

ŠOLSKI CENTER VELENJE
STROJNA ŠOLA
MLADI RAZISKOVALCI ZA RAZVOJ ŠALEŠKE DOLINE

RAZISKOVALNA NALOGA:

**Vpliv zunanjih in notranjih dejavnikov na vrednost grelnega števila
toplotne črpalke**

Tematsko področje:
energetika

Avtorja:

Vid Kovač, 3. letnik
Jasmin Vehabović, 3. letnik

Mentorja:

Viljem Osojnik, univ. dipl. inž. stroj.
Zvonko Višnjić, univ. dipl. inž. stroj.

Velenje, 2011

Kovač, V., Vehabović, J., Vpliv zunanjih in notranjih dejavnikov na vrednost grelnega števila toplotne črpalke

Raziskovalna naloga, ŠCV, Strojna šola Velenje, 2011

Raziskovalna naloga je bila opravljena na Strojni šoli ŠC Velenje.

Mentor: Viljem Osojnik, univ. dipl. inž. stroj.

Mentor: Zvonko Višnjić, univ. dipl. inž. stroj.

Datum predavitve: marec 2011

Kovač, V., Vehabović, J., Vpliv zunanjih in notranjih dejavnikov na vrednost grelnega števila toplotne črpalke

Raziskovalna naloga, ŠCV, Strojna šola Velenje, 2011

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

D RN

KG Energija/krožni procesi/izkoristek sistema

AV KOVAČ, Vid, VEHABOVIĆ, Jasmin

LI 2011

IN VPLIV ZUNANJIH IN NOTRANJIH DEJAVNIKOV NA VREDNOST
GRELNEGA ŠTEVILA TOPLOTNE ČRPALKE

TD RAZISKOVALNA NALOGA

OP VI, 28 str., 5 tab., 7 sl., 3 graf., 5 vir.

IJ sl

JI sl/en

AI V so predstavljeni dejavniki, ki negativno ali pozitivno vplivajo na učinkovitost toplotne črpalke. Pri spremembi zunanjih temperatur in drugih preferenc se grelna števila zelo razlikujejo od zajamčenega s strani proizvajalcev.

S preračuni grelnega števila pri različnih pogojih bova dokazala, da se vrednost le-tega močno spreminja. Učinkovitost bova poskušala izboljšati tudi z vgradnjo različnih komponent v sistem ogrevanja s pomočjo toplotne črpalke.

Izbira toplotne črpalke za potrebe ogrevanja hiše in za pripravo tople sanitarne vode je zelo smotrna, saj so kot glavni vir toplote uporabljeni podtalnica, okoliški zrak, toplota zemlje, odpadnega zraka ipd. To pomeni, da za svoje delovanje izkorišča obnovljive vire energije, kar je pomemben dejavnik pri ohranjanju zdravega okolja.

Zaradi vseh prednosti in vse večje uporabe toplotnih črpalk v novo zgrajenih objektih ter prenovljenih sistemih ogrevanja se zdi izbira takšne raziskovalne naloge s področja strojništva zelo primerna.

KEY WORDS DOCUMENTATION

ND RN

CX Forex / trading platform / currency market/ currency pair

AV KOVAČ, Vid, VEHABOVIĆ, Jasmin

PY 2011

TI THE INFLUNCE OF EXTERNAL AND INTERNAL FACTORS ON COP OF THE HEAT PUMP

DT RESEARCH WORK

NO VI, 28 p., 5 tab., 7 imag., 3 gra., 5 ref.

LA sl

AL sl/en

AB The thesis tries to present the factors which influence the effeciency of a heat pump in both a negative and positive way. It has been found out that the coefficient of performance differs considerably from the one guaranteed by the producers when the outer temperature and components of a heating system change.

The calculation of the coefficient of performance shows that its value changes considerably. The efficiency can be improved by choosing different parts of a heat pump.

The selection of a heat pump for the purpose of heating a house and the preparation of hot domestic water is reasonable, for the main sources of heat are groundwater, surrounding air, earth heat, waste air etc. This means that the heat pump exploits renewable sources of energy to operate, and causes much lower CO₂ emissions, which represents one of the most important factors in environmental preservation.

The thesis from the field of mechanical engineering seems very appropriate because of all the advantages of heat pumps, their more and more frequent use in newly constructed buildings, as well as in rebuilt heating systems.

KAZALO VSEBINE

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA.....	III
KEY WORDS DOCUMENTATION.....	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO SLIK	VI
KAZALO TABEL	VI
KAZALO DIAGRAMOV.....	VI
1 UVOD.....	1
2 HIPOTEZE.....	1
3 KAJ JE TOPLOTNA ČRPALKA.....	2
4 ZGODOVINA TOPLOTNIH ČRPALK.....	2
5 OSNOVE DELOVANJA TOPLOTNIH ČRPALK.....	3
6 NAČIN DELOVANJA TOPLOTNE ČRPALKE	4
6.1 LOG P-H DIAGRAM	6
6.2 DELI TOPLOTNE ČRPALKE.....	7
7 TOPLOTNA ČRPALKA VODA/VODA.....	10
7.1 PRIMER VGRADNJE TOPLOTNE ČRPALKE VODA/VODA	12
7.2 NAČIN VGRADNJE TOPLOTNE ČRPALKE VODA/VODA.....	14
7.3 IZRAČUN HLADILNE MOČI	14
7.4 DOLOČITEV HRANILNIKA TOPLOTE	15
8 TOPLOTNA ČRPALKA ZRAK/VODA	16
8.1 REVERZIBILNE KOMPRESORSKE TOPLOTNE ČRPALKE ZA IZKORIŠČANJE TOPLOTE ZUNANJEGA ZRAKA	17
9 GRELNO ŠTEVILO COP.....	18
9.1 STANDARDNI IZRAČUN COP	19
10 LETNO GRELNO ŠTEVILO B – SPF.....	20
11 MERITVE IN IZSLEDKI.....	22
11.1 GRELNO ŠTEVILO V ODVISNOSTI OD KAPACITETE (ŠTEVILA LAMEL) PLOŠČATEGA PRENOSNIKA TOPLOTE.....	22
11.2 GRELNO ŠTEVILO GLEDE NA NASTAVITEV PREGRETJA IN KOLIČINE HLADILNEGA SREDSTVA.....	24
11.3 TEMPERATURA VIRA TOPLOTE IN PREDTOKA	26
12 DISKUSIJA	27
13 VIRI IN LITERATURA.....	28

KAZALO SLIK

Slika 1: Poenostavljena shema toplotne črpalke.....	5
Slika 2: Prikaz delovanja toplotne črpalke s pomočjo Mollierovega diagrama.....	6
Slika 3: Shema delovanja toplotne črpalke z log p-h diagramom	7
Slika 4: Spiralni kompresor	8
Slika 5: Ekspanzijski ventil.....	9
Slika 6: Shema toplotne črpalke voda/voda.....	11
Slika 7: Hidravlična shema vezave	16

KAZALO TABEL

Tabela 1: Tehnični podatki toplotne črpalke voda/voda.....	13
Tabela 2: Vpliv števila lamel toplotnega prenosnika na grelno število	23
Tabela 3: Grelno število glede na nastavitev pregretja in količine hladilnega sredstva	25
Tabela 4: Grelno število pri sistemu voda/voda pri konstantni temperaturi predtoka.....	26
Tabela 5: Grelno število pri sistemu voda/voda pri konstantni temperaturi vira	26

KAZALO DIAGRAMOV

Diagram 1: Delovni diagram toplotne črpalke voda/voda.....	13
Diagram 2: Delovni diagram potopne črpalke.....	15
Diagram 3: Diagram odvisnosti grelne moči od temperature toplotnega vira in dviznega voda sistema ogrevanja.....	20

1 UVOD

Ljudje že od nekdaj raziskujemo naravo, preučujemo in razkrivamo osnove njenega delovanja. Navdušuje nas s svojo preprostostjo in zapletenostjo, očara s čudovitimi pogledi in razgledi, ustrahuje s svojo neizmerno rušilno močjo. Je vir neštetihih navdihov in idej, vir sprostitev in preživljanja prostega časa ter nenazadnje vir kisika in s tem vir življenja. Z napredkom znanja in tehnologije je postala tudi neizmeren vir energije, brez katerega si današnjega načina življenja ne moremo predstavljati.

Podatki o naraščanju uporabe toplotnih črpalk v številnih evropskih državah in tudi v Sloveniji kažejo na vse večjo rabo obnovljivih virov energije (toplote iz zemlje, zraka, podtalnice in sonca) in željo po neodvisnosti od konvencionalnih virov energije, kot so ekstra lahko kurilno olje, premog in plin. Ravno tako je pomemben podatek, da so toplotne črpalke edini proizvod na področju ogrevanja, katerega prodaja se je v prvi polovici leta 2009 (ki šteje za črno leto za proizvajalce oprem ogrevanja) ni zmanjšala, temveč celo povečala.

Toplotne črpalke se lahko uporabljajo za:

- pripravo sanitarne tople vode
- ogrevanje prostorov v kurilni sezoni
- hlajenje poletni

Zaradi novega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES), ki je stopil v veljavo 1. julija 2010, lahko pričakujemo debelejšje ovoje stavb, vgradnjo kakovostnega zunanjskega pohoštva (oken in vrat), nizkoenergijsko gradnjo stavb in obvezno uporabo obnovljivih virov energije. S tem bo prišlo do skokovitega porasta vgradnje toplotnih črpalk predvsem v nove in prenovljene industrijske, poslovne, državne in stanovanjske stavbe.

Strokovnjaki napovedujejo, da bodo toplotne črpalke v prihodnosti predstavljale osnovne ogrevalne naprave na nizkotemperaturnih sistemih. Prav tako se z uporabo toplotnih črpalk znižajo emisije CO₂ in drugih škodljivih plinov za 40–60 %.

2 HIPOTEZE

V raziskovalni nalogi želiva potrditi ali ovreči hipoteze:

- grelno število je odvisno od kapacitete toplotnih prenosnikov
- grelno število je odvisno od nastavitve pregretja in količine hladilnega sredstva
- grelno število je pogojeno s temperaturo vira toplote in temperaturo predtoka

3 KAJ JE TOPLOTNA ČRPALKA?

Hladilnik oddaja toploto. Več hladilnikov v nekem prostoru bi lahko uporabili tudi za ogrevanje prostora ali na nek način tudi za ogrevanje vode. To je sicer mogoče s pomočjo toplotne črpalke, ki deluje podobno kot hladilnik. Pri hladilniku se ohlaja notranost, toplota, odvzeta živilom, pa prehaja v okolico. S pomočjo toplotne črpalke pa toploto, ki bi sicer prešla v okolico, koristno uporabimo za ogrevanje prostorov ali sanitarne vode samostojno ali v kombinaciji z ostalimi sistemi. Pridobljena toplota je rezultat termodinamičnega procesa in ne izgorevanja.

Toplotna črpalka je energetsko varčen način oskrbe s toploto. Uporablja se prvenstveno za ogrevanje zraka in vode v varčnih ali pasivnih stanovanjskih hišah. Toploto črpa iz okolice zunanjega zraka, zemlje ali vode in jo na višji temperaturi posreduje uporabniku. Poenostavljeno: osnovna naloga toplotne črpalke je ogrevanje nekega prostora, naloga hladilne naprave pa njeno hlajenje.

4 ZGODOVINA TOPLOTNIH ČRPALK

Čeprav se je pospešena prodaja toplotnih črpalk začela v sedemdesetih letih prejšnjega stoletja, je princip njihovega delovanja poznan že od začetka devetnajstega stoletja. Že leta 1832 je francoski fizik Nicolas Leonard Sadi Carnot opisal krožni proces, ki se imenuje po njem in predstavlja teoretično osnovo za delo današnjih hladilnih naprav in toplotnih črpalk. Leta 1835 je ameriški fizik in izumitelj Jacob Perkins prijavil patent za hladilni parni stroj, ki je za hladivo uporabljal dietileter, leta 1851 pa je irski fizik William Thomson (lord Kelvin) odkril možnost povišanja temperaturnega nivoja neke snovi z dovajanjem energije in opisal mehanski sistem za ogrevanje in hlajenje zgradb. Leta 1877 je nemški izumitelj Carl Paul Gottfried von Linde skonstruiral prvo kompresijsko hladilno napravo, ki je kot hladivo uporabljal amoniak.

Beseda »toplotna črpalka« je nastala šele v dvajsetih letih prejšnjega stoletja, ko so bili v ZDA in Veliki Britaniji izvedeni prvi sistemi ogrevanja, ki so jih uporabljali kot vir toplote. Leta 1938 je bila vgrajena toplotna črpalka voda/voda v sistem ogrevanja skupščine kantona Zürich, pri čemer je bila kot vir toplote uporabljena voda reke Limmat, dve leti kasneje pa je toplotno črpalko za ogrevanje pričelo uporabljati tudi javno kopališče v Zürichu.

V letih po drugi svetovni vojni je uporaba toplotnih črpalk ponovno pričela naraščati, najprej v ZDA, kjer so jih uporabljali za ogrevanje in hlajenje prostorov, v 60. letih pa se je njihova uporaba začela vračati v Evropo. Uporaba se je močno povečala v času prve velike naftne krize v sedemdesetih letih, ko so številni proizvajalci opreme za ogrevanje po svetu iskali rešitve za zamenjavo fosilnih goriv z drugimi viri, med katerimi je bila ena od njih uporaba odpadne toplote oz. toplote iz okolice s pomočjo toplotnih črpalk. Vendar tedanje tehnične rešitve in izvedbe toplotnih črpalk niso dale pričakovanih rezultatov glede na učinkovitost in so bile po koncu krize pozabljene.

Na začetku devetdesetih let je s porastom standarda prebivalcev razvitih držav pričela naraščati tudi ekološka zavest in istočasno je prišlo tudi do povišanja cen energentov, zato

Kovač, V., Vehabović, J., Vpliv zunanjih in notranjih dejavnikov na vrednost grelnega števila toplotne črpalke

Raziskovalna naloga, ŠCV, Strojna šola Velenje, 2011

se je ponovno pojavilo zanimanje za uporabo toplotnih črpalk. Zaradi tega jih je bilo že leta 1995 v celem svetu vgrajenih okoli 55 milijonov.

Zahvaljujoč novim tehnologijam in novim tehničkim rešitvam, ki so omogočile povečanje učinkovitosti, zmanjšanje dimenzije in mase, je uporaba toplotnih črpalk v prvem desetletju 21. stoletja vedno večja, tako da lahko pričakujemo, da se bodo kot osnovni vir toplote uporabljale v večini nizekotemperaturnih sistemov ogrevanja.

Razlog za uporabo toplotne črpalke je na prvem mestu zmanjšanje porabe fosilnih goriv, katerih cena stalno raste, njihovo izgorevanje pa je eden od pomembnejših vzrokov škodljivih emisij. Pri tem je treba omeniti, da je z izračuni, preizkusi in meritvami na toplotnih črpalkah v obratovanju dokazano, da je njihova poraba primarne energije manjša kot pri plinskih ali oljnih kondenzacijskih kotlih, ki se danes štejejo za najsodobnejše rešitve za vire toplote sistemov ogrevanja na fosilna goriva. Istočasno se celotna emisija CO₂ (tj. opazujoč celotno dobo trajanja neke naprave, od njene proizvodnje do uporabe) v primerjavi s kotli na fosilna goriva prav tako lahko občutno zmanjša.

5 OSNOVE DELOVANJA TOPLOTNIH ČRPALK

Krožni proces

Krožni proces je vrstni red sprememb v nekem sistemu, ki se po koncu sprememb zaključi v termodinamičnem enakem začetnem stanju. Proces se lahko ponavlja poljubno. Posledice so spremembe v okolici opazovanega sistema, kot je npr. opravljeno delo ali prenos toplote. Idealen krožni proces ne obstaja, saj v dejanskih pogojih vedno pride do izgub, npr. zaradi trenja. Krožni procesi so lahko levo- ali desnosmerni, odvisno od prikaza poteka sprememb na grafikonih in diagramih.

V prikazih desnosmernih krožnih procesov potekajo spremembe v smeri urinega kazalca in je njihov cilj pridobivanje dela. To pomeni, da v njihovih procesih pride do spremembe enega dela toplotne energije v mehansko energijo oz. delo. Primeri desnosmernih krožnih procesov: parni stroji, plinske turbine, motorji z notranjim izgorevanjem ...

V prikazih levosmernih krožnih procesov pa spremembe potekajo v nasprotni smeri urinega kazalca. Njihov cilj je prenos toplote med dvema toplotnima hranilnikoma. Za prenos toplote od toplotnega hranilnika na nižjem nivoju do toplotnega hranilnika na višjem nivoju je treba krožnemu procesu dovesti kompenzacijsko energijo (v večini primerov je to mehansko delo kompresorja). Primeri levosmernih krožnih procesov: hladilne naprave, toplotne črpalke ... Levi krožni proces se lahko vodi tudi tako, da se istočasno uporablja za ogrevanje in hlajenje.

Referenca za oceno vseh krožnih procesov se uporablja Carnotov proces. To je idealen krožni proces, ki v praksi ni mogoč.

Levi Carnotov proces je sestavljen iz štirih podprocesov:

- izentropne kompresije
- izotermne kompresije (pri temperaturi hladilnega hranilnika)
- izentropne ekspanzije
- izentropne ekspanzije (pri temperaturi hladilnega hranilnika)

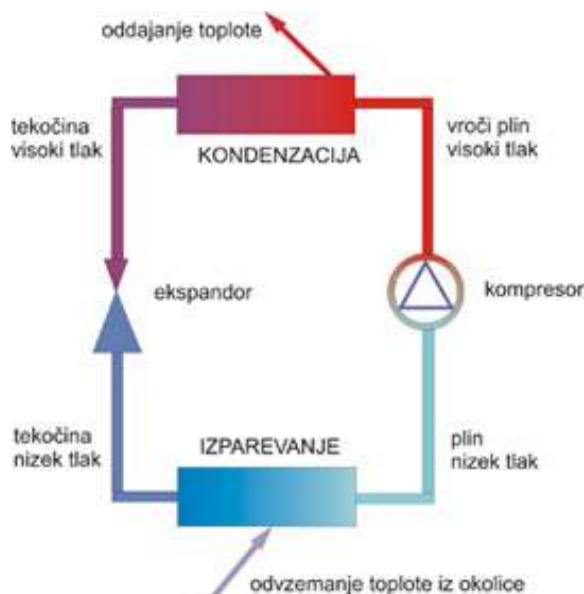
Pri takih procesih se hladivu dovaja delo od zunaj, da bi se omogočilo, da se mu pri nižji temperaturi iz neposredne okolice (toplotnega hranilnika na nižjem temperaturnem nivoju) dovaja toplota in da potem pri višji temperaturi oddaja toploto neposredni okolici (toplotnemu hranilniku na višjem temperaturnem nivoju).

Odvisno od tega, kaj se v določenem primeru šteje za koristno ogrevanje ali hlajenje opazovalnega okoliškega prostora ali medija, se procesi razlikujejo v hladilnih sistemih in toplotnih črpalkah. Pri hladilni napravi je toplotni sprejemnik (tisti, ki se mu toplota dovaja) na višjem temperaturnem nivoju neposredna okolica naprave, medtem ko je hranilnik (tisti, ki toploto odvaja) na nižjem temperaturnem nivoju prostor ali medij, ki ga je treba ohladiti (npr. ogrevalni medij sistema ogrevanja), medtem ko je sprejemnik na višjem temperaturnem nivoju neposredna okolica (tj. okoliški zrak, voda ali tla).

Toplotna črpalka črpa energijo nizke temperature iz okolja in ji poviša temperaturo za namen ogrevanja. Učinkovitost toplotne črpalke ponavadi izražamo s koeficientom zmogljivosti sistema, ki je navadno v razponu od 3 do 5. To pomeni, da so toplotne črpalke od 3- do 5-krat učinkovitejše od ogrevalnih kotlov na fosilna goriva in imajo zato boljšo zmogljivost ogrevanja hiše tudi pri zelo nizkih zimskih temperaturah.

6 NAČIN DELOVANJA TOPLOTNE ČRPALKE

Toplotna črpalka (v nadaljevanju TČ) 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 paro stisne in jo dvigne na višji tlačni in temperaturni nivo. Vroča para v kondenzatorju kondenzira pri višji temperaturi in pri tem oddaja 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. Za obratovanje TČ je 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 : 4, pri novejših črpalkah celo do 1 : 5, to pomeni, da npr. pri 4 kW h pridobljene toplotne energije uporabnik plača 1 kW h, 3 kW h pa dobi brezplačno.



Slika 1: Poenostavljena shema toplotne črpalke

Poznamo štiri načine obratovanja TČ:

1. Monovalentna TČ deluje samostojno in pokriva celotne izgube zgradbe.
2. Bivalentna TČ deluje v kombinaciji s toplovodnim kotlom. Pri nižji zunanji temperaturi se izklopi in začne delovati toplovodni kotel.
3. Bivalentno-vzporedna TČ deluje neprekinjeno, pri nižjih temperaturah, ko ne pokriva vseh izgub zgradbe, se vključi toplovodni kotel. Pri temperaturah, nižjih od $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, delujeta vzporedno oba generatorja toplote.
4. Bivalentno-delno-vzporedno obratovanje TČ, kjer sta oba ogrevalna sistema oz. generatorja toplote dimenzionirana tako kot v bivalentnem alternativnem obratovanju.

Termodinamični krožni proces v kompresorskih toplotnih črpalkah delimo na štiri faze:

Uparjanje

V uparjalniku se nahaja utekočinjeno hladivo pri nižjem tlaku in ustrezni vreliščni temperaturi T_0^* . Temperatura toplotnega vira T_0 je višja od temp. utekočinjenega hladiva. Zaradi temperaturnih razlik pride do prenosa toplote iz toplotnega vira na hladivo, ki pri tem zavre in se upari. Pri tem je potrebna uparilna toplota Q_{odv} , odvzeta toplotnemu viru, ta pa se zaradi tega ohladi.

Komprimiranje

Kompresor povleče uparjeno hladivo in ga skomprimira. Pri tem naraste tlak pare iz p_0 na p . Povečan tlak povzroči povišano vreliščno temperaturo oz. kondenzacijsko temperaturo T^* . Največji del pogonske energije kompresorja se spremeni v komprimiranje hladiva, toplota trenja, ki pri tem nastane, pa še dodatno ogreje medij.

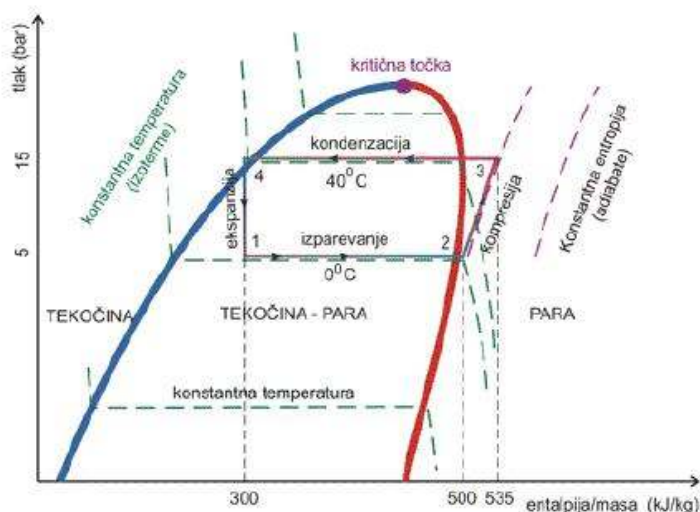
Kondenzacija

Pregreta para se potisne v kondenzator. Temperatura ogrevane vode T na kondenzatorju je nižja od temperature hladiva T^* . Zaradi temperaturne razlike začne toplota (Q_{od}) prehajati iz hladiva na ogrevano vodo, pri tem se temperatura ogrevane vode poviša, uparjeno hladivo pa kondenzira.

Ekspanzija

Z ekspanzijskim ventilom med kondenzatorjem in uparjalnikom se krožni proces toplotne črpalke sklene. Ventil povzroči izenačenje tlačnih razlik med povezanima deloma. Utekočinjeno hladivo s temperaturo T^* in tlakom p v kondenzatorju se razširi na tlak p_0 uparjalnika. Nižji tlak povzroči znižanje vreliščne temperature. S tem je krožni proces hladiva sklenjen.

6.1 DIAGRAM log p-h



Slika 2: Prikaz delovanja toplotne črpalke s pomočjo Mollierovega diagrama

Točka 1–2

Delovna snov, npr. R22 ali R407C, odvzema toploto hladnemu telesu (npr. zunanjemu zraku, zemlji, talni vodi) s pomočjo izparevanja. V Mollierovem diagramu je to horizontalna črta med točko 1 in 2. Odčitana razlika med obema točkama na abscisni osi je $500 \text{ J/kg} - 300 \text{ J/kg} = 200 \text{ J/kg}$. Toliko toplote odvzame delovna snov okolici. Fazna sprememba izparevanja se v našem primeru vrši pri temperaturi 0°C in tlaku $500\,000 \text{ Pa}$.

Točka 2–3

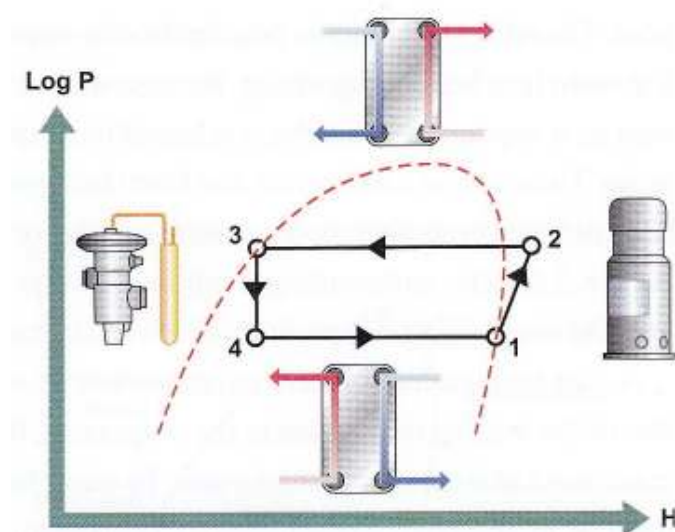
Plin v točki 2 adiabatno stisnemo s pomočjo kompresorja. Narasteta tlak (na 15 barov) in temperatura (na 40°C), volumen se zmanjša. Delo, ki ga opravi kompresor, je 35 J/kg .

Točka 3–4

Para se ponovno fazno spreminja v tekočino in pri tem odda 235 J toplote. Proces se vrši v kondenzatorju. Dobljena toplota s pomočjo toplotnega izmenjevalca segreva vodo, ki jo uporabimo za ogrevanje ali sanitarne namene.

Točka 4–1

Delovna snov se v ekspanzorju razpne, tlak in temperatura ponovno padeta na začetno vrednost.



Slika 3: Shema delovanja toplotne črpalke z diagramom log p-h

6.2 DELI TOPLOTNE ČRPALKE

Uparjalnik

Je del hladilnega sistema (TČ ali hladilne naprave), v katerem pride do popolnega izparevanja toplote, zahvaljujoč dovajanju toplote iz neposredne okolice (prostora ali medija). Uparjalnik TČ je pravzaprav prenosnik toplote, v katerem hladivo izmenjava toploto s posrednim medijem (vodo, solno raztopino, glikolno zmesjo, zrakom), pri čemer se hladivo ohlaja. Hladilna moč uparjalnika je odvisna od površine za prenos toplote, koeficienta prehoda toplote prenosnika in temperaturne razlike posrednega medija in hladiva. Ta razlika bi morala biti čim manjša (4–8 °C), tlak izparevanja pa čim večji.

Hladivo vstopi v uparjalnik kot zmes tekočine in pare. Pri tem pride zaradi dovajanja toplote iz neposredne okolice pri konstantnem tlaku v uparjalniku do izparevanja do meje nasičenja. Da bi se zagotovilo popolno izparevanje, se hladivo segreje na višjo temperaturo, kot je potrebna za izparitev. S tem se prepreči, da bi neizparjeno hladivo prišlo v kompresor, saj bi zato lahko prišlo do hidravličnega udara in poškodovalo kompresor.

Kovač, V., Vehabović, J., Vpliv zunanjih in notranjih dejavnikov na vrednost grelnega števila toplotne črpalke

Raziskovalna naloga, ŠCV, Strojna šola Velenje, 2011

Bogato dimenzionirani uparjalnik z dovolj velikimi razmaki med lamelami odločilno vplivajo na boljše doseganje učinkovitosti (COP), zmanjšanje intervalov odtaljevanja in na zmanjšanje glasnosti delovanja ventilatorja.

Kompresor

Je del hladilnega sistema (kompresijske toplotne črpalke), v katerem se hladivu v parnem stanju z dovajanjem energije (dela) povišuje energetski nivo (tlak in temperatura), s čimer se istočasno omogoča njegovo kroženje skozi sistem. Z drugimi besedami je naloga kompresorja zvišati tlak in temperaturo hladiva na vrednost, na kateri bo omogočena njegova kondenzacija pri temperaturi, ki je višja od temperature ogrevalnega medija.

Hladilna moč kompresorja mora biti enaka hladilni moči uparjalnika.

V odvisnosti od načina, kako poteka kompresija, obstaja več vrst osnovnih izvedb kompresorjev:

- batni kompresorji
- vijčni kompresorji
- spiralni (ang. scroll) kompresorji
- turbokompresorji

V odvisnosti od načina vgradnje pogonskega motorja so lahko kompresorji odprti, polhermetični in hermetični. V TČ se v glavnem uporabljajo batni in spiralni kompresorji.

Spiralni kompresorji imajo nekaj prednosti pred batnimi, kar pozitivno vpliva na COP in zanesljivost:

- med spiralami ni zračnosti, volumska učinkovitost do 100 %,
- manj gibajočih se komponent – manjša možnost okvare,
- malo manjša občutljivost na neizparjene delce hladiva.



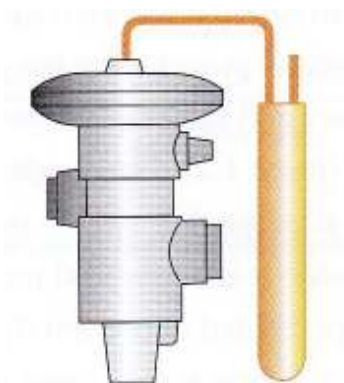
Slika 4: Spiralni kompresor

Kondenzator

Je del hladilnega sistema, v katerem pride do kondenzacije hladiva zaradi oddaje toplote v neposredno okolico (prostor ali medij). Kondenzator TČ je dejansko prenosnik toplote, v katerem hladivo izmenjava toploto z ogrevalnim medijem sistema ogrevanja (voda, zrak ipd.), ki se pri tem ogreva, zato je njegova naloga oddaja toplote ogrevalnemu mediju sistema ogrevanja.

Ekspanzijski ventil

Je del hladilnega sistema TČ, v katerem se hladivu v kapljevinastem stanju znižuje energetski nivo (temperatura in tlak), zato je njegova naloga znižati temperaturo in tlak na vrednost, pri kateri je omogočeno njegovo izparevanje pri temperaturi, ki je nižja od temperature posrednega medija. Najbolj se uporablja termoekspanzijski ventil (TEV- Thermal Expansion Valve). Proces v ekspanzijskem ventilu se začne z vstopom hladiva, ki je povsem v kapljevinastem stanju in pogosto tudi podhlajeno. Hladivo potem ekspandira ob zniževanju temperature in tlaka do vrednosti temperature in tlaka izparevanja, s katerima vstopa v uparjalnik, pri čemer delno izpareva. Ekspanzijski ventil je nameščen med kondenzatorjem in vhodom v uparjalnik, torej kjer je hladivo v tekočem stanju.



Slika 5: Ekspanzijski ventil

Izmenjevalec toplote

V toplotnih črpalkah je vgrajen izmenjevalec toplote. Njegova naloga je izmenjava toplote med hladnejšim in uparjenim hladivom. Cilj je, da hladnejše utekočinjeno hladivo odda nekaj toplote uparjenemu in ga s tem nekoliko pregreje (pregreta para). To pomeni, da hladivo na nižjem temperaturnem nivoju odda toploto hladivu na višjem temp. nivoju.

Poleg teh naprav je v TČ še dosti ostale opreme, kot so vodi za hladivo, s katerimi so povezani osnovni deli ter razni regulacijski in pomožni elementi, ki zagotavljajo njeno varno in zanesljivo delovanje v vseh pogojih. Poleg tega so tu še priključki, s katerimi je sploh omogočeno njeno delovanje kot vira toplote za sistem ogrevanja oz. povezave na dovod posrednega in ogrevalnega medija.

Spojni vodi

Spojni vodi TČ so potrebni za razvod hladiva med njenimi sestavnimi deli. Pri tem se v odvisnosti od vloge razlikujejo:

- sesalni vod med uparjalnikom in kompresorjem
- tlačni vod med kompresorjem in kondenzatorjem
- kapljevinski vod med kondenzatorjem in ekspanzijskim ventilom
- vod za vbrizgavanje med ekspanzijskim ventilom in uparjalnikom

Ko se za hladivo uporabljajo ogljikovodiki oz. njihove zmesi, so vodi praviloma izdelani iz bakra.

Odvodnik olja

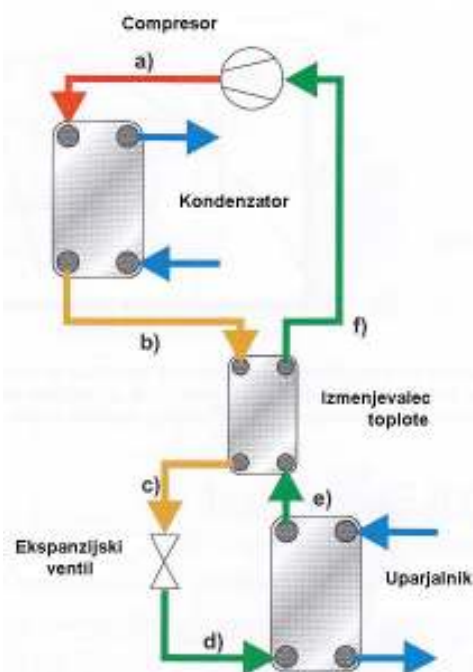
Je element hladilnega sistema, ki služi za izločanje olja za mazanje kompresorja iz njegove zmesi s hladivom, da se le-ta lahko vrne v kompresor. Vgrajuje se neposredno v kompresor.

7 TOPLOTNA ČRPALKA VODA/VODA

Kot vir toplote uporablja podtalnico. Sistemi s podtalnico so odprti sistemi, zato je najnižja temperatura vode, ki jo lahko uporabljamo, + 7 °C. Tudi v najhladnejši zimi je njena temperatura od 8 do 12 °C. Toplotna moč znaša približno 6,5 kW/m³. Pri tem sistemu talno vodo črpamo s potopno črpalko skozi uparjalnik. Uparjalnik hladi talno vodo, ji odvzema toploto, ki prestopi delovni medij. Delovni medij v kondenzatorju prenese toploto na ogrevalno vodo. Zaradi visokega in konstantnega temperaturnega nivoja je grelno število visoko.

Izkopati je potrebno 2 vrtini za črpanje in vračanje podtalnice. Talna voda mora imeti prostorninski tok vsaj 2 m³/h. To je lahko že na globini 5 m ali več. V vrtino vstavimo cev, na katero pritrdimo potopno črpalko. Med obratovanjem potopna črpalka potiska vodo v toplotno črpalko. Ta podtalnici odvzame toplotno energijo (ohladi za okoli 5 K) in jo po drugi vrtini pošlje nazaj.

Podtalnica je torej zaradi dokaj visoke temperature idealen vir toplote, s tem dosegamo višja grelna števila. Problem je v pomanjkanju čiste pitne vode, s katerim se v sodobnem svetu vse pogosteje soočajo. Podtalnice tudi pri nas ni povsod v zadostnih količinah in kakovosti. Za njeno uporabo in izkoriščanje je potrebno pridobiti dovoljenje.



Slika 6: Shema toplotne črpalke voda/voda

Črpalke voda/voda so praviloma močnejše, 8–40 kW. Pri izračunih upoštevamo tudi porabo električne energije za potopno črpalko, vse izračune delamo z letnim grelnim številom. Odlika tovrstnih toplotnih črpalk je možnost uporabe skozi vse leto brez pomoči kotla.

Osnovne smernice za koriščenje podtalnice:

- ponorni vodnjak mora biti narejen tako, da voda izteka pod nivojem podtalnice
- dovod in odvod podtalnice k toplotni črpalki je treba položiti zaščiteno pred zmrzaljo in v padcu k vodnjakoma
- kakovost vode mora ustrezati mejnim vrednostim (predvsem pomembna Mn in Fe)
- podtalnica pri kroženju ne sme priti v stik z zrakom
- podtalnica se mora čim manj ohladiti na poti do toplotne črpalke
- dimenzioniranje TČ in cevne napeljave mora biti izvedeno glede na hladilno moč in tlačne padce na sesalni in tlačni strani

Za zaščito uparjalnika moramo vgraditi tlačno stikalo, prav tako pa moramo paziti na minimalno temperaturo. Za pravilno uporabo tlačnega stikala mora biti na izhodu podtalnice vgrajen ekspanzijski ventil. Toplotna črpalka mora imeti vgrajeno varovalo pretoka (pri minimalni vrednosti pretoka podtalnice se TČ izklopi). Potopna črpalka mora imeti vgrajeno zaščito pred suhim tekom.

Kovač, V., Vehabović, J., Vpliv zunanjih in notranjih dejavnikov na vrednost grelnega števila toplotne črpalke

Raziskovalna naloga, ŠCV, Strojna šola Velenje, 2011

Pri vgradnji je treba dodatno upoštevati:

- dvižni in povratni vod moramo položiti tako, da ju zavarujemo pred zamrznitvijo vodnjaka;
- cevi v hiši morajo biti toplotno izolirane, da preprečimo kondenzacijo (rosenje) cevi;
- od odvzemnega vodnjaka do toplotne črpalke mora biti napeljana zaščitna cev z električnim kablom za vodno črpalko;
- pokrov vodnjaka mora biti takšen, da onemogoča zračnost in prehod svetlobe, s čimer preprečimo nastajanje alg in mulja;
- za črpanje podtalne vode uporabimo potopno črpalko;
- po dokončanju vodnjaka ga 48 ur izpiramo, da preprečimo vnos nečistoč v sistem.

Pri ogrevanju objekta s toplotno črpalko voda/voda se zmanjšajo stroški ogrevanja za približno od 50 do 60 %. Ker moramo računati na porabo električne energije tudi za potopno črpalko, lahko računamo s stalnim grelni številom od 3 do 5.

7.1 PRIMER VGRADNJE TOPLOTNE ČRPALKE VODA/VODA

Za nizkoenergijsko hišo (NEH) z ogrevalno površino 240 m² znaša ogrevalna moč objekta 9,6 kW. Za ogrevanje je predvideno izkoriščenje podtalnice. Pri monovalentnem načinu mora toplotna črpalka pokriti celotne potrebe objekta po toploti glede na DIN EN 12831. Pri določanju ogrevalne moči TČ moramo v določenih primerih upoštevati dodatke za zaporne čase distributerja električne energije (npr. v Nemčiji je to obvezno). Dovod električne energije se sme v času 24 ur prekiniti maksimalno za 3 krat po 2 uri. Zaradi toplotne inercije zgradbe se pri dimenzioniranju dodatka moči ne upoštevata 2 uri zapornega časa.

Dimenzioniranje pri zapornem času:

Upoštevamo maksimalni zaporni čas ($t'_{max} = 3 \times 2$ h/dan) pri zunanji temperaturi po DIN EN 12831. Dnevna količina toplote v 24 h znaša $9,6 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h/dan} = 230,4 \text{ kW h/dan}$. Za pokritje maksimalne dnevne količine toplote imamo zaradi zapornega časa 3×2 na razpolago le 18 h/dan, pri čemer zaradi toplotne inercije zgradbe ne upoštevamo 2 h:

$$Q_g = 230,4 / (18 + 2) = 11,5 \text{ kW}$$

Glede na ta izračun zadostuje toplotna črpalka moči 11,5 kW. Moč toplotne črpalke se mora pri zapornem času 3×2 h/dan povečati za 17 %. O zapornih časih se je treba posvetovati s pristojnim distributerjem električne energije. Običajno se pri dimenzioniranju toplotnih črpalk pri nas zapornega časa ne upoštevata.

Dodatek za ogrevanje sanitarne vode:

Pri družinski hiši znašajo maksimalne potrebe po topli sanitarni vodi (V'_{maks}) približno 50 l/(dan oseba) (litrov na dan in osebo) s temperaturo približno 45 °C. To ustreza dodatku na ogrevalno moč približno 0,25 kW/osebo pri ogrevalnem času 8 h. Ta dodatek se upošteva, če je vsota dodatne ogrevalne moči za 20 % večja od ogrevalne moči, izračunane po DIN EN 12831.

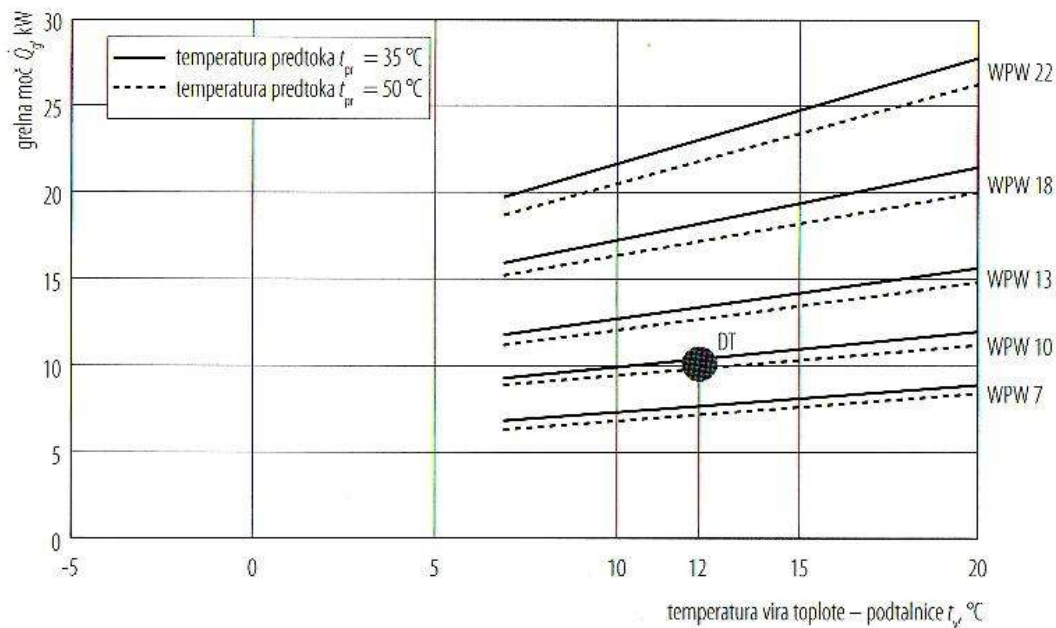


Diagram 1: Delovni diagram toplotne črpalke voda/voda

temperatura podtalnice t_{pod}	grelna moč Q_g			pogonska moč P_{el}			grelna število ϵ		
	35 °C	50 °C	60 °C	35 °C	50 °C	60 °C	35 °C	50 °C	60 °C
	kW	kW	kW	kW	kW	kW	ϵ	ϵ	ϵ
+7	9,4	8,8	8,1	1,8	2,5	3,1	5,4	3,5	2,6
+10	10,0	9,4	8,6	1,8	2,6	3,1	5,6	3,7	2,8
+15	11,3	10,8	9,7	1,8	2,6	3,1	6,4	4,2	3,1
+20	11,9	11,3	10,8	1,8	2,5	3,1	6,6	4,5	3,5

Tabela 1: Tehnični podatki toplotne črpalke voda/voda

Podatki za TČ:

- grelna moč toplotne črpalke $Q_g = 9,4$ kW (W7/W35)
- pogonska – električna moč $P_{el} = 1,8$ kW
- hladilna moč $Q_h = 7,6$ kW
- grelna število $\epsilon = 5,4$ (tabela 23.1).

7.2 Način vgradnje toplotne črpalke voda/voda

Osnovne smernice:

- podtalnica pri kroženju ne sme priti v stikom z zrakom;
- podtalnici naj čim manj pade temperatura;
- v posebnih primerih (kakovost vode ni ustrezna) je mogoča tudi uporaba ploščnega uparjalnika, izdelanega iz legiranega jekla.

Za zaščito uparjalnika moramo vgraditi tlačno stikalo, prav tako pa moramo paziti na minimalno temperaturo. Za pravilno uporabo tlačnega stikala mora biti na iztoku podtalnice vgrajen ekspanzijski ventil. Pri vgradnji je treba upoštevati:

- pri zvišanem deležu trdnih delcev v podtalni vodi (pesek, mulj) mora biti zagotovljen ustrezen usedalni kanal, s katerim se izognemo zamašitvi uparjalnika,
- dvižni in povratni vod je treba položiti tako, da ju zavarujemo pred zamrznitvijo vodnjaka,
- cevi v hiši morajo biti toplotno izolirane, da se prepreči rosenje,
- od odvzemnega vodnjaka do toplotne črpalke mora biti napeljana zaščitna cev z električnim kablom za vodno črpalko,
- pokrov vodnjaka mora biti takšen, da onemogoča zračnost in prehod svetlobe, s čimer preprečimo nastajanje alg in mulja,
- za črpanje podtalne vode uporabimo potopno črpalko,
- po dokončanju vodnjaka ga moramo 48 h izpirati, da preprečimo vhod nečistoč v sistem.

7.3 Izračun hladilne moči

Hladilno moč izračunamo glede na najnižjo dovoljeno temperaturo podtalnice + 7 °C in temperaturo predtoka 35 °C pri temperaturni razliki 4 K:

$$Q_h = Q_g - P_{el} = 9,4 - 1,8 = 7,6 \text{ kW}$$

Pretok podtalnice:

$$Q_h = c_p \cdot \dot{m} \cdot (T_1 - T_2) = c_p \cdot \dot{V} Q_h = c_p \cdot \dot{V} \cdot \rho \cdot (T_1 - T_2),$$

kjer pomeni:

c_p – specifična toplota vode, J/kgK

\dot{m} – masni tok, kg/s

\dot{V} – prostorninski tok vode, m³/h

ρ – gostota vode, 1000 kg/m³

ΔT – temperaturna razlika med vtočno in iztočno vodo iz vodnjaka (običajno 4 K)

Prostorninski tok podtalnice mora znašati minimalno $1,63 \text{ m}^3/\text{h}$ oziroma približno 200 l/kW hladilne moči toplotne črpalke. Izberemo potopno črpalko, na primer Grundfos SP 3A-6 s prostorninskim tokom $2 \text{ m}^3/\text{h}$. Delovni diagram je prikazan na sliki 23.3. Predvidena globina izvornega vodnjaka (h) je do 25 m .

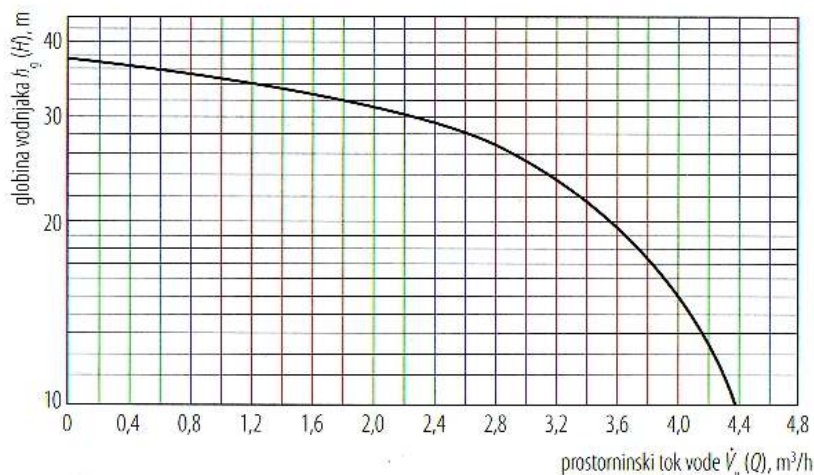


Diagram 2: Delovni diagram potopne črpalke

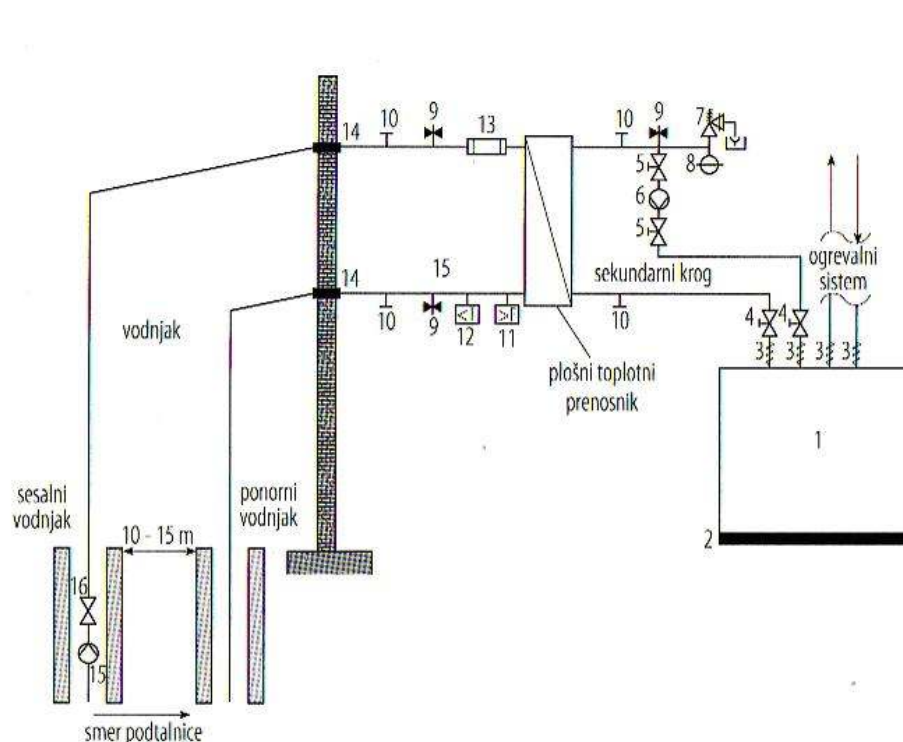
7.4 Določitev hranilnika toplote

V primeru, da ne upoštevamo zapornega časa, lahko prostornino HT (V_{HT}) izračunamo:

$V_{HT} = Q_g \cdot (20 - 25 L)$ oz. minimalno 10 L/kW grelne moči. Določimo prostornino hranilnika 200 l .

Popis osnovne opreme je sledeč:

- toplotna črpalka voda/voda grelne moči $Q_g = 10 \text{ kW}$
- hranilnik toplote za TČ, $V_{HT} = 200 \text{ l}$
- grelnik sanitarne tople vode, $V_{STV} = 300 \text{ l}$
- potopna črpalka Grundfos, $V = 2 \text{ m}^3/\text{h}$, $h_g = 20 \text{ m}$, $p = 2 \text{ bar}$, odvisno od globine vodnjaka oz. nivoja vode, DN 32, skupno z nivojskim kablom
- obtočna črpalka UP 20 - 15 Grundfos
- tlačno stikalo ali varovalo pretoka DN 32
- lovilnik nečistoč do $0,6 \text{ mm}$
- nepovratni ventil DN 32
- manometer - 2 kosa
- termometer - 2 kosa
- prehod skozi zid DN 50 - 2 kosa
- varnostni ventil DN 25
- zaporni ventil DN 32 - 4 kosi
- ekspanzijska posoda $V_e = 20 \text{ l}$
- ploščni prenosnik za potopno črpalko 8 kW , $\Delta T = 4 \text{ K}$
- globina vrtnice $h_g = 20 \text{ m}$, cevne povezave PE 40 (20 m - izvorni in ponorni vodnjak), drobni material



Legenda:

- | | | |
|--|-------------------------|--|
| 1 - toplotna črpalka | 7 - varnostni ventil | 12 - termostat |
| 2 - zvočna zaščita | 8 - ekspanzijska posoda | 13 - lovilec nesnage |
| 3 - zvite cevi | 9 - manometer | 14 - prehod skozi steno - cev (DIN 4140 - 2) |
| 4 - zaporni ventil | 10 - termometer | 15 - potopna črpalka primarnega kroga |
| 5 - zaporni ventil | 11 - tlačno stikalo | 16 - protipovratni ventil |
| 6 - obtočna črpalka sekundarnega kroga | | |

Slika 7: Hidravlična shema vezave

8 TOPLOTNA ČRPALKA ZRAK/VODA

Zrak je neizčrpen vir. Moč TČ z upadanjem temperature zraka pada. Pri nizkih temperaturah je bilo treba pri starih generacijah črpalk zrak/voda priskrbeti še dodaten vir ogrevanja. Na uparjalniku prihaja do zelo nizkih temperatur. Kondenzira se vlaga, ki zamrzne v plast sreža. Srež prepreči pretok zraka skozi uparjalnik in s tem ovira ali onemogoči delovanje procesa.

Za ogrevanje sanitarne vode uporabljamo TČ zrak/voda ogrevalne moči od 2 do 3 kW. Zmogljivost ogrevanja je do 1400 litrov vode na dan. Za kroženje vode je treba vgraditi obtočno črpalčko, ki jo upravlja termostat, vgrajen v hranilnik vode.

Glavna prednost TČ je, da ima trikrat nižjo rabo električne energije kot klasični električni grelnik.

Kovač, V., Vehabović, J., Vpliv zunanjih in notranjih dejavnikov na vrednost grelnega števila toplotne črpalke

Raziskovalna naloga, ŠCV, Strojna šola Velenje, 2011

Vodo grejemo na največ 55 °C, kar pomeni nižje toplotne izgube v hranilniku vode in v ceveh ter tudi manjše nalaganje vodnega kamna na ogrevalne površine. Velika prostornina hranilnika omogoča delovanje TČ po cenejši tarifi električne energije (ponoči).

Klimatske naprave je mogoče uporabljati kot TČ, vendar samo do temperature 5 °C in pri nižjem grelnem številu. TČ lahko s preklopom v reverzibilno delovanje uporabimo za hlajenje objekta.

Ogrevalna toplotna črpalka zrak/voda pri zelo nizkih temperaturah ne more pokriti vseh potreb po toploti. Vgradnja TČ v bivalentnem načinu delovanja pa nam omogoča velike prihranke. Obstoječe ogrevanje (npr. kotel na olje ali plin) deluje samo ob ogrevalnih konicah. Pri novogradnjah se najbolj splača vgradnja električnega grelca kot dodatnega vira toplote.

Regulacija TČ zrak/voda za ogrevanje je lahko opremljena z regulacijo vklop/izklop ali z invertersko tehnologijo. Inverterska tehnologija nam omogoča zvezno prilagajanje moči brez številnih vklopov in izklopov kompresorja (vklop/izklop regulacija). Zmanjša tudi nihanja okoli želene temperature ogrevanja.

8.1 Reverzibilne kompresorske toplotne črpalke za izkoriščanje toplote zunanjega zraka

Kakovostne toplotne črpalke zrak/voda s povečanim uparjalnikom, izpopolnjenim scroll kompresorjem in učinkovitim sistemom odtaljevanja omogočajo celo leto obratovanje z visokimi grelnimi števili brez vključevanja dodatnega vira toplote. Pri ogrevanju prostorov TČ odvzame toploto okolici in jo na višji temperaturi oddaja v prostor. V primeru hlajenja pa se proces obrne. Toplotna črpalka ohlaja prostor, prevzeto toploto pa odda v okolico ali porabi za segrevanje sanitarne vode.

Toplotne črpalke so lahko izvedene kot:

- kompaktne naprave (zunanja ali notranja postavitve)
- ločene ali »split« izvedbe

Pri kompaktnih izvedbah so vsi elementi TČ vgrajeni v ohišje. Ločimo notranje in zunanje kompaktne črpalke.

Postavitev notranje kompaktne TČ je mogoča v vseh suhih in dobro izoliranih prostorih (da ne pride do zamrznitve). Zaradi preprečevanja hrupa mora biti črpalka postavljena na trdo konstrukcijo s podlago iz umetne mase (guma). V bližini naprave je treba namestiti posodo za kondenzat, ki ga speljemo v odtok. Zajem in izpust zraka morata biti ločena zunaj objekta. Kanali so narejeni iz pocinkanih cevi ali gibljivih izoliranih cevi.

Pri namestitvi zunanje kompaktne TČ moramo biti pozorni na:

- zagotovljen dotok in odtok zraka,
- postavljena mora biti tako, da oddaja čim manj hrupa v okolico,
- napeljava kondenzata v odtok mora biti zaščitena pred zamrznitvijo.

Z zunanjo postavitvijo prihranimo pri prostoru. Postavitev ima tudi nekaj slabih lastnosti, saj je celoten sistem izpostavljen zunanjim temperaturam. Poskrbeti je treba, da hrup ni moteč za okolico.

Odtaljevanje uparjalnika je zelo pomembno, saj večja količina »sreža« (led) zmanjša učinkovitost toplotne črpalke.

Odtaljevanje se lahko izvede z električnim gretjem, uporabo odvoda pare ali z obrnitvijo procesa. Električno gretje je neugodno, saj poveča porabo električne energije in s tem zmanjša učinkovitost TČ. Pri malih količinah ledu je učinkovito odtaljevanje s paro. Hitro in učinkovito je odtaljevanje z obrnitvijo procesa. Slaba lastnost odtaljevanja na tak način je le, da je za to potrebno v sistem vgraditi dodatno opremo (štiripotni ventili), kar poveča materialne stroške.

Dvodelne črpalke zrak/voda združujejo prednosti zunanje in notranje postavitve. Ne potrebujemo zračnih kanalov, saj sta notranja in zunanja enota povezani s cevmi, po katerih kroži hladivo. Pri reverzibilnih črpalkah se zunanja in notranja enota uporabljata izmenično kot kondenzator in uparjalnik. Pri zunanji enoti mora biti odtok kondenzata ogrevan, da ne pride do zmrzovanja. V primeru hlajenja moramo pri notranji enoti prav tako odvajati kondenzat. Hlajenje prostorov s TČ je lahko »mirno« ali »dinamično«. Mirno hlajenje preko tal, stropa ali sten se izvaja s hladilno vodo s temperaturo nad rosiščem. Dinamično hlajenje se izvaja z ventilatorskimi konvektorji.

Regulacijo ogrevanja in hlajenja uravnava elektronski regulator. V ogrevala se dovaja toliko toplote, kot jo zgradba tisti trenutek potrebuje za nadomeščanje toplotnih izgub, torej vzdrževanje neke nastavljene temperature v prostoru.

Način delovanja TČ je odvisen od ogrevalnega sistema. Toplotna črpalka lahko zagotovi temperaturo predtoka v odvisnosti od zunanje temperature. Če je potrebna temperatura višja, jo moramo doseči z drugim, pomožnim virom toplote.

Temperatura predtoka je odvisna od:

- zunanje temperature
- strmine ogrevalne krivulje
- nastavljene sobne temperature
- najvišje in najnižje omejitve temperature
- vpliva drugih grelnih teles (npr. kamina)

Grelna števila teh toplotnih črpalk, če ne štejemo porabe energije za odtaljevanje uparjalnika in pogona ventilatorja, znašajo pri zunanjih temperaturah – 10 °C in – 15 °C ter temperaturi predtoka 35 °C približno 3.

Vse več proizvajalcev pospešeno razvija in izpopolnjuje toplotne črpalke na zunanji zrak. To posledično pomeni, da se je učinkovitost novejših TČ pri zelo nizkih temperaturah, močno povečala. Reverzibilne črpalke omogočajo tudi zelo učinkovito hlajenje. Sodobna regulacija pa nam omogoča kondenzirajoče in nekondenzirajoče hlajenje.

9 GRELNO ŠTEVILO COP

Grelno število je razmerje med pridobljeno toplotno energijo in vloženim delom. Je osnovni pokazatelj učinkovitosti delovanja toplotne črpalke. Njegova vrednost je odvisna od toplotne črpalke in vira okoliške toplote. V povprečju znaša od 3 do 5 in tudi več. Toplota, ki jo dovedemo ogrevanemu mediju s toplotno črpalco, je teoretično vsota toplote, odvzete viru toplote in energije, ki je potrebna za zagon krožnega procesa. Učinkovitost električno gnane kompresorske toplotne črpalke pri danih stacionarnih pogojih označimo z grelnim številom (COP – Coefficient of Performance).

Kovač, V., Vehabović, J., Vpliv zunanjih in notranjih dejavnikov na vrednost grelnega števila toplotne črpalke

Raziskovalna naloga, ŠCV, Strojna šola Velenje, 2011

Grelno število je določeno kot kvocient med toploto, ki jo pridobimo s toplotno črpalčko, in električno močjo, ki jo potrebujemo za zagon kompresorja.

$$\text{COP} = \text{grelna moč toplotne črpalke } Q_g / \text{električna moč } P_{el}$$

Q_g – grelna moč toplotne črpalke, kW

P_{el} – teoretična električna moč za pogon kompresorja, kW

9.1 Standardni izračun COP

Standardne testne metode za izračun COP so določene s standardom EN 14511. Učinkovitost toplotne črpalke določamo v določeni obratovalni točki (kombinacija temperatur). Pri izračunu ε (COP) moramo poleg električne moči za pogon kompresorja upoštevati tudi priključne električne moči ostalih komponent znotraj toplotne črpalke (regulacijski sistemi, sistem odtaljevanja itn.). V skladu z EN 14511 je tako COP določen kot delež grelne moči glede na celotno dovedeno električno moč enote. Pri tem je treba vedeti, da je novi standard EN 14511 ob zamenjavi standarda EN 255 prinesel tudi spremembe pri določenih testnih pogojih.

$$\varepsilon = Q_g / P_{el}$$

Q_g – grelna moč toplotne črpalke, kW

P_{el} – dovedena električna moč, kW

Grelno število je zelo odvisno od temperature vira toplote, ki ga izkoriščamo, ter od temperature medija, s katerim ogrevamo objekt. Grelno število je višje, če ima vir toplote sorazmerno visoko temperaturo ter če je temperatura ogrevalnega medija nizka. Vgradnja nizkotemperaturnega sistema je zato zelo 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 grelna število, ki upošteva razmerje med toplotnimi potrebami in vloženo energijo preko celotnega leta, vključno s potrebno energijo za dodatno ogrevanje (v primeru, če toplotna črpalčka ne pokrije vseh toplotnih potreb 100 %). Toplotne črpalke imajo glede na vir toplote in ogrevalni režim različna grelna števila. Če jih želimo med seboj primerjati, je treba natančno definirati ogrevalni režim (temperaturo predtoka) in temperaturo vira toplote. Na učinkovitost toplotne črpalke vplivajo tudi velikost in izvedba uparjalnika ter kondenzatorja, vrsta hladiva, tip kompresorja in dodatnega prenosnika toplote.

Trenutna tehnično-ekonomska meja je pri temperaturni razliki 5 K med kondenzacijo in temperaturo predtoka ter enako temperaturno razliko med uparjanjem in virom. Z ustrezno konstrukcijo uparjalnika in kondenzatorja (vgradnja dodatnega toplotnega prenosnika za dvig grelnega števila itd.) pa lahko to razliko zmanjšamo na 2 K, kar zelo poviša grelna števila.

V strokovnih podatkih proizvajalcev TČ lahko zasledimo podatek, da je vpliv hladiva (primerjava med R 407C in R 134a) na COP majhen in znaša le do 5 %.

Če zunanja temperatura pada, se hkrati znižuje tudi učinkovitost (grelno število) toplotne črpalke. Vzrok za znižanje COP je večanje temperaturne razlike med virom toplote in ogrevalnim sistemom. Iz tega razloga je pomembno, da je temperatura predtoka čim nižja. Učinkovitost TČ kot naprave je torej odvisna od vira toplote, temperaturnega režima in konstrukcije toplotne črpalke.

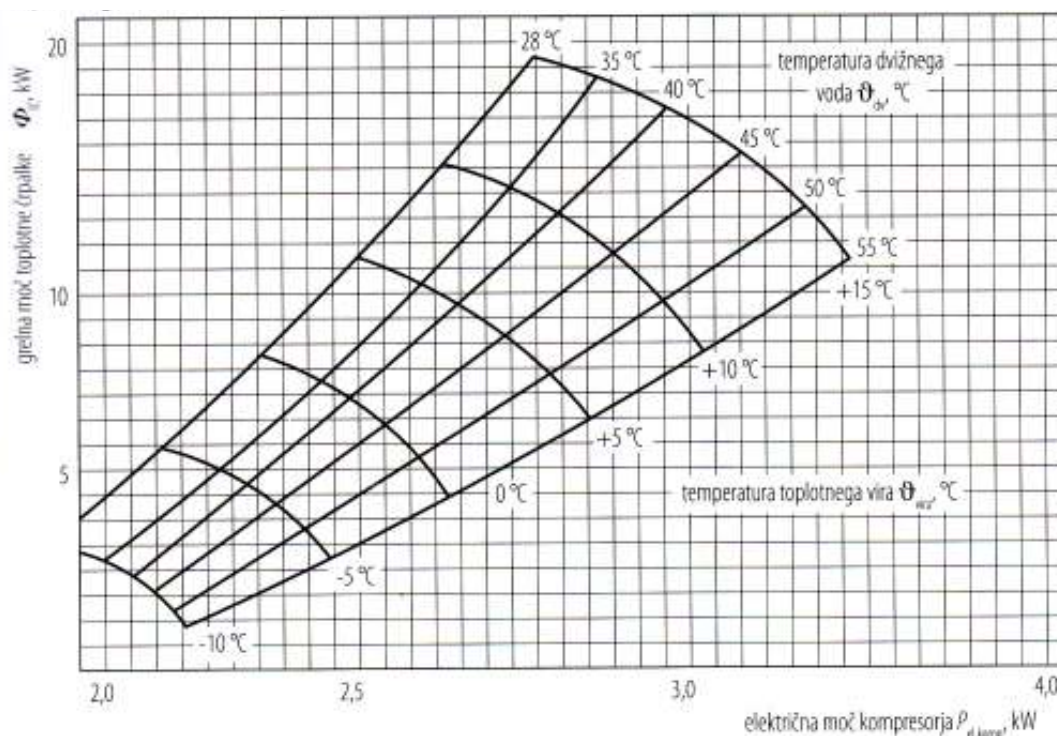


Diagram 3: Diagram odvisnosti grelne moči od temperature toplotnega vira in dviznega voda sistema ogrevanja

10 LETNO GRELNO ŠTEVILO B – SPF

Učinkovitost delovanja toplotne črpalke preko kurilne sezone označimo z letnim grelnim številom (SPF – Seasonal Performance – Factor). Določen je kot kvocient med toploto, ki jo dovedemo ogrevalnemu mediju s toplotno črpalčko, in celotno električno energijo, porabljeno preko celotne sezone. Pri izračunu moramo upoštevati porabo energije za pogon električnega kompresorja in porabo električne energije pomožnih komponent sistema (črpalke za raztopino, odtaljevanje uparjalnika, regulacija).

Letno grelno število je odvisno od:

- letnih potreb po ogrevanju,
- temperature vira toplotne in temperature ogrevne vode,
- dodatne rabe energije (črpalke, regulacija, ventilatorji),
- kakovosti izdelave toplotne črpalke,
- dimenzioniranja toplotne črpalke v odvisnosti od potrebe po toploti in obratovalne karakteristike TČ,
- sistema regulacije TČ in zgradb.

Kovač, V., Vehabović, J., Vpliv zunanjih in notranjih dejavnikov na vrednost grelnega števila toplotne črpalke
Raziskovalna naloga, ŠCV, Strojna šola Velenje, 2011

Letno grelni število:

$$\beta = Q_{LT\check{c}} / W_{el}$$

$Q_{LT\check{c}}$ – toplota, dovedena ogrevnemu mediju s toplotno črpalko, kWh

W_{el} – raba električne energije v kurilni sezoni, kWh

Vrednost letnega grelnega števila znaša od 2,5 do 4 in tudi več.

Razvoj toplotnih črpalk gre v smeri nižanja temperaturnih razlik med hladivom in virom toplote ter kondenzacijo in temperaturo ogrevalne vode (temperaturo predtoka).

11 MERITVE IN IZSLEDKI

Meritve so bile opravljene v razvojnem laboratoriju Napredni energetski sistemi v Gorenju. Merilna proga je sestavljena iz sistema za simulacijo vira toplote in sistema za simulacijo porabnika toplote. Rezultati se spremljajo s pomočjo merilnega sistema in se nato obdelujejo s pomočjo programske opreme.

11.1 Grelno število v odvisnosti od kapacitete (števila lamel) ploščatega prenosnika toplote

V merilno progo smo vključili toplotni črpalki z enako grelno močjo, vendar z različnimi vgradnimi komponentami (toplotnimi prenosniki).

Rezultati meritev so pokazali, da so pri enakih testnih pogojih dobljena grelna števila različna, kar dokazuje, da je grelno število precej odvisno od velikosti toplotnih prenosnikov (Tabela 2). S povečanjem števila lamel se poveča tudi površina za prenos toplote, kar ima za posledico zmanjšanje razlike tlakov med uparjanjem in kondenzacijo. S tem kompresor deluje v lažjih pogojih (manjša poraba energije).

Konfiguracija 1

Kompresor	Kondenzator	Uparjalnik
Copeland	Število lamel	Število lamel
ZR61KSE-TFM	36	46

Konfiguracija 2

Kompresor	Kondenzator	Uparjalnik
Copeland	Število lamel	Število lamel
ZR61KSE-TFM	54	60

Grelno število

Slanica : Antifrogen N (T=-25°C)

Konfiguracija	Pogoj vir/ogrev. voda	gostota hladne vode na izstopu iz TI		specifična toplota		gostota tople vode na izstopu iz TI		specifična toplota		Obtočna črpalka	Obtočna črpalka	Δ t hladna stran	Δ t topla stran	Hladilna moč	Grelna moč	Grelno število	
		ρ _{wh} [kg/m ³]	C _{pw} [J/kgK]	ρ _{wh} [kg/m ³]	C _{pw} [J/kgK]	ρ _{wh} [kg/m ³]	C _{pw} [J/kgK]										
		1080	3400	995	4178,4												
		Zunanji toplotni izmenjevalec HLADNA STRAN				Notranji toplotni izmenjevalec GRELNA STRAN											
		VSTOP hladne vode (slanice)	IZSTOP hladne vode (slanice)	Pretok hladne vode	Razlika internega statičnega tlaka	VSTOP tople vode	IZSTOP tople vode	Pretok tople vode	Razlika internega statičnega tlaka	Električna moč kompresorja in regulatorja	Proporcionalna moč obtočne črpalke uparjalnika	Proporcionalna moč obtočne črpalke kondenzatorja					
		[°C]	[°C]	q [m ³ /h]	Δ p [bar]	[°C]	[°C]	q [m ³ /h]	Δ p [bar]	P _W [W]	P _{up source} [W]	P _{up user} [W]	Δ tC	Δ t w	PC [W]	P _w [W]	COP
1	0/35	-0,07	-2,94	3,56	0,320	29,93	34,95	2,49	0,303	3486,87	105,5	69,9	2,87	5,02	10422	14436	3,94
2	0/35	-0,47	-3,55	3,52	0,106	30,07	35,10	2,49	0,165	3301,55	34,55	38,04	3,08	5,03	11060	14467	4,29

Tabela 2: Vpliv števila lamel toplotnega prenosnika na grelni število

11.2 Grelno število glede na nastavitev pregretja in količine hladilnega sredstva

Na nastavitev pregretja hladiva pomembno vpliva gostota plina, ki ga sesa kompresor (Tabela 3). Pri prenizkem pregretju obstaja možnost, da doteka v kompresor hladivo v tekočem stanju, pri previsokem pregretju pa je gostota plina prenizka (zmanjšan masni pretok hladiva), kar pomeni, da kompresor prečrpava manjšo količino hladiva (manjši izkoristek).

Pomembno vlogo pri doseganju čim boljših pogojev obratovanja ima tudi količina hladiva v sistemu. Premajhna količina hladiva zmanjša učinkovitost uparjalnika in kondenzatorja (hladivo se pregreva že pred izstopom iz uparjalnika, v kondenzatorju pa prihaja do nepopolne kondenzacije).

Grelno število

Meritev	Nastavitev pregretja	Količina hladiva [g]	Pogoj vir/ogrev. voda	voda				voda				Električna moč kompresorja in regulatorja	Obtočna črpalka		Δt hladna stran	Δt topla stran	Hladilna moč	Grelna moč	Grelno število	
				gostota hladne vode na izstopu iz		specifična toplota		gostota tople vode na izstopu iz T1		specifična toplota			Proporcionalna moč obtočne črpalke	Proporcionalna moč obtočne črpalke kondenzatorja						
				ρ_{wh} [kg/m ³]	Cpw [J/kgK]			ρ_{wh} [kg/m ³]	Cpw [J/kgK]				$P_{up\ source}$ [W]	$P_{up\ user}$ [W]						
				999	4192			995	4178,4											
				Zunanji toplotni izmenjevalec HLADNA STRAN				Notranji toplotni izmenjevalec GRELNA STRAN												
				VSTOP hladne vode (slanice)	IZSTOP hladne vode (slanice)	Pretok hladne vode	Razlika internega statičnega tlaka	VSTOP tople vode	IZSTOP tople vode	Pretok tople vode	Razlika internega statičnega tlaka									
				[°C]	[°C]	q [m ³ /h]	Δp [bar]	[°C]	[°C]	q [m ³ /h]	Δp [bar]	P_w [W]	$P_{up\ source}$ [W]	$P_{up\ user}$ [W]	Δt_c	Δt_w	Pc [W]	Pw [W]	COP	
1	tovarniška nastavitev	1900	10/35	10,0	6,95	2,99	0,274	30,08	35,05	2,33	0,179	2757,68	75,9	38,6	3,05	4,97	10609	13373	4,66	
2	2 x nasproti urinem kazalcu	1900	10/35	9,95	6,88	3,19	0,308	30,08	35,08	2,47	0,195	2764,81	91,0	44,6	3,07	5,00	11392	14263	4,92	
3	4 x nasproti urinem kazalcu	1900	10/35	9,95	6,85	3,28	0,325	30,07	35,07	2,53	0,203	2778,38	98,7	47,6	3,1	5,00	11828	14609	5,00	
4	4 x nasproti urinem kazalcu	2000	10/35	9,93	6,89	3,32	0,333	30,06	35,05	2,54	0,206	2780	102,4	48,4	3,04	4,99	11741	14637	4,99	
5	4 x nasproti urinem kazalcu	2000	10/45	9,92	7,24	3,37	0,34	40,41	45,14	2,56	0,18	3475,61	106,1	42,7	2,68	4,73	10506	13984	3,86	
6	4 x nasproti urinem kazalcu	2000	15/45	15,0	11,83	3,37	0,338	39,8	45,17	2,57	0,188	3483,77	105,5	44,7	3,17	5,37	12427	15938	4,39	

Tabela 3: Grelno število glede na nastavitev pregretja in količine hladilnega sredstva

11.3 Temperatura vira toplote in pretoka

Meritev je bila izvedena pri različnih virih toplote in različnih temperaturah pretoka. Rezultati so pokazali, da čim manjša razlika temperature med virom toplote in temperaturo pretoka poviša vrednosti grelnega števila (Tabela 4, Tabela 5).

Iz podatkov v tabeli je razvidno, da vgradnja visokotemperaturnega ogrevalnega sistema (starejše stavbe) ni smotrna.

Pogoj vir/ogrev. voda	VSTOP hladne vode	IZSTOP hladne vode	VSTOP tople vode	IZSTOP tople vode	Grelno število
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	COP
15/45	14,96	11,65	40,35	44,96	3,88
10/45	9,08	7,03	40,41	44,87	3,50

Tabela 4: Grelno število pri sistemu voda/voda pri konstantni temperaturi pretoka

Pogoj vir/ogrev. voda	VSTOP hladne vode	IZSTOP hladne vode	VSTOP tople vode	IZSTOP tople vode	Grelno število
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]	COP
10/35	9,87	6,83	30,19	35,2	4,33
10/45	9,8	7,03	40,41	45,26	3,50

Tabela 5: Grelno število pri sistemu voda/voda pri konstantni temperaturi vira

12 DISKUSIJA

Živimo v času, ko onesnaževanje okolja presega vse dovoljene meje. Ukrepi za zmanjšanje emisij CO₂ so nujni, saj le na ta način lahko zagotovimo prihodnost nam in našim naslednikom. Velik problem predstavlja tudi vedno večje pomanjkanje energentov in posledično rast njihovih cen. Zaradi tega je nujno potrebno povečati delež uporabe obnovljivih virov za toplotno ogrevanje in proizvodnjo električne energije.

Ena izmed možnosti je vgradnja toplotnih črpalk za toplotno ogrevanje in ogrevanje sanitarne vode. Postavlja pa se vprašanje, ali je vgradnja toplotnih črpalk smotrna. Glede na to, da so izvedbe postavitve sistema zelo raznolike (voda/voda, zrak/voda, zemlja/voda), je odgovor zagotovo pritrdilen. Toplotne črpalke imajo veliko učinkovitost, saj je razmerje med vloženo in pridobljeno energijo zelo ugodno. Hkrati privarčujemo pri rabi fosilnih goriv in s tem prispevamo k zmanjšanju emisij toplogrednih plinov v ozračje.

Meniva, da je vgradnja okolju prijaznih sistemov za ogrevanje in proizvodnjo električne energije pri nas šele v povojih, vendar bi lahko njihovo porast uporabe primerjali s spečim velikanom.

Kovač, V., Vehabović, J., Vpliv zunanjih in notranjih dejavnikov na vrednost grelnega števila toplotne črpalke
Raziskovalna naloga, ŠCV, Strojna šola Velenje, 2011

13 VIRI IN LITERATURA

1. GROBOVŠEK, B.: Praktična uporaba toplotnih črpalk. Energetika marketing, Ljubljana. 2009.
2. http://www.evip.si/index.php?option=com_content&task=view&id=165&Itemid=164, 25. 2. 2011.
3. http://www.evip.si/index.php?option=com_content&task=view&id=164&Itemid=164, 25. 2. 2011.
4. http://www.evip.si/index.php?option=com_content&task=view&id=155&Itemid=164, 25. 2. 2011.
5. <http://www.p-ng.si/~perko/energetika/krozproc/krozproc.htm>, 25. 2. 2011.