $0,052\text{ W/m}^2$ [19]. Potrebno je napraviti balans energije koja se crpi iz toplinskog spremnika i energije koja dolazi u njega da temperatura spremnika bude stabilna. Tijekom zime se energija crpi iz zemlje dok je potrebno tijekom ljeta energiju vratiti u toplinski spremnik dodatnim pasivnim hlađenjem građevine.

Osnovni elementi kod dimenzioniranja zemnih izmjenjivača su temperature na dubinama od 0 do 200 m, koeficijent provođenja topline strukture zemlje i postojanje podzemnih vodenih tokova. Potrebno je obuhvatiti područja geologije, termo-geologije i hidro-geologije da se dobiju okvirni podatci za početne proračune. Realni podatci su osnova za pravilno dimenzioniranje izmjenjivača topline da se spriječi predimenzioniranje. Stvarne temperature i stvarni koeficijenti provođenja topline svih slojeva zemlje definirati će toplinske tokove između zemlje i izmjenjivača te potrebne dimenzije, površine zemnih izmjenjivača. Velike su varijacije podzemnih karakteristika mikrolokacija te nije moguće primjeniti jedan model dimenzioniranja za drugu lokaciju bez poznavanja strukture zemlje. Mjerenje temperaturnog odziva je jedina metoda da se ispita izmjena topline na određenoj mikrolokaciji.

Zemni kolektori

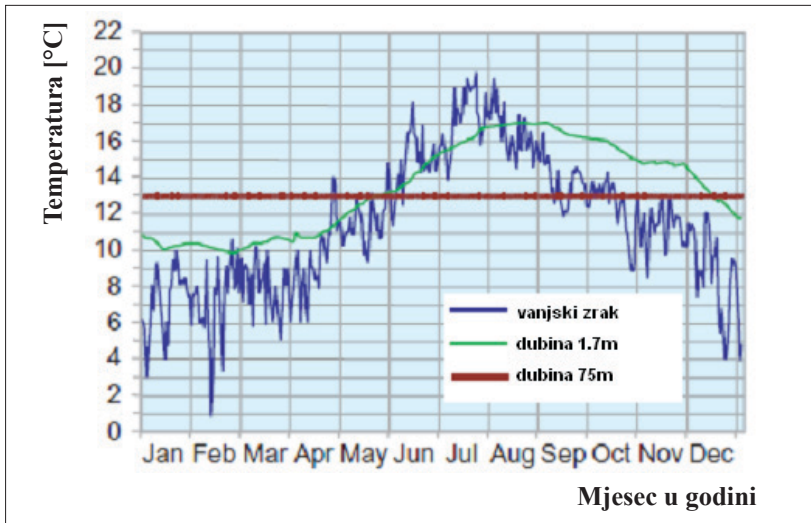
Što je veća površina kolektorskog polja, sporije će se crpiti toplina zemlje te će sustav imati veći i stabilniji toplinski kapacitet. Zemni kolektor je toplinski izvor izgrađen od mreže plastičnih cijevi postavljenih horizontalno na dubinama 1,5–2,0 m te površina mora biti 1,5–2,5 veća od površine građevine. Da se osigura stabilnost sustava površina polja bi trebala imati u sebi sigurnosni faktor odnosno mora biti predimenzionirana. Što je veća površina kolektora, osigurati će se veći faktor sustava SPF u dugoročnom korištenju te će toplinski izvor imati malu promjenu temperature što je važno za biomasu na površini. Ako je površina polja premala, neće doći do regeneracije topline zemlje i sustav neće moći postići tražene uvjete udobnosti prostora i tražene temperature uz niske troškove pogona. Cijena investicije u zemnu kolektorsku mrežu je puno manja od investicije u geotermalne sonde pa zemni kolektor treba koristiti kada je god moguće. Da se izbjegne zavarivanje cijevi i spajanje spojnicama ispod zemlje, dužina kruga mora odgovarati dužini koluta cijevi. Tako za Rehau dužina koluta iznosi 100 m, dok se nalaze primjeri instalacija s krugovima dužina i do 200 m u jednom komadu.

Vrsta tla	Rad sustava 1800 h	Rad sustava 2400 h	Dim. cijevi
nevezano tlo	10 W/m ²	8 W/m ²	20 x 1,9
vezano vlažno tlo	20–30 W/m ²	16–24 W/m ²	25 x 2,3
vodom zasićeno tlo	40 W/m ²	32 W/m ²	32 x 2,9

Slika 8. Toplinski tok ovisi o sastavu tla i vlažnosti te o tlu ovisi i promjer cijevi [23]

Temperatura zemlje na dubini od 2 m je stabilna u intervalu od 8 do 10 °C tijekom cijele godine. Najveće godišnje oscilacije temperature zemlje su na dubinama od 0 do 1 m ispod površine zemlje te treba izbjegavati to područje za instalaciju zemnog kolektora, a to je također područje zaleđivanja zemlje i niskih mogućih temperatura tijekom zime. Prosječno se može računati da se po metru instalirane plastične cijevi može dobiti oko 15 W/m², no ukupni toplinski dobitak ovisi o sastavu tla i vlažnosti tla te dobitak može rasti i do 40 W/m².

Model rijetki raspored. Ako postoji dovoljno površine, postavlja se rijetka mreža cijevi u kanalima na pravilnim razmacima koja uvijek osigurava regeneraciju zemlje i stabilniji rad sustava. Prednosti i mane dovele su do primjene rijetko položenih plastičnih cijevi PEHD d 32 ili kvalitetniji PE-Xa d 32, većeg promjera. PEHD d 32 je materijal koji traži minimalno 15 cm pijeska ispod i iznad cijevi, ukupno 30 cm da se umanjí mogućnost oštećenja. PE-Xa d 32 je kvalitetniji materijal, otporniji je na udarce i oštećenja te nije potrebno koristiti sloj pijeska. Na većim površinama da se uspori hlađenje zemlje u režimu grijanja građevine pa postoje primjeri postavljanja cijevi na razmacima od 30 do 60 cm. Minimalni prepo-



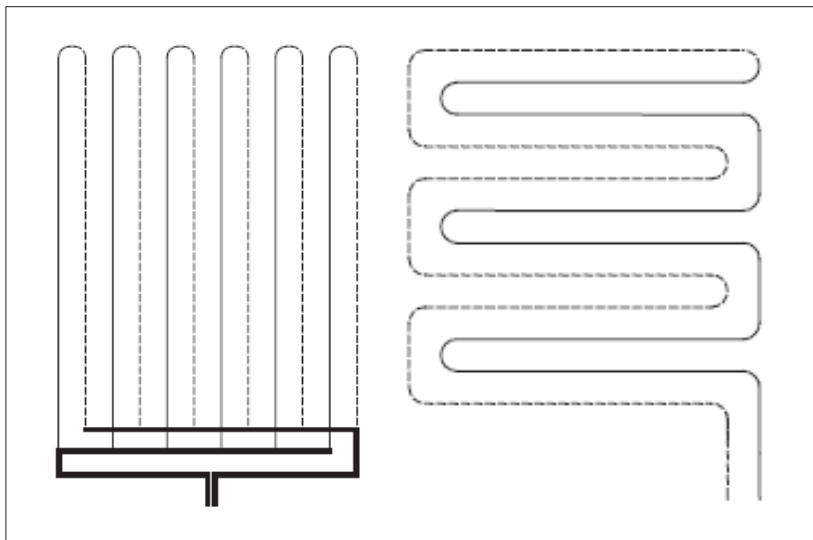
Slika 9. Godišnja promjena temperature zemlje na 1,7 m i na 75 m [18] i [23]

ručeni razmak je 30 cm da se smanji međudjelovanje položenih cijevi i izmjena topline susjednih cijevi. Prema VDI 4640 preporučeni razmak je od 50 do 80 cm.

Model spiralnog rasporeda. Ako je površina ograničena, postavlja se spiralni raspored cijevi (slinky raspored) te su kod tog modela veći prijelazi topline i potrebno je obratiti pozornost da količina odvedene topline ne bude veća od regenerirane. Ako se dogodi navedeno, dolazi do zaleđivanja zemlje te moguće oštećivanje biomase na površini zemlje. Nakon par sezona grijanja primjetiti će se znatno odumiranje travne mase.

Model višeslojnog rasporeda. Višeslojni raspored se koristi na površinama iznad kojih nema biomase odnosno na parkiralištima kod kojih veliko snižavanje temperature neće utjecati na biomasu i površinski izgled tla. Ovim rasporedom će se postići maksimalno odvođenje energije tla te će do kraja sezone grijanja doći do velikog pada temperature tla. Ako dođe do znatnijeg stvaranja ledenog sloja oko podzemnih cijevi, doći će do opadanja snage sustava. Prednost modela je maksimalni toplinski tok koji će se postići na instaliranoj površini. početna dubina postavljanja je 2,5 m te se drugi sloj može postaviti na 1,5 m dubine da se što više smanji međusobni utjecaj mreža.

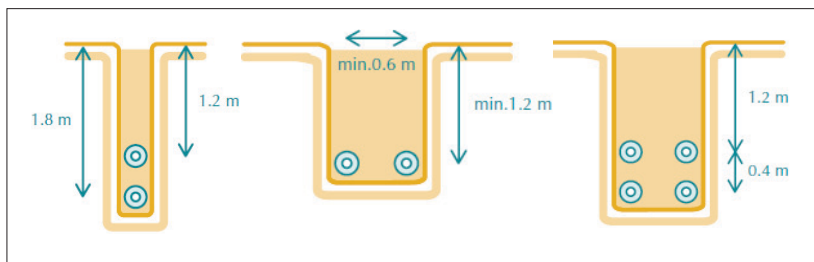
Model kapilarnog kolektora. Cijevi se mogu postavljati i na manjim razmacima te je na tom principu razvijen kapilarni kolektor koji se zbog velike gustoće cijevi brzo odvoditi toplinu iz zemlje te se zemlja brzo ohladi i izgubi kapacitet. Osnov-



Slika 10. Radijus savijanja cijevi zemnog kolektora za različite temperature okolišnjeg zraka i toplinski tok prema VDI 4640 i Tichelmann metoda spajanja krugova kolektora [23]

ni nedostatak je potreba za podzemnim zavarivanjem spojeva što predstavlja problem ako dođe do propuštanja cijevi.

Mreža cijevi se može postaviti i na dno jezera te se može koristiti relativno stalna temperatura vode na dnu jezera. Voda u jezeru će imati istu ulogu kao zemni akumulator, no može se očekivati da će se oko cijevi nakon višegodišnjeg korištenja stvoriti slojevi algi i biomase koja će znatno smanjiti toplinski tok. Mreža će imati utjecaj na promjenu temperature vode te veliki utjecaj na biomasu i organizme ekosistema [22].



Slika 11. Modeli rasporeda cijevne mreže zemnog kolektora: okomita spirala, pravilni razmak ili spirala i višeslojni raspored za ograničeni prostor [22]



Slika 12. Modeli postavljanja cijevi u spirali i na stalnom razmaku

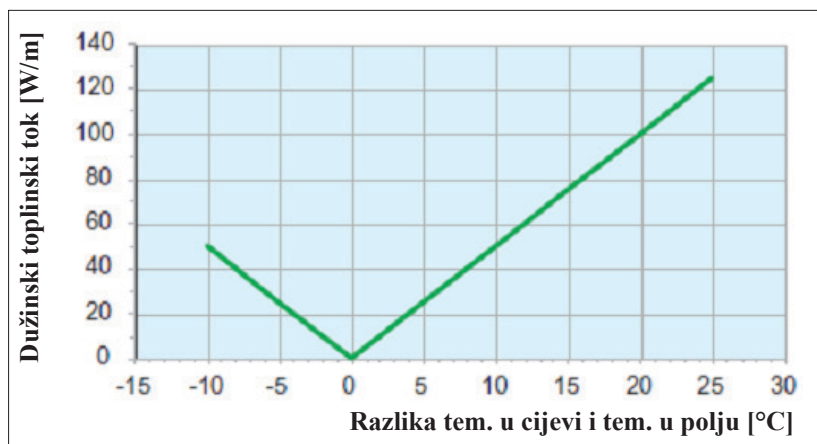
Mreža cijevi u permafrostu. Cilj je osiguravanje stabilnosti građevine i strukture temelja u zaleđenoj zemlji tijekom cijele godine. Temelji građevine prenose toplinu na permafrost koji se grije te građevina tone tijekom niza godina. Da se spriječi ovaj proces oko temelja se postavlja mreža kojom se iz permafrosta oduzima energija, pojačavaju se temelji i stabilnost građevine. Moguće je dobiti ovim modelom^{30–50%} energije za grijanje. Smanjuju se temelji i njihova dubina jer se oko temelja građevine stvara led koji se stalno održava hladnim. Lokalno oko građevine će nastati oštećenja na biomasi pa je potrebno prekriti površinu oko građevine popločenjem [22].

Sve cijevi se sakupljaju u podzemnom šahtu u kojem se nalazi razdjeljivač / sabirnik sa balansnim ventilima, mjeračima protoka te ventilima za odvajanje krugova putem kojim se postiže jednak protok na svakom krugu, dok svaki krug mora imati jednaku dužinu cijevi. Od podzemnog šahta se vode cijevi do strojarnice, a na mjestu prodora cijevi kroz zid se postavljaju prodorne zaštitne zidne spojnice.

Prije zatrpavanja zemlje i rovova potrebno je napraviti tlačnu probu mreže da se provjeri da li postoji mjesto propuštanja. Probni tlak je najmanje 6 bar, te u vremenu od 60 minuta tlak ne smije pasti za 0,2 bar.

Geotermalna sonda

Geotermalna sonda je okomiti kolektor koji se koristi u uvjetima kada nema dovoljno površine da se postavi mreža zemnog kolektora. Standardna dubina postavljanja sonde u Hrvatskoj je do 100 m da se ostvari ukupna dužina jednog kruga polaz i povrat sonde od max 200 m, ali postoje primjeri iz Švedske o postavljanju sonde do dubine od 300 m. Sonde se postavljaju na minimalnoj udaljenosti od 6–7 m da se umanjí međudjelovanje i da se osigura stalni dotok i regeneracija topline u zemlji.



Slika 13. Očekivani toplinski tok jedne instalirane U sonde [18]

Temperatura zemlje u vertikalnoj bušotini se kreće u intervalu od 10 do 13 °C do dubine od 100 m, što je dosta stabilan interval tijekom cijele godine. Može se očekivati da će se temperatura oko sonde nakon određenog vremena rada u režimu grijanja stabilizirati na nižoj temperaturi u rangu od 8 do 10 °C jer se toplina odvodi iz zemlje u režimu grijanja građevine.

Vrsta tla	1800 radnih sati	2400 radnih sati
suhi pijesak	<25	<20
vlažni pijesak	65–80	55–85
pijesak s vodenim tokom	80–100	80–100
vlažna glina	35–50	30–40
kamen vapnenac	55–70	45–60
kamen pješčar	65–80	55–65
kamen granit	65–85	55–70
kamen bazalt	40–65	35–55
kamen gnajs	70–85	60–70

Slika 14. Očekivani toplinski tok W/m sonde za 1800 i 2400 radnih sati [23]

Jedna sonda je izgrađena od dvije cijevi dok se na dnu cijevi nalazi uteg koji olakšava postavljanje sonde. Ukupno jedan metar sonde ima četiri metra cijevi od PEHD d 32 ili puno kvalitetnijeg PE-Xa d 32 s vijekom trajanja oko 100 godina pri temperaturama oko 15 °C. Može se računati da jedan metar sonde može dati prosječno oko 50 W/m (VDI 4640) ili 4 x 15 W/m što je bila polazna vrijednost za dimenzioniranje zemnih kolektora. Ovisno o sastavu tla toplinski učinak sonde

se može kretati od 25 pa do 85 W/m što je dosta velika oscilacija te je teško predvidjeti koliko ćemo sonde trebati da se pokriju toplinski gubitci građevine na određenoj geografskoj lokaciji. Između cijevi se nakon postavljanja ulijeva smjesa betona i cementa da se postigne homogenost i toplinska veza sa tlom. Smjesa ima koeficijent provođenja topline na razini 2,0 W/mK. Sadržaj vlage u zemlji utječe na prijelaz topline te vlažna tla bolje provode toplinu nego suha tla u kojima postoji zarobljenih slojeva plinova. Samo na razlici u sastavu tla može biti potrebno da se instalira i do 50% više sonde da se ostvari ista toplinska snaga sustava što na kraju znatno utječe na investiciju. Kod velikih sustava sa sondama preporučljivo je napraviti probnu sondu te preko nje ispitati promjene temperatura te toplinsku snagu koja se može dobiti. Ispitivanja ovog obima znatno poskupljuju investiciju no opet se mogu opravdati kroz točni podatak o karakteristikama tla.

Najveći poznati primjer instalacije sonde za grijanje i hlađenje je poslovno-stambeni kompleks Linked Hybrid, Peking, Kina u kojem je instalirano 655 sonde dužine 100 m koje se koriste za grijanje i hlađenje građevine [4]. Veliki je broj izvedenih sustava u Švedskoj koja je pionir na području primjene dizalica topline – na 9 miliona stanovnika je instalirano oko 1 miliona dizalica topline.

Cijena izvođenja sonde u Hrvatskoj je dosta visoka na razini 40–50.000 kn za 100 m sonde ili 55–65 Eur/m, dok je u EU cijena izvođenja sonde 30–50 Eur/m. Cijena izvođenja sonde bi trebala padati s povećanjem broja tvrtki koje se bave izvođenjem geotermalnih sustava. Cijena izvođenja sonde ovisi o sastavu tla te da li je potrebno osigurati bušotinu cijevima od urušavanja, a i lakše je postaviti bušotinu u stijeni nego u šljunkovitom sloju ili zemlji.

Za izvođenje geotermalnih sonde nije potrebna posebna dozvola no postoje opasnosti koje sonde donose na okoliš prilikom instalacije većeg broja sonde.

– Postoji opasnost da podzemne bušotine povežu različite vodonosne slojeve te na taj način promjene podzemne vodotokove.

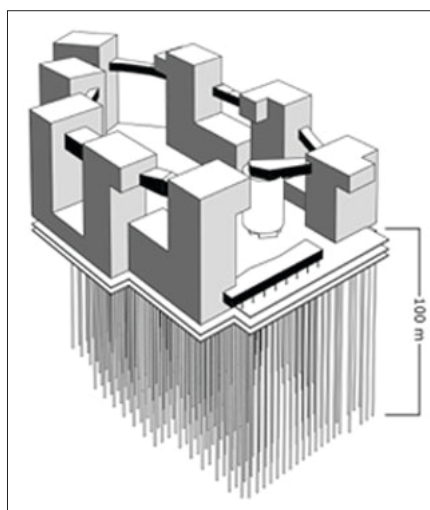
– Sonde mogu ubrzati tok onečišćenja iz gornjih slojeva u niže slojeve i zagađenje vodonosnih slojeva pa se stoga ne preporuča njihova instalacija u vodozaštićenim područjima. Ispuna sonde smanjuje mogućnost miješanja slojeva vode.

– Sonde su ispunjenje glikolnom mješavinom te u slučaju potresa i pomicanja slojeva zemlje te prekidanjem samo jedne sonde može doći do istjecanja cijelog punjenja geotermalne instalacije u podzemlje.

– Ako se koristi jeftiniji i otrovni etilen-glikol, može doći do znatnog zagađenja podzemlja te se stoga preporuča korištenje nešto skupljeg i neotrovnog propilen-glikola koji se rijetko koristi kao antifriz u instalacijama.

– Jedna sonda neće imati veliki utjecaj na podzemlje no ako se na mikro lokaciji postavi veliki broj sonde može se očekivati lokalno toplinsko zagađenje odnosno značajna promjena temperaturnog geotermalnog profila i promjena toplinskog kapaciteta tla.

U mreži se nalazi mješavina vode i propilen-glikola, antifriza, koji mora imati točku leđišta minimalno nižu za 7°C od najniže radne temperature glikola. Tijekom rada može se očekivati da će dizalica topline u režimu grijanja rashladiti glikol do -5°C pa bi točka leđišta glikola trebala biti oko -12°C . Miješanjem glikola i vode u odnosu 1: 1 može se postići točka leđišta mješavine od -36°C , odnosno 50% je udio glikola u takvoj smjesi. Udio 1: 1,5 daje točku leđišta od -25°C , dok se kod udjela 1: 2 postiže leđišta mješavine od -18°C . U glikolnu smjesu se moraju dodati i inhibitori korozije jer se u sustavu često nalaze različiti materijali: čelik, bakar, plastika te je potrebno usporediti izmeđumetalnu koroziju i kemijske reakcije s vodom. Previše glikola povećava viskoznoću i gustoću mješavine te je potrebna veća snaga crpke za cirkulaciju mješavine što dugoročno smanjuje ukupni godišnji faktor učinka sustava. Crpka koja se koristi mora biti predviđena za rad s hladnim medijima te mora biti otporna na kondenzaciju vlage na njoj odnosno mora biti adekvatno izolirana.



Slika 15. Poslovno-stambeni kompleks Linked Hybrid, Peking, Kina [4]

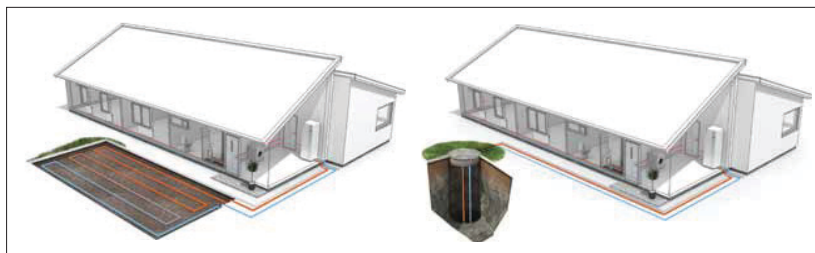
Pravilno dimenzionirani geotermalni toplinski izvor daje stalnu i konstantnu snagu jer je temperatura zemlje tijekom sezone grijanja dosta stabilna. Sezona grijanja počinje u jesen, proteže se kroz zimu i završava u proljeće te se tijekom tog razdoblja toplina oduzima od zemlje, zemlja postaje hladnija te se može očekivati lokalno ohlađivanje zemlje oko cijevi na kraju sezone grijanja. Tijekom ljeta zemlja na sebe preuzima toplinu Sunca te se grije, zemlja se odleđuje i temperatura zemlje se priprema za novu sezonu grijanja. Što je veća površina kolektorskog polja, sporije će se zemlja lokalno hladiti oko cijevi kolektorske mreže te će se ostva-

Tablica 1. Popis najvećih instalacija geotermalnih sondi u Švedskoj [5]

	Broj sondi	Dubina sondi
Avantor-Nydalen, Oslo	160 (90 + 70)	200/260 m
Ericsson, Asker	56	230 m
Alnafossen, Oslo	54	200 m
Rutebilplata/Hønefoss, Buskerud	50	160 m
Greverud senter, Oslo	40	200 m
Brønnøy, Nordland	40	200 m
Røyken, Asker	40	200 m
Bjøråsen school, Oslo	24	200 m
Kastellet school, Oslo	24	200 m
Ulsrud school, Oslo	20	220 m
Apallökka, Oslo	22	200 m
Rove, Holmestrand	18	300 m
Nedre Bekkelaget school, Oslo	18	170 m
Kemicentrum (IKDC), Lund	153	230 m
Vällingby Centrum, Stockholm	133	200 m
Musikhögskolan, Örebro	60	200 m
Näsby Parks Slott, Stockholm	48	180 m
Projekt Lulevärme, Luleå	120	65 m
Q-MED, Uppsala	38	200 m
InfraCity, Upplands-Väsby	64	110 m
Anneberg, Stockholm	100	65 m
Språk- och litteraturcentrum, Lund	33	150 m
IKEA, Helsingborg	36	150 m
Hotellet, Storforsen	33	160 m
Stadsgårdskajen, Stockholm	28	185 m
Astronomihuset, Lund	20	180 m

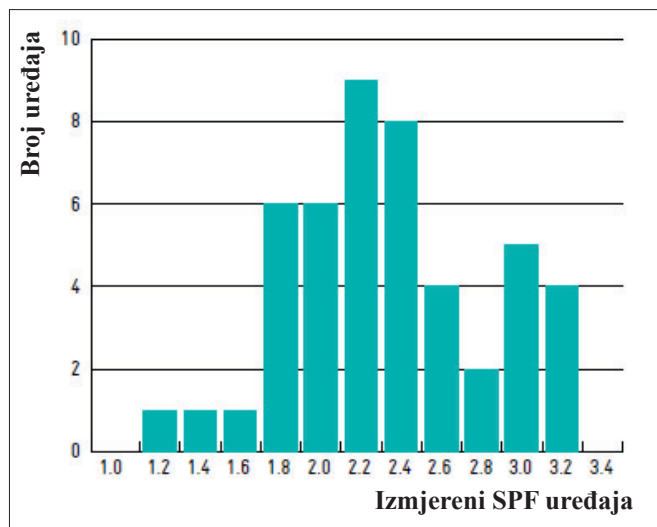
riti veći učinak sustava. Ako je temperatura glikola negativna, oko cijevi se stvara led koji je izolator te smanjuje toplinski tok između zemlje i cijevne mreže. Postoje koncepcije kojima se putem solarnih kolektora tijekom ljeta energija solara prebacuje u podzemlje putem zemnih kolektora da se zemlja zagrije na višu temperaturu prije sezone grijanja, no kod ovih koncepcija može doći do zagrijavanja i isušivanja zemlje, što nije preporučljivo.

Ispitivane geotermalne dizalice topline su postigle nešto veće srednje faktore učinka sustava u prosjeku 2,3–2,5. Minimalni ostvareni učinak je 1,2, dok je maksimalni postignuti učinak sustava 3,2. Pri čemu je COP ispitivanih uređaja bio na razini od 1,3 do 3,6 pa se može zaključiti da se dosta učinka izgubilo na pokretanju cirkulacijskih crpki, automatskoj regulaciji te dodatnim električnim grijači-



Slika 16. Geotermalni toplinski izvori: zemni kolektor i dubinska sonda [1]

ma koji su korišteni za dogrijavanje vode grijanja i sanitarne vode. Tvornički, laboratorijski odnosno kataloški COP geotermalnih dizalica topline je oko 4,5–4,7 i to kada se koriste u kombinaciji sa podnim grijanjem u režimu 35–40°C polazne temperature. Ispitivani sustavi u Velikoj Britaniji su korišteni u složenijim instalacijama što pokazuje veliki pad učinkovitosti sustava zbog većeg broja instaliranih komponenti. Geotermalni izvor topline ima relativno stabilnu temperaturu koja oscilira ovisno o lokaciji i postavljenoj dubini kolektorske mreže. Stabilna temperatura izvora topline osigurava stalnu toplinsku snagu koja se može dobiti iz izvora te koliko je izvor topline stabilan toliko je dobra i koncepcija primjene određene vrste dizalice topline. Stabilnost se pokazuje kroz male oscilacije temperature izvora tijekom dana i tijekom sezone grijanja. Geotermalna dizalica topline kod



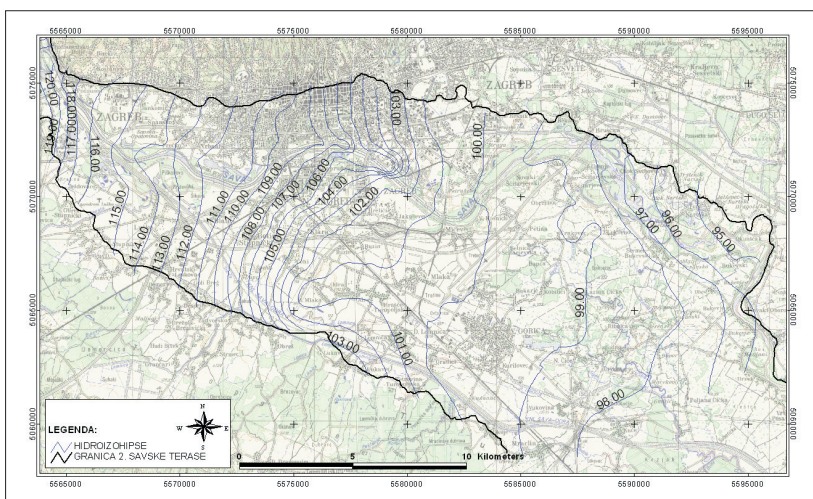
Slika 17. Faktor sustava SPF geotermalnih dizalica topline [1]

koje je ukupni učinak sustava 1,2 je u potpunosti pogrešno projektirana, instalirana i krivo je primjenjena u kombinaciji s postojećim radijatorskim grijanjem i starim građevinama kod kojih su ogrijevna radijatorska tijela dimenzionirana na visoke temperaturne režime.

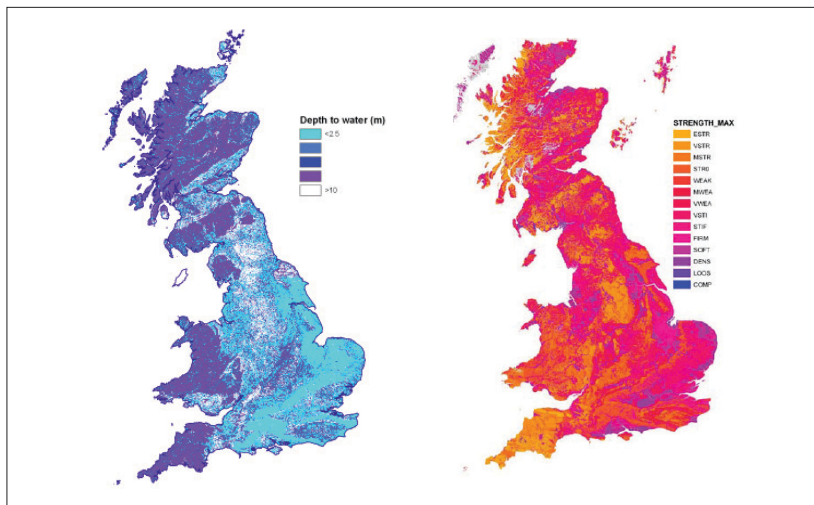
Izvor topline voda – vodene dizalice topline

Terenskim ispitivanjima u Velikoj Britaniji nisu obrađene dizalice topline koje koriste kao toplinski izvor podzemne vode, površinske vode ili otpadnu vodu. Sustavi te složenosti nisu bili izvedeni te stoga nisu niti bili predmet ispitivanja. Nabrojani sustavi imaju učinkovitost dizalice topline na razini COP 5,5. Kod bunarskih sustava treba pažljivo odabrati bunarsku pumpu jer na njoj mogu nastati veliki gubitci električne energije koji mogu srušiti SPF sustava na razinu sustava sa sondom ili zemnim kolektorom. Zatvoreni krug glikola treba manju snagu cirkulacijske pumpe nego otvoreni bunarski krug koji mora imati veću snagu zbog podizanja vode na razinu dizalice topline. Kod povrata vode u drugi bunar stvara se zatvoreni krug vode kroz slojeve zemlje pa bi se moglo reći da je i to zatvoreni krug. Veliki bi bili gubitci na snazi crpke da se voda podiže iz dubine zemlje i izbacuje u kanale, jer je to otvoreni krug vode [6].

Kod korištenja podzemnih bunarskih voda dolazi do problema unošenja čestica pijeska, gline i minerala u izmjenjivače pa je potrebno vodu adekvatno filtrirati. Koriste se sustavi s dva bunara upojnim i izljevnom te se iz jednog voda crpi dok se preko drugog vraća u podzemlje. Ponekad nije moguće vratiti ukupnu



Slika 18. Hidroizohipse zagrebačkog vodenog bazena



Slika 19. Dubina podzemnih voda i tvrdoća zemlje (podatak potreban za bušenje sondi) [19]

količinu vode u podzemlje te je potrebno predvidjeti spoj na preljev i dodatni bunar. Primjena bunarskih voda je ograničena na korištenje površinskih voda do dubine od 25 m, a razina površinskih voda dosta oscilira tijekom godine pa je sustav moguće instalirati samo na mikro lokacijama koje su bogate podzemnim vodama sa šljunčanim slojevima, močvarna područja u blizini rijeka, jezera, podzemnih vodenih bazena kao što je zagrebački bazen. Na karti su prikazane linije jednakih razina podzemnih voda ili hidroizohipse. Podatci o razinama podzemnih voda dobivaju se testnim bušenjima i uranjanjem piezometara kojima se mjeri razina podzemnih voda. Zagrebački vodonosnik čine šljunkovito-pjeskovite naslage zasićene vodom koje se nalaze na području Grada Zagreba između Podsuseda i Rugvice. Prostire se duž rijeke Save, pravcem sjeverozapad – jugoistok u dužini od 30 km, s prosječnom širinom od 10 do 15 km i debljinom koja iznosi 5 do 10 metara u zapadnim dijelovima pa sve do stotinjak metara u istočnim dijelovima sustava. Zagrebački vodonosnik smješten je između Medvednice na sjeveru i Vukomeričkih Gorica na jugu. Rijeka Sava dijeli vodonosnik na lijevo i desno zaobalje.

Površinske vode imaju osnovni problem kod primjene kao izvora – nestalnost i promjenjivi tok potoka i rijeka. Kod korištenja jezera, mora odnosno stajaćih voda javljaju se problemi razvoja algi, taloženja minerala na izmjenjivačima topline. Unatoč nabrojanim nedostacima, veliki je broj instaliranih dizalica topline u hotelskim kompleksima na Jadranskoj obali koji koriste morsku vodu kao toplinski izvor sa stabilnom temperaturom tijekom cijele godine.

Toplinski energetski ponori

Dizalica topline prebacuje toplinsku energiju iz toplinskog izvora (zrak, zemlja ili voda) u toplinski ponor koji može biti sustav grijanja, sustav pripreme sanitarne vode ili kombinacija složenijih sustava koji može uključivati i bazen. Ukupni učinak sustava ovisiti će o razlici temperatura toplinskog izvora i toplinskog ponora.

Moderniji oblik plošnog grijanja je termički aktivna betonska jezgra pri čemu se u betonsku međуетažnu konstrukciju postavljaju cijevi mreže grijanja, pri čemu je mreža slična cijevima podnog grijanja. Sustav je jako trom te se ne može putem ovog modela grijanja očekivati trenutačna promjena temperature prostora. Moguće je aktivnom jezgrom grijati / hladiti cijelu građevinu ako se mreža cijevi postavi u zidove, podove i stropove pod uvjetom da su oni betonski. Najčešća primjena je postavljanje mreže u betonsku međуетažnu konstrukciju. Koristi se tromost sustava i masa betona da se tijekom noći akumulira energija u građevini koja se tijekom dana postepeno oslobađa te se dodatno vrši dogrijavanje tijekom dana. Kombinacija noćnog rada i noćne jeftinije tarife električne energije daje nova opravdanja primjeni dizalica topline. Sustav radi u režimu hlađenja s temperaturom polazne vode od 16°C te je moguće ostvariti toplinski tok hlađenja na razini od 60 do 80 W/m². U režimu grijanja temperatura polazne vode je 28°C te se može ostvariti toplinski tok grijanja na razini od 40 do 50 W/m². Iz navedenih temperatura može se primjetiti da sustav radi na nižim temperaturnim režimima nego podno grijanje pa će se u kombinaciji s dizalicom topline ostvariti veći faktor sustava SPF [17].

Da bi se postigla maksimalna učinkovitost sustava s klasičnom konstrukcijom građevine, preporučljivo je koristiti plošnu mrežu grijanja ili podno grijanje s polaznom temperaturom grijanja od 35–40 °C pri čemu se povećanjem ogrjevne površine s manjim temperaturnim režimima postiže tražena toplinska snaga. Investicija u mrežu podnog grijanja je najveća od klasičnih instalacija grijanja, no može se ostvariti visoki stupanj ugone prostora te visoka učinkovitost sustava. Moguća je primjena i niskotemperaturnih radijatora koji imaju povećanu ogrijevnu površinu te rade u režimima 45–55°C. Korištenjem ventilokovektora potrebna je temperatura polaza iznad 50°C da se ostvari tražena snaga.

Provedenim terenskim ispitivanjem u Velikoj Britaniji napravljene su analize primjene dizalica topline u postojećim instalacijama koje imaju radijatorsko grijanje te polazne temperature grijanja 60–90°C. Zamjenom toplinskog agregata i korištenjem nižeg temperaturnog režima za 20°C potrebno je osigurati 30–40% veću površinu radijatora da se ostvari ista toplinska snaga. Kao što je prije navedeno, bolje je poboljšati toplinsku izolaciju građevine te iskoristiti postojeću mrežu grijanja za rad na nižim režimima, a povećana izolacija će smanjiti ukupnu potrebnu toplinsku snagu sustava. Dobiveni su niski godišnji učinci što se moglo i očekivati zbog visokih polaznih temperatura. Radijatori se mogu koristiti samo uz

povećanje njihove površine i rad pri nižim temperaturama, no korisnici često opisuju da su radijatori u tim režimima rada mlaki i da nemaju odgovarajući stupanj ugone prostora. Korištenje postojeće radijatorske mreže s dizalicom topline uzrokovati će duže zagrijavanje građevine te se možda neće moći postići tražene temperature prostora zbog niskih polaznih temperatura vode.

Priprema sanitarne vode je energetska zahtjevnija te klasične freonske dizalice topline ne pokazuju dobre rezultate jer nisu predviđene za rad na visokim temperaturama kondenzacije. Priprema sanitarne potrošne vode trebala bi biti kroz protočne sustave da se smanji mogućnost pojave bakterije legionele, pri čemu je kod protočnih sustava jako mala vjerojatnost razvoja te bakterije u odnosu na akumulacijske sustave. Koriste se dizalice topline koje mogu dogrijati vodu iznad 60–65°C jednom tjedno tijekom par noćnih sati. Polaznu temperaturu sanitarne tople vode treba održavati od 35 do max 45 °C jer nije potrebno rashlađivati vodu za tuširanje hladnom vodovodnom vodom. Obično se snaga dizalice topline odabire prema potrebama grijanja građevine pa je ona nedovoljna da bi se koristila u direktnim protočnim sustavima te je stoga potrebno koristiti spremnike sanitarne vode kod ovog modela odabira veličine dizalice topline. Puno modela dizalica topline ne može postići radne temperature veće od 50–55°C pa da bi se povremeno zagrijala voda u spremniku iznad 60–65°C koriste se dodatni električni grijači ili dodatni izvori topline pokretani klasičnim energentima. Grijači smanjuju značajno SPF sustava te bi ih trebala izbjegavati. O navikama korisnika ovisi kako će se sustav ponašati, koliko će se godišnje potrošiti energije te koliki će biti SPF. Razlika između građevina se javlja kroz udio energije koja se koristi za pripremu sanitarne vode i grijanje. Što se više dizalica topline koristi za pripremu sanitarne vode to više opada SPF jer dizalica radi na visokim temperaturama kondenzacije.

Za pripremu sanitarne vode mogu se koristiti i dizalice topline koje koriste izvor topline hlađenja građevine te prebacuju toplinu u spremnik sanitarne vode dok se višak topline izbacuje u zrak ili se pohranjuje u zemnom kolektoru. Reverzibilne dizalice topline se mogu koristiti u sustavima pasivnog hlađenja građevina te se može koristiti i dodatni izmjenjivač pasivnog hlađenja. U kombinaciji sa pasivnim hlađenjem dobro se uklapaju ventilokonvektori koji imaju odvod kondenzata koji se javlja prilikom hlađenja. Kod plošnog stropnog hlađenja koriste se visoki režimi 18–21°C da se izbjegne kondenzacija vlage iz zraka na hlađenoj površini.

Potrošnja električne energije strojnica

Najveći zahtjev za električnom energijom sustava ima dizalica topline, a kod odabira jedinice također treba obratiti pozornost na energetska klasa uređaja jer je kompresor pokretan elektromotorom. Velike razlike u energetska klasama mogu se pronaći kod zračnih dizalica topline ili klima jedinica kod kojih postoji ve-

liki broj proizvođača opreme te je širok spektar modela, veličina i snaga jedinica. Pogrešnim odabirom jeftinijih uređaja nižeg energetskeg razreda dugoročno će se stvoriti viši troškovi električne energije. Tehnologija zračnih dizalica je znatno napredovala posljednje desetljeće, a najučinkovitije jedinice imaju inverterski pokretane kompresore koji imaju i do 50% manju potrošnju električne energije u odnosu na klasični rad kompresora on-off.

Dizalice topline su pokretane elektromotorima te prilikom pokretanja dolazi do pojave induktivnih otpora koji uzrokuje poremećaje u elektroenergetskoj mreži zbog visokih početnih struja. To može predstavljati problem ako je dizalica monofazna jer monofazni elektromotori povlače veću početnu struju (Ampera), a posljedica je treperenje svjetala te poremećaji u radu električnih uređaja i mogući kvarovi osjetljive elektronike. Trofazni elektromotori vuku manju početnu struju te je preporuka da bi dizalica topline trebala biti trofazna jer će se manje utjecati na ukupnu elektroenergetsku mrežu. Oscilacije u naponu mreže koje može uzrokovati dizalica topline ovisiti će o impendanciji mreže te o stvarnoj veličini opterećenja na mrežu. Prije definiranja dizalice topline potrebno je zatražiti elektroenergetsku suglasnost za maksimalnu snagu koja se može instalirati na pojedinom području. Početna struja se smanjuje korištenjem soft-startera koji ograničava iznos početne struje te primjenom trofaznih motora. Često se problem početne struje zanemaruje te se često i ne zna potencijalni utjecaj dizalice topline na mrežu [18].

Uzimajući u obzir nedostatke koje imaju dizalice topline u radu na višim temperaturama, proizvođači opreme nude kao dodatnu mogućnost korištenje električnog dogrijavanja. Dogrijavanje sa uronskim grijačima se koristi za periodičko zagrijavanje sanitarne vode preko 60 °C da se dezinficira voda od mogućih klica bakterije legionele u akumulacijskim sustavima sanitarne vode. Dogrijavanje se također koristi u recirkulacijskim vodovima u protočnim sustavima da se smanji mogućnost razvoja klica legionele. Te se dogrijavanje električnim grijačima koristi u najhladnijim danima za sustav grijanja građevine. Postoji pristup u projektiranju da se dizalica topline ne dimenzionira na maksimalno toplinsko opterećenje već da se u najhladnijim danima kao dodatni izvor topline koristi električni grijač.

Sve nabrojane primjene električnih grijača znatno smanjuju faktor sustava SPF te je potrebno izbjegavati upotrebu električnog dogrijavanje jer ono ima COP 1,0. Kondenzacijski plinski bojler za usporedbu ima COP na razini 2,0–2,2 kada se uspoređuju troškovi dogrijavanja. Preporuka je da se električni grijači pokušaju izbaciti iz upotrebe te da se freonske dizalice topline ne koriste za grijanje sanitarne vode u akumulacijskim sustavima već u protočnim sustavima. Pod maskom obnovljivih izvora energije sa dizalicama topline se u paketu daju i električni dogrijači te sustav tim modelom prestaje biti obnovljiv, a rezultati ovog modela projektiranja pokazani su terenskim ispitivanjem u Velikoj Britaniji s poraznim faktorima sustava SPF ispod 2,0.

Dio električne energije se koristi za stalni pogon automatske regulacije koja radi 24/7 tijekom cijele godine te ima stalnu potrebu za električnom energijom. Sustavom automatskog upravljanja mogu se postići velike uštede ako se cjelokupna instalacija temperaturnih osjetnika, cirkulacijskih pumpi, mješajućih ventila poveže na automatsku regulaciju. Cirkulacijske pumpe se moraju paliti i gasiti prema potrebi te moraju biti visoke energetske klase A s minimalnom potrošnjom. Crpke koje rade 24 h tijekom dana trebale bi biti elektronski regulirane da se smanji ukupna potrošnja energije dok crpke koje rade intermitirajući mogu biti brzinske te su pokreću automatskom regulacijom prema potrebi. Automatska regulacija bi trebala biti vođena vanjskom temperaturom odnosno temperatura polaza vode grijanja se mijenja prema krivulji grijanja i prilagođava se promjenama vanjske temperature te se korištenjem ovog modela upravljanja izbjegava pregrijavanje građevina. Česta je regulacija rada dizalice topline prema temperaturi povratnog voda pri čemu se održava stalna vrijednost povrata na koju utječe posredno promjena vanjske temperature. Dodatno se regulacija proširuje senzorom prostora koji se najčešće postavlja u dnevnoj sobi ili glavnoj prostoriji građevine, a putem tog centralnog regulatora se iz građevine upravlja i radom dizalice topline. Rad sustava se može programirati da radi u intervalima te da se pali i gasi u točno određenom razdoblju te da se održavaju temperature prostora prema unaprijed određenom programu rada. Snaga dizalice topline se odabire prema potrebama sustava grijanja građevine i često je snaga uređaja puno manja od instalirane snage klasičnih kotlova ili plinskih bojlera. Mala snaga dizalice topline traži rad sustava 24 h tako da je potrebno samo dogrijavati prostor građevine te se dopuštaju oscilacije temperature prostora od 2 do 4°C. Programibilni rad osigurava i ciljano korištenje električne energije u režimu niže noćne tarife kada se može pripremati topla sanitarna voda za slijedeći dan dok se tijekom dana dizalica koristi samo za grijanje građevine.

Odabir radnih tvari kompresora

Radna tvar ima veliki utjecaj na rad sustava te su pojedini freoni predviđeni za rad na nižim temperaturama kondenzacije da se ostvari što veći COP jedinice. Treba obratiti pozornost da li je dizalica topline predviđena samo za sustave grijanja ili za kombinirani rad i pripremu sanitarne vode te je sukladno namjeni proizvođač u jedinici predvidio određenu radnu tvar. Treba obratiti pozornost koja se maksimalna radna temperatura može postići dizalicom topline

Na rad sustava ima veliki utjecaj odabir ulja koje će podmazivati kompresor u radu te proizvođači odabiru radno ulje koje je kompatibilno radnom mediju, freonu. Nije preporučljivo koristiti radne tvari za koje kompresor nije predviđen jer se plin i ulje miješaju u radu. Kada kompresor radi, u komprimiranom plinu završi i

dio ulja koji prolazi kroz kondenzator, ekspanzijski ventil, dolazi do isparivača te se vraća u kompresor. Ulje cirkulira kroz cijeli toplinski krug te se vraća nazad u kompresor te ga podmazuje i hladi istovremeno.

Kod nepravilnog odabira ulja i freona dolazi do pojava:

– Nema povrata ulja, s komprimiranom radnom tvari odlazi i ulje, ako ono ostane zarobljeno u kondenzatoru i ne cirkulira dolazi do zaribavanja kompresora jer kompresor radi bez podmazivanja.

– Nema polaza ulja, ulje se zgusnulo u karтеру kompresora uslijed miješanja s radnom tvari koja nije kompatibilna radnom ulju te dolazi do cirkulacije radne tvari bez ulja, kompresor se ne podmazuje te dolazi do zaribavanja.

– Loše hlađenje kompresora, plinoviti freon koji se vraća iz isparivača ima zadataku da hladi kompresor u radu, elektromotor kompresora, stator i rotor te ostale mehaničke dijelove, kod nepravilnog hlađenja dolazi do oštećenja namotaja elektromotora.

– Začepljenje sustava, na stijenkama cijevi se nakuplja sloj ulja kao želatinasti sloj koji smanjuje toplinski tok odnosno ponaša se kao izolator, u tlačnom dijelu dolazi do porasta tlaka. U slučaju da sloj zaljepljenog ulja na cijevima zatvori protok, dolazi do znatnog porasta tlaka u tlačnom dijelu, istovremeno se stvara vakuum u zoni isparivača, kompresor se pregrijava jer ga radna tvar više ne hladi, termo zaštita se pali i gasi, kompresor ostaje bez hlađenja i ulja te dolazi do zaribavanja.

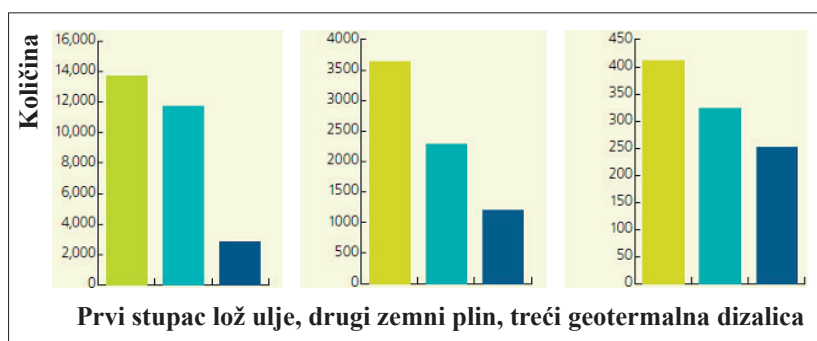
Instalacija sustava obnovljivih izvora energije

Pokazalo se da je veliki broj sustava od 83 ispitanih u Velikoj Britaniji pogrešno bio instaliran u određenom dijelu instalacije te da je potrebno izvršiti korekcije da se podigne učinkovitost sustava. Osnovni koncept je da sustav mora biti što jednostavniji sa što manje elemenata, a i pokazalo se da su najjednostavniji sustavi imali i najveći faktor sustava SPF. Dizalice topline su složeni sustavi te je potrebno školovati veliki broj instalatera, servisera te projektanata koji će biti spremni raditi s novim složenim tehnologijama. Složeni sustavi se mogu nuditi samo kroz modele potpunog inženjeringa po modelu ključ u ruke gdje je odgovornost tvrtke od same faze projektiranja sustava, izvođenja radova, programiranja automatske regulacije, upoznavanja korisnika s radom sustava te osiguranje servisne mreže. Provedeno terensko ispitivanje je pokazalo realnu učinkovitost instaliranih sustava te usporedbu očekivanih i dobivenih rezultata. Terensko ispitivanje u Velikoj Britaniji je pokazalo, ono što je potvrđeno i u Hrvatskoj, da je nemoguće kvalitetno izvesti složeni sustav obnovljivih izvora energije, ako više tvrtki preuzima odgovornost za različite dijelove faza te da taj model izgradnje sustava treba izbjegavati. Često instalaterske tvrtke prihvaćaju izvođenje sustava da pri to-

me uopće ne znaju osnovnu koncepciju funkcioniranja sustava te onda traže i očekuju od nadzornih inženjera da traže pogreške u sustavima koje su oni ugovorili da će ih izvesti do pogonskog stanja. Klasični model prebacivanja odgovornosti s projektanta na izvođača pa potom na nadzor te na kraju na servisera nije prihvatljiv ako želimo stvoriti kvalitetne i učinkovite instalacije obnovljivih izvora energije. Klasični model podjele poslova može dovesti samo do nezadovoljstva krajnjeg korisnika, loših preporuka za nove sustave te usporavanja širenja primjene obnovljivih izvora energije i složenih strojarskih instalacija.

Korištenje sustava

Sustavi dizalica topline su složeni sustavi pokretani automatskom regulacijom koja je često izrazito složena te je potrebno pravilno programirati uređaje da bi sustav funkcionirao. Automatska regulacija je često previše komplicirana za prosječnog korisnika da bi ju savladao u potpunosti te upravljanje mora biti što jednostavnije. Poznati su slučajevi gdje su instalirane dizalice topline koje su bile pogrešno programirane ili uopće nisu bile programirane te su tako radile par godine. Sustavi se mogu izgraditi s visokom razinom složenosti te je teško očekivati da će korisnik u potpunosti shvatiti njegovo funkcioniranje, korištenje i upravljanje. Automatska regulacija mora biti što jednostavnija te mora tražiti od korisnika minimalno djelovanje da bi sustav mogao funkcionirati. Kod sličnih sustava ne može se računati na isti faktor sustava SPF jer postoji puno faktora koji mogu utjecati na rezultat od lokacije građevine, mikroklimatskih uvjeta, vrste instalirane dizalice topline, stupnja ugone koji pojedini korisnik želi u svojoj građevini, tempera-



Slika 20 [7]

- a) Godišnja potrošnja energije – da se proizvede 10.000 kWh toplinske energije; b) Godišnja emisija CO₂ – da se proizvede 10.000 kWh toplinske energije; c) Godišnja cijena održavanja – da se proizvede 10.000 kWh toplinske energije

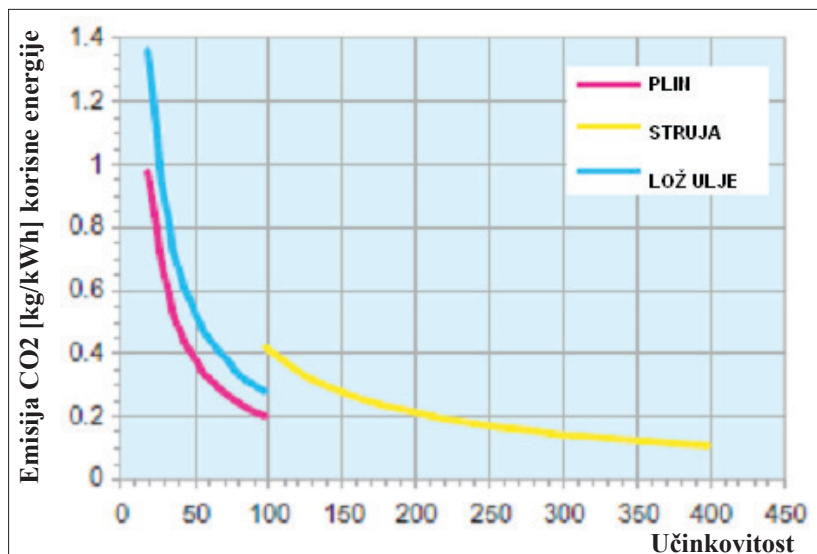
turama prostorija i količini potrošne tople vode. Investitoru su zanimljivi podaci koji se ukratko pokazuju kroz slijedeće dijagrame, a dokazuju veliku prednost dizalica topline u odnosu na klasične energente (Oil – lož-ulje, Gas – zemni plin, GSHP – ground source heat pump ili geotermalna dizalica topline).

Održavanje sustava

Digitalno upravljanje jedinicom je najčešće zaštićeno servisnom šifrom da se onemogući utjecaj korisnika na rad uređaja te je otvoren samo mali dio automatske regulacije kojom može upravljati korisnik. Ovisnost o serviseru nije dobra za dugoročno korištenje uređaja te ovisnost da se serviser mora zvati kod svakog kvara ili zastoja u radu uređaja. Ovaj pristup nije preporučljiv ako je serviseru potrebno nekoliko dana da dođe do lokacije gdje je uređaj instaliran. Da bi se sustavi održavali, potrebna je mreža lokalnih serviseru koji su školovani i obučeni za rad sa složenim sustavima no poznato je da postoji jako malo serviseru koji su sposobni održavati složene sustave te tvrtke često nemaju razvijenu servisnu mrežu već im je cilj samo prodati sustave. Rijetko koja tvrtka može garantirati korisnicima da im može osigurati servis uređaja tijekom životnog vijeka uređaja te rezervne dijelove u razdoblju 25–30 godina. Klasični kotlovi su mnogo robusniji, jednostavnije konstrukcije i lakši za održavanje te su se na uređaje tog oblika korisnici navikli te traže jednostavnost novih sustava i lakoću održavanja.

Smanjivanje emisije CO₂

Terensko ispitivanje je pokazalo da pravilno projektirani sustav dizalica topline koji je ispravno izveden ima manju emisiju CO₂ u odnosu na klasične energente te se može računati na veliko smanjivanje emisije tijekom životnog vijeka sustava. Plan Europske unije je smanjivanje emisije CO₂ za 20% do godine 2020, dok je plan Velike Britanije smanjivanje emisije za 34% u odnosu na 1990. godinu. U Velikoj Britaniji 27% ukupne emisije pripada obiteljskim građevinama te je potrebno zamijeniti veliki dio sustava grijanja dizalicama topline što predstavlja i veliki tržišni potencijal. Procjena je da će se rekonstruirati oko 10 mil instalacija grijanja do 2030. godine te da će se smanjiti emisija za 10 MT CO₂ što je emisija jednaka emisiji dva milijuna prosječnih domaćinstava. Dizalica topline koja ima srednju učinkovitost na razini 2,2–2,4 proizvodi oko 9% manje CO₂ u odnosu na prosječni plinski bojler (78% učinak uređaja) te ima oko 28% manju emisiju u odnosu na lož-ulje (82% učinak uređaja) [1]. Veliko smanjivanje emisije se može očekivati ako se izvor električne energije termocentrala zamjeni obnovljivim izvorima energije: vjetrogeneratorima, solarnim fotonaponskim elektranama, hidrocentralama i energijom valova.

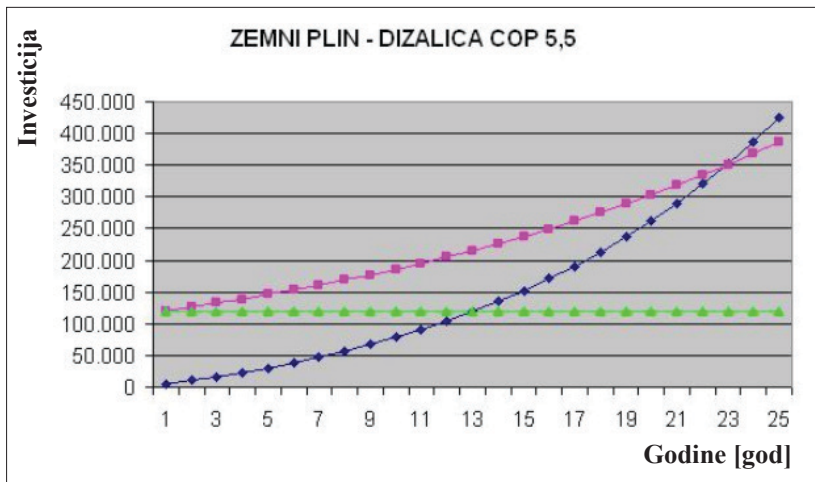


Slika 21. Usporedba emisije CO₂ te učinkovitosti sustava prema SAP 2005 [7]

	kg CO ₂ / kWh	Učinkovitost	CO ₂ za 100%	Cijena investicije
dizalica topline	0,422 kg/kWh	330%	0,128	8,80 p/kWh
zemni plin	0,194 kg/kWh	85%	0,228	2,75 p/kWh
lož-ulje	0,265 kg/kWh	73%	0,363	3,00 p/kWh

Smanjivanje troškova

Terenskim ispitivanjem u Velikoj Britaniji je dokazano smanjenje troškova kod sustava grijanja građevina koje su instalirale sustav dizalica topline, a prijašnjih godina su imale instalirane sustave grijanja električnom energijom, ukapljenim naftnim plinom ili lož-uljem. Plinski kondenzacijski bojleri imaju usporedivi faktor uređaja na razini COP od 1,8 do 2,2 prema troškovima pogona. Lož-ulje i ukapljeni naftni plin su na usporednoj razini COP 1,5–1,8 u odnosu na dizalice topline. Dok električno otporno grijanje ima COP 1,0. Da bi se moglo govoriti o opravdanosti investicije u složeni sustav dizalica topline, u odnosu na zemni plin, potrebno je postići faktor sustava SPF na minimalnoj razini od 3,0 do 3,5. Ciljana učinkovitost će kroz godišnju uštedu opravdati investiciju u složeniji sustav prije 2/3 njegovog vijeka trajanja te će u 1/3 vijeka trajanja nastupiti trajna financijska ušteda. Realna analiza sustava obnovljivih izvora energije koji imaju

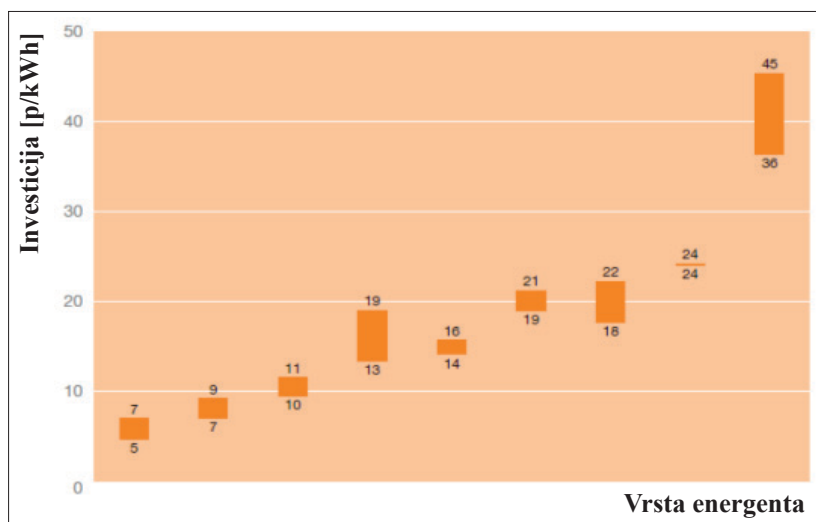
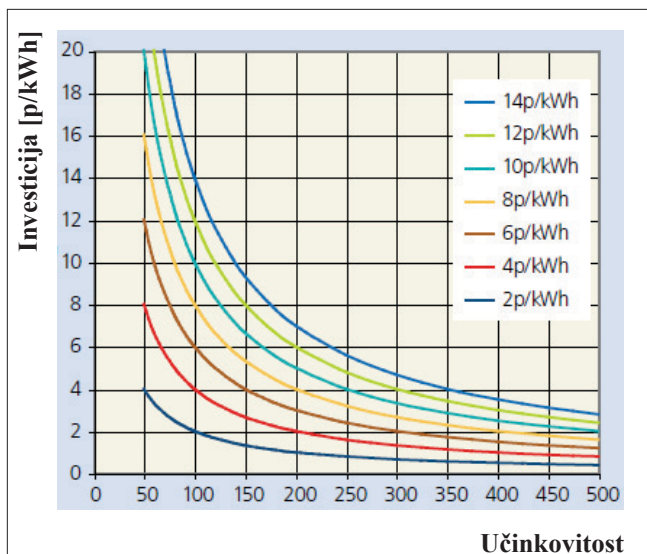


Slika 22. Primjer dijagrama tehno-ekonomske analize

SPF na razini ispod 2,0 ne opravdava investiciju u dizalice topline te nije moguće govoriti o uštedama u pogonu.

Kod tehnokonomske analize isplativosti investicije vijek trajanja sustava ima presudnu ulogu u određivanju opravdanosti složenije investicije. Pretpostavka je da će složeniji sustav obnovljivih izvora energije imati manje pogonske troškove energenata te da će se na temelju te razlike tijekom niza godina upotrebe ostvariti ekonomska ušteda. Osnovni model analize kaže da je povrat investicije = odnos razlike u investiciji / ostvarena ušteda. Model analize se dodatno komplicira uvođenjem kamatnog računa i godišnje kamate na temeljni kapital korišten u investiciji te kamata na ostvarenu uštedu. Ako se postigne da je povrat investicije ispod 2/3 vijeka trajanja instalacije, onda se može govoriti o ekonomskoj opravdanosti. Tijekom 1/3 vijeka dolazi do trajne uštede u pogonu. Moguće je kroz uštedu ostvariti vrijednost kojom se može napraviti nova instalacija, s boljim karakteristikama i nižim pogonskim troškovima računajući da će tehnologija napredovati tijekom godina.

Na prvom dijagramu je pokazan odnos učinkovitosti (apcisa) sustava i cijene energenata (ordinata). Fosilna goriva (zemni plin, UNP, lož-ulje) imaju SPF na razini 65–85% dok električna energija ima učinak od 100%, a dizalice topline imaju SPF na razini 260–550%. Tako se iz dijagrama lako može zaključiti i vidjeti da dizalice topline imaju najmanje pogonske troškove. Dijagram je prikazan u GB peny / kWh. Dok je na drugom usporedba troškova pogona slijeva na desno: A + dizalica, regularna dizalica, moderni kotao na drva, kotao na pelete, boiler na zemni plin, boiler na UNP, plinski atmosferski boiler, električni grijač, atmosferski boiler na UNP.



Slika 23. Odnos učinkovitosti sustava i cijene pogona [7]
usporedba cijene energenta [21]

Sustav poticaja

Preliminarne analize smanjivanja emisije CO₂ pokazale su da je moguće ostvariti veliko smanjivanje emisije instaliranjem sustava dizalica topline. Na temelju tih analiza u Velikoj Britaniji su razvijeni sustavi poticaja da se potaknu investici-

je u sustave dizalica topline te da se ostvari smanjivanje emisije od 34% do 2020. godine. Obavljeno terensko ispitivanje The Energy Saving Trust-a je imalo za cilj pokazati stvarni učinak instaliranih sustava te pokazati kolika je prednost dizalica topline u odnosu na klasične sustave. Poticaji smanjuju ukupnu početnu investiciju te djeluju na investitore da se lakše odluče za investiciju te na taj način provode javni interes o smanjivanju emisije CO₂.

U Hrvatskoj su subvencije na sustave obnovljivih izvora energije u samim začetcima te ne postoje poticaji na državnoj razini već samo na lokalnoj u obliku godišnjih natječaja pojedinih županija. Postoje kreditni programi pod nazivom zeleni krediti kojima se nižom kamatom subvencioniraju pasivne građevine te složeni strojarški sustavi obnovljivih izvora energije. U slijedećem desetljeću predviđa se znatno povećanje subvencija, ali je ono usko povezano s nacionalnom politikom i o udjelu obnovljive energije na državnoj razini.

Vrijeme izjednačenja investicija

Prema istraživanju The Energy Saving Trust, vrijeme izjednačenja investicija je analizirano kroz usporedbu korištenja različitih sustava uz trenutačne cijene klasičnih energenata i električne energije. Razdoblja će se smanjiti snižavanjem cijene opreme, povećanjem cijene klasičnih energenata i uvođenjem subvencija na instalacije koje smanjuju ukupnu emisiju CO₂. Planira se postići uz subvencije izjednačenje geotermalnih dizalica na 8 godina, dok se za zračne sustave planira uz subvencije osigurati izjednačenje u roku od 5 godina. Trenutačno realno vrijeme povrata investicije je u usporedbi sa:

- | | |
|---|-----------|
| a) za geotermalne dizalice topline i srednji faktor sustava SPF 2,3 | |
| – električna energija | 18 godina |
| – uljni kotao | 29 godina |
| – plinski kotao | 47 godina |
| b) za zračne dizalice topline i srednji faktor sustava SPF 2,2 | |
| – električna energija | 10 godina |
| – uljni kotao | 16 godina |
| – plinski kotao | 31 godina |

Što je sustav manji biti će i veća cijena početne investicije, a cijena će opadati kako se povećava broj sonde i površina kolektorskog polja. Najveća je investicija u geotermalne sonde, dok je cijena strojarnice jednaka u oba modela.

Tablica X. Procjena investicije dizalica topline za Veliku Britaniju u 2007. godini [7]

	Izmjenjivač GBP/kW	Dizalica GBP/kW	Sustav GBP/kW
Zemni kolektor	250–400	350–750	600–1150
Dubinska sonda	550–750	350–750	900–1500

	Izmjenjivač kn/kW	Dizalica kn/kW	Sustav kn/kW
Zemni kolektor	2100–3400	3000–6400	5100–9800
Dubinska sonda	4700–6400	3000–6400	7700–12800

Sustavi s visokim faktorima COP

Primjenom geotermalnih koncepcija zemnih kolektora i sondi može se ostvariti visoka učinkovitost na samom uređaju i nešto niža ukupna učinkovitost sustava. Sustav se može koristiti za grijanje i hlađenje građevine:

- Geotermalni izvor, sezona grijanja u razdobljima jesen, zima i proljeće, crpi se toplina iz zemlje i koristi se energija za grijanje građevine uz COP 4,5.

- Geotermalni izvor, sezona hlađenja te model pasivnog hlađenje pri čemu se toplina prebacuje preko zasebnog izmjenjivača iz građevine na zemlju putem podzemnog kolektora, potrebne su dvije crpke i izmjenjivač da se ostvari pasivno hlađenje i visoki faktor hlađenja.

- Sezona hlađenja – složeni model uz pripremu sanitarne vode. Crpi se toplina iz građevine te se građevina hladi dizalicom topline, toplina se prenosi u spremnik sanitarne vode dok se višak enegije prebacuje u zemni kolektor, dupli COP 2 x 5.

- Sustavi koji koriste otpadnu procesnu toplinu mogu postići COP preko 6,0 i više jer je izvor topline otpadna procesna voda visoke temperature te je potrebno malo energije da se ona dogrije na traženu temperaturu. Poznati su primjeri korištenja ove koncepcije za grijanje sanitarne vode u autokampovima te su moguće primjene za grijanje bazenske vode u termalnim kompleksima.

ZAKLJUČAK

Svaka građevina je specifična za sebe te ima energetske potrebe koje ovise o načinu korištenja, količini energije potrebne za grijanje građevine te udjelu energije potrebne za pripremu sanitarne vode. Ovisno o navikama korisnika mijenjati će se i traženi stupanj ugone prostora, tražene temperature zraka prostorija te zahtjevana složenost sustava grijanja, hlađenja i ventilacije. Iz svih tih faktora proizlazi ukupni godišnji faktor sustava SPF. Dobro dimenzionirani sustavi mogu postići visoki faktor sustava SPF na razini iznad 4,0. Potrebno je da faktor sustava bude iznad 2,6 da bi mogli govoriti o sustavu s obnovljivim izvorom energije prema Direktivi Europske unije. Definirana donja granica je osnova fondovima za

planiranje programa poticaja primjene obnovljivih izvora energije. Terenskim ispitivanjem u Velikoj Britaniji pokazalo se da je veliki dio od 83 instalirana sustava imao SPF znatno ispod donje granice od 2,6. Definirani su uzroci i posljedice te su napravljene preporuke za nove instalacije da se postignu što bolji rezultati.

Sustavi dizalica topline su osjetljivi na nepravilnu instalaciju i korištenje, a posljedica se osjeti na godišnjem faktoru sustava. Preporuka je korištenje bilo kojeg modela dizalice topline za građevine koje nemaju u blizini postavljenu javnu plinsku mrežu. Instalacija je idealna za nove građevine na kojima se može izgraditi složeni sustav prema svim spomenutim smjernicama da se postigne maksimalna godišnja učinkovitost. Provedena terenska ispitivanja su dobar put da se dođe do zaključaka kako dobiti što više iz rekonstrukcije postojećih instalacija te kako napraviti nove visokoučinkovite sustave. Krajnji cilj je stvoriti što više instalacija pokretanih dizalicama topline i obnovljivim izvorima energije, smanjiti troškove pogona i održavanja te smanjiti ukupnu emisiju CO₂ sustava. Analizom terenskog mjerenja u Velikoj Britaniji došlo se do podatka kada bi se u 5 mil. građevina koje nisu na plinskoj mreži instalirao neki od oblika dizalica topline, smanjila bi se emisija CO₂ za 10 mil. tona godišnje te bi se smanjili troškovi energenata za 2 milijarde funti.

Iz svega navedenog može se donijeti zaključak da su osnovni razlozi korištenja dizalica topline: želja za korištenjem obnovljivih izvora energije, smanjivanje emisije stakleničkih plinova te smanjivanje troškova pogona sustava. Javni interes države je ukupno smanjivanje emisije stakleničkih plinova, dok je osobni interes 90% investitora smanjenje troškova. Mali broj investitora oko 10% je zeleno orijentiran te žele koristiti obnovljive izvore energije jer na taj način pomažu samoj planeti Zemlji. U ovih 10% nalaze se entuzijasti kojima početna cijena investicije nije presudan faktor te je na toj razini i broj instaliranih sustava u Hrvatskoj. Da se ostalih 90% investitora potakne na razmišljanje o obnovljivim izvorima energije potrebno im je osigurati ekonomsku opravdanost, a to se postiže sustavima poticaja instalacija dizalica topline, solarnih toplinskih sustava i solarnih fotonaponskih sustava. U razdoblju od 2009. do 2011. godine u nizu hrvatskih županija došlo je do formiranja programa poticaja primjene obnovljivih izvora energije te kao posljedica je lokalno povećanje upita i traženja ponuda, odnosno potaknut je interes što je bila i namjera. Osim poticaja na instalaciju sustava postoje primjeri posebnih tarifa električne energije koja se koristi za pokretanje dizalice topline te se prije cijele strojarnice dizalice topline postavlja posebno subbrojilo koje registrira potrošnju električne energije strojarnice, a primjena ovog tarifnog modela bi dodatno potaknula interes investitora.

LITERATURA

- [1] The Energy Saving Trust, Velika Britanija, <http://www.energysavingtrust.org.uk/>, Getting warmer: A field trial of heat pumps report, 2010.
- [2] <http://www.fast-forward.hr>
- [3] Technical Report Technical Report TR/30: Good practice guide – heat pumps, Heating and Ventilating Contractors' Association, 2007.
- [4] <http://www.stevenholl.com>
- [5] Göran Hellström, Geoenergi as – Geoenergy Ltd
- [6] A builder's guide to Geothermal heat pumps, JLC, 1999.
- [7] The Energy Saving Trust, Velika Britanija, <http://www.energysavingtrust.org.uk/>, Domestic Ground Source Heat Pumps: Design and installation of closed-loop systems – A guide for specifiers, their advisors and potential users, 2007.
- [8] www.ehpa.org, European Heat Pump Association
- [9] www.ehpn.de, European Heat Pump Network
- [10] www.geoexchange.org, Geothermal Heat Pump Consortium
- [11] www.nef.org.uk/gshp/, Ground Source Heat Pump Association
- [12] www.heatpumps.org.uk, Heat Pump Association
- [13] www.hvca.org.uk, Heating & Ventilating Contractors Association (HVAC)
- [14] www.heatpumpcentre.org, IEA Heat Pump Centre
- [15] www.igshpa.okstate.edu/, International Ground Source Heat Pump Association
- [16] www.heatpumpnet.org.uk, UK Heat Pump Network
- [17] Darko Angebrandt, die oie; Silvano Sušilović, dis ois; Elektrotehničke instalacije kao integralni dio sustava gospodarenja energijom u zgradama.
- [18] www.est.org.uk, Energy Efficiency Best Practice in Housing, Domestic Ground Source Heat Pumps: Design and installation of closed-loop systems, 2004.
- [19] Initial geological considerations before installing ground source heat pump systems
Jon Busby 1a, Melinda Lewis 2, Helen Reeves 1, Russell Lawley 1
1 British Geological Survey, Keyworth, Nottingham, NG 12 5 GG
2 British Geological Survey, Crowmarsh Gifford, Wallingford, OX 10 8 BB
- [20] www.grantuk.com, Grant ASHP Manual, 2011.
- [21] www.energywise.govt.nz, Energy Efficiency and Conservation Authority, 2010.
- [22] www.retscreen.net, Clean Energy Project Analysis: Retscreen engineering & cases textbook, 2010.
- [23] www.rehau.com, Rehau Raueo: Technical information

Kod dimenzioniranja dizalica topline koriste se slijedeći standardi:

- ISO 13256–1: Water-source heat pumps – Testing and rating for performance – Part 1 Water-to-air and brine-to-air heat pumps, 1998
- ISO 13256–2: Water-source heat pumps – Testing and rating for performance – Part 2 Water-to-water and brine-to-water heatpumps, 1998
- BS EN 14511: Air conditioners, liquid chilling packages and heat pumps with electrically driven compressors for space heating and cooling (4 parts), BSI 2004

- BS EN 378: Specification for refrigerating systems and heat pumps – Safety and environmental requirements (4 parts), BSI 2000
- EN 15316–4-2 Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Part 4–2 Space heating generation system, heat pump systems, 2005 (Draft)
- EN 15450: 2006 (E) Heating systems in buildings – design of heat pump heating systems (Draft)
- DIN 4021 Building land – exploitation by mining and drilling and removal of samples
- DIN 4022 Building land and ground water – designation and description of soil and rock
- Part 1 Strata list for drilling without continuous core sampling in soil and in rock
- Part 2 Strata list for drilling in rock (solid stone)
- Part 3 Strata list for drilling with continuous core sampling in soil (loose stone)
- DIN 4023 Building land and water drilling; diagrams of the results
- DIN 4030 Assessment of water, soil and gases aggressive to concrete
- Part 1 Principles and limits
- Part 2 Extraction and analysis of water and soil samples
- DIN 4049 Hydrology
- Part 1 Fundamental terms
- Part 2 Terms of water properties
- DIN EN 255 Air conditioners, liquid coolants and heat pumps with electrically powered compressors -heating
- Part 1 Names, definitions and designations
- Part 2 Tests and requirements on the marking of equipment for room heating
- Part 4 Requirements on equipment for room heating and to heat utility water
- DIN EN 378 Refrigerating systems and heat pumps – safety and environmentally relevant requirements
- Part 1 Fundamental requirements
- Part 2 General definitions
- Part 3 Classification of refrigerating systems, refrigerants and installation areas
- Part 4 Selection of refrigerants
- Part 5 Design, manufacture and materials
- DIN EN 1861 Refrigerating systems and heat pumps – system flow diagrams, piping and instrument flow diagrams – design and symbols Guidelines
- VDI 4640 Thermal exploitation of the ground
- Page 1, Principles, approvals, environmental aspects
- Page 2, Ground coupled heat pump systems
- Page 3, Underground thermal energy accumulators
- Page 4, Direct usage

HEAT PUMPS DESIGN

Abstract: This paper is analysing heat pumps 2010 field testing made in United Kingdom by the Energy Saving Trust. If we base heat pump design only on literature and data from it, and if we base our desing on information from heat pumps merchants, we could get really low results in the end. Based on filed test and using all informations available we made couple recommendations how to design heat pumps with main goal to gain high total SPF. From filed test we can se that installed air heat pumps have total SPF in range from 1,2 to 3,3 and geothermal heat pumps dont have much better SPF in range from 1,3 to 3,6. Main problem in design was high usage of electrical energy which is reducing total SPF of system. We will make couple examples when heat pumps can be used and when not.

Key words: *heat pumps, electrical energy, coefficient of performance*