

Razdelitev toplotnih črpalk glede na vir toplote

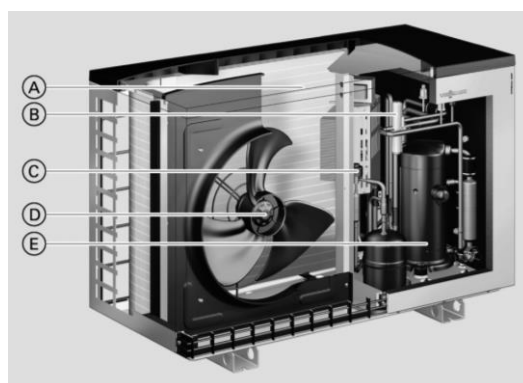
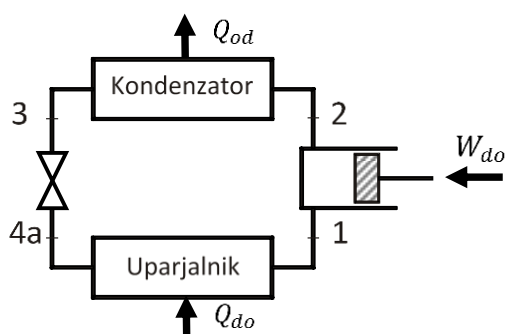
Inštitut za obnovljive vire energije in učinkovito rabo eksergije, INOVEKS d.o.o.
Cesta 2. grupe odredov 17, 1295 Ivančna Gorica, info@inoveks.si

Povzetek

V članku na kratko prikazujemo različne tipe toplotnih črpalk, ki so razdeljene glede na vir toplote za krožni proces. Osnove delovanja toplotnih črpalk smo opisali v prispevku Kako deluje toplotna črpalka? [1]. V tem prispevku prikazujemo osnovne značilnosti različnih tipov toplotnih črpalk. Prikazujemo tudi zakaj je pri zamenjavi vira ogrevalnega sistema potrebno paziti na temperaturni režim, ki nam ga omogoča vir ogrevanja, in posledično kakšen je vpliv temperaturnega režima na toplotno moč ogreval.

UVOD

V prispevku [1] smo prikazali opis delovanja toplotnih črpalk in njihovo podobnost s hladilnimi napravami. Pri tem smo ugotovili, da gre v primeru toplotne črpalke v osnovi za enako konstrukcijo naprave, ki za svoje delovanje uporablja levi krožni proces. Bistvena razlika je v tem, da pri hladilni napravi jemljemo toploto živil (toplota na uparjalniku), pri toplotni črpalci pa jemljemo toploto iz okolice, ki jo s pomočjo električne energije dvignemo na višji temperaturni nivo ter jo na kondenzatorju preko prenosnika toplote oddamo gretemu mediju, ki ogreva na primer sanitarno toplo vodo ali pa vodo, ki kroži po radiatorjih.

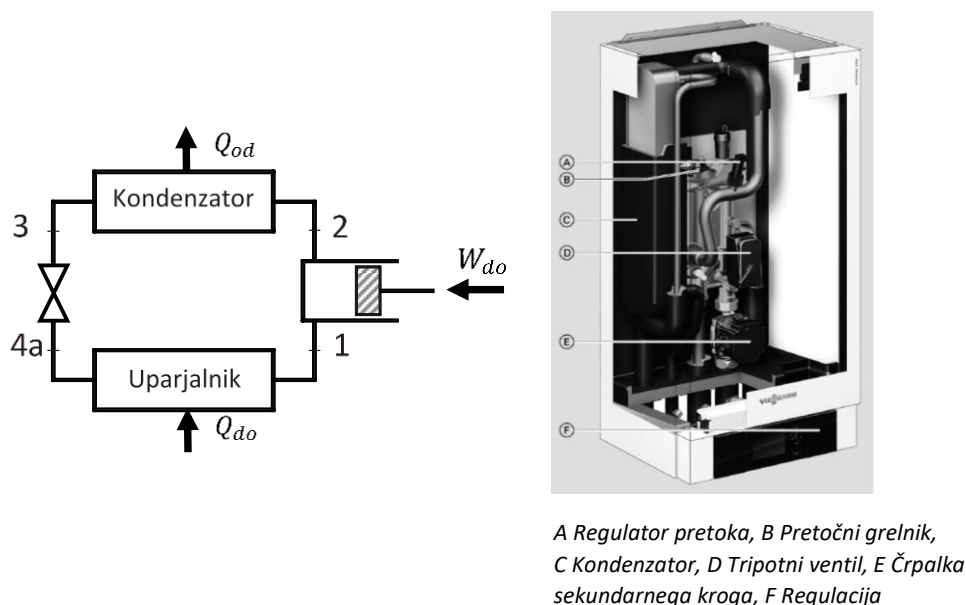


A Uparjalnik, B Štiripotni preklopni ventil,
C Ekspanzijski ventil, D Ventilator, E Kompresor

Slika 1: Shema toplotne črpalke (levo) [2] in zunanja enota toplotne črpalke zrak/voda (desno) [3]

Slika 1 na levi strani prikazuje shematski prikaz toplotne črpalke, na desni strani pa prikazuje zunanjo enoto split izvedbe toplotne črpalke zrak/voda. V zunanji enoti se nahaja uparjalnik, ki črpa toploto okolice, ki je na shemi označena s Q_{do} ter kompresor, ki za svoje delovanje potrebuje električno energijo, ki je na shemi označena z W_{do} ter tudi ekspanzijski ventil.

Slika 2 na levi strani prikazuje shematski prikaz toplotne črpalke, na desni strani pa prikazuje notranjo enoto split izvedbe toplotne črpalke zrak/voda. V notranji enoti se nahaja kondenzator, ki odda toploto na sekundarni krog, ki je na shemi označena s Q_{od} .



Slika 2: Shema toplotne črpalke (levo) [2] in notranja enota toplotne črpalke zrak/voda (desno) [3]

Iz opisa delovanja je razvidno, da toplotna črpalka torej črpa nizektemperaturno toploto vira toplote, ki je običajno ali podtalnica ali zemlja ali pa zrak. To se lahko doseže s krožnim procesom uparjanja hladiva v uparjalniku, ki ga v naslednjem koraku kompresor stisne na višji tlak, zaradi česar se temperatura hladiva zviša na temperaturo, ki je nekoliko višja od temperature ogrevalne vode v našem sistemu (sanitarna topla voda ali voda, ki kroži po radiatorjih). Hladivo se v naslednjem koraku v vodno hlajenem kondenzatorju utekočini, pri čemer se odda toplota na ogrevalno vodo. Ogrevalno vodo lahko na takšen način ogrejeemo do 65 in več stopinj Celzija, kar je odvisno od delovnih pogojev in tipa naprave.

Kot vir toplote, ki jo pridobivamo na uparjalniku, lahko koristimo različne toplotne vire. Običajno so to, kot je bilo že omenjeno, podtalnica ali zemlja ali pa zrak. Po tem tudi poimenujemo toplotne črpalke, in sicer voda/voda tam, kjer se koristi toplota vode, zemlja/voda tam, kjer se koristi toplota zemlje ter zrak/voda tam, kjer se koristi toplota zraka. V vseh primerih se toplota oddaja na vodo v sekundarnem ogrevalnem krogu (sanitarna topla voda ali voda, ki kroži po radiatorjih).

Pri zamenjavi vira ogrevanja je potrebno primarno paziti na to, da tudi po zamenjavi ohranjamo primeren temperaturni režim v ogrevalih, ki omogoča dovolj toplotne moči za ogrevanje prostorov. Radiatorji namreč toploto oddajajo eksponentno, kar lahko popišemo z enačbo:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_0 \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_0} \right)^m \quad (1)$$

Pri tem je \dot{Q}_0 toplotna moč pri testnih pogojih, \dot{Q} toplotna moč pri novih pogojih, m eksponent ogrevala, ki za ploščata ogrevala znaša okoli 1,25, za talno ogrevanje pa znaša na primer od 1,1 do 1,15. Δt_0 je nadtemperatura pri testnih pogojih, ki se izračuna po enačbi:

$$\Delta t_0 = \frac{t_v + t_i}{2} - t_{pr} \quad (2)$$

Pri tem je t_v temperatura vtočne vode v ogrevalo, t_i temperatura iztočne vode iz ogrevala ter t_{pr} temperatura prostora pri testnih pogojih. Za starejše radiatorje je bil radiator preizkušen običajno pri testnih pogojih 90/70-20, kar pomeni $t_v = 90 \text{ °C}$, $t_i = 70 \text{ °C}$, $t_{pr} = 20 \text{ °C}$. Velja, da je v takem primeru:

$$\Delta t_0 = \frac{90 + 70}{2} - 20 = 60 \text{ °C} \quad (3)$$

Če spremenimo temperaturni režim ogrevala, ki ima na primer toplotno moč 1000 W pri testnih pogojih 90/70-20, lahko s pomočjo enačbe (1) določimo \dot{Q} , oziroma toplotno moč pri novih pogojih, ko znižamo temperaturo vtoka v radiatorje. Če predpostavimo, da imamo vgrajena ploščata ogrevala in bi želeli vgraditi toplotno črpalko, ki omogoča nizkotemperaturni režim 35/30-20, potem v takem primeru ogrevalo z močjo 1000 W, testirano pri režimu 90/70-20 odda:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_0 \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_0} \right)^m = 1000 \left(\frac{12,5}{60} \right)^{1,25} = 141 \text{ W} \quad (4)$$

Pri tem smo Δt določili po enačbi:

$$\Delta t = \frac{35 + 30}{2} - 20 = 12,5 \text{ °C} \quad (5)$$

Radiator ima torej pri novem temperaturnem režimu bistveno manjšo moč. Če bi se določili za visokotemperaturno toplotno črpalko, ki omogoča temperaturni režim 55/45-20, potem v takem primeru ogrevalo z močjo 1000 W, testirano pri režimu 90/70-20 odda:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_0 \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_0} \right)^m = 1000 \left(\frac{30}{60} \right)^{1,25} = 421 \text{ W} \quad (6)$$

Pri tem smo Δt v tem primeru določili po enačbi:

$$\Delta t = \frac{55 + 45}{2} - 20 = 30 \text{ °C} \quad (7)$$

Iz napisanega sledi, da je potrebno biti pazljiv na velikost ogreval, še posebej, ko se v neizolirani hiši odločimo samo za spremembo vira ogrevanja in bi namesto kotla vgradili toplotno črpalko.

Toplotna črpalka lahko deluje ali monovalentno ali bivalentno. Pri monovalentnem načinu obratovanja toplotna črpalka zagotavlja 100 % potreb po toploti. Monovalentna toplotna črpalka je primerna takrat, ko imamo visok faktor izkoriščenosti in/ali kjer imamo vir toplote z višjo temperaturo, kot na primer toplotna črpalka za sanitarno vodo, ki ima za vir toplote zrak. Monovalentno obratovanje je pogosto tudi pri toplotnih črpalkah, ki kot vir toplote izkoriščajo toploto zemlje ali vode. V primeru

bivalentnega delovanja potrebo po toploti zagotavljamo iz dveh ločenih virov. Toplotna črpalka tako deluje vzporedno z nadomestnim ogrevalnim sistemom. V takšnem načinu obratovanja nam ravnotežna točka oziroma bivalentna točka predstavlja najnižjo zunanjo temperaturo, pri kateri lahko toplotna črpalka še zagotavlja vso potrebno toplotno moč. Pri nižjih temperaturah se uporabi dodatni ogrevalni sistem. Pri tem ločimo dva različna bivalentna načina obratovanja: nadomestno in vzporedno. Glavna razlika med obema je v tem, da se pri bivalentnem vzporednem obratovanju prihrani več energije. Bivalentne toplotne črpalke se največ uporabljajo v sistemih zrak-voda, kjer se učinkovitost toplotne črpalke zelo zmanjša pri nižjih zunanjih temperaturah zraka.

Učinkovitost toplotne črpalke podajamo z grelnim številom toplotne črpalke, ki je definirano kot:

$$\varepsilon_H = COP = \frac{Q_{od}}{W_{do}} \quad (8)$$

Če ima toplotna črpalka grelni števil $\varepsilon_H = COP = 2,5$, to pomeni, da za 1 kWh vložene električne energije dobimo 2,5 kWh toplote na uparjalniku.

TOPLOTNA ČRPALKA ZRAK/VODA [4]

Kot vemo je tudi hladen zrak neizčrpen vir nizektemperaturne toplote, ki je na voljo povsod. Najsodobnejše izvedbe toplotnih črpalk zrak/voda omogočajo ogrevanje tudi pri zunanji temperaturi do $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Toplotna črpalka zrak/voda je investicijsko najcenejša vrsta toplotnih črpalk, enostavna in poceni pa sta tudi montaža in vzdrževanje. Toplotne črpalke zrak/voda se običajno projektirajo tako, da samostojno pokrijejo vse toplotne izgube objekta do zunanje temperature $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pod to mejo lahko toplotna črpalka deluje skupaj z drugim ogrevalnim virom. Tako pokrijemo več kot 98 % toplotnih potreb objekta z delovanjem toplotne črpalke. Kot drugi ogrevalni vir se pri novogradnjah uporablja kar električno gredo, pri obstoječih objektih z dobrim konvencionalnim ogrevalnim virom pa se lahko uporablja tudi le-ta. Elektronsko krmiljenje omogoča enostavno nastavitve točke preklopa na sekundarni ogrevalni vir. Najpogostejša izvedba je tako imenovana zunanja postavitvev, pri kateri se toplotna črpalka nahaja zunaj ob objektu in je z notranjo hidravlično enoto povezana preko vodne povezave (monoblok) ali preko freonske povezave (split) (Slika 3).



Slika 3: Toplotna črpalka zrak/voda [5]

Poleg te so na voljo še druge manj pogoste izvedbe, kot na primer:

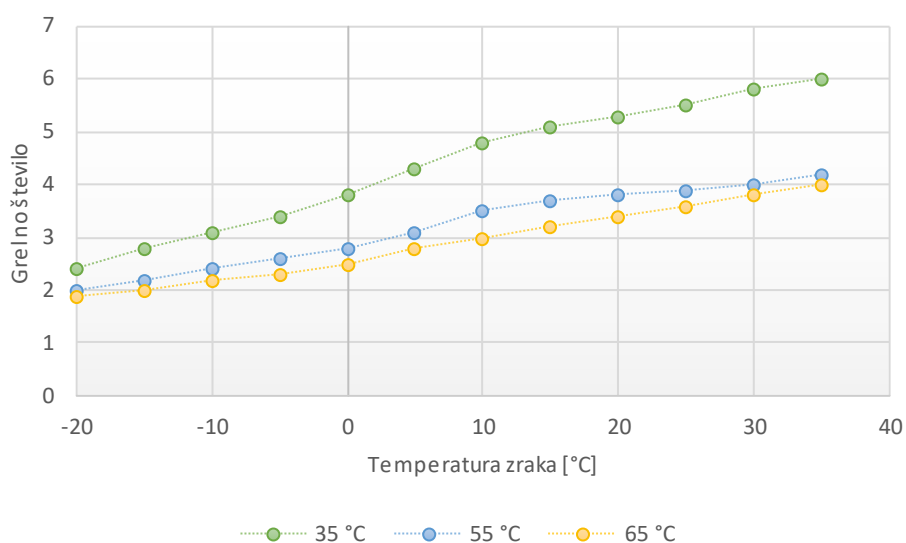
- notranja postavitvev pri kateri je celotna naprava v objektu in je zajem in izpih zunanjega zraka urejen preko zračnih kanalov,
- prezračevalne toplotne črpalke, ki so namenjene učinkovitejšemu prezračevanju objekta pri čemer dovodni zrak ogrevajo in ohlajajo.

Toplotni črpalke zrak/voda se nižja grelna števila v odvisnosti od zunanje temperature. Tabela 1 prikazuje grelna števila za različne temperaturne režime za naključno izbrano toplotno črpalke.

Tabela 1: Odvisnost grelnega števila od zunanje temperature zraka za naključno izbrano toplotno črpalke zrak/voda [4]

Temperatura zraka [°C]	Temperatura predtoka		
	35 °C	55 °C	65 °C
-20	2,4	2,0	1,9
-15	2,8	2,2	2,0
-10	3,1	2,4	2,2
-5	3,4	2,6	2,3
0	3,8	2,8	2,5
5	4,3	3,1	2,8
10	4,8	3,5	3,0
15	5,1	3,7	3,2
20	5,3	3,8	3,4

Slika 4 prikazuje vrednosti iz zgornje tabele še na diagramu. Iz slike je razvidno, da je grelna števila zelo odvisno od temperature zraka in tudi temperaturnega režima. Višja kot je temperatura predtoka, nižja je učinkovitost toplotne črpalke. Hkrati pa se zavedamo, da najvišjo temperaturo ogrevanja potrebujemo ravno, ko je temperatura zunanjega zraka najnižja.



Slika 4: Grelno število za naključno izbrane toplotne črpalke zrak/voda

TOPLOTNA ČRPALKA VODA-VODA [4]

Toplota podtalnice je zelo ugoden vir za izkoriščanje s toplotno črpalko. Velika prednost je sorazmerno konstanten temperaturni nivo, ki je približno med 7 in 12 °C. Da lahko izkoristimo toploto podtalnice, moramo ob zgradbi izvrtati v zemljo dve vrtini, za črpanje in za vračanje podtalnice (Slika 5). V prvo vrtino vstavimo cev s potopno črpalko. Med obratovanjem črpalka potiska vodo skozi toplotno črpalko, ki ji odvzame toploto in jo ohlajeno za nekaj stopinj celzija (od 2 do 4 °C) vrača po drugi, nekaj metrov (15 – 20 m) oddaljeni vrtini nazaj v podtalnico. Količina vode v sesalni vrtini mora zadostovati za neprekinjeno obratovanje pri največjih toplotnih potrebah. Za črpanje podtalnice potrebujemo vodno dovoljenje, vodo pa je potrebno pred pričetkom del kemično analizirati (zaradi morebitnih prisotnih snovi, ki lahko poškodujejo dele toplotne črpalke). Podtalnica je torej zaradi relativno visoke temperature idealen vir toplote, saj z njo dosežemo visoka grelna števila. Iz tega sledi, da je ta vodni vir energetsko najučinkovitejši (gledano skozi povprečje celega leta). Grelno število toplotnih črpalk voda/voda je od 3,5 navzgor. Toplotne črpalke voda/voda dajejo veliko toplotno moč ob zelo majhnih zunanjih dimenzijah.



Slika 5: Toplotna črpalka voda/voda [5]

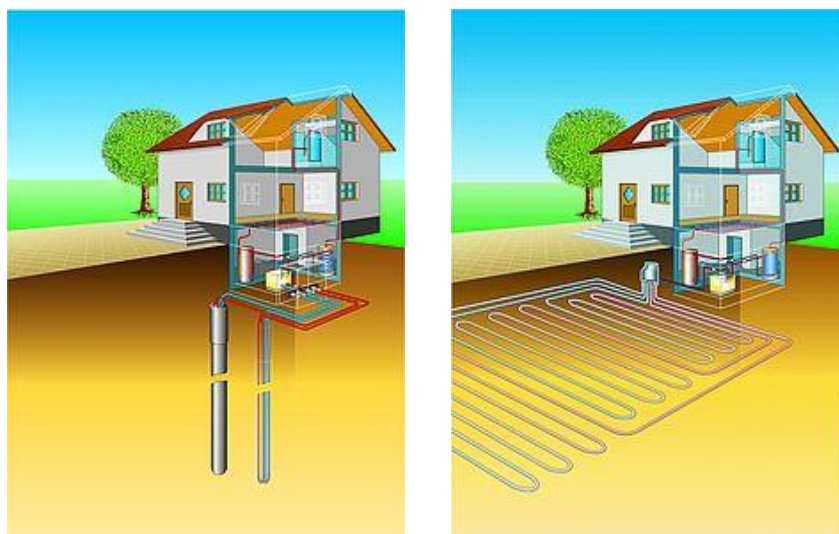
TOPLOTNA ČRPALKA ZEMLJA-VODA [4]

Toplotne črpalke zemlja/voda izkoriščajo toploto, shranjeno v kameninah oz. v zemlji. Tam je uskladiščena velika količina energije, ki jo lahko izkoristimo za ogrevanje hiše in/ali sanitarne vode. Količina energije, ki jo lahko odvezamo zemlji je odvisna od sestave tal, moči TČ in načina izkoriščanja. Odvzem toplote se izvaja s pomočjo tekočine, ki kroži v zaprtem cevnom sistemu, položenim na globini od 120 – 170 cm (horizontalni kolektor) ali pa so cevne sonde vstavljene v vrtine od 60 – 140 m (vertikalna geosonda). Krožeča voda odda toploto toplotni črpalki, ki jo s pomočjo dodane električne energije pretvori na višji temperaturni nivo, vrača pa se ohlajena za nekaj °C.

Najpogostejša izvedba toplotnega vira pri izkoriščanju toplote zemlje je vertikalni zemeljski kolektor (sonda) oziroma geosonda (Slika 6). Gre za vrtine globine od 60 do 200 m v katere sta vstavljene dve cevni U zanki. Iz enega dolžinskega metra sonde lahko pridobimo od 40 do 60 W moči (odvisno od kakovosti zemljine). Globina in število sond se prilagodi moči toplotne črpalke. Izvedba je dokaj

enostavna in mogoča povsod razen na področjih kjer se nahajajo podzemne jame. Za izvedbo je potrebno imeti na voljo približno 25 m² površine na sondo in dostop širine vsaj 2,5 m za vrtni stroj. Izvedba vrtine, vstavitve sonde in polnjenje traja običajno 1-2 dni. Za površino kjer se nahaja sonda ni posebnih omejitev glede ozelenitve, parkirišča, pločnika itd. Poudariti je potrebno, da je za izvedbo geosonde potrebno pridobiti rudarsko dovoljenje. Po Zakonu o rudarstvu se namreč štejejo med rudarska dela tudi vrtnje vrtin nad 30 m globine (4. člen, točka 3) [6]. V 9. točki 4. člena zakona je eksplicitno navedeno tudi izkoriščanje geotermičnih energetskih virov. Iz tega sledi, da je vgradnja geosond rudarsko delo in je zato treba pridobiti ustrezno rudarsko dovoljenje za izvajanje del. Rudarsko delo je sestavljeno iz vrtnja, vgradnje geosond in injektiranja stabilizacijskega materiala. Izdelavo kinet za povezavo geosond s toplotno črpalko štejemo med gradbena dela. Za izdajo dovoljenja potrebujemo lokacijsko informacijo, geološko prognozo z energetskim izračunom, rudarski projekt in revizijo rudarskega projekta.

Med pogostimi izvedbami je tudi horizontalni zemeljski kolektor (Slika 6, desno) pri katerem se cevne zanke položijo na globino 120 do 170 cm. Običajna dolžina zank je 100 m, razmak pa 0,7 m. Iz enega dolžinskega metra lahko pridobimo od 10 W (suha peščena zemljina) do 35 W (ilovnata vlažna zemljina) moči. Površina potrebna za izvedbo zemeljskega kolektorja je 1,5 do 2 kratnik ogrevalne površine. Površina se lahko ozeleni, prepovedana pa so drevesa z globokimi koreninami ter pokrivanje površine kot je postavitve parkirišč, pločnikov, pozidava itd. Zemeljski kolektor se toplotno regenerira s pomočjo sonca in dežja. Izvedba je mogoča v lastni režiji z ustrezno opremo za zemeljska dela ali pa preko profesionalnih izvajalcev. Izvede se lahko na način odriva celotne površine ali pa s pasovnimi odkopi (jarek) posamezne zanke širine 70-80 cm.



Slika 6: Toplotna črpalka zemlja/voda: levo geosonda, desno horizontalni zemeljski kolektor [5]

ZAKLJUČEK

Ker je toplotna črpalka učinkovitejša pri nizkotemperaturnih režimih, smo prikazali vpliv temperaturnega režima na oddajo ogreval. Ker je moč ogrevala eksponentno odvisna od temperaturnega režima, se pri nizkih temperaturah oddaja toplote zelo zmanjša. V prispevku smo prikazali tudi različne tipe toplotnih črpalk in njihove osnovne značilnosti. Toplotna črpalka zrak/voda je najcenejša vrsta toplotnih črpalk, pri čemer je montaža enostavna. Toplotne črpalke voda/voda in

zemlja/voda so sicer učinkovitejše, montaža pa zahteva izdelavo vrtin oziroma geosonde ali zemeljskega kolektorja, kar podraži investicijo in podaljša vračilno dobo, še posebej pri energetsko varčnih manjših objektih.

LITERATURA

- [1] INŠTITUT ZA OBNOVLJIVE VIRE ENERGIJE IN UČINKOVITO RABO EKSERGIJE INOVEKS D.O.O. *Kako deluje toplotna črpalka?* [na spletu]. 2019. Dostopno: https://www.inoveks.si/images/inOVEinURE/strokovniprispevki/05_Kako_deluje_toplotna_crpalka.pdf
- [2] MUHIČ, Simon in Bogdan BLAGOJEVIČ. *Tehniška termodinamika*. Novo mesto: Fakulteta za tehnologije in sisteme, 2016. ISBN 978-961-6770-34-7.
- [3] VIESSMANN D.O.O. *Split toplotna črpalka zrak/voda Vitocal 200-S* [na spletu]. [dostopano 13. 08. 2019]. Dostopno: https://www.viessmann.si/content/dam/vi-brands/SI/Novi_prospekti/KP_Vitocal_200-S_01-2018_SI-WEB.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/KP_Vitocal_200-S_01-2018_SI-WEB.pdf
- [4] KRONOTERM D.O.O. *Toplotne črpalke* [na spletu]. [dostopano 13. 08. 2019]. Dostopno: <https://www.kronoterm.com/>
- [5] EUROPEAN HEAT PUMP ASSOCIATION. *Energy sources* [na spletu]. [dostopano 14. 08. 2019]. Dostopno: <https://www.ehpa.org/technology/what-type-of-hp-for-what-use/>
- [6] URADNI LIST RS. *Zakon o rudarstvu* [na spletu]. [dostopano 14. 08. 2019]. Dostopno: <https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2004-01-4285/zakon-o-rudarstvu-uradno-precisceno-besedilo-zrud-upb1>

OPOMBA

Operacija Informiranje in ozaveščanje o potencialu učinkovite rabe energije in obnovljivih virov energije za sonaravni razvoj (in.OVE.in.URE) je bila potrjena na drugem Javnem pozivu za izbor operacij za uresničevanje ciljev Strategije lokalnega razvoja na območju LAS STIK v letu 2017.