

## Toplotne črpalke

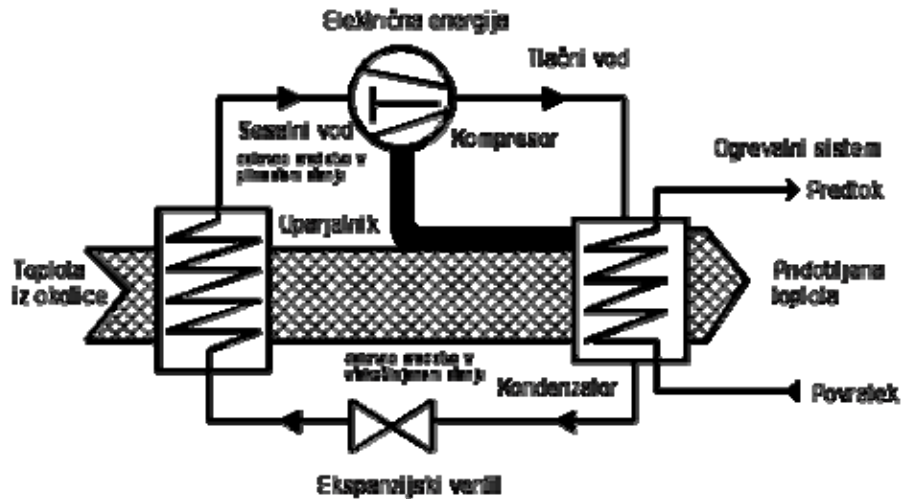
Bliskovit razvoj toplotnih črpalk sega 20 let nazaj, v dobo velike naftne krize, kjer so mnogi proizvajalci iskali rešitve za zamenjavo fosilnih goriv v drugih izvori. Eden od odgovorov je bil uporaba odpadne toplote oziroma toplote okolice. Takratne tehnične rešitve in izvedbe toplotnih črpalk niso dale pričakovanih rezultatov glede izkoristka ter so bile z končanjem naftne krize dejansko za daljšo dobo pozabljene.

S povečanjem ekološke zavesti pri potrošnikih ter naraščanjem cen energije, postajajo toplotne črpalke kot energetska učinkovita in okolju prijazen sistem za ogrevanje in pripravo tople vode, ponovno vse zanimivejše. Z razvojem novih tehnologij, izboljšanjem izkoristka delovanja, zmanjšanjem dimenzij in mase, se uporaba toplotnih črpalk ponovno vrača. Toplotne črpalke nove generacije so znižale mejo delovanja do najnižjih temperatur zunanega zraka celo do  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Leta 1978 je bil odnos električne energije in pridobljene toplotne energije 1:2, danes pa znaša 1: 5 in pri določenih izvedbah celo več. Predvideva se, da bodo toplotne črpalke v bodočnosti predstavljale osnovne ogrevalne naprave na nizkotemperaturnih sistemih.

Najnovejši izračuni in meritve na številnih izvedbah toplotnih črpalk so pokazali, da toplotne črpalke porabijo med 34 in 49 % manj primarne energije kot plinski in oljni kondenzacijski kotli. Prav tako se z uporabo toplotnih črpalk zelo zmanjša emisija  $\text{CO}_2$  in drugih škodljivih plinov, v primerjavi s plinskimi in oljnimi kondenzacijskimi kotli. To zmanjšanje znaša med 31 in 60 %.

### Delovanje toplotne črpalke

Vsakdo je že opazil, da se iz hladilnika dviga topel zrak. Sigurno ste kdaj pomislili, da bi na tak način lahko ogrevali vodo? To je možno narediti in sicer s toplotno črpalko, ki deluje na enakem principu kot hladilnik. Pri hladilniku se ohlaja notranjost, toplota odvzeta živilom pa prehaja v okolico. S pomočjo toplotne črpalke pa toploto, ki bi sicer prešla v okolici koristno uporabimo za ogrevanje prostorov ali sanitarne vode, samostojno ali v kombinaciji z ostalimi sistemi. Pridobljena toplota je tu rezultat termodinamičnega procesa (slika 1) in ne izgorevanja goriva kot pri klasičnih ogrevalnih sistemih.



[Slika 1: Način delovanja toplotne črpalke](#)

Toplotna črpalka je sestavljena iz uparjalnika, ki odvzema toploto okolice (vode, zraka, zemlje), v njem se pri nizki temperaturi uplini delovna snov (hladivo), ki nato potuje v kompresor. Ta pare stisne in jih dvigne na višji tlačni in temperaturni nivo. Vroče pare v kondenzatorju kondenzirajo pri višji temperaturi in pri tem oddajo kondenzacijsko toploto ogrevanemu mediju. Delovna snov nato potuje preko ekspanzijskega ventila, kjer se ji zniža tlak nazaj v uparjalnik in proces se ponovi. Vsa toplota pridobljena iz okolice je brezplačna. Da jo iz nizkotemperaturnega nivoja dvignemo na visokotemperaturni nivo, je potrebno vložiti nekaj dela. Tako je za delovanje toplotne črpalke potrebna električna energija za pogon agregata, ki ga sestavljata kompresor in ventilator. Razmerje med plačano energijo (elektriko) in brezplačno energijo (pridobljeno iz okolice) je običajno 1/3 in pri najnovejših črpalkah celo do 1/5 in več. To pomeni, da pri 3 kWh pridobljene toplotne energije uporabnik plača 1 kWh, 2 kWh pa dobi brezplačno. Razmerje med pridobljeno toplotno energijo in vložnim delom imenujemo grelni število. Njegova vrednost zavisi od vrste toplotne črpalke in vira okoliške toplote. Letna grelna števila znašajo v povprečju 2,5 do 3 in tudi več. Poznamo tri osnovne izvedbe toplotnih črpalok glede na medij (okolico), ki ga hladimo in medij, ki ga ogrevamo. Tako poznamo sisteme toplotnih črpalok zrak/voda, voda/voda, zemlja/voda. Pri označevanju tipa toplotnih črpalok se na prvo mesto postavlja medij, ki ga hladimo, na drugo mesto pa medij, ki ga grejemo.

Toplotne črpalke zrak/zrak pa so v bistvo vse vrste klimatizerjev, ki ohlajajo in vzdržujejo temperaturo v določenem prostoru in toploto predajajo na zrak v sosednjem prostoru ali okolico.

Za ogrevanje zgradb pa potrebujemo poleg zadostne količine toplote tudi zadosten temperaturni nivo grelnega medija. Najprimernejše je talno ogrevanje, kjer zadostuje režim 40/30 °C. V tem primeru lahko namesto klasičnega kotla kot generator toplote uporabimo toplotne črpalke. Čim manjša je temperatura predtoka, tem boljši je izkoristek toplotne črpalke. Pri uporabi novih tehničnih rešitev, je zelo pomembna tudi zaščita okolja, zato

se kot delovno snov (hladivo) največ brezfreonsko hladivo R 407 C. Glede oblike poznamo dve izvedbi toplotnih črpalk. V kompaktni izvedbi sta toplotni črpalka in hranilnik toplote (vode) v enem sklopu. V primeru, da je toplotna črpalka ločena od hranilnika vode imenujemo takšno izvedbo split ali ločena izvedba.

Glede na obratovanje poznamo dva načina obratovanja toplotnih črpalk in sicer bivalentno obratovanje in monovalentno obratovanje. Kadar je toplotna črpalka za ogrevanje objekta in tople sanitarne vode instalirana dodatno k kotlu centralne kurjave, imenujemo tak način obratovanja bivalenten. Dejansko pa ločimo tri načine bivalentnega obratovanja v kombinaciji s toplovodnim kotlom in sicer: bivalentno alternativno, bivalentno vzporedno in bivalentno delno vzporedno. Tako lahko s pomočjo regulacije izbiramo poljubno obratovanje pri določenih zunanjih temperaturah. Pri bivalentnem vzporednem obratovanju pa imamo dva neodvisna generatorja toplote, ki se v primeru izpada enega nadomeščata.

Pri monovalentnem načinu obratovanja toplotna črpalka deluje samostojno pokrije celotne zahteve po toplotni energiji skozi celotno ogrevalno sezono.

## Viri toplote

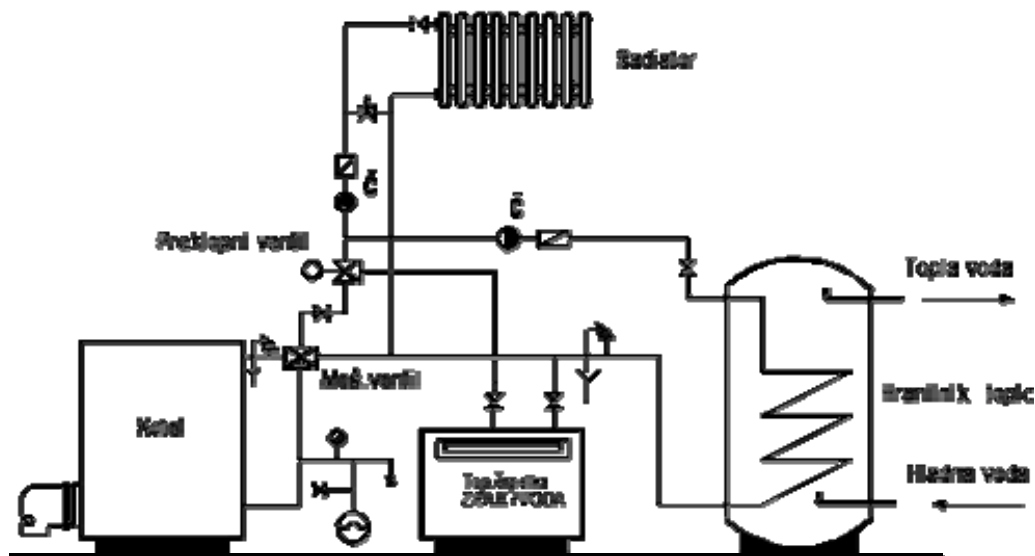
Pri načrtovanju za vgradnjo toplotne črpalke je ključnega pomena vir toplote. Grelno število toplotne črpalke je namreč odvisno od temperature, pri kateri črpamo toploto. Pri tem pa je še potrebno upoštevati temperaturni režim ogrevanja, letne energetske potrebe objekta, zahtevan odstotek kritja energetskih potreb objekta s toplotno črpalko in če je toplotna črpalka predvidena za novogradnjo ali obstoječi objekt.

Med najpogostejše vire sodijo zunanji zrak, odpadni zrak prezračevalnih sistemov, površinske vode, podtalnica, zemlja ter energetske vrtine. V tem članku bo poudarek na zraku in vodi kot viru toplote, čeprav se toplota zemlje lahko tudi koristno izrabi. Sloji zemlje imajo namreč na globini 15 m skoraj konstantno temperaturi približno + 15°C. Toplota zemlje se koristi tako, da se v izkopani kanal položi kolektor zaprtega sistema. V ceveh kroži delovno sredstvo, ki ga zemlja ogreje za nekaj stopinj. Sistem je izveden tako, da izkoriščanje toplote ne vpliva na floro. Podoben sistem se vgradi za izkoriščanje toplote kamenin – energetske vrtine.

Ta vir toplote je zanesljiv vendar drag. Globina in premer ene ali več energetskih vrtin sta odvisni od potrebe objekta po ogrevanju in moči vgrajene toplotne črpalke.

## Zrak

Zrak je neizčrpen in je povsod na voljo, vendar je potrebno upoštevati, da se moč toplotne črpalke kljub razvojnim dosežkom, z upadanjem temperature zunanjega zraka znižuje. Pri zelo nizkih temperaturah, je bilo pri klasičnih toplotnih črpalkah »stare generacije« zrak/voda potrebno zagotoviti dodaten vir ogrevanja. Zaradi nizkih temperatur uparjalnika se na uparjalnikih kondenzira vlaga, ki zamrzne v plast sreža. Nastali srež prepreči pretok zraka skozi uparjalnik in s tem dotok novega zraka, zato je delovni proces toplotne črpalke v takem primeru moten, ali pa v določenih primerih nemogoč. Odmrznitev z vročimi parami ali električnim grelcem je rešitev, vendar se učinkovitost toplotne črpalke zaradi tega zniža. Na sliki 2 je shematsko prikazan sistem bivalentnega ogrevanja in priprava tople sanitarne vode s klasično toplotno črpalko zrak/voda. Delujejo lahko do temperature  $-7^{\circ}\text{C}$ , zato jih moramo v ogrevalnih sistemih vgraditi skupaj s klasičnim kotlom.



[Slika 2: Bivalenten sistem ogrevanja in priprave tople sanitarne vode s toplotno črpalko zrak/voda](#)

Nove, patentirane rešitve so probleme v vezi nizkih zunanjih temperatur dejansko odpravile in tako se na tržišču pojavile toplotne črpalke »nove generacije«, ki izkoriščajo toploto zunanjega zraka celo do  $-20^{\circ}\text{C}$ . Ali je torej mogoče ogrevati z ledom?

V zunanjem zraku je vedno nekaj vlage. Pri ohlaiditvi se vlaga izloči, pri nizkih temperaturah pa celo zamrzne. V obeh primerih se lahko izkoristi toplota, ki se sprošča pri spremembi agregatnega stanja vlage v zraku. Količina toplotne energije, ki se sprošča pri izločanju vlage iz zraka ali nastajanju ivja, je zelo velika. Sproščeno toploto izkorišča toplotna črpalka. Sproščena energija 0,5 mm debele plasti ivja, omogoča ogrevanje moderne hiše pri zunanjih

temperaturah od 0 do  $-5^{\circ}\text{C}$  celo uro. Prednosti so v brezšumnem delovanju, ni potreben ventilator zunanje enote, ni potrebna kurilnica, kajti celotna naprava je postavljena na prostem. Delovanje toplotne črpalke je neprekinjeno, ne glede na zamrznitev uparjalnika, kar poveča tudi izkoristek črpalke. Primerne so na objektih z radiatorskim, talnim ali konvektorskim ogrevanjem. Grelno število pri temperaturi zunanjega zraka  $-10^{\circ}\text{C}$  in temperaturi predtoka  $45^{\circ}\text{C}$  je približno 2,4. Pri zunanji temperaturi  $-20^{\circ}\text{C}$ , pa je grelno število še vedno 2. Za objekt s porabo 2000 do 3000 litrov kurilnega olja na leto, so letni prihranki 6.000 do 9.000 kWh Letno grelno število je do 3, pri talnem ogrevanju pa do 4.

Izkoriščanje toplote zunanjega zraka je idealno posebno v objektih brez radiatorskega ogrevanja, torej pri ogrevanju z električno energijo. V Sloveniji se preko 25.000 stanovanj ogreva samo z električno energijo. Če bi se samo polovica objektov preusmerila na ogrevanje s toplotnimi črpalkami, bi v enem letu prihranili 78.000.000 kWh električne energije. Ta vrednost ustreza prihranku približno 11.000 m<sup>3</sup> kurilnega olja (70% letni izkoristek kotla). Poleg črpalk, ki izkoriščajo toploto zunanjega zraka, lahko koristimo tudi toploto notranjega zraka. Primerna mesta s npr. v kleti, kjer želimo vzdrževati stalno temperaturo  $+3^{\circ}\text{C}$ , ali podstrešje, kjer redko pade temperatura zraka pod  $0^{\circ}\text{C}$ .

Za ogrevanje sanitarne vode se uporabljajo toplotne črpalke zrak/voda ogrevalne moči od 2 do 3 kW. Zmogljivost ogrevanja je do 1400 litrov vode na dan. Toplotna črpalka je izvedena tako, da je nameščena na grelnik vode. Če je črpalka v ločeni izvedbi se hranilnik vode in črpalka samo povežeta z vodovodnimi cevmi. Za cirkulacijo vode je potrebno vgraditi obtočno črpalko, ki jo upravlja termostat vgrajen v hranilnik vode. Glavna prednost toplotne črpalke je v tem, da ima trikrat manjšo porabo električne energije kot klasični elektro grelec. Vodo segrevamo maksimalno na  $55^{\circ}\text{C}$ , kar pomeni manjše toplotne izgube v hranilniku vode in na ceveh, prav tako pa manjše nalaganje vodnega kamna na ogrevalne površine. Velik volumen hranilnika energije omogoča delovanje toplotne črpalke na cenejši tarifi električne energije. Sistem voda/zrak pa se uporablja za ogrevanje zraka, v primerih, ko je hlajeni medij tekočina (vino, olje, tehnološka voda). Klimatske naprave je tudi možno uporabiti kot toplotne črpalke, vendar klimatske naprave omogočajo običajno delovanje samo do temperature zunanjega zraka  $+5^{\circ}\text{C}$  ob nižjem grelnem številu. Toplotna črpalka pa lahko z preklpom v reverzibilno delovanje uporabimo za hlajenje objekta. Izkoriščanje toplote prezračevalnih sistemov je primerno na objektih, ki imajo urejeno prisilno prezračevanje preko zračnih kanalov. Ker je v takih objektih poraba energije za ogrevanje svežega zraka do približno 45 % skupne letne rabe za ogrevanje, je z izrabo odpadne toplote prezračevanja mogoče doseči znatne prihranke. Odvisno od količine zraka in velikosti objekta je mogoče odpadno toploto uporabiti za ogrevanje vstopnega svežega zraka, za ogrevanje sanitarne vode in ogrevanje objekta. S pravilnim

dimenzioniranjem toplotne črpalke ohladimo zrak iz prezračevalnega sistema lahko s dodatno regulacijo tudi do + 1 °C. S tem so doseženi dobri delovni pogoji za toplotno črpalko in znatni prihranki.

## Toplota površinskih voda in podtalnice

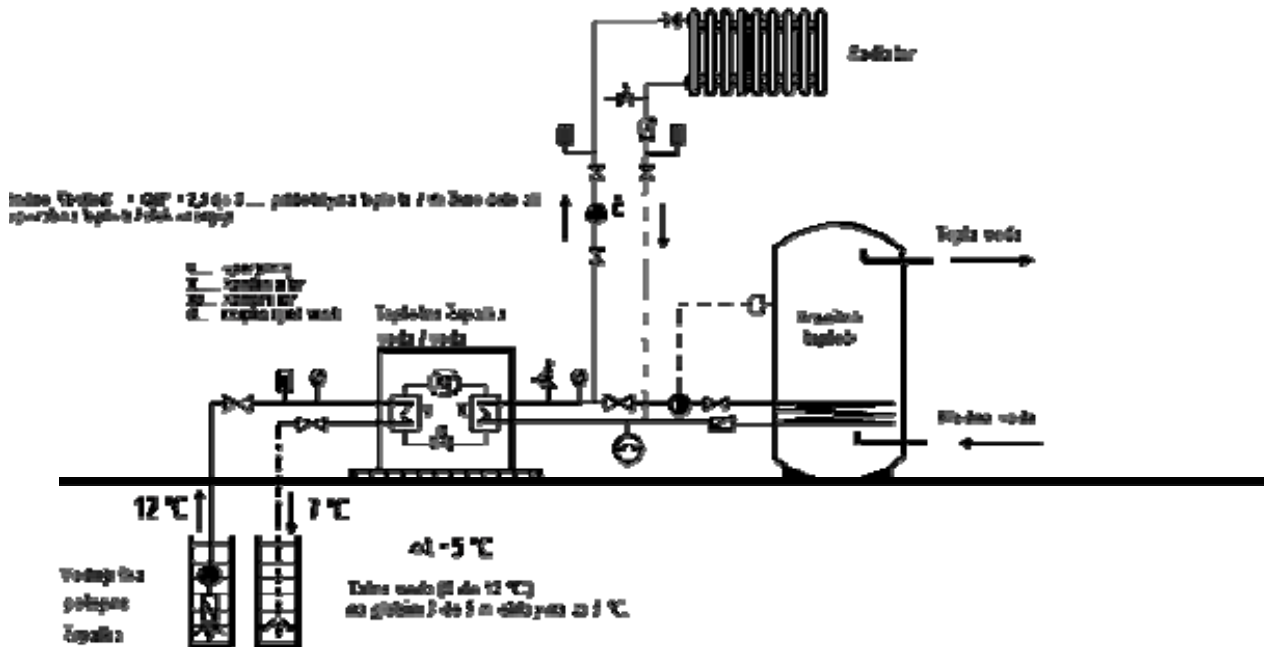
Ogrevanje s toploto površinskih voda ne predstavlja velikega posega, seveda pa mora biti izpolnjen pogoj, da je v bližini na razpolago primerna površinska voda. Voda se v jezerih, počasi tekočih rekah in morjih preko pomladi in poletja ogreva, pozimi pa počasi ohlaja. Uporablja se zaprt sistem odvzema toplote. Kolektor položimo na dno vodnega zajetja, jezera ali druge vodne površine, njegovo dolžino pa prilagodimo energetske potrebam objekta. Sistem je zasnovan na kroženju nestrupenega sredstva, ki ga z obtočno črpalko vodimo od kolektorja, v katerem se za nekaj stopinj ogreje, do toplotne črpalke, ki mu toploto odvzame. Sistem obratuje tudi, ki se temperatura vode približuje ničli.

Ta sistem deluje pri nas, v bližini Ljubljane. V švicarskem mestu Kuflnachtu, ki leži ob jezeru, je instalirano pet toplotnih črpalk voda/voda, ki služijo za pogon toplotne centrale moči 152 kW. Sesalne plastične cevi so premera 250 mm in dolžine 50 m, črpalke imajo pretok 2 x 36 m<sup>3</sup>/h ter sesajo vodo iz jezera do toplotne črpalke. Voda ohlajena za približno 2 °C se vrača nazaj v jezero. Temperatura v jezeru v celem letu nikoli ne pade pod + 8°C. Vgrajeni so trije hranilniki toplote volumna 5000 litrov. Sistem ogreva 20 stanovanj pri nizkotemperaturnem režimu 40/30 °C. Za toplo sanitarno vodo je v vsakem stanovanju vgrajen hranilnik vode volumna 300 litrov. Sistem je v pogonu štiri leta in je že prvo leto upravičil pričakovanja in vložena sredstva. Sistemi s podtalnico so odprti sistemi, zato je najnižja temperatura vode, ki jo še lahko uporabljamo, + 3 °C. Pri nas v glavnem uporabljamo podtalnico s temperaturo 8 do 12 °C.

Pri tem sistemu talno vodo s pomočjo potopne črpalke vodimo skozi uparjalnik. Uparjalnik hladi talno vodo, kar pomeni, da ji odvzame toploto. Tako pridobljena toplota v uparjalniku prestopi na delovno snov oziroma hladilno sredstvo. S pomočjo električne energije, ki jo potrebujemo za pogon kompresorja, stisnemo hladilno sredstvo na višji tlačni in temperaturni nivo. V kondenzatorju, hladilno sredstvo prenese toploto na greto vodo. Razmerje med uporabno energijo ter vloženo električno energijo je grelna števila. Da lahko koristim podtalnico, moramo ob zgradbi izvrtati v zemljo dve vrtini, za črpanje in vračanje podtalnice. Talna voda mora imeti pretok vsaj 2 m<sup>3</sup>/h. To je lahko že na globini 5 metrov ali več. V vrtino potisnemo cev, v katero vgradimo potopno črpalko, ki jo povežemo s toplotno črpalko. Med obratovanjem nam potopna črpalka potiska vodo v toplotno črpalko, ki je odvzame toplotno energijo in jo ohlajeno za 5 °C spusti po drugi, nekaj metrov oddaljeni vrtini nazaj v podtalnico. Podtalnica je torej zaradi relativno visoke temperature idealen vir toplote, saj z njo dosegamo visoka grelna števila. Problem je pomanjkanje čiste pitne vode, s katerim se v razvitem svetu vse pogosteje soočajo. Tako je npr. v Skandinaviji že pred leti prišlo do o stroge zaščite podtalnice. Podoben trend je čez neka let verjetno pričakovati tudi pri

nas.

Pri ogrevanju objekta s toplotno črpalko voda/voda za zmanjšajo stroški ogrevanja z približno 50 do 60 %.



Slika 3: Monovalenten sistem ogrevanja in priprava tople sanitarne vode s toplotno črpalko voda/voda

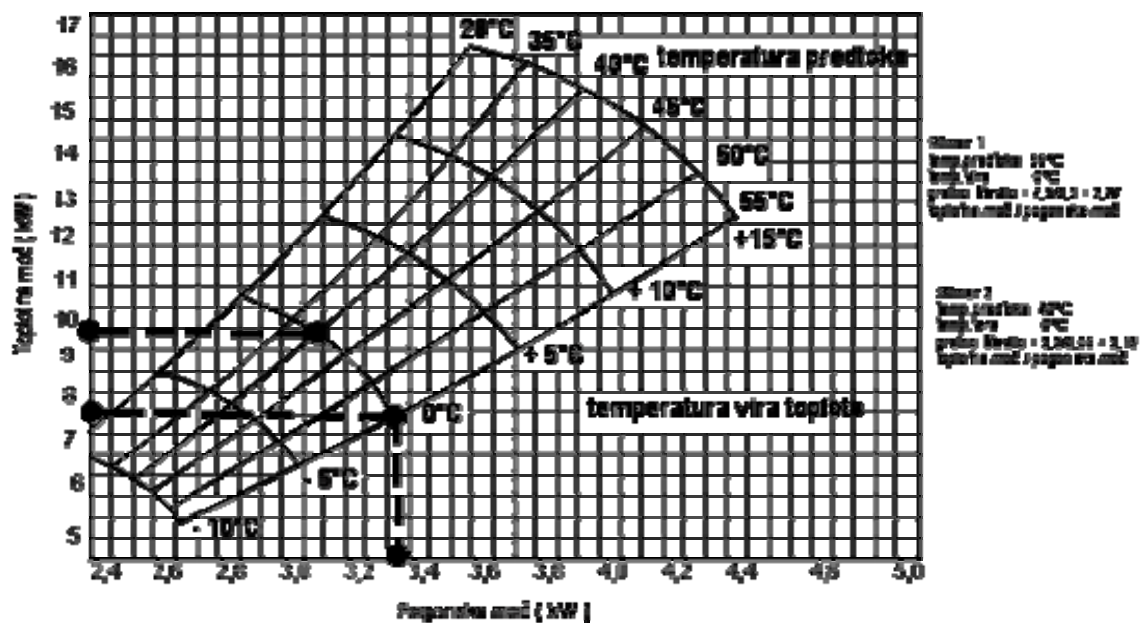
Te črpalke so praviloma večjih moči od 8 do 40 kW. Ker moramo računati na porabo električne energije tudi za potopno črpalko, lahko računamo s stalnim grelni številu 3 do 3,5. Sistem je prikazan na sliki št.3.

### Izbor toplotne črpalke

Izbor toplotne črpalke je odvisen od energetskih potreb objekta, razpoložljivega vira toplote ter od odločitve, kolikšen odstotek letnih energetskih potreb objekta naj bi pokrila toplotna črpalka. Iz tega razloga izberemo pri zahtevnih objektih toplotno črpalko moči 40 do 60% maksimalne moči ogrevanja, ki pa vseeno pokrije relativni visok odstotek letne rabe energije za ogrevanje. Toplotna črpalka z močjo enako maksimalni potrebni moči objekta, pride v poštev le pri energetsko varčnih objektih. Pri sistemu s toplotno črpalko, ki ne pokrije vseh energetskih potreb objekta, je potrebno zagotoviti dodatno ogrevanje, ki se naj vklopi samodejno, ko toplotna črpalka ne zmore več vzdrževati zahtevane temperature. Toplotna črpalka in dodatni vir tako delujeta istočasno. Ko je nastavljena temperatura dosežena, se dodatni vir izklopi in toplotna črpalka nadaljuje ogrevanje sama.

## Grelno število

Razmerje med pridobljeno toplotno energijo in vloženim delom imenujemo grelni število. Njegova vrednost zavisi od vrste toplotne črpalke in vira okoliške toplote in v povprečju znaša 2,5 do 3 in tudi več. Grelno število je odvisno je od temperature vira toplote katerega izkoriščamo, ter od temperature medija, s katerim ogrevamo objekt. Grelno število je tem višje, če ima vir toplote sorazmerno visoko temperaturo ter če je temperatura ogrevalnega medija nizka. Omenjeno ugotovitev lahko preverimo na diagramu, slika 4.



Slika 4: Zveza med pogonsko in toplotno močjo v odvisnosti od temperature toplotnega vira in predtoka

Iz primera št.1 je razvidno, da imamo pri temperaturi vira 0°C in temperaturi predtoka 55 °C grelni število 2,27. Iz primera št. 2 pa je razvidno, da imamo pri temperaturi vira 0 °C in temperaturi predtoka 40 °C grelni število 3,12. Vsekakor očitna razlika, ki dokazuje, da je vgradnja nizkotemperaturnega sistema smotrna.

Med nizkotemperaturne ogrevalne sisteme prištevamo talno ogrevanje in ogrevanje z ventilatorskimi konvektorji, pa tudi radiatorsko ogrevanje, pri katerem je temperaturni režim 55/45 °C ali nižji.

Temperatura ogrevanja se med letom spreminja, prav tako temperatura vira toplote. Realno energetska slika nam zato da le letno grelni število, ki upošteva razmerje med toplotnimi potrebami in vloženo energijo preko celega leta, vključno s potrebno energijo za dodatno ogrevanje (v primeru, če toplotna črpalka ne pokrije vseh toplotnih potreb 100 %).

## Ekonomija in okolje

Sistemi s toplotnimi črpalkami so običajno izvedeni tako, da omogočajo ogrevanje in hlajenje objektov, kar je iz energetskega, ekološkega in investicijskega vidika najugodnejša rešitev. Naložba v toplotne črpalke je ekonomsko posebej zanimiva pri večjih objektih, kot so trgovine, športni objekti, hoteli, ki so vsi veliki potrošniki energije.

Po zbranih podatkih v Sloveniji deluje nad približno 9000 hmalih toplotnih črpalk, ki izkoriščajo toploto zraka za pripravo tople sanitarne vode. Za primerjavo, na Švedskem se je število toplotnih črpalk od leta 1985 do danes povečalo od 120.000 na približno 500.000 enot.

Uporaba toplotnih črpalk pomeni poleg direktnega prihranka za uporabnika tudi širšo družbeno korist. Povprečno gospodinjstvo s 4 člani porabi dnevno približno 200 l sanitarne vode ogrete na 55 °C. To pomeni letno porabo 3400 kWh. Z uporabo toplotne črpalke lahko to porabo zmanjšamo za dve tretjini, torej za 2300 kWh.

Investicije v toplotne črpalke ne prinašajo le visokih energetskih prihrankov, temveč tudi občutno znižanje onesnaževanja ozračja z žveplom, ogljikovim dioksidom, dušikovimi oksidi in sajami. V očeh ekološko osveščenih potrošnikov imajo tako toplotne črpalke dodatno vrednost.

## Ekonomska upravičenost nakupa toplotne črpalke

Toplotne črpalke porabijo med 34 in 49 % manj osnovne energije kot plinski in oljni kondenzacijski kotli. Povprečno gospodinjstvo s 4 člani porabi dnevno približno 200 l sanitarne vode ogrete na 55 °C. To pomeni letno porabo 3400 kWh. Z uporabo toplotne črpalke lahko to porabo zmanjšamo za vsaj dve tretjini, torej na 1100 kWh.

V primeru novogradnje je sistem s toplotno črpalko od investicije v kotel okvirno dražji med 20 in 140%, pri sanaciji pa med 60 in 220%. Višja investicija v sisteme s toplotno črpalko zlahka odvrne potencialnega investitorja, ki ni ustrezno seznanjen z dolgoročnejšimi finičnimi učinki dolovanja sistemov. V nadaljevanju se namreč prav tako očitno izkaže, da toplotne črpalke prinašajo velike prihranke. Sistem s toplotno črpalko, ki uporablja okoliški zrak kot vir toplote, se z letnim prihrankom pri novogradnji povrne že v 3 letih. Poleg tega so vsako leto na voljo razpisi Ministrstva za okolje s subvencijami do 45.000 za črpalko za ogrevanje sanitarne vode in do 500.000 za ogrevanje hiše. Tu so še ugodni krediti Ekosklada, kjer je obrestna mera močno subvencionirana in jih je smiselno uporabiti. Če pa nam zato denar ostane, ga raje naložimo kam drugam.

Bojan Grobovšek