



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Strojništvo
Modul: Orodjarstvo

ENERGIJSKA UČINKOVITOST TOPLOTNE ČRPALKE

Mentor: mag. Matija Tacer
Lektorica: Anita Govc, prof.

Kandidat: Luka Čede

Ljubljana, februar 2022

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju in ostalim, ki so mi pomagali pri izdelavi diplomske naloge.

IZJAVA

Študent Luka Čede izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Matija Tacer.

Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

V diplomski nalogi predstavimo princip delovanja toplotnih črpalk (v nadaljevanju TČ), njihove osnovne značilnosti in izvedbe ter glavne dejavnike izbire, ki vplivajo na učinkovitost njihovega delovanja.

Toplotna črpalka deluje tako, da prenaša energijo iz območja z nizkim temperaturnim potencialom (vir toplote) v območje z višjim (ponor toplote). Pri tem najpogosteje uporablja mehansko delo kompresorja. Vire toplote po navadi predstavlja neposredna okolica: tla, površinske ali podzemne vode, okoliški zrak, odpadni, izrabljeni ali onesnaženi zrak. Ponor toplote pa je prostor, ki mu toploto dovajamo, kot so zrak v prostoru, voda v sistemu ogrevanja, sanitarna topla voda oziroma ustrezni ogrevalni medij (radiator).

V praktičnem delu diplomske naloge izdelamo izračun toplotnih potreb za dva objekta, in sicer dobro toplotno izoliran objekt (nizkoenergijski objekt) in slabše izoliran (visokoenergijski) objekt, in predstavimo način za izbiro toplotne črpalke, pri čemer sledimo načelu čim večje učinkovitosti njenega delovanja (čim višjemu grelnemu številu). V analizo učinkovitosti vpeljemo vse pomembnejše dejavnike izbire TČ: zunanje klimatske pogoje, vir toplote, toplotne izgube in tip ogrevalnega sistema, učinek posameznega dejavnika pa ocenimo pri izbranih klimatskih pogojih in letnih potrebah po toploti stavb. Rezultati analize pokažejo, da lahko z ustrezno izbiro dejavnikov (faktorjev) vpliva močno izboljšamo učinkovitost delovanja TČ in zmanjšamo porabo električne energije. Na primeru TČ LG Therma prikažemo dosežene prihranke za različne rešitve.

Ker TČ predstavljajo energijsko učinkovite rešitve, ki pripomorejo k doseganju energetske-podnebnih ciljev države, je tudi Slovenija sprejela razne sheme finančnih spodbud (nepovratna sredstva, krediti) za investicije v TČ. Javni nosilec tovrstnih spodbud v Sloveniji je Eko sklad, čigar delovanje opišemo v zadnjem poglavju naloge.

KLJUČNE BESEDE:

- toplotna črpalka
- toplotne izgube stavb
- viri toplote
- grelna števila
- letna poraba električne energije
- Eko sklad

ABSTRACT

In this thesis, we introduce the concept and operational principles of heat pumps (hereinafter: HP), their basic characteristics and types, and define the main factors that are considered relevant in choosing the appropriate HP and that affect the efficiency of HP operations.

The HP operates by transferring energy from an area with low temperature potential (heat source) to a high temperature potential (heat sink). In doing so, it most often uses the mechanical work of the compressor. Heat sources are usually represented by the immediate surroundings, namely soil, surface or groundwater, ambient air, waste, spent or polluted air, while a heat sink is a place to which heat is assigned, such as air in the room, water in the heating system, sanitary hot water or an appropriate heating medium (radiator).

In the practical part of this thesis, we design a scenario on thermal energy demand in two types of buildings, namely a well thermally insulated (low energy) building and a less isolated (high energy) building of a more classic construction, and present a selection procedure for choosing their appropriate HPs, while following the principle of maximum efficiency of HP operations (as high as possible coefficient of performance - COP). In the efficiency analysis, we introduce key determinants of selection, namely external climatic conditions, heat source, heat loss and a type of heating system, and assess their respective effects under given climatic conditions and the assessed heat requirements of the buildings. The results of the analysis show that by properly adapting the operational environment and selecting the appropriate type of HP, one can significantly improve the performance of a HP and reduce its electricity consumption. In the case of LG Therma, we show the savings achieved under different solutions.

Since HP are one of the most energy efficient heating systems, which contribute to the achievement of energy and climate goals, Slovenia has adopted extensive financial incentive schemes for investing in HP (grants, credits). The public holder of such incentives in Slovenia is the Eko sklad, whose work we describe in the last chapter of the thesis.

KEYWORDS:

- Heat pump
- heat loss
- heat source
- coefficient of performance
- electricity consumption
- Eko sklad

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Toplotne črpalke skozi zgodovino in danes.....	1
1.2	Način delovanja toplotnih črpalk	2
1.3	Osnovne značilnosti toplotnih črpalk	2
1.4	Meteorološke osnove	4
2	PRINCIPI DELOVANJA TOPLOTNIH ČRPALK	4
3	VRSTE TOPLOTNIH ČRPALK	6
4	VRSTE HIDRAVLICNIH INŠTALACIJ	7
4.1	Centralna inštalacija	7
4.2	Sanitarne inštalacije	8
4.3	Tehnologije inštalacij	9
4.3.1	Press priključni sistem	9
4.3.2	Plastični sistemi inštalacij	10
4.3.3	Bakreni sistemi inštalacij	11
5	SESTAVNI DELI KOMPRESIJSKIH TOPLOTNIH ČRPALK	13
5.1	Hladilna tekočina (hladivo)	13
5.2	Osnovni deli kompresijskih toplotnih črpalk	14
5.2.1	Kompresor	14
5.2.2	Nadzor nad delovanjem kompresorja	20
5.2.3	Povratni ventil	22
5.2.4	Kondenzator	22
5.2.5	Uparjalnik	23
5.2.6	Ekspanzijski ventil	24
5.3	Ostali deli sistema toplotne črpalke zemlja/voda	25
5.3.1	Klasični zemeljski kolektor	25
5.3.2	Kompaktni vertikalni in horizontalni kolektor voda/voda	26
5.3.3	Zemeljski kolektor v zbiralnem jarku	27
5.3.4	Spiralni zemeljski kolektor	27
5.3.5	Zemeljski kolektor v vrtini	28
5.4	Ostali sestavni deli toplotne črpalke zrak/voda	29
5.4.1	Zračni uparjalnik	29
5.5	Ostali sestavni deli toplotne črpalke voda/voda	30
5.6	Ostali sestavni deli toplotne črpalke zrak/zrak	30
5.6.1	Vzratni ventil	30
5.6.2	Hranilnik toplote	31
5.6.3	Magnetni filter	31
5.6.4	Sprejemnik tekočine	32
6	TOPLOTNE IZGUBE IN STROŠKOVNA POVEZAVA	32
6.1	Izračun toplotnih izgub	35
6.1.1	Transmisijske toplotne izgube	36
6.2	Primer izračuna toplotnih izgub stavbe (brez vpliva prezračevanja)	40

6.3	Toplotne izgube (toplotni tok) zaradi prezračevanja	50
6.3.1	Naravno zračenje	51
6.3.2	Dimenzioniranje naravnega zračenja	54
6.3.3	Mehansko (umetno) zračenje	55
6.3.4	Dimenzioniranje mehanskega zračenja z rekuperacijo	57
6.4	Sistem sanitarne vode	58
6.4.1	Primer izračuna letne porabe sanitarne vode (STV)	59
7	DIMENZIONIRANJE TOPLOTNIH ČRPALK ZA OBJEKT	60
7.1	Izbira toplotne črpalke na osnovi dimenzioniranih toplotnih izgub	62
7.2	Učinkovitost toplotnih črpalk	68
8	KRMILNI SISTEM TOPLOTNE ČRPALKE ZRAK/VODA	76
8.1	Predstavitev notranje (»master«) in zunanje (»slave«) plošče	76
8.2	Pogoste napake na TČ	80
9	POTEK VGRADNJE TOPLOTNE ČRPALKE	81
10	FINANČNA POMOČ INVESTITORJEM (Eko Sklad)	83
11	ZAKLJUČEK	84
12	LITERATURA IN VIRI	86

KAZALO SLIK

Slika 1:	Meteorološke osnove temperature	4
Slika 2:	Princip delovanja toplotnih črpalk	6
Slika 3:	Prikaz spajanja cevi s tehnologijo press	9
Slika 4:	Fitingi	10
Slika 5:	Pištola za varjenje plastičnih cevi	11
Slika 6:	Prikaz uporabe tehnologije trdega lotanja	12
Slika 7:	Prikaz elementov tehnologije mehkega lotanja	12
Slika 8:	Vrste kompresorjev	14
Slika 9:	Batni kompresor	16
Slika 10:	Cikel delovanja kompresorja	16
Slika 11:	Vijačni kompresor	17
Slika 12:	Turbinski kompresor	18
Slika 13:	Lamelni kompresor (odvisnost tlaka od mesta hladiva)	18
Slika 14:	Spiralni kompresor	19
Slika 15:	Prikaz redukcije pri rotacijskem kompresorju	21
Slika 16:	Delovanje inverterja	22
Slika 17:	Pozicija ekspanzijskega ventila v sistemu	25
Slika 18:	Zemeljski kolektor	26
Slika 19:	Toplotna stoječa voda	27
Slika 20:	Zemeljski kolektor v zbiralnem jarku	27
Slika 21:	Spiralni kolektor	28
Slika 22:	Zemeljski kolektor – vrtina	29
Slika 23:	Zračni uparjalnik	29

Slika 24: Kolektor podtalnice	30
Slika 25: Sprejemnik tekočine	32
Slika 26: Prerez A-A	33
Slika 27: Tloris mansard	34
Slika 28: Tloris pritličja	35
Slika 29: Temperature vira toplote glede na zunanjo temperaturo	60
Slika 30: Projektne temperature zraka v Sloveniji	64
Slika 31: Zemljevid povprečnega temperaturnega primanjkljaja v Sloveniji	65
Slika 32: Poraba električne energije za ogrevanje nizko- in visokoenergijske stavbe v odvisnosti od tipa ogrevalnega sistema (VTR, NTR, TS)	67
Slika 33: Povezava med zunanjo temperaturo in temperaturo predtoka ogrevalnega medija	68
Slika 34: Odvisnost COP od temperature podtalnice in predtoka za TČ voda/voda	69
Slika 35: Odvisnost COP od temperature zunanjega zraka in temperature predtoka za TČ zrak/voda	69
Slika 36: Povezava med pogonsko in toplotno močjo v odvisnosti od temperature toplotnega vira in predtoka	70
Slika 37: Poraba električne energije TČ za ogrevanje visoko- in nizkoenergijske stavbe v odvisnosti od tip ogrevalnega sistema (VTR, NTR, TS)	72
Slika 38: Delovni diagram toplotne črpalke voda-voda	72
Slika 39: COP in zunanja temperatura	73
Slika 40: Povezava med temperaturo predtoka in letnim grelnim številom v odvisnosti od vira toplote	74
Slika 41: Poraba električne energije TČ za ogrevanje visoko- in nizkoenergijske stavbe v odvisnosti od tipa toplotne črpalke (zrak/voda, zemlja/voda, voda/voda) ..	75
Slika 42: Povezava zunanje enote in notranjih senzoričnih enot na glavno krmilno ploščo	76
Slika 43: Stikala na glavni plošči	77
Slika 44: Shema glavne plošče	77
Slika 45: Mesto priključitve displeja konzole	80

KAZALO TABEL

Tabela 1: Izvedbe in značilnosti TČ	3
Tabela 2: Vrste toplotnih črpalk glede na vir in ponor toplote	6
Tabela 3: Učinek redukcije cilindrov na primeru recipročnega kompresorja	21
Tabela 4: Vrednosti korekcijskih faktorjev glede na vir toplotne izgube	39
Tabela 5: Toplotna prevodnost materialov	40
Tabela 6: Toplotna prevodnost sestavnih delov detajla fasadnega zida	41
Tabela 7: Debelina sestavnih delov detajla strehe	41
Tabela 8: Debelina sestavnih delov detajla tal/teren	42
Tabela 9: Debelina sestavnih delov detajla tal/strop	42
Tabela 10: Debelina sestavnih delov detajla zunanjih sten/teren	43

Tabela 11: Debelina sestavnih delov detajla zunanjih sten	43
Tabela 12: Debelina sestavnih delov detajla notranjih sten	43
Tabela 13: Debelina sestavnih delov detajla stropa	44
Tabela 14: Izračun toplotne prehodnosti za primer nizkoenergijske stavbe	44
Tabela 15: Izračun toplotne prehodnosti za primer visokoenergijske gradnje	45
Tabela 16: Izračun toplotnih izgub (tokov) za primer nizkoenergijske gradnje brez učinka prezračevanja	48
Tabela 17: Izračun toplotnih izgub (tokov) za primer visokoenergijske gradnje brez učinka prezračevanja	50
Tabela 18: Število izmenjav zraka zaradi netesnosti ovoja stavbe	52
Tabela 19: Koeficient zaščitenosti stavbe	53
Tabela 20: Višinski korekturni faktor ϵ	53
Tabela 21: Minimalno število izmenjav zraka na 1 uro	54
Tabela 22: Prezračevalne toplotne izgube – izračun, visokoenergijska gradnja	55
Tabela 23: Prezračevalne toplotne izgube – izračun, nizkoenergijska stavba	58
Tabela 24: Povezava med zunanjo temperaturo, temperaturo ogrevalnega medija, COP in maksimalno močjo TČ zrak/voda (THERMA proizvajalca LG)	61
Tabela 25: Toplotne potrebe za izbrani nizko- in visokoenergijski objekt	62
Tabela 26: Temperaturni primanjkljaj za posamezne kraje v Sloveniji	65
Tabela 27: COP TČ, letna poraba električne energije in stroški električne energije za ogrevanje visoko- in nizkoenergijsko stavbo v odvisnosti od tipa ogrevalnega sistema	66
Tabela 28: Toplotni vir temperature podtalnice	73
Tabela 29: SPF TČ, letna poraba električne energije in stroški električne energije za ogrevanje visoko- in nizkoenergijsko stavbo v odvisnosti od vira toplote	75
Tabela 30: Stikala na glavni plošči	79
Tabela 31: Funkcije "slave" plošče	79
Tabela 32: Pogoste napake na TČ	81
Tabela 33: Seznam del na toplotni črpalki	82

KAZALO ENAČB

Enačba 1: Koeficient moči toplotne črpalke	7
Enačba 2: Hladilna moč kompresorja	14
Enačba 3: Efektivna moč kompresorja	15
Enačba 4: Volumetrični izkoristek kompresorja	15
Enačba 5: Grelna moč kondenzatorja	23
Enačba 6: Hladilna moč uparjalnika	24
Enačba 7: Volumen hranilnika toplote - slabo izoliran objekt	31
Enačba 8: Volumen hranilnika toplote - izoliran objekt	31
Enačba 9: Volumen hranilnika toplote - oddaljevanje zračne toplotne črpalke	31
Enačba 10: Toplotne izgube stavbe - skupaj	36
Enačba 11: Toplotne izgube stene	36

Enačba 12: Toplotne izgube strehe	36
Enačba 13: Toplotne izgube tal.....	36
Enačba 14: Toplotne izgube zaradi naravnega prezračevanja (izpust skozi vrata, okna)	36
Enačba 15: Toplotne izgube zaradi mehanskega prezračevanja	36
Enačba 16: Transmisijske toplotne izgube ogrevanega prostora	36
Enačba 17: Toplotne izgube ogrevanega prostora skozi ovoj stavbe	37
Enačba 18: Toplotne izgube ogrevanega prostora skozi tla	38
Enačba 19: Toplotne izgube skozi prostor z bistveno drugačno temperaturo	38
Enačba 20: Transmisijske toplotne izgube ogrevanega prostora (poenostavljen izračun)	38
Enačba 21: Toplotna prehodnost	39
Enačba 22: Prezračevalne toplotne izgube	50
Enačba 23: Koeficient prezračevalnih toplotnih izgub ogrevanega prostora	51
Enačba 24: Koeficient prezračevalnih toplotnih izgub ogrevanega prostora – poenostavljen izračun.....	51
Enačba 25: Prezračevalne toplotne izgube – poenostavljen izračun	51
Enačba 26: Volumski pretok zraka skozi ogrevani prostor ob naravnem zračenju ..	51
Enačba 27: Volumski pretok zraka zaradi netesnosti ovoja stavbe (infiltracija).....	52
Enačba 28: Minimalni volumski pretok zraka, potreben za vzdrževanje higienskega minimuma – minimalna potrebna količina svežega zraka	53
Enačba 29: Volumski pretok zraka skozi ogrevani prostor	56
Enačba 30: Faktor redukcije temperature	56
Enačba 31: Presežek volumskega pretoka odvedenega zraka za ogrevano stavbo	56
Enačba 32: Presežek volumskega pretoka odvedenega zraka za ogrevani prostor	57
Enačba 33: Letna poraba tople vode	59
Enačba 34: Potrebna letna energija za pripravo sanitarne vode	59
Enačba 35: Letna poraba toplotne energije za toplotno črpalko	63
Enačba 36: Letna poraba električne energije.....	66

1 UVOD

V diplomski nalogi predstavimo princip delovanja toplotnih črpalk (v nadaljevanju TČ), njihove osnovne značilnosti in izvedbe ter glavne dejavnike izbire, ki vplivajo na učinkovitost njihovega delovanja. Slednje sprva predstavimo teoretično, v nadaljnjih poglavjih pa na dveh primerih stavb prikažemo, kako lahko z ustrezno prilagoditvijo okolja in izbiro TČ vplivamo na njihovo učinkovitost in energetske potrebe, oziroma kako lahko TČ uporabimo bolj trajnostno.

1.1 Toplotne črpalke skozi zgodovino in danes

Tehnologija toplotnih črpalk se pospešeno uporablja od leta 1970, osnova zanjo pa je bila izdelana že v 19. stoletju. Teorijo krožnega procesa je leta 1832 postavil francoski fizik Nikolas Leonard Sandi Carnot, mehanski sistem za ogrevanje in hlajenje pa leta 1981 opisal William Thomson. Še naprednejši je bil Carl Paul Gottfried Von Linde, ki je leta 1877 izdelal prvo kompresijsko hladilno napravo na amonijak (Grobovšek, 2009; Grassi, 2018).

Prvič se je izraz toplotna črpalka pričel uporabljati v dvajsetih letih prejšnjega stoletja na sistemih ogrevanja v ZDA. Leta 1938 je bila v sistem ogrevanja kantona Zürich vgrajena toplotna črpalka voda-voda, kjer so za vir toplote uporabili reko Limmat. Po drugi svetovni vojni se je tehnologija toplotnih črpalk ogrevanja razcvetela najprej v ZDA, desetletje kasneje pa tudi v Evropi, kjer je uporaba te tehnologije narasla predvsem v 70-ih letih, v obdobju prve naftne krize. Drugi val povečane uporabe toplotnih črpalk je nastopil sredi 90-ih let predvsem zaradi ekološke osveščenosti in splošnega dviga standarda prebivalcev razvitega sveta, prav tako pa tudi napredka na področju tehnologije, ki je omogočil povečanje učinkovitosti (Grobovšek, 2009; Grassi, 2018).

Po podatkih IEA je bilo v letu 2020 v uporabi okoli 180 milijonov toplotnih črpalk, od tega skoraj 22 milijonov v Evropi. Čeprav so te v mnogih državah postale najpogostejša tehnologija ogrevanja novogradenj, je njihov delež med napravami za ogrevanje vseh stanovanjskih stavb še vedno zanemarljiv. V letu 2020 je ta na globalnem trgu znašal le okoli 7 % (IEA, 2021; Grobovšek, 2009).

Ker TČ predstavljajo energijsko učinkovite rešitve, ki pripomorejo k doseganju energetske-podnebnih ciljev države, je tudi Slovenija sprejela razne sheme finančnih spodbud (nepovratna sredstva, krediti) za investicije v TČ. Javni nosilec tovrstnih spodbud v Sloveniji je Eko sklad, čigar delovanje opišemo v zadnjem poglavju naloge.

1.2 NAČIN DELOVANJA TOPLOTNIH ČRPALK

Toplotna črpalka deluje tako, da prenaša energijo iz območja z nizkim temperaturnim potencialom v območje z višjim. Pri tem najpogosteje uporablja mehansko delo kompresorja. Prvo območje pogosto imenujemo vir toplote, drugo ponor toplote. Vire toplote po navadi predstavlja neposredna okolica: tla, površinske ali podzemne vode, okoliški zrak, odpadni, izrabljeni ali onesnaženi zrak. Toplotni ponor pa je prostor, ki mu toploto dovajamo, kot so zrak v prostoru, voda v sistemu ogrevanja, sanitarna topla voda oziroma ustrezni ogrevalni medij (radiator). Pri delovanju TČ se le manjši del energije za ogrevanje porabi za pogon črpalke, večina se pridobi s prenosom iz okolice.

1.3 OSNOVNE ZNAČILNOSTI TOPLOTNIH ČRPALK

Osnovna značilnost toplotnih črpalk je, da omogočajo prenos energije iz območja z nižjim temperaturnim potencialom v območje z višjim potencialom. Prenos toplote iz vira toplote na medij ponora poteka po principu krožnega procesa, ki ga najpogosteje poganja mehansko delo kompresorja (t. i. kompresijske toplotne črpalke).

Po Grobovšku (2009) se med osnovne izvedbe toplotnih črpalk uvrščajo TČ tipa zemlja/voda, voda/voda, zrak/voda, zrak/zrak. Značilnosti posamezne izvedbe (toplotni viri, mesto postavitve, priporočena uporaba, poraba energije, stroški izvedbe, vpliv na okolje) so prikazane v Tabeli 1.

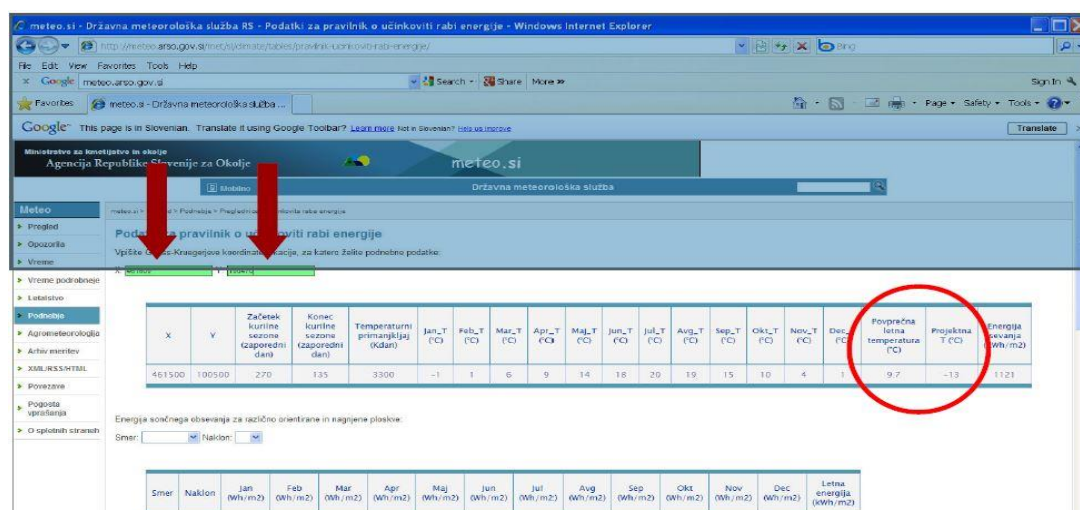
Toplotni viri	Izvedba toplotne črpalke	Temperaturni nivo toplotnega vira	Odvisnost od mesta postavitve	Odvisnost od letnega časa	Glede na potrebe toploti in toplotnega vira	Možnost uporabe edinega toplote	Problemi pri uporabi	Raba energije za prenos posrednjega medija	Stroški izvedbe sistema	Vpliv na okolje
Tla	Vodoravno kolektorsko polje	Od 5 do 15 °C	Ponekod(odvisno od ploščine zemljišča)	Stalna	Delna	Velika	Zmrzovanje tal okoli prenosnika	Velika (črpalka)	Visoki (izkop)	Majhen
	Kanalski kolektor						Korozija			
	Toplotna sonda		Povsod						Visoki (vrtine)	Majhen
	Podzemne vode		Ponekod	Stalna	Stalna	Velika	Korozija	Velika(črpalka a)	Visoki(vrtine)	Pomemben
Voda	Površinske vode	0-10 °C	Ponekod(pol eg morja in vodotokov)	Odvisno od vodotoka	Delna	Delna	Onesnažena korozija	Velika(črpalka a)	Zmerni	Delni
	Odpadne vode	>10 °C	Ponekod	Stalna	Stalna	Velika	Onesnaženja, korozija, neugodnji vonji	Zmerna do velika(črpalka)	Zmerni	Majhen
	Odpaden onesnažen ali izrabljen zrak	>22 °C	Ponekod	Odvisno od dela sistema prezračevanj in klimatizacije	Stalna	Delna	/	/	Nizki	Zanemarljiv
Zrak	Okoliški zrak	Od -20 do 25 °C	Povsod	Stalna	Majhna	Delna	Zmrzovanje uparjalnika	Velika(ventilator)		

Tabela 1: Izvedbe in značilnosti TČ
(Vir: Grobovšek, 2009)

1.4 METEOROLOŠKE OSNOVE

Na izbiro ustreznega tipa oziroma izvedbe toplotne črpalke vpliva več dejavnikov; poleg investicijskih stroškov so ključni potreba po toploti, razpoložljivost virov toplote, zunanji (meteorološki) pogoji.

Na spremembo klime v prostoru vplivajo zunanji pogoji, kot so temperatura, vlaga, hitrost vetra. S spremembo letnih časov pa spreminja tudi naše počutje oziroma zaznavanje zunanjih pogojev. Ti dejavniki determinirajo karakteristike grelnega telesa oziroma modelski izračun potreb grelnega telesa. Po navadi pri posplošenem izračunu upoštevamo povprečno zunanjo temperaturo in njene dnevne spremembe (temperaturni presežek/primanjkljaj). V pomoč pri merjenju okoljskih podatkov je lahko vir Agencije RS za okolje (ARSO), kot je prikazano na Slika 1.



X	V	Začetek kurilne sezone (gospodarni dan)	Konec kurilne sezone (gospodarni dan)	Temperaturni primanjkljaj (Kdan)	Jan_T (°C)	Feb_T (°C)	Mar_T (°C)	Apr_T (°C)	Maj_T (°C)	Jun_T (°C)	Jul_T (°C)	Aug_T (°C)	Sep_T (°C)	Okc_T (°C)	Nov_T (°C)	Dec_T (°C)	Povprečna letna temperatura (°C)	Projektna T (°C)	Energija sevanja (Wh/m²)
461500	100500	270	135	3300	-1	1	6	9	14	18	20	19	15	10	4	1	9,7	-13	1121

Slika 1: Meteorološke osnove temperature
(Vir: ARSO, 2021)¹

2 PRINCIPI DELOVANJA TOPLOTNIH ČRPALK

Toplotna črpalka deluje po principu termodinamičnega krožnega procesa. Ta omogoča prenos toplote iz zunanjih virov (zraka, tal, voda, odpadnih voda) v sistem ogrevanja (ali hlajenja). Termodinamični krožni proces je v splošnem opredeljen kot vrstni red sprememb v nekem sistemu, ki se po koncu zaključi v termodinamičnem enakem začetnem stanju. Posledice krožnega procesa, ki se sicer lahko ponovi

¹ V seznamu virov: ARSO (b. l.). *Podatki za pravilnik o učinkoviti rabi energije*. Pridobljeno 1. 12. 2021 z naslova: <https://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/tables/pravilnik-ucinkoviti-rabi-energije/>

poljubnokrat, so spremembe v okolici opazovanega sistema (kot je opravljeno delo, prenos toplote) (Grobovšek, 2009).

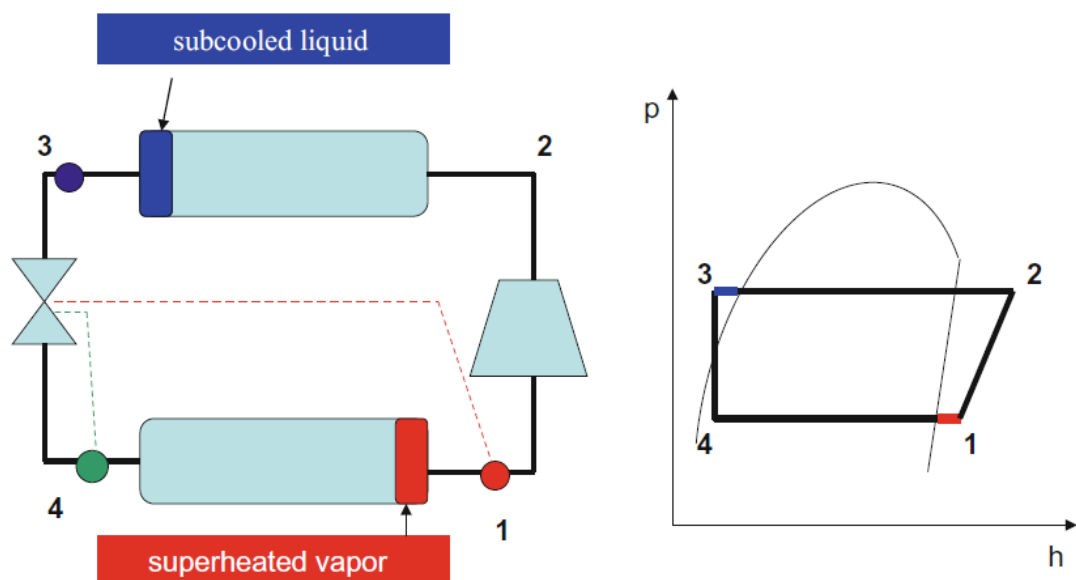
Carnotov proces velja za referenčni primer za oceno krožnih procesov. Levi Carnotov proces, ki predstavlja idealen tip krožnega procesa za prenos toplote od toplotnega hranilnika na nižjem do hranilnika na višjem temperaturnem nivoju, kot velja pri toplotnih črpalkah, je po Grobovšku (2009) sestavljen iz štirih podprocesov:

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

Za toplotne črpalke velja, da črpajo toploto z nižjega na višji temperaturni nivo. Prostor oziroma medij, ki toploto dovaja (toplotni oddajnik), je torej na nižjem temperaturnem nivoju kot toplotni sprejemnik, to je medij, ki toploto odvaja. Črpanje toplote je rezultat termodinamičnega procesa z uporabo moči (npr. mehansko delo kompresorja) in ne izogrevanja kot pri klasičnih ogrevalnih telesih (Grobovšek, 2009).

Pri kompresijskih toplotnih črpalkah, ki so danes najpogostejša oblika, delimo proces toplotne črpalke na štiri faze:

1. odvzem toplote iz okolice/uparjanje hladiva: element, ki odvzema toploto okolice, se imenuje uparjalnik. Ta vsebuje hladivo, ki se pri nizki temperaturi in tlaku uplini;
2. komprimiranje pare/kompresija hladiva: mehanski kompresor pare hladiva stisne ter jim tako poveča tlak in temperaturo;
3. odvod toplote iz kondenzatorja/kondenzacija hladiva: z odvodom toplote iz kondenzatorja (ogrevalnemu mediju) se pare ohladijo in kondenzirajo;
4. ekspanzija utekočinjenega hladiva: utekočinjeno hladivo potuje skozi ekspanzijski ventil, kjer se mu zniža tlak in temperatura, nazaj v uparjalnik.



Slika 2: Princip delovanja toplotnih črpalk
(Vir: Grassi, 2018)

3 VRSTE TOPLOTNIH ČRPALK

V splošnem lahko toplotne črpalke razvrstimo glede na vir toplote oziroma medij, iz katerega pridobivamo energijo (vir energije), in medij, ki mu oddajamo energijo (ponor energije), kot prikazuje

Tabela 2.

Viri toplote	Hladna stran	Topla stran	Vrsta toplotne črpalke
Zemlja	Slanica	Zrak	TČ zemlja/zrak
Zemlja	Slanica	Voda	TČ zemlja/voda
Sonce	Slanica	Zrak	TČ sonce/zrak
Sonce	Slanica	Voda	TČ sonce/voda
Voda	Voda	Voda	TČ voda/voda
Voda	Voda	Zrak	TČ voda/zrak
Zrak	Zrak	Voda	TČ zrak/voda
Zrak	Zrak	Zrak	TČ zrak/zrak

Tabela 2: Vrste toplotnih črpalk glede na vir in ponor toplote

(Lastni vir)

Kompresijske toplotne črpalke, ki so v uporabi najpogosteje, se nahajajo v treh osnovnih tipih: zrak/voda, voda/voda, zemlja/voda.

V primeru, ko je toplotna črpalka edino grelna telo ogrevalnega sistema, imenujemo sistem ogrevanja monovalentno ogrevanje. V primeru, kjer je vzporedno oz. zaporedno vezano dodatno grelna telo, pa gre za bivalentno ogrevanje.

Pri monovalentnem sistemu je učinkovitost delovanja toplotne črpalke, ki jo merimo s t. i. grelnim številom (*Enačba 1*), odvisna predvsem od temperature izkoriščenega vira toplote (hladilna tekočina) in od temperature medija za ogrevanje sistema (npr. voda). Bolj kot je medij za sprejemanje energije (npr. voda) uporabljen na nižje-temperaturnih oddajnikih toplote, bolj učinkovita je toplotna črpalka. Tako za doseganje največjega faktorja med sprejeto in oddano energije uporabljamo nizke temperaturne toplotne črpalke in nizke temperaturne radiatorje.

$$\text{COP} = Q_g / P_{el} = (h_2 - h_3) / (h_2 - h_1)$$

Enačba 1: Koeficient moči toplotne črpalke

(Vir: Grobovšek, 2009, str. 133)

kjer predstavlja:

Q_g ...grelna moč toplotne črpalke [kW],

P_{el} ...dovedena električna moč [kW].

4 VRSTE HIDRAVLICNIH INŠTALACIJ

Za razumevanje umestitve toplotnih črpalk v sistem centralnega ogrevanja stavb v nadaljevanju predstavljamo glavne komponente tega sistema.

V toplotni tehniki ločimo med cevmi, ki so primerne za uporabo pitne vode, in cevmi za centralno ogrevanje. Pri centralnem ogrevanju poznamo: bakrene inštalacije, cevi iz ogljikovega jekla, tehniko press, cevi za talno ogrevanje in solarne cevi. Pri sanitarni tehniki pa se trenutno na voljo aluplastične cevi in polipropilenske PPR-cevi.

4.1 Centralna inštalacija

V skladu s tehničnimi standardi (DIN EN 14336, 2005) je priporočeno, da centralne inštalacije v stavbah zdržijo delovno temperature do 110 °C in delovni tlak do 6 barov.

Preskus tlaka se izvaja pri 1,3-kratniku predvidenega delovnega tlaka sistema z uporabo vode ali inertnega plina. Energija, ki se sprošča pri izvedbi preskusa z zrakom (inertnim plinom), je lahko 200-krat večja kakor energija vode pri istem tlaku in lahko vodi do močne eksplozije, če spoj, del cevovoda ali druga komponenta

sistema odpove. Zato je lahko takšen tlačni preskus precej nevaren in zahteva upoštevanje predpisanih varnostnih ukrepov. Posledično ima tlačni preskus z vodo prednost, vendar prav tako terja upoštevanje ustreznih varnostnih ukrepov.

Pred izvedbo tlačnega preskusa je potrebno: splakniti sistem; preveriti, ali je preskus primeren za obravnavani objekt (npr. potrebno je upoštevati, da mora biti na vertikalah sistem razdeljen na način, da v nobenem primeru ne pride do višjega tlaka kakor 1,3-kratnika predvidenega delovnega tlaka); preveriti, ali lahko vpliv vode na sistem povzroči korozijo; preveriti, ali je celoten sistem prosto dosegljiv. Pri izvedbi tlačnega preskusa je treba: zapreti vse odprtine sistema; zapreti vse ventile na koncu sistema; preveriti, ali je odzraččen sistem na najvišji točki; in preveriti, če merilni inštrument dela, če je kalibriran ter če ima ustrezno merilno območje. Po izvedbi preskusa sledijo: znižanje tlaka, izpust vode in osušitev sistema s toplim zrakom (čas predvidenega sušenja znaša eno uro). Priporočeno je, da se izvede predhodni preskus s komprimiranim zrakom z omejenim tlakom. Pri izvedbi predhodnega preskusa s komprimiranim zrakom pred izvedbo tlačnega preskusa z vodo je treba imenovati osebo, ki bo odgovorna za izvedbo preskusa. Imenovana odgovorna oseba mora biti ves čas preskusa prisotna. Odgovorna je za pripravo na tlačni preskus, potek tlačnega preskusa in znižanje tlaka na okoliški tlak. Vse fleksibilne povezave morajo biti ustrezno pritrjene. V nobenem primeru se ne sme preverjati sistem s kladivom. Preskusni tlak predhodnega preskusa znaša največ 0,5 bara. Po desetih minutah se preveri, ali prihaja do puščanja zraka (hrup piskajočega zraka); to se lahko preveri tudi z milnico. Po izvedbi predhodnega preskusa sledi izvedba tlačnega preskusa z vodo ali zrakom, skladno z zgornjim opisom. Po izvedbi preskusa se izvede zapisnik z naslednjimi podatki: z datumom preskusa, s podatki o sistemu (najvišji delovni tlak, lokacija sistema itd.), s tlakom preskusa, s trajanjem preskusa in z imenom in priimkom osebe, ki je izvedla preskus (Reberšek et al., 2018).

4.2 Sanitarne inštalacije

Tehnične smernice izvedbe sanitarnih inštalacij opredeljuje standard EN 806. Tlačni preskus vodovodnih inštalacij je treba preskusiti s tlakom, ki je 1,5-kratnik delovnega tlaka, vendar najmanj 1500 kPa oz. 15 barov. Cevovod se počasi polni z vodo, pri čemer se ves čas odzračuje. Padeč tlaka v eni uri lahko znaša 10 kPa oz. 0,1 bara. Merilni instrument mora imeti območje merjenja od 0 do 16 barov, vgradi se na najnižjo točko sistema. Preskus z zrakom ni dovoljen. Če ni možno izvesti preskusa z vodo, se lahko tlačni preskus izvede z inertnim plinom skladno z navodili proizvajalca. Preskusni tlak znaša največ 100 kPa oz. 1 bar. Tlačni preskus za vodovodne inštalacije iz umetnih materialov se izvaja skladno s specifikacijami proizvajalcev. Po uspešno izvedenem preskusu se tlak počasi zniža. Iz cevovoda se izpusti medij preskusa. Za izvedbo preskusa z vodo se lahko uporabi zgolj pitna voda.

4.3 Tehnologije inštalacij

V nadaljevanju povzemamo osnovne značilnosti glavnih tehnologij centralnih in sanitarnih inštalacij.

4.3.1 Press priključni sistem

Tehnologija spajanja PRESS

Nahajate se: Ogrevanje / Oglikovo jeklo - press



*Slika 3: Prikaz spajanja cevi s tehnologijo press
(Vir: Hidrosistemi, 2021)²*

Tehnologija spajanja cevi PRESS se najpogosteje uporablja za tesnjenje stikov na inštalacijskih ceveh iz ogljikovega jekla, bakra, inoxa. Tehnologija deluje po principu stiska tankocevnega fittinga, pri katerem zatesni o-ring. Press pištola, ki se uporablja za cevi od 3/8" do 4", deluje s silo do 32kN.

Fitingi

Fitingi so del inštalacije, ki omogočajo krivuljni prehod inštalacijske cevi. V press tehnologiji se najpogosteje uporabljajo: reducirni kos, lok enojni in dvojni 90°, T-kos, prehodni kos zunanji ali notranji navoj, lok dvojni ali enojni 45°.

² V seznamu virov: Hidrosistemi (b. l.). *Prikaz spajanja cevi s tehnologijo press*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.hidrosistemi.si/component/virtuemart/ogrevanje/ogljikovo-jeklo-press>



Slika 4: Fitingi
(Vir: Hidrosistemi, 2021)³

Ogljikove cevi

Ogljikove cevi so osnovni gradniki centralnih inštalacij. Izdelane so po standardu SIN EN 10305-3, ki zagotavlja, da cevi prenesejo preizkus pri tlaku 4–6 barov in temperaturi 110 °C.

4.3.2 Plastični sistemi inštalacij

PPR PA cevi

PPR PA cevi so iz polipropilena; namenjene so za prenos pitne vode v hišnih in ostalih bivalnih inštalacijah, lahko pa se uporabljajo tudi v industriji za prenos določenih kislin, plinov ali stisnjenega zraka. Posebnost PPR sistema je FUSIO spajanje s posebnim grelnim orodjem; končni rezultat spojitve dveh enot pa je ena homogena enota.

Tehnologija varjenja cevi

Tehnologija se izvaja pri temperaturi do $T = 300\text{ }^{\circ}\text{C}$ in je primerna za cevi dimenzije od 16 do 63 mm.

³ V seznamu virov: Hidrosistemi (b. l.). *Prikaz spajanja cevi s tehnologijo press*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.hidrosistemi.si/component/virtuemart/ogrevanje/ogljikovo-jeklo-press>



Lastnosti:

Območje nastavitve: 50 - 300 stopinj Celzija

Največja skupna obremenitev: 2700 W

Napajanje: 230 / 50Hz

Stopnja I: 50 - 120 stopinj - 1200 W

Stopnja II: 120 - 300 stopinj - 1500 W

Nastavki: 16 mm, 20 mm, 25 mm, 32 mm, 40 mm, 50 mm in 63 mm

Slika 5: Pištola za varjenje plastičnih cevi
(Vir: Tisto, 2021)⁴

Fitingi za plastične cevi

Fitingi, ki se uporabljajo v PPR tehnologiji, so: reducirni kos, lok enojni in dvojni 90°, T-kos, prehodni kos, lok dvojni ali enojni 45°.

4.3.3 Bakreni sistemi inštalacij

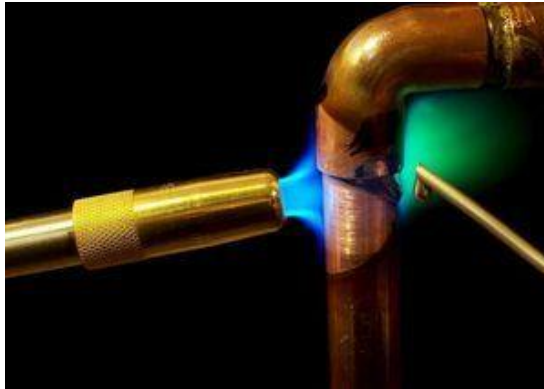
Bakrene cevi

Bakrene cevi (ravne, v palicah) so primerne za uporabo v sistemih ogrevanja, niso pa primerne za sanitarno vodo. Ker so trde in ravne so še posebej primerne za nadometno vgradnjo.

Tehnologija lotanja cevi

Pri bakrenih ceveh poznamo tehnologijo trdega in mehkega lotanja. Trdo lotanje se uporablja v sistemih, kjer je tlak višji (do 45 barov). Mehko lotanje se uporablja predvsem v termotehniki, kjer so tlaki in temperature v ceveh nižji (tlak do 10 barov; temperatura do 110 °C).

⁴ V seznamu virov: Tisto (b. l.). *Stroj za varjenje plastičnih cevi*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://tisto.eu/varilni-aparat-za-polipropilenske-pp-pvc-cevi-2700-w/>



Slika 6: Prikaz uporabe tehnologije trdega lotanja
(Vir: Ebolet, 2021)⁵



Slika 7: Prikaz elementov tehnologije mehkega lotanja
(Vir: Stern, 2021)⁶

Fitingi za bakrene cevi

Fitingi, ki se uporabljajo v bakreni tehnologiji, so: reducirni kos, lok enojni in dvojni 90°, T-kos, lok dvojni ali enojni 45°.

⁵ V seznamu virov: Ebolet (b. l.). *Spajkanje bakra s plinskim gorilnikom*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://tisto.eu/varilni-aparat-za-polipropilenske-pp-pvc-cevi-2700-w/>

6 V seznamu virov: Stern (b. l.). *Tehnologije mehkega lotanja*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.stern.si/Ponudba/>

5 SESTAVNI DELI KOMPRESIJSKIH TOPLOTNIH ČRPALK

5.1 Hladilna tekočina (hladivo)

Hladiva so snovi, ki se uporabljajo v napravah za prenos energije, kot so hladilne naprave in toplotne črpalke (Grobovšek, 2009). Glede na njihove osnovne kemijske sestavine jih delimo v pet skupin: halogeni ogljikovodiki, čisti ogljikovodiki, zeotropske zmesi, azeotropske zmesi, anorganske kemijske skupine.

Osnovne skupine hladiv:

- **Halogenirani ogljikovodiki:** prepoznani so po tem, da iz halogenega niza alkana (metan, etan) zamenjamo vodikove atome s halogenimi elementi (klor, fluor in brom). Oznaka plinov je definirana z Rxyz, kjer x pomeni število ogljikov (C-1), y število vodikov (h+1) in z število atomov fluora. Med danes uporabljenimi plini so R22, R134a, R123, R124, R142b; medtem ko so R11, R12, R113, R114 že izločeni iz uporabe.
- **Čisti ogljikovodiki** so kemijska reakcija ogljika-C in vodika-H, ki predstavlja homologno reakcijo alkanov ($C_n H_{2n+2}$). S temi alkani dobimo halogenirane ogljikovodike, ki jih v hladilni tehniki prepoznamo pod imenom: metan-R50, etan-R170, propan-R290, izo-butan-R600a.
- **Zeotropske zmesi** so mešanica več hladilnih plinov. Te zmesi nimajo konstantne temperature izparevanja in sestave uravnotežene pare. Pri hlapenju najprej izparijo snovi z nižjo temperaturo izparevanja in nato še snovi z višjo temperaturo. Primeri najpogostejše uporabljenih plinov so (komercialna imena): R410a, R407a, R407c in R404a.
- **Azeotropske zmesi** so nasprotje zeotropskih zmesi, saj pri hlapenju delujejo homogeno, imajo enotno temperaturno območje hlapenja. Pogosti plini te skupine so R500, R502, R507 (komercialno ime).
- **Anorganske kemijske spojine** so anorganskega izvora in se označujejo z R7yz, kjer pomeni 7-anorganski izvor, yz-molekularna masa. Najpogostejše uporabljeni anorganski plini so: amonijak-R717, voda-R718, ogljikov dioksid-R744, žveplov dioksid-R764.

Hladiva so po navadi sestavljena iz mešanice opisanih (osnovnih) sestavin.

5.2 Osnovni deli kompresijskih toplotnih črpalk

5.2.1 Kompresor

Kompresor je ena izmed osnovnih komponent toplotne črpalke. V njem se uparjeni hladilni tekočini (hladivu) poviša energetski nivo (tlak in temperatura). To dosežemo z dovajanjem energije (po navadi z mehanskim delom), kar sproži kroženje hladiva skozi sistem. Pri tem se tlak in temperatura povišata na vrednosti, ki omogočajo kondenzacijo hladiva. Temperatura je pri tem višja od ogrevalnega medija.

Type	Model	Capacity (kW)	Refrigerant	Application
Reciprocating	– Hermetic	0.1/30	R134a	Industrial and commercial refrigerators, low temperature industrial refrigeration
	– Semi hermetic	30/250	R404A	
	– Open	250/50	R407A R407C R717 R744	
Vane	Hermetic	0.75/3	R407C R410A R744	Small refrigerators, portable air-conditioning, split systems
Scroll	Hermetic	3.5/90	R407C R410A	Low and medium size air-conditioning
Screws	– Semi hermetic	80/8000	R407C	Medium and large power air conditioning, Industrial refrigeration
	– open		R134a R717	
Single screw	– Semi hermetic	100/500	R134a	Medium and large power chillers for commercial and industrial climatization
	– Open		R410A	

Slika 8: Vrste kompresorjev

(Vir: Grassi, 2018)

Toplotne črpalke v glavnem vsebujejo „volumenske“ kompresorje. Ti se delijo na batne (angl. Reciprocating) in rotacijske (angl. Rotating) kompresorje. Glede na način izvedbe slednje pogosto delimo na vijake (angl. screw), spiralne (angl. scroll), drsne (angl. vane) in lamelne (angl. vane) kompresorje.

Vrste kompresorjev se med drugim razlikujejo po volumetričnem pretoku, številu obratov na minuto, učinkovitosti kompresije (volumetrični izkoristek). Pri velikih in počasnih batnih kompresorjih znaša število obratov na minuto približno 100 rpm, kompresijsko razmerje pa od 2 do 3; majhni in hitri lahko po drugi strani delujejo pri tisoč rpm in kompresijskim razmerju okoli 10. Pri rotacijskih kompresorjih lahko število obratov na minuto doseže tudi nekaj tisoč rpm (Grassi, 2018).

Pri hladilnem procesu opišemo moč kompresorja z enačbo:

$$Q_{komp} = Q_{up} = m_{hl} * (h_1 - h_4) = m_{hl} * q_i = p_1 * V_{ko} * q_{i,v} = \rho_1 * V_{ko} * q_{i,v}$$

$$= \rho_1 * A_{bat} * s * f * i * a * q_i$$

Enačba 2: Hladilna moč kompresorja

(Vir: Grobovšek, 2009, str. 108)

kjer pomenijo:

q_i : specifična prostorninska hladilna moč, J/m³,

ρ_1 : gostota hladiva na vstopu v kompresor, kg/m³,

$A_{bat} = d_2 * \frac{\pi}{4}$: ploščina valja (batnega) kompresorja, m²,

d : premer valja (batnega) kompresorja,

s : prostornina (batnega) kompresorja,

f : frekvenca vrtljajev gredi, Hz,

i : število valjev.

Efektivna moč kompresorja je določena z enačbo:

$$P_{komp,ef} = \frac{P_{komp}}{(\varepsilon_{teo} * \eta_{ind} * \eta_{meh})}$$

Enačba 3: Efektivna moč kompresorja

(Vir: Grobovšek, 2009, str. 109)

kjer pomenijo:

P_{komp} : efektivna moč kompresorja, W,

ε_{teo} : teoretično grelna število,

η_{ind} : inducirani izkoristek delovanja,

η_{meh} : mehanski izkoristek delovanja.

Volumetrični izkoristek kompresorja, η_v , je opredeljen kot:

$$\eta_v = \frac{V_{AS}}{V_A} = 1 + \frac{V_N}{V_A} (1 - \beta^{1/k})$$

Enačba 4: Volumetrični izkoristek kompresorja

(Vir: Grassi, 2018, str. 17)

kjer so:

V_{AS} : volumen plina, ki vstopi v kompresor,

V_A : volumen plina, ki je razpoložljiv za vstop v kompresor,

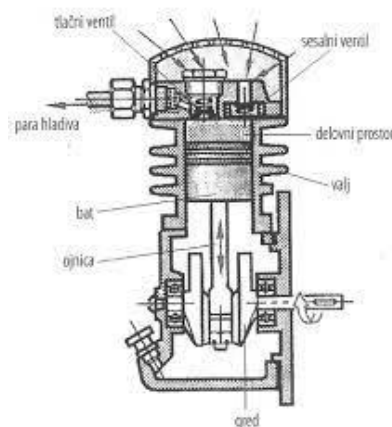
V_N : volumen razpoložljivega plina, ki ne vstopi v kompresor (angl. clearance volum),

β : kompresijsko razmerje,

k : politrofična konstanta.

Batni kompresor

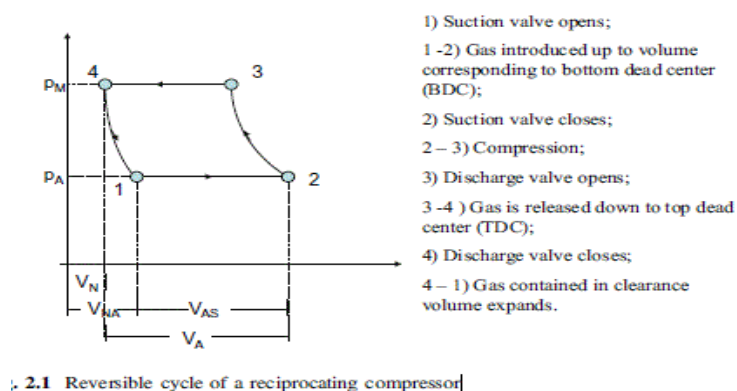
Batni kompresor deluje tako, da z gibanjem batov pomika pline od sesalnega dela kompresorja, v katerega vstopajo plini ciklično iz uparjalnika, do izhoda v kondenzator.



Slika 9: Batni kompresor
(Vir: Grobovšek, 2009)

Batni kompresorji so sestavljeni iz jeklenk in komor. Osnovi sestavni deli batnega kompresorja so: bat, ojnica, gred, valj, sesalni ventil, tlačni ventil.

Graf na Slika 10 prikazuje idealen cikel delovanja kompresorja na batni pogon. Označene faze kažejo spremembe v volumnu (x-os) in tlaku plina (y-os).



Slika 10: Cikel delovanja kompresorja
(Vir: Grassi, 2018)

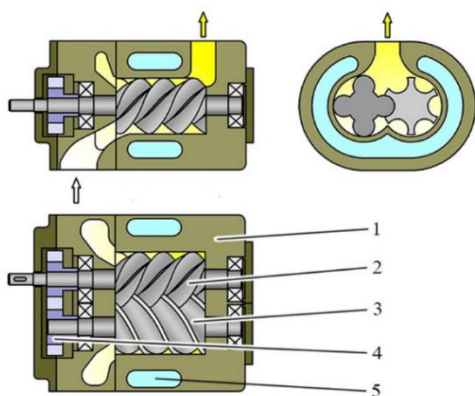
V prvi fazi (1) se sesalni del odpre in vanj vstopi plin pri tlaku p_A . Ko se del napolni do volumna ($V_n + V_a$) in je bat v spodnji mrtvi točki (BDC), se sesalni del zapre; prične se kompresija (faza 2-3). Kompresija povzroči dvig tlaka in temperature. Maksimalni tlak (P_m) je dosežen pri zgornji mrtvi točki bata (TDC), ko sta zaprta oba ventila (sesalni in izpustni). V zadnji fazi (3-4) se odpre izpustni del in plin izstopi v utekočinjenem stanju. Volumen tekočine (V_m) je vedno manjši od volumna cilindra (V_c); razliko predstavlja V_n (clearance volume). Manjši kot je V_n , bolj učinkovit je kompresor. Del plina, ki ostane (V_n), se po zaprtju izpustnih ventilov ohladi, njegov tlak pade na P_a ,

volumen pa se poveča na V_{na} . Volumen plina, ki v naslednjem ciklu vstopi v kompresor, je zato manjši od razpoložljivega (V_A). Razmerje V_{AS}/V_A predstavlja volumetrično učinkovitost kompresorja.

Rotacijski kompresorji

Ti kompresorji predstavljajo dobro alternativo batnim kompresorjem. Prednosti rotacijskih kompresorjev so manjša velikost, tiho, gladko delovanje in večja prilagodljivost modulov. Glede na tip izvedbe so po navadi razdeljeni na rotacijske kompresorje z eno (npr. lamelni, spiralni) ali dvema rotacijskima osema (npr. vijačni)

Vijačni kompresor



Oznake 1–5 predstavljajo:

<u>1</u>	<u>Ohišje</u>
<u>2</u>	<u>Desnosučna spirala</u>
<u>3</u>	<u>Levosučna spirala</u>
<u>4</u>	<u>Zobniki(sinhrono delovanje)</u>
<u>5</u>	<u>Hladilne odprtine</u>

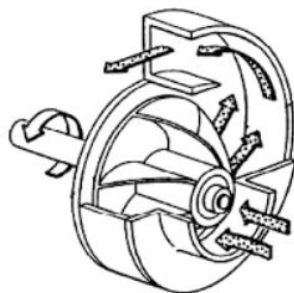
Slika 11: Vijačni kompresor
(Vir: PCTech-Support, 2021)⁷

Vijačni kompresorji (angl. Screw) sodijo med rotacijske kompresorje v dvoosni izvedbi. Uporabni so predvsem za naprave večje moči (nad 50 KW). Ti kompresorji delujejo na osnovi premikanj dveh spiralnih vijakov, ki sta različnih premerov (po navadi med 12 mm in 32 mm). Vijaka se vrtita v nasprotni smeri s pomočjo zobnikov, ki so pritrjeni na osi, in tako usmerjata plin iz sesalnega proti izpustnemu delu.

Vijačni kompresorji so sestavljeni iz moške in ženske spirale, ki jih sinhrono poganjajo zobniki, pritrjeni na osi spirale. V najpogostejši obliki je razmerje med številom moških in ženskih spiral 4/6, 3/5, 5/7. Drugi glavni kompresorja so: ohišje, ležaji osi, sesalni in izpustni del.

⁷ V seznamu virov: PCTech-Support (b. l.). *Vrste vijačnih kompresorjev in njihove prednosti*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://sl.best-support-pc.com/88212-types-of-screw-compressors-and-their-advantages>

Turbinski kompresor

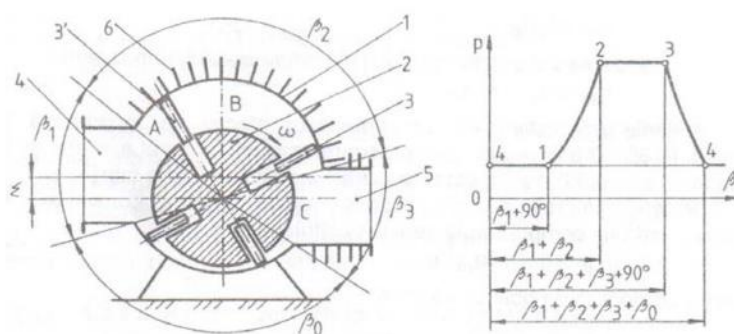


Slika 12: Turbinski kompresor
(Vir: SCC, 2021)⁸

Turbinski rotorji imajo radialne in aksialne kanale, kar jih deli na aksialne in radialne kompresorje. Plin pri vrtenju pridobiva na hitrosti oz. kinetični energiji, kar vpliva na spremembo njegovega agregatnega stanja.

Lamelni kompresor

Lamelni kompresorji (angl. Vane) sodijo v skupino enoosnih rotacijskih kompresorjev. Delujejo po principu rotirajočih se lopatic (lamel), ki so nameščene v režah cilindričnega rotorja, in so primerni za uporabo pri nižjih obremenitvah (do 75 kW). Pri vrtenju rotorja so lamele izpostavljene centrifugalnim silam, ki lamele pomikajo navzven – proti ohišju kompresorja. To povzroči kompresijo hladilnega plina.



Slika 13: Lamelni kompresor (odvisnost tlaka od mesta hladiva)
(Vir: Tuiasi, 2021)⁹

Oznake 1-6 predstavljajo:

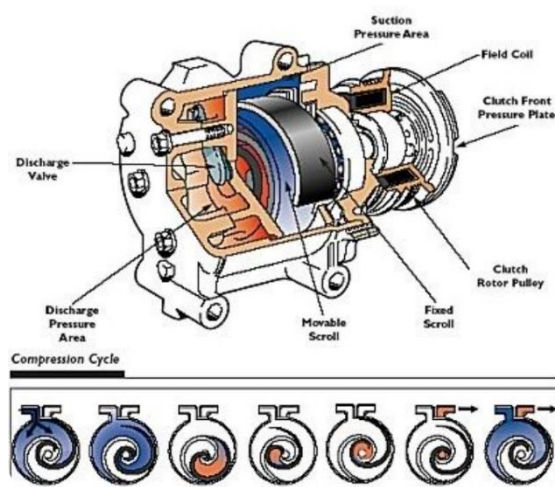
⁸ V seznamu virov: SCC (b. l.). *Kompresorji*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: https://dijaski.net/gradivo/str_ref_kompresorji_01

⁹ V seznamu virov: Tuiasi (b. l.). *Kompresorji*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: https://mec.tuiasi.ro/diverse/MITH_Compressoare.pdf

1	Lamela kompresorja
2	Rotor kompresorja
3	Ohišje
4	Vstop plinov
5	Zaprtje plinov
6	Izstop stisnjenega plina

Spiralni kompresor

Spiralni kompresor (angl. Scroll) stiska hladivo z enakomernim pomikanjem pomične spirale v notranjost, proti fiksni spirali. Ta tip kompresorja je primeren za hermetično zaprte toplotne črpalke.



Slika 14: Spiralni kompresor
(Vir: Pinterest, 2021)¹⁰

Deli na Slika 14 predstavljajo:

1	Izpustni ventil (angl. Discharge valve)
2	Izpust tlačnega območja (Discharge pressure area)
3	Premična spirala (Movable scroll)
4	Fiksna spirala (Fixed scroll)

¹⁰ V seznamu virov: Pinterest (b. l.). *Spiralni kompresor*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.pinterest.com/pin/513762269975086402/?form=MY01SV&OCID=MY01SV>

5	Rotor sklopke (Crutch Rotor Pulley)
6	Sprednje pritisna plošča sklopke (Clutch Front Pressure Plate)
7	Polje tuljave (Field coil)
8	Območje sesalnega tlaka (Suction pressure area)

Pri toplotnih črpalkah so najpogostejše v uporabi batni in spiralni kompresorji, pri čemer so spiralni po zanesljivosti in COP bolj priporočeni. Glavne prednosti spiralnih kompresorjev so:

- enostavnejša struktura - manj mehanskih delov in s tem manjša verjetnost napak,
- med spiralami ni zračnosti, zato je volumska učinkovitost večja,
- občutljivost na neizparjene delce hladiva je manjša,
- tiho in enakomerno delovanje.

5.2.2 Nadzor nad delovanjem kompresorja

Kompresor je sposoben delovati zunaj nominalne obremenitve. Stikalo je najlažja oblika za doseg tega, vendar porabi tudi največ energije. Če imamo npr. glavno stikalo z odločitveno točko T_{sp} , ki jo regulira termostat s toleranco dT_{sp} , se kompresor izklopi/vklopi pri vrednosti $T_{sp} \pm dT_{sp}$. Da obdržimo učinkovito delovanje kompresorja, moramo imeti čim manjši dT_{sp} . Ker pa se pri nižji toleranci kompresor večkrat prižiga in ugaša, to povzroča večji pritisk na kompresor in s tem padec razmerja COP (Grassi, 2018).

COP je mogoče v takšnih razmerah povečati na več načinov: na primer z zmanjšanjem števila aktivnih cilindrov in s tem volumna plina, ki bi ob normalni obremenitvi vstopil v kompresor. Ventil omogoča, da določena količina plina zaobide vstop v kompresor in se ponovno vrne na sesalni del kompresorja. Ventil je krmiljen s pomočjo signalov krmilnika, ki odpirajo in zapirajo dotok.

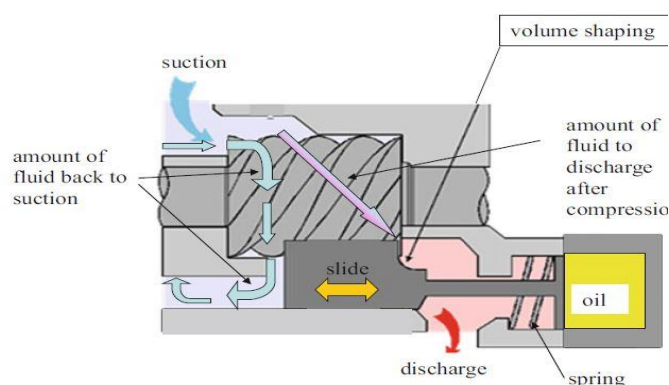
V Tabela 3 je prikazana sprememba izkoristka batnega kompresorja pri zmanjšanju oziroma dovajanju hladilnega plina.

Table 2.3 Active cylinder reduction in a reciprocating compressor

Total number of cylinders	Active cylinders	Capacity (%)	Reduction (%)
4	4	100	no
	2	50	50
6	6	100	no
	4	67	1/3
	2	33	2/3

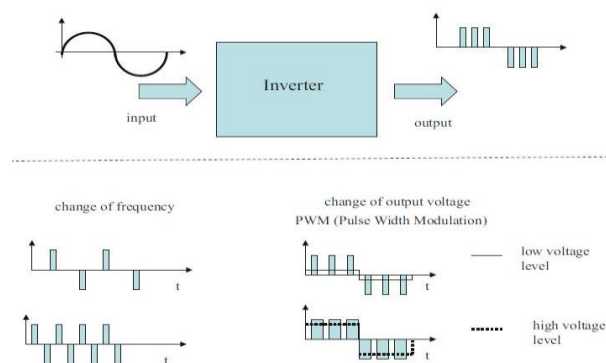
Tabela 3: Učinek redukcije cilindrov na primeru recipročnega kompresorja
(Vir: Grassi, 2018)

Na Slika 15 je prikazan obhod, kjer plin na sesalnem delu naredi prazno pot.



Slika 15: Prikaz redukcije pri rotacijskem kompresorju
(Vir: Grassi, 2018)

Pri rotacijskih kompresorjih lahko večjo učinkovitost dosežemo tudi s prilagajanjem vrtilne hitrosti (rotation speed) motorja. Pri električnem motorju to dosežemo z **inverterjem**. Naloga inverterja je, da regulira frekvenco in omogoča bolj gladko in učinkovitejše delovanje kompresorja. Inverter deluje tako, da spreminja AC vhodno napetost v DC napetost. To doseže z električnimi pulzi različnih amplitud in frekvenc - PWM (pulse width modulation), ki simulirajo AC napetost. Sprememba frekvence moduliranega pulza PWM vpliva na spremembo števila vrtljajev motorja in učinkovitejše delovanje kompresorja.



Slika 16: Delovanje inverterja
(Vir: Grassi, 2018)

Pri **vijačnih** kompresorjih tlak regulira drsnik (angl. slide valve), ki spreminja volumen sprejetega (sproščenega) plina. Njegovo premikanje sproža oljni bat, tako da vzdržuje konstanto volumetrično razmerje (izentropično učinkovitost) (Grassi, 2018).

Podobno poteka regulacija tlaka pri **spiralnih** kompresorjih, in sicer s spreminjanjem osne razdalje med premično in fiksno spiralo. To aktivira digitalni signal, ki sproža regulacijo olja na premični osi. Proces omogoča neprekinjeno delovanje kompresorja z zanemarljivo izgubo moči (Grassi, 2018).

5.2.3 Povratni ventil

Povratni ventil je nameščen med izhodnim delom kompresorja in vhodnim delom kondenzatorja in je namenjen preusmerjanju hladilnega plina v primeru nenadzorovanega segrevanja ali ohlajanja.

Primer uporabe predstavlja toplotna črpalka, pri kateri se zaradi slabega pretoka zraka ustvari ledena plast na ventilacijskem sistemu, ki zmanjša pretok zraka in zniža temperaturo hladilnega plina. Da se temu izognemo, uporabimo tripolni plinski ventil, ki preusmeri pretok hladiva v uparjalnik, to je del toplotne črpalke, ki hladiva uparja.

5.2.4 Kondenzator

Kondenzator je del hladilnega sistema, ki ima funkcijo prenosa toplote iz medija z višjim na medij z nižjim energijskim potencialom. V praksi to pomeni, da prenaša toploto iz hladilne tekočine (npr.: freon, CO₂, amonijak itd.) na ogrevalni medij (npr. voda, zrak, glikol). Z oddajo toplote se hladilna tekočina, ki je pri vstopu v kondenzator v plinastem stanju, ohladi do temperature, pri kateri kondenzira. To poteka pri konstantnem tlaku.

Pri toplotnih črpalkah so kondenzatorji izmenjevalci toplote med hladilnim plinom in vodo (hladilni plin/voda) ali hladilnim plinom in zrakom (hladilni plin/zrak). V centralnem sistemu ogrevanja se najpogosteje uporablja kondenzator hladilni plin/voda, ki prinaša toploto s konvekcijo iz radiatorjev (polnjeni z vodo) v naravno krožeč zrak prostora. Za sisteme toplozračnega ogrevanja in klimatizacije se uporablja kondenzator hladilni plin/zrak, ki za posredni medij uporablja zrak. Pri tem prehaja toplota v prostor s pomočjo ventilatorja. V primerjavi z naravnim kroženjem dosega ventilator večji pretok zraka, vendar pri večjem hrupu.

Prenos toplote kondenzatorja opišemo z grelno močjo Q_{kond}

$$Q_{kond} = Q_{TČ} = \dot{m}_{GM} * c_{GM} * dT_{GM} = \dot{m}_{hl} * q_k = \dot{m}_{HL} * (h_1 - h_2)$$

*Enačba 5: Grelna moč kondenzatorja
(Vir: Grobovšek, 2009, str. 113)*

kjer pomenijo:

$\dot{m}_{GM}$: masni tok posrednega medija skozi kondenzator, kg/s

c_{GM} : specifično grelno kapaciteto,

dT_{GM} : razliko med temperaturo medija na vstopu in izstopu iz kondenzatorja, °C

q_k - specifično grelno moč kondenzatorja, J/kg

h_1 - specifično entalpijo hladiva pri vstopu v kondenzator (oziroma pri izstopu iz kompresorja)

h_2 - specifično entalpijo hladiva pri izstopu iz kondenzatorja (oziroma pri vstopu v ekspanzijski ventil)

5.2.5 Uparjalnik

Pred vstopom v kompresor gre hladilni plin čez uparjalnik, ki s pomočjo zunanje toplote omogoči popolno izparevanja hladilnega plina. Prenos toplote prenosni medij (npr. zrak, solna raztopina, voda, glikolna zmes) opravi s pomočjo konvekcije.

Proces v uparjalniku se začne s hladilom, ki je delno v kapljevinskem, delno v plinastem stanju. V uparjalniku se na osnovi zunanje toplote pri konstantnem tlaku hladilna tekočina popolnoma upari. Popolno uparjanje hladiva je potrebno, da se naslednja faza v delovanju TČ (to je kompresija) izvede brez težav. Neuparjeno (utekočinjeno) hladivo lahko namreč v fazi kompresije povzroči hidravlični udar. Za to regulacijo skrbi elektronski ali tlačni ekspanzijski ventil.

Prenos toplote v toplotno črpalko opredelimo z enačbo:

$$Q_{up} = Q_{t\check{c}} = \dot{m}_{pm} * C_{pm} * dT_{pm} = \dot{m}_{hl} * q_i = \dot{m}_{hl} * (h_1 - h_4) \\ = U_{up} * A_{up} * (T_{pm,sr} - T_i)$$

Enačba 6: Hladilna moč uparjalnika

(Vir: Grobovšek, 2009, str. 105)

kjer pomenijo:

Q_{up} : hladilna moč uparjalnika,

$\dot{m}_{pm}$: masni tok posrednega medija skozi uparjalnik, kg/s,

C_{pm} : specifična toplotna kapaciteta posrednega medija,

dT_{pm} : razliko med temperaturo posrednega medija na vstopu in izstopu iz uparjalnika, stop. C,

$\dot{m}_{hl}$: masni tok hladiva v hladilnem sistemu,

q_i : specifično grelno moč uparjalnika, J/kg,

h_1 : specifično entalpijo hladiva pri izstopu iz uparjalnika oziroma vstopu v kompresor,

h_4 : specifično entalpijo hladiva pri vstopu v uparjalnik oziroma izstopu iz ekspanzijskega ventila,

U_{up} : koeficient prehoda toplote uparjalnika,

A_{up} : površina za prenos toplote,

$T_{pm,sr}$: srednja temperatura posrednega medija pri prehodu skozi uparjalnik,

T_i : temperatura izparevanja hladiva.

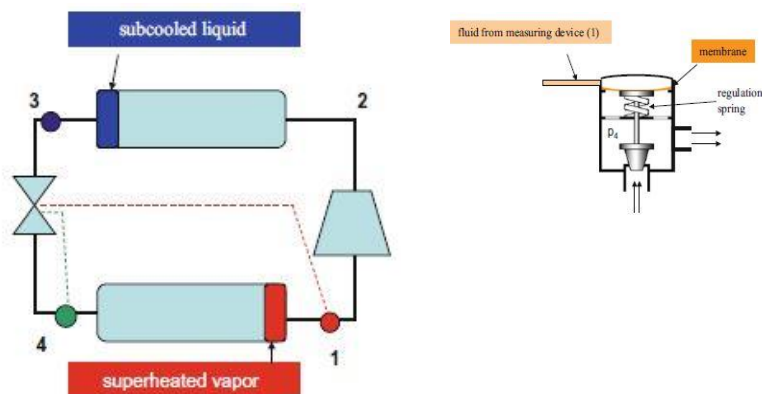
5.2.6 Ekspanzijski ventil

Vloga ekspanzijskega ventila je regulirati tlak in temperaturo hladilnega plina, ki v ponovnem ciklu v toplotno črpalki vstopa v uparjalnik. Tu je hladivu dodana energija posrednega medija, kar pospeši uparjanje plina. Ta proces zaznava ekspanzijski ventil z ampulo oziroma senzorjem, ki preko membrane ali koračnega motorja regulira pretok hladiva skozi ekspanzijski ventil. Osnovna naloga ventila je povečati volumen hladilnega plina in s tem znižati njegovo temperaturo do vrednosti, ki je nižja od posrednega medija in omogoča nadaljnje hlajenje hladilne tekočine. Proces se nadaljuje, dokler hladivo popolnoma ne izpari.

Danes se najpogosteje uporabljajo ekspanzijski ventili s tremi različnimi sistemi krmiljenja:

- klasična (enostavna) kapilarna cev,
- termostatski ekspanzijski ventil: tlak alkoholne ampule, ki je fiksiran med uparjalnikom in kompresorjem, pritiska na membrano, ki regulira pretok hladilne tekočine,

- elektronski ekspanzijski ventil: s temperaturnim senzorjem, ki je nameščen med uparjalnikom in kondenzatorjem, pošilja podatke do krmilnika, ta pa krmili koračni motor na ekspanzijskem ventilu.



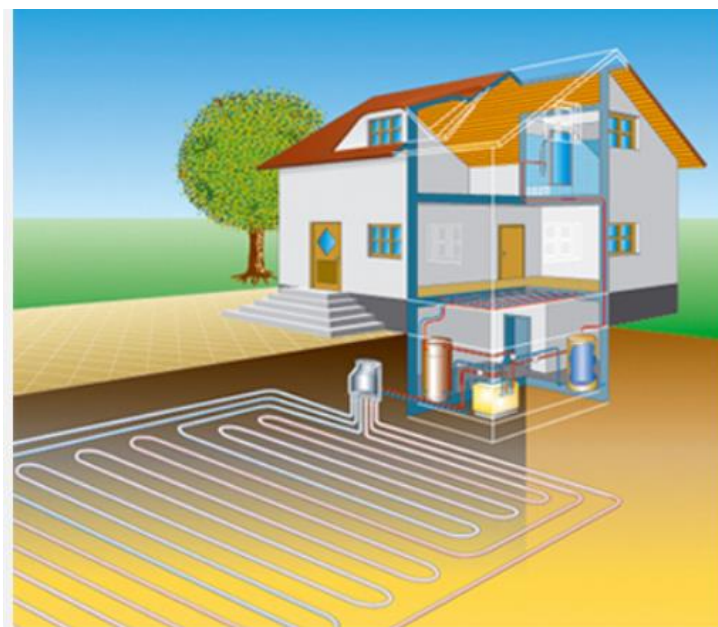
Slika 17: Pozicija ekspanzijskega ventila v sistemu
(Vir: Grassi, 2018)

5.3 Ostali deli sistema toplotne črpalke zemlja/voda

Načinov za priklop toplotne črpalke zemlja/voda je veliko. Med vsemi iščemo možnost, ki bi glede na razpoložljiv prostor, vir energije in ceno investicije najbolj ugaljala porabniku.

5.3.1 Klasični zemeljski kolektor

Klasični zemeljski kolektor se dimenzionira podobno kot ostale toplotne črpalke. Začne se z izračunom toplotnih izgub stavbe, izgub prezračevanja in sanitarne vode. Iz teh podatkov dobimo tip toplotne črpalke in število ur za obratovanje. Nato določimo temperaturo ogrevalnega toka (T_{pr}) in minimalno temperaturo posrednega medija v uparjalniku (glikola). Nazadnje določimo še moč toplotne črpalke, ki je enaka razliki moči uparjalnika in kompresorja, in s tem dobimo potrebno energijo odvzema vode iz tal.



Slika 18: Zemeljski kolektor

(Vir: Zerox, 2021)¹¹

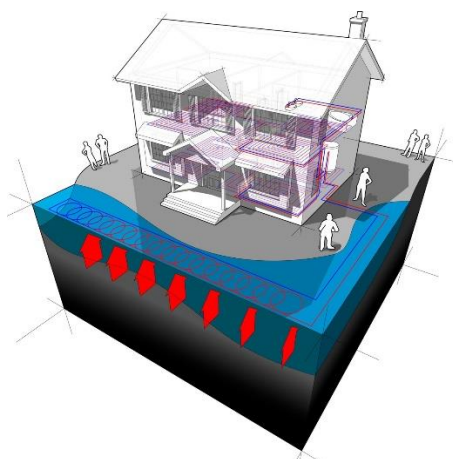
5.3.2 Kompaktni vertikalni in horizontalni kolektor voda/voda

Ti kolektorji se uporabljajo, če je v bližini na voljo vir vode, ki omogoča izkoriščanje energije površinskih ali podtalnih voda z izmenjevalcem.

Površinske vode imajo temperaturo med $T = 8-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, kar prinaša $q = 6,5\text{ kW/m}^3$ energije pri pretoku skozi toplotno črpalko (uparjalnik). Razmak med cevmi v uparjalniku mora znašati vsaj 15 m, da se zmanjša vpliv temperature izkoriščene vode na sesalni del.

V primeru uporabe podtalnih voda moramo pridobiti soglasje nadzornih institucij in zagotoviti primeren pretok. Najmanjši zahtevan pretok podtalne vode na globini 5 m, kamor na sesalni vrtino vstavimo potopno črpalko, more biti $q = 2\text{ m}^3/\text{h}$. Te toplotne črpalke so praviloma moči med $Q = 8-40\text{ kW}$.

¹¹ V seznamu virov: Zerox (b. l.). *Zemeljski kolektor*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.pinterest.com/pin/513762269975086402/?form=MY01SV&OCID=MY01SV>



Slika 19: Toplotna stoječa voda
(Vir: MojMojster Revij, 2021a)¹²

5.3.3 Zemeljski kolektor v zbiralnem jarku

V primeru, da ni dovolj površin za vgradnjo horizontalnega kolektorja, lahko kolektor vgradimo vzporedno v kanal z enakomerno razporeditvijo cevi in večjo globino (1,5–2 m) (t. i. zbiralni jarek). Razdalja med cevmi po navadi znaša med 0,7–1,2 m.



Slika 20: Zemeljski kolektor v zbiralnem jarku
(Vir: Arhem d.o.o, 2021)¹³

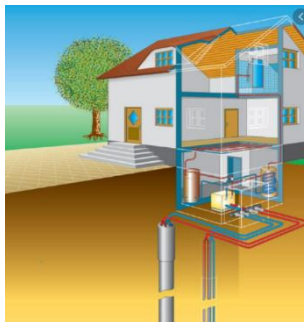
5.3.4 Spiralni zemeljski kolektor

Spiralni zemeljski kolektorji se uporabljajo kot finančno bolj ugodna oblika za pridobivanje energije iz večjih globin. Ti kolektorji so lahko v kompaktni in spiralni obliki.

¹² V seznamu virov: MojMojster Revija (b. l.). *Toplotna črpalka voda/voda in zemlja/voda*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: https://www.mojmojster.net/clanek/610/Toplotne_crpalke_voda_voda_in_zemlja_voda_gorenje

¹³ V seznamu virov: Arhem d.o.o. (b. l.). *Izvedbe in dimenzioniranje zemeljskih kolektorjev za ogrevanje in hlajenje s toplotno črpalko*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.pasivnagradnja.com/wp-content/uploads/2013/05/toplotna-crpalke-dimenzioniranje-zemeljskega-kolektorja-ARHEM-doo.pdf>

Kompaktni kolektorji so po navadi vgrajeni na globini 3–5 m pod površjem zemlje. Njihova energetska učinkovitost je 25 W/m^2 in je enakovredna geosondi s površino 200 m^2 . Večja učinkovitost se lahko doseže s podtalnico terena, ki ima večje izkoristke energije. Pri klasični spirali dosegamo slabše energetske rezultate (13 W/m^2): spirale so položene na globino med 4,5–6,5 m.



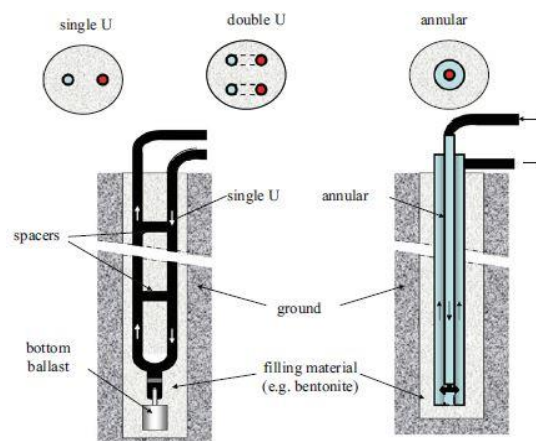
Slika 21: Spiralni kolektor
(Vir: Zerox-1, 2021)¹⁴

5.3.5 Zemeljski kolektor v vrtini

Zemeljski kolektorji so po navadi vgrajeni na globinah 50–150 m. Delujejo po principu zbiranja zemeljske energije, ki se na globini 8 metrov stabilizira v odvisnosti od temperature na površini zemlje.

Moč zemeljske energije je odvisna od vrste zemljin in lahko znaša med 20 W/m in 100 W/m . V splošnem lahko tla oziroma prst delimo na suha peščena (20 W/m), vlažna peščena (40 W/m), vlažna kamnita (60 W/m) in na podtalnico (do 100 W/m), kjer na osnovi meritev uparilnika dobimo podatke moči posamezne globinskega izmenjevalca.

¹⁴ V seznamu virov: Zerox-1 (b. l.). Sonda. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <http://slo.zerox.si/images/sonda.jpg>

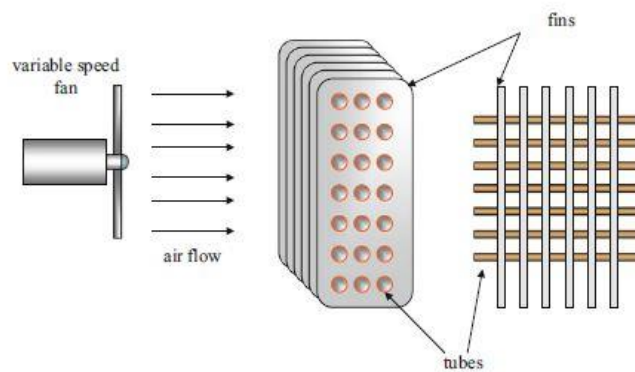


Slika 22: Zemeljski kolektor – vrtna
(Vir: Grassi, 2018)

5.4 Ostali sestavni deli toplotne črpalke zrak/voda

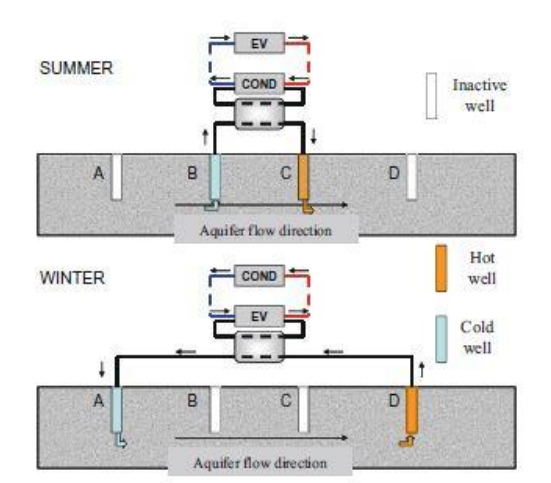
5.4.1 Zračni uparjalnik

Namen uparjalnika je popolno uparjanje hladilnega plina, ki ima lastnosti neuparjanja, na daljšem temperaturnem intervalu. To doseže preko posrednega medija.



Slika 23: Zračni uparjalnik
(Vir: Grassi, 2018)

5.5 Ostali sestavni deli toplotne črpalke voda/voda



Slika 24: Kolektor podtalnice
(Vir: Grassi, 2018)

Pri toplotni črpalke voda/voda je naloga kolektorja prenos toplote iz podtalnice na hladilni plin (npr. glikol). Talna voda oziroma podtalnica mora imeti pri tem pretok vsaj $2 \text{ m}^3/\text{h}$ in temperaturo nad 7°C .

Pri vgradnji toplotne črpalke voda/voda mora biti razdalja med ponorom in sesalnim delom vsaj 15 m. V eno izmed obeh vrtin vstavimo potopno črpalko, ki jo elektronsko priklopimo na glavno krmilno ploščo. Ob prenosu toplote pade temperatura podtalnice pri stiku s hladilnim plinom za 4–5 K. Moči toplotnih črpalk z izkoriščanjem podtalnice so po navadi večje in se gibljejo med 8–40 kW.

5.6 Ostali sestavni deli toplotne črpalke zrak/zrak

5.6.1 Vzratni ventil

Vzratni ventil je namenjen za odmrzovanje zračnega uparjalnika, ki nastane zaradi nizkega pretoka zraka, nizke zunanje temperature, manjše količine hladilnega plina ali težave z ekspanzijskim ventilom. Omenjene napake pogosto povzročijo nabiranje ledu na uparjalniku, kar poslabša gretje hladilnega plina. Način reševanja te težave je zamenjava tokokroga plina, ki omogoča odtalitev uparjalnika s pomočjo izhodnih plinov kompresorja.

5.6.2 Hranilnik toplote

Ogrevanje s toplotnimi črpalkami je primerno predvsem za zgradbe, kjer energijsko število ogrevanja ne presega $70 \text{ kW h}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Toplovodni sistemi zahtevajo regulacijo temperature v posameznih prostorih, kar lahko povzroča prepogoste vklope/izklope toplotne črpalke. Da bi se temu izognili, lahko v ogrevalni sistem vgradimo hranilnik toplote in tako ločimo celotni centralni sistem od toplotne črpalke. S tem dosežemo večjo regulacijo pretoka zraka in učinkovitejše delovanje toplotne črpalke (Grobvšek, 2009).

Pri dimenzioniranju hranilnika moramo upoštevati, da je prostornina hranilnika dovolj velika, da lahko premostimo zaporni čas in da pri slabše izoliranih stavbah preprečimo premočno podhlajevanje. V tem primeru lahko prostornino ocenimo z *Enačba 7*. Če zapornega časa ne upoštevamo, prostornino izračunamo po *Enačba 8*.

$$V_{ht} = Q_g * (60 - 80l) ;$$

Enačba 7: Volumen hranilnika toplote - slabo izoliran objekt
(Vir: Grobvšek, 2009, str. 260)

kjer je Q_g : grelna moč TČ

$$V_{ht} = Q_g * (20 - 25l)$$

Enačba 8: Volumen hranilnika toplote - izoliran objekt
(Vir: Grobvšek, 2009, str. 260)

Pri ogrevanju s toplotno črpalko zrak/voda prostornino hranilnika določimo po *Enačba 9*.

$$V_{ht} = V_{o\check{c}}/6$$

Enačba 9: Volumen hranilnika toplote - oddaljevanje zračne toplotne črpalke
(Vir: Grobvšek, 2009, str. 261)

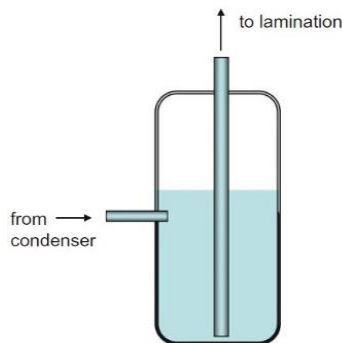
kjer je $V_{o\check{c}}$: prostorninski tok črpalke.

5.6.3 Magnetni filter

Naloga magnetnega filtra v hidro sistemu je preprečiti vstop mehanskih trdih delcev v črpalko sistema. Delovanje črpalke namreč najpogosteje ovirajo delci iz kovinskih cevi. Namen naprave je, da te delce ujame pred vstopom v TČ, kjer je nevarnost udara črpalkega rotorja z zagozdenim delcem.

5.6.4 Sprejemnik tekočine

Sprejemnik tekočine je del zaprtega sistema toplotne črpalke, ki se nahaja v tokokrogu med kondenzatorjem in ekspanzijskim ventilom. Njegova naloga je sprejeti kondenzat ohlajenega plina, ki priteče iz kondenzatorja.



$$q = h_i - h_u = c_{pA}(T_i - T_u) + r'(x_i - x_u)$$

$$T_u = T_i - \frac{[q - r'(x_i - x_u)]}{c_{pA}}$$

se $x_i = x_u$

$$T_u = T_i - \frac{q}{c_{pA}}$$

Slika 25: Sprejemnik tekočine
(Vir: Grassi, 2018)

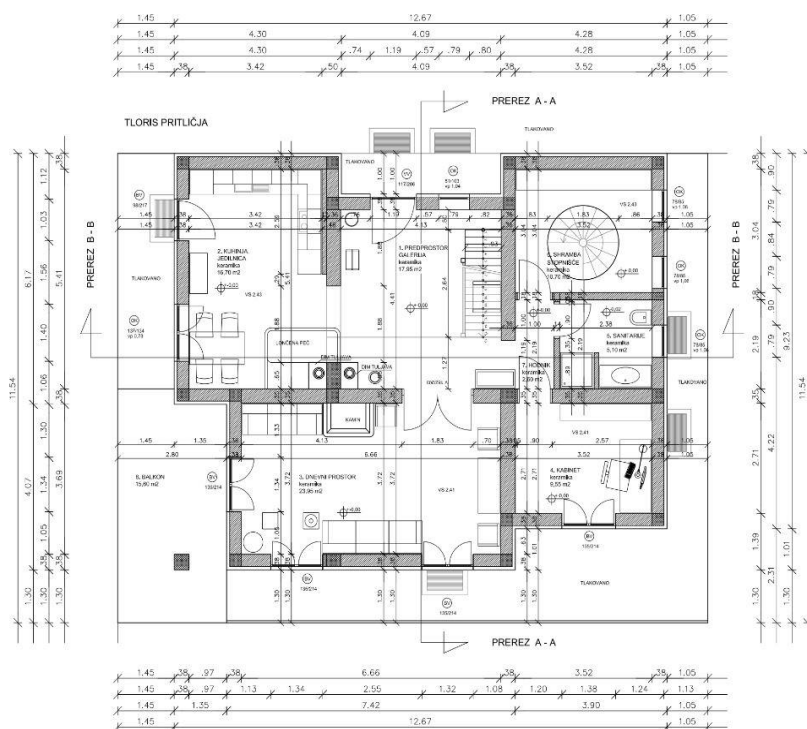
6 TOPLOTNE IZGUBE IN STROŠKOVNA POVEZAVA

Pri izbiranju toplotne črpalke je ključno, da poznamo potrebe po ogrevanju oziroma ogrevalno obremenitev črpalke, to je moč, ki jo mora toplotna črpalka zagotoviti za ogrevanje prostorov oziroma sanitarne vode. Ogrevalna obremenitev črpalke je odvisna od več dejavnikov, predvsem pa od velikosti, želene/projektne temperature in od izolacije oziroma toplotnih izgub porabnikov toplote (centralne, sanitarne inštalacije).

V nadaljevanju se bomo omejili le na potrebe za ogrevanje prostorov oziroma stavb.

Potek izračuna potrebne toplotne moči za ogrevanje stavb je po Preku (2013) sledeč:

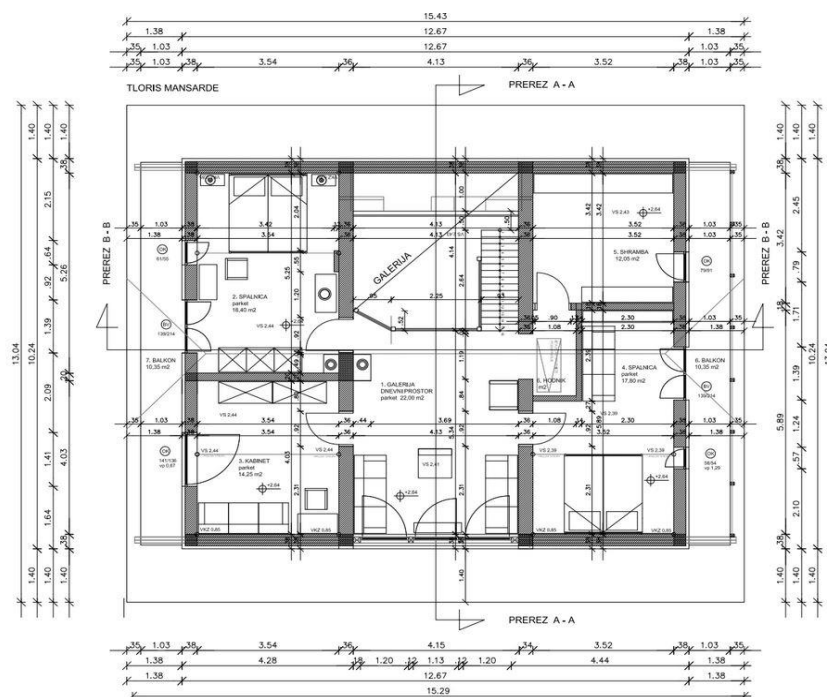
1. določitev klimatskih podatkov (zunanje projektne in povprečne letne zunanje temperature),
2. določitev pogojev in notranje projektne temperature za vsak prostor stavbe,
3. določitev dimenzijskih in toplotnih lastnosti stavbe,
4. izračun toplotnih izgub stavbe, to je projektnih transmisijskih toplotnih izgub (toplotnih izgub skozi ovoj stavbe, neogrevane prostore, sosednje prostore, tla) in projektnih prezračevalnih toplotnih izgub,



Slika 27: Tloris mansard

(Vir: Biro Cegnar, 2021)¹⁶

¹⁶ V seznamu virov: Biro Cegnar (b. l.). *Legalizacije objektov zgrajenih pred 1998 in legalizacije stavb zgrajenih pred 2005*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://biro-cegnar.com/legalizacije/>



Slika 28: Tloris pritličja

(Vir: Biro Cegnar, 2021)¹⁷

Zunanjo projektno temperaturo in povprečno letno zunanjo temperaturo lahko določimo s pomočjo zemljepisne lokacije (koordinat) stavbe in meteroloških podatkov, ki so razpoložljivi na spletni povezavi Agencija RS za okolje (Prek, 2013)

Podatek o projektni temperaturi prostorov oziroma stavb je po navadi določen v projektni dokumentaciji, podan pa je tudi v standardu EN 12831 in Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb (UL RS 42/2002) (Prek, 2013)

Pri opredelitvi toplotnih lastnosti stavb se upoštevajo predvsem naslednji podatki (Prek, 2013): površina stavbe in elementi stavbe (k), volumen zraka v vsakem prostoru, toplotna prehodnost vsakega elementa stavbe, linearna toplotna prehodnost vsakega toplotnega mosta, dolžina vsakega toplotnega mosta.

6.1 Izračun toplotnih izgub

Prehod toplote v stavbah je posledica razlik v temperaturi med notranjostjo stavbe in okolico. Ko je zunanja temperatura nižja od notranje temperature, zgradba oddaja temperaturo v okolico. Izguba energije s toplotnim preходом in zračenjem, t. i.

¹⁷ V seznamu virov: Biro Cegnar (b. l.). *Legalizacije objektov zgrajenih pred 1998 in legalizacije stavb zgrajenih pred 2005*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://biro-cegnar.com/legalizacije/>

toplotna izguba, prehaja čez zidove, tla, okna in streho. Toplota prehaja skozi različne materiale, njen pretok pa je odvisen od razlike v temperaturi in toplotni prevodnosti materialov.

Celotne toplotne izgube ogrevanih prostorov so rezultat transmisijskih toplotnih izgub, to je toplotnih izgub skozi ovoj stavbe, neogrevane prostore, sosednje prostore in tla, in izgub zaradi prezračevanja.

$$Q_t = U_i A_i (t_r - t_0) = Q_{stena} + Q_{streha} + Q_{tla} + Q_{izpust} + Q_{me.vent}$$

Enačba 10: Toplotne izgube stavbe - skupaj

(Vir: Prek, 2013, str. 11)

$$Q_{stena} = U_{stena} A_{stena} (t_r - t_0)$$

Enačba 11: Toplotne izgube stene

(Vir: Prek, 2013, str. 12-15)

$$Q_{streha} = U_{streha} A_{streha} (t_r - t_0)$$

Enačba 12: Toplotne izgube strehe

(Vir: Prek, 2013, str. 12-15)

$$Q_{tla} = U_{tla} A_{tla} (t_r - t_0)$$

Enačba 13: Toplotne izgube tal

(Vir: Prek, 2013, str. 12-15)

$$Q_{izpust} = U_{izpust} C_p (t_r - t_0)$$

Enačba 14: Toplotne izgube zaradi naravnega prezračevanja (izpust skozi vrata, okna)

(Vir: Prek, 2013, str. 12-15)

$$Q_{meh.vent} = q_{vent} C_p (t_r - t_{sup})$$

Enačba 15: Toplotne izgube zaradi mehanskega prezračevanja

(Vir: Prek, 2013, str. 12-15)

6.1.1 Transmisijske toplotne izgube

Transmisijske toplotne izgube (toplotni tok) so seštevek toplotnih izgub skozi ovoj stavbe, neogrevane prostore, sosednje prostore in tla (Enačba 16)

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{t,ig} + H_{T,ij}) * (\theta_{int,i} - \theta_e) [W]$$

Enačba 16: Transmisijske toplotne izgube ogrevanega prostora

(Vir: Prek, 2013, str. 11)

kjer pomenijo:

$\Phi_{T,i}$... toplotne izgube ogrevanega prostora (i) (toplotni tok) [W],

$H_{T,ie}$...koeficient transmisijskih toplotnih izgub ogrevanega prostora (i) v okolici (e) skozi ovoj stavbe [W/K],

$H_{T,iue}$...koeficient transmisijskih toplotnih izgub ogrevanega prostora (i) v okolico (e) skozi neogrevan prostor (u) [W/K],

$H_{t,ig}$...koeficient transmisijskih toplotnih izgub ogrevanega prostora (i) v tla (g) [W/K],

$H_{t,ij}$...koeficient transmisijskih toplotnih izgub ogrevanega prostora (i) v sosednji ogrevan prostor(j), ki ima bistveno drugačno temperaturo [W/K],

$\theta_{int,j}$...notranja projektna temperatura ogrevanega prostora (i) [°C],

θ_e ...zunanja projektna temperatura [°C] (Projektna temperatura je definirana kot dolgoletno povprečje najnižje letne vrednosti tridnevnega povprečja minimalne dnevne temperature (ARSO, 2021)

Neposredne toplotne izgube ogrevanega prostora v okolico – **koeficient transmisijskih toplotnih izgub iz ogrevanega prostora skozi ovoj stavbe** - so določene s toplotnimi lastnostmi gradbenih materialov (U) in toplotnih mostov (l), ki ločijo prostor od okolice, kot so stene, strop, vrata, okna. Koeficient transmisijskih toplotnih izgub izračunamo z *Enačba 17*.

$$H_{T,e} = \sum_k A_k U_k e_k + \sum_l \Psi_l l_l e_l ; [W/K]$$

Enačba 17: Toplotne izgube ogrevanega prostora skozi ovoj stavbe

(Vir: Prek, 2013, str. 11)

kjer pomenijo:

A_k : površina elementa stavbe (k) [m²],

U_k : toplotna prehodnost elementa stavbe (k) [W/mK],

Ψ_l : linijska toplotna prehodnost toplotnega mosta (l) [W/mK],

l_l : dolžina linijskega toplotnega mosta (l) [m],

e_k, e_l : korekcijska faktorja za upoštevanje izpolnjenosti elementov vplivu okolja, npr. izoliranost, vpijanje vlage, hitrost vetra. Če ti podatki niso podani v nacionalnem dodatku standardu EN12831, upoštevamo vrednost 1.0.

Na podoben način izračunamo toplotne izgube skozi neogrevan prostor, to je koeficient transmisijskih toplotnih izgub ogrevanega prostora (i) v okolico (e) skozi neogrevan prostor (u), kjer e predstavlja faktor redukcije zaradi temperaturnih razlik med neogrevanim prostorom in okolico.

Toplotne izgube ogrevanega prostora skozi tla ($H_{t,g}$), ki nastanejo na stikih sten z zemljo, so odvisne od več parametrov: površine izpostavljenega dela, globine kletnih tal, toplotnih lastnosti tal. V stacionarnem stanju jih merimo na dolžini metra v skladu z *Enačba 18*.

$$H_{T,g} = f_{g1}f_{g2}(\sum_k A_k U_{equiv,k})G_w \text{ [W/K]}$$

Enačba 18: Toplotne izgube ogrevanega prostora skozi tla

(Vir: Prek, 2013, str. 16)

kjer pomenijo:

f_{g1} : korekcijski faktor za upoštevanje vpliva letnega nihanja zunanje temperature. V primeru, da ni razpoložljivih vrednosti v nacionalnem dodatku standarda EN12831, upoštevamo vrednost $f_{g1} = 1,45$,

f_{g2} : faktor znižanja temperature zaradi vpliva razlike med

povprečno letno zunanjo temperaturo in zunanjo projektno temperaturo,

A_k : površina elementa stavbe (k) v stiku s tlemi [m^2],

$U_{equiv,k}$: ekvivalentna toplotna prehodnost elementa stavbe (k) [m^2],

G_w : korekcijski faktor za upoštevanje vpliva podtalnice. Če je nivo podtalnice več kot 1 m pod nivojem tal kleti oz. talne konstrukcije, vpliva podtalnice ne upoštevamo. Ta faktor izračunamo po postopku iz standarda EN13370 in mora biti določen v nacionalnem dodatku standarda. Če tega podatka ni, upoštevamo naslednje vrednosti:

$G_w = 1,0$...če je razdalja med nivojem podtalnice in talno konstrukcijo večja od 1 m,

$G_w = 1,15$...če je razdalja med nivojem podtalnice in talno konstrukcijo manjša od 1 m.

Koeficient transmisijskih toplotnih izgub ogrevanega prostora v sosednji ogrevan prostor, ki ima bistveno drugačno temperaturo, je izračunan po Enačba 19.

$$H_{ij} = \sum_k f_{ij} A_k U_k; \text{ [W/K]}$$

Enačba 19: Toplotne izgube skozi prostor z bistveno drugačno temperaturo

(Vir: Prek, 2013, str. 23)

kjer pomeni:

f_{ij} : korekcijski faktor, ki upošteva temperaturne razlike med sosednjih prostorom in zunanjo projektno temperaturo,

A_k : površina elementa stavbe (k) [m^2],

U_k : toplotna prehodnost elementa stavbe (k) [W/m^2K].

Transmisijske toplotne izgube (toplotni tok) ogrevanega prostora (i) lahko poenostavljeno izračunamo, kot v Enačba 20.

$$\theta_{T,i} = \sum_k f_k A_k U_k (\theta_{int,i} - \theta_e)$$

Enačba 20: Transmisijske toplotne izgube ogrevanega prostora (poenostavljen izračun)

(Vir: Prek, 2013, str. 24)

kjer pomenijo:

f_k : korekcijski faktor za element (k); vrednosti posameznih elementov so prikazane v Tabela 4,

A_k : površina elementa stavbe (k) [m^2],

U_k : toplotna prehodnost elementa stavbe (k) [W/m^2K].

Toplotne izgube:	f_k	komentar
neposredno v okolico	1,00	če so toplotni mostovi izolirani
	1,40	če so toplotni mostovi neizolirani
	1,00	za okna in vrata
skozi neogrevan prostor	0,8	če so toplotni mostovi izolirani
	1,12	če so toplotni mostovi neizolirani
skozi tla	0,3	če so toplotni mostovi izolirani
	0,42	če so toplotni mostovi neizolirani
skozi podstrešje	0,90	če so toplotni mostovi izolirani
	1,26	če so toplotni mostovi neizolirani
skozi dvignjena tla	0,90	če so toplotni mostovi izolirani
	1,26	če so toplotni mostovi neizolirani
Skozi sosednjo stavbo	0,50	če so toplotni mostovi izolirani
	0,70	če so toplotni mostovi izolirani
Skozi sosednje stanovanje	0,30	če so toplotni mostovi izolirani
	0,42	če so toplotni mostovi izolirani

Tabela 4: Vrednosti korekcijskih faktorjev glede na vir toplotne izgube
(Vir: Prek, 2013)

Po standardu SIST EN 12831 je toplotna prehodnost elementov stavbe ali ogrevanih prostorov opredeljena kot:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_n} + \frac{1}{\alpha_z} + \sum \frac{d}{\lambda}$$

Enačba 21: Toplotna prehodnost
(Vir: BS SIST EN 12831:2003, 2009)¹⁸

kjer pomeni:

U : toplotna prehodnost, [W/m^2K],

α_n : koeficient prehoda toplote na notranji strani stene, [m^2K/W],

α_z : koeficient prehoda toplote iz zunanje strani stene, [m^2K/W],

¹⁸ V seznamu virov: BS EN 12831:2003 (2009). *Heating systems in buildings — Method for calculation of the design heat load*. Incorporating Corrigendum January 2009. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: https://canvas.salfordcc.ac.uk/files/211561/download?download_frd=1&verifier=zmwUultBD5n0CndJE1tJ3gsJa1D8NS4FgdqEYCXD

d : debelina sloja materiala, [m],

λ : toplotna prevodnost, [W/m²K].

Toplotne lastnosti gradbenih materialov dobimo pri proizvajalcu ali v tehnični literaturi. Toplotna prevodnost materiala, λ [W/m²K], je obratno sorazmerna z izolacijskimi značilnostmi materiala. S kvaliteto materialov na področju toplotnih prehodov se obratno sorazmerno spreminja vrednost prevodnosti. Toplotna prevodnost kompozitnih materialih je uteženo povprečje vrednosti posameznih materialov in je določena z maso debeline in vrste materiala. Pričakovane vrednosti toplotne prevodnosti materialov, λ [W/m²K], prikazuje Tabela 5.

Prevodnost materiala		
Koda mat.	Opis	λ W/m ² K
1	Opeka	0,8
2	Beton	1,75
11	Gips	0,35
13	Cementna glazura	1,15
21	Polistiren	0,043
23	Kamena volna	0,042
24	Brizgan polistiren	0,037
25	Panel iz mineralnih vlaken	0,041
31	Gramoz	0,7
32	Bitumen	0,23
41	Neprezračena zračna plast s=40	0
51	Les	0,15
53	Kovinski kompozit	0,12
Površinska upornost(med zrakom in zgradbo)		
Material koda	Opis	(Rsi ali Rse)/(m ² K/W)
41	Neprezračena plast s=40mm	0,18
61	Notranji površinski upor(horizontalni gretje)	0,13
62	Zunanji površinski upor	0,04
63	Notranja površina upora	0,1
66	Notranja površina upora	0,17

*Tabela 5: Toplotna prevodnost materialov
(Vir: BS SIST EN 12831:2003)*

6.2 Primer izračuna toplotnih izgub stavbe (brez vpliva prezračevanja)

V nadaljevanju podajamo izračun toplotne prehodnosti ogrevanih prostorov stavbe za primer visoko- in nizkoenergijske stavbe. Obe stavbi se nahajata v okolici Nove Gorice, iz česar sledi predpostavljena zunanja projektna temperatura (θ_e) -7 °C in

temperaturni primanjkljaj 2500 Kdan (ARSO, 2021). Vhodni podatki o značilnostih posameznih elementov stavbe temeljijo na lastni oceni.

Detajl fasadnega zida

Material	Nizkoenergijska λ [W/mK]	Visokoenergijska λ [W/mK]
$1/\alpha_{\text{zunanji}}$	0,125	0,125
$1/\alpha_{\text{notranji}}$	0,043	0,043
$1/\alpha_{\text{material}}$	0,040	0,040
λ -izolacija	0,040	0,045
λ_3 -les	0,130	0,130
λ_5 -opeka	1,100	1,100
λ_1 -mavčna plošča	1,100	1,100
λ_5 -beton	1,1	1,1
λ_6 -ladijski pod	0,13	0,13
λ_7 -opečni zid	1,100	1,100
Okna	0,800	1,600

Tabela 6: Toplotna prevodnost sestavnih delov detajla fasadnega zida
(Vir: Lastni vir; Kraut, 1981)

Detajl strehe

MATERIAL \ d	λ	NIZKOENERGIJSKA	VISOKOENERGIJSKA
MAVČNA P.	λ_1	12 mm	12 mm
PARNA OVIRA	α_m	1 mm	1 mm
TOPLOTNA IZO.	λ_2	300 mm	100 mm
SLEP OPAŽ	λ_3	20 mm	20 mm
PARNO PREPUSTNA F.	α_m	1 mm	1 mm

Tabela 7: Debelina sestavnih delov detajla strehe
(Lastni vir)

Detajl tal/terena

MATERIAL \ d	Λ	NIZKOENERGIJSKA	VISOKOENERGIJSKA
LADIJSKI POD	λ_3	20 mm	20 mm
A.C. ESTRIH	λ_4	60 mm	60 mm
HIDRO IZO.	α_m	4 mm	4 mm
TOPLOTNA IZOLACIJA -1	λ_2	200 mm	30 mm
ZVOČNA IZO.	λ_2	20 mm	20 mm
A.B. PLOŠČA	λ_5	250 mm	250 mm
TOPLOTNA IZOLACIJA -2	λ_2	100 mm	-

Tabela 8: Debelina sestavnih delov detajla tal/teren
(Lastni vir)

Detajl tal (med prostori)

MATERIAL \ d	Λ	NIZKOENERGIJSKA	VISOKOENERGIJSKA
LADIJSKI POD	λ_6	20 mm	20 mm
A.C. ESTRIH	λ_5	60 mm	60 mm
HIDROIZOLACIJA	α_m	2 mm	2 mm
ZVOČNA IZO.	λ_2	20 mm	20 mm
A.B. PLOŠČA	λ_5	150 mm	150 mm
TOPLOTNA IZO.	λ_2	50 mm	50 mm
MAVČNE PLOŠ.	λ_1	12 mm	12 mm

Tabela 9: Debelina sestavnih delov detajla tal/strop
(Lastni vir)

Detajl zunanjih sten (stik teren)

MATERIAL \ d	Λ	NIZKOENERGIJSKA	VISOKOENERGIJSKA
MAVČNA P.	λ_1	12 mm	12 mm
OPEČNI ZID	λ_7	290 mm	290 mm
PARNA OVIRA	α_m	1 mm	1 mm
HIDRO. IZOL.	α_m	4 mm	4 mm
TOPLOTNA IZOL.	λ_2	300 mm	100 mm

Tabela 10: Debelina sestavnih delov detajla zunanjih sten/teren
(Lastni vir)

Detajl zunanjih sten (stik zrak)

MATERIAL \ d	Λ	NIZKOENERGIJSKA	VISOKOENERGIJSKA
MAVČNA P.	λ_1	12 mm	12 mm
OPEČNI ZID	λ_7	290 mm	290 mm
PARNA OVIRA	α_m	1 mm	1 mm
HIDRO IZOL.	α_m	4 mm	4 mm
TOPLOTNA IZOL.	λ_2	300 mm	100 mm
OMET	α_m	15 mm	15 mm

Tabela 11: Debelina sestavnih delov detajla zunanjih sten
(Lastni vir)

Detajl notranjih sten (stik zrak)

MATERIAL \ d	Λ	NIZKOENERGIJSKA	VISOKOENERGIJSKA
LADIJSKI OPAŽ	λ_6	12 mm	12 mm
ZVOČNA IZOL.	λ_2	50 mm	50 mm
LADIJSKI OPAŽ	λ_6	12 mm	12 mm

Tabela 12: Debelina sestavnih delov detajla notranjih sten
(Lastni vir)

Detajl stropa

MATERIAL \ d	Λ	NIZKOENERGIJSKA	VISOKOENERGIJSKA
LADIJSKI POD	λ_6	20mm	20mm
A.C. ESTRIH	λ_5	60mm	60mm
HIDROIZOLA CIJA	α_m	4mm	4mm
ZVOČNA IZO.	λ_2	30mm	30mm
A.B. PLOŠČA	λ_5	150mm	150mm
TOPLOTNA IZOL.	λ_2	30mm	30mm
FASADNI PREMAZ	α_m	10mm	10mm

Tabela 13: Debelina sestavnih delov detajla stropa
(Lastni vir)

Na osnovi izbranih vhodnih podatkov dobimo naslednji izračun toplotne prehodnosti za primer nizkoenergijske in visokoenergijske stavbe:

Detajl	NIZKOENERGIJSKA STAVBA (λ [W/mK], α [m ² K/W])										U [W/m ² K]
	$1/\alpha_z$	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7	$1/\alpha_M$	$1/\alpha_N$	
d_{streha} [m]		0,012	0,300	0,020							
Streha	0,043	1,100	0,040	0,13					0,080	0,125	0,126
$d_{\text{stena/teren}}$ [m]		0,012	0,300					0,290			
Zunanja stena/teren	0,043	1,100	0,040					1,100	0,080	0,130	0,125
$d_{\text{Zunanja stena}}$ [m]		0,012	0,300					0,290			
Zunanja stena/zrak	0,043	1,100	0,040					1,100	0,120	0,130	0,124
$d_{\text{Tla/teren}}$ [m]			0,320	0,020	0,060	0,250					
Tla/teren	0,043		0,040	0,130	1,100	1,100			0,040	0,130	0,116
$d_{\text{Tla-med}}$ [m]		0,012	0,070			0,210	0,020				
Tla-med ogrevalni prostori		1,100	0,040			1,100	0,130		0,040	0,130	0,439
$d_{\text{Notranja stena}}$ [m]			0,050				0,050				
Notranja stena-med prostori			0,040				0,130				0,612

Tabela 14: Izračun toplotne prehodnosti za primer nizkoenergijske stavbe
(Lastni vir)

Detajl	VISOKOENERGIJSKA STAVBA (λ [W/mK]; α [m ² K/W])										U [W/m ² K]
I	α_z	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_5	λ_6	λ_7	α_m	α_n	
$d_{\text{streha}}[\text{m}]$		0,012	0,100	0,020							
Streha	0,040	1,100	0,040	0,13					0,040	0,130	0,348
$d_{\text{stena/teren}}[\text{m}]$		0,012	0,100					0,290			
Zunanja stena/teren	0,040	1,100	0,040					1,100	0,080	0,130	0,331
$d_{\text{stena/zrak}}[\text{m}]$		0,012	0,100					0,290			
Zunanja stena/zrak	0,040	1,100	0,040					1,100	0,120	0,130	0,326
$d_{\text{Tla/teren}}[\text{m}]$			0,030	0,020	0,060	0,250					
Tla/teren	0,040		0,040	0,130	1,100	1,100			0,040	0,130	0,717
$d_{\text{Tla-med}}[\text{m}]$		0,012	0,070			0,210	0,020				
Tla-med ogrevanimi prostori		1,100	0,040			1,100	0,130		0,040	0,130	0,439
$d_{\text{stena-med}}[\text{m}]$			0,050				0,050				
Notranja stena-med prostori			0,040				0,130				0,612

Tabela 15: Izračun toplotne prehodnosti za primer visokoenergijske gradnje
(Lastni vir)

Pri izračunu toplotnih izgub (toplotnega toka) posameznih ogrevanih prostorov upoštevamo poenostavljeno formulo iz Enačba 20 (pri enotnem korekcijskem faktorju $f = 1,0$). Na tem mestu predpostavljamo, da izgube ne vključujejo učinkov prezračevanja.

PROSTORI, NIZKOENERGIJSKA STAVBA	Detajl [W]	U [W/m ² K]	Velikost A[m ²]	Območje A[m ²]	T _n -T _z = T[K]	Φ [W]
PRITLIČJE						
1.GALERIJA			18,21	4,41x4,13		
	tla-zemlja	0,116	18,21	4,41x4,13	8	16,8988 8
	Stena/zrak	0,124	10	4.13x2,42	27	33,48
	strop-ogrevani	0,124	18,21	4,41x4,13	27	60,9670 8
	Vrata-fasadna	2,000	2,2	1,1x2	27	118,8
	Okna	0,8	0,78	0,78x1	27	16,848
2.KUHINJA			19,11	5,41X3,42		
	Stena/zrak	0,124	23,05	10,54x2,42- (1,4x1+1,03x2)	27	77,1714
	Tla/zemlja	0,116	19,11	5.41x3.42	8	0
	Vrata-fasadna	2,000	2,06	1,03x2	8	17,7340 8
	Okna	0,800	1,4	1,4x1	27	111,24
3.KABINET				6,66x3,72	27	30,24
	stena/zrak	0,124	26,64	11,01x2,42		0
	Tla/zemlja	0,116	24,78	6,66x3,72		0
	Okno	0,800	4,01	4,01x1	27	89,1907 2
					27	77,6109 6
4.KABINET				3,52x2,71	27	89,1907 2
	Stena/zrak	0,124	15,08	6,23x2,42	27	77,6109 6
	Tla/zemlja	0,116	9,54	3,52x2,71	27	86,616
	Okno	0,800	1,38	1,38x1	27	89,1907 2
5.SANITARIJE			5,21	2,19x2,38		
	Stena/zrak	0,124	5,3	2,19x2,42	27	17,7444

	Tla/zemlja	0,116	5,21	2,19x2,38	8	4,83488
	Okno	0,800	0,79	0,79x1	27	17,064
6.SHRAMBA				3,04x3,52		
	Stena/zrak	0,124	15,88	6,56x2,42	27	53,1662 4
	Tla/zemlja	0,116	10,7	3,04x3,52	8	9,9296
	Okno	0,800	1,58	1,58x1	27	34,128
7.HODNIK						
	Tla/zemlja	0,116	2,19	2,19x1	8	2,03232
						0
MANSARDA						
1.GALERIJA						
	Stena/zrak	0,126	13,36	3,22X4,15	27	45,4507 2
	Tla/zrak	0,126	4,15	1x4,15	27	14,1183
	Streha/zrak	0,124	50,22	12,1x4,15	27	168,136 56
	Okno	0,800	7,3	1,76x4,15	27	157,68
2.SPALNICA				5,25x3,54		
	Stena/zrak	0,126	16,27		27	55,3505 4
	Streha	0,124	23,29	6,58x3,54	27	77,9749 2
	Okna	0,800	2,03	2,03x1	27	43,848
3.KABINET				3,54x4,03		
	Stena/zrak	0,126	14,07	f1+f2	27	47,8661 4
	Streha	0,124	28,29	3,54x7,99	27	94,7149 2
	Okna	0,800	1,41	1,41x1	27	30,456
4.SPALNICA						
	Fasada/zrak	0,126	6,22	1,817x3,42	27	21,1604 4
	Streha/zrak	0,124	22,02	7,135x3,52- 2,918x1,06	27	73,7229 6
	Okno	0,800	1,96	o1+o2	27	42,336

5. SHRAMBA						
	Fasada/zrak	0,126	15,05	4,4x3,42	27	51,2001
	Streha/zrak	0,124	3,69	12,974x3,52	27	12,3541 2
	Okno	0,800	4,27	4,4x0,97	27	92,232
6.HODNIK				2,39x1,06		
	Streha	0,124	12,97	3,69x3,52	27	43,4235 6
	Okna	0,800	0,79	0,79x1	27	17,064
						0
SKUPAJ						2053,93 48

*Tabela 16: Izračun toplotnih izgub (tokov) za primer nizkoenergijske gradnje brez učinka prezračevanja
(Lastni vir)*

PROSTORI, VISOKOENERGIJSKA STAVBA	Detaji [W]	U [W/m ² K]	Velikost A [m ²]	Območje A [m ²]	T _n -T _z = T [K]	Φ [W]
PRITLIČJE						
1.GALERIJA			18,21	4,41x4,13		
	tTa-zemlja	0,717	18,21	4,41x4,13	8	104,45
	Stena/zrak	0,326	10	4.13x2,42	27	88,02
	Strop-ogrevani	0,439	18,21	4,41x4,13	27	215,84
	Vrata-fasadna	2,000	2,2	1,1x2	27	118,80
	Okna	1,6	0,78	0,78x1	27	33,70
2.KUHINJA			19,11	5,41X3,42		
	Stena/zrak	0,326	23,05	10,54x2,42- (1,4x1+1,03x2)	27	202,89
	Tla/zemlja	0,717	19,11	5.41x3.42	8	109,61
	Vrata-fasadna	2,000	2,06	1,03x2	27	111,24
	Okna	1,600	1,4	1,4x1	27	60,48

3.KABINET				6,66x3,72		
	Stena/zrak	0,326	26,64	11,01x2,42	27	234,49
	Tla/zemlja	0,717	24,78	6,66x3,72	27	479,72
	Okno	1,600	4,01	4,01x1	27	173,23
4.KABINET				3,52x2,71		
	Stena/zrak	0,326	15,08	6,23x2,42	27	132,73
	Tla/zemlja	0,717	9,54	3,52x2,71	8	54,72
	Okno	1,600	1,38	1,38x1	27	59,62
5.SANITARIJE			5,21	2,19x2,38		
	Stena/zrak	0,326	5,3	2,19x2,42	27	46,65
	Tla/zemlja	0,717	5,21	2,19x2,38	8	29,88
	Okno	1,600	0,79	0,79x1	27	34,13
6.SHRAMBA				3,04x3,52		
	Stena/zrak	0,326	15,88	6,56x2,42	27	139,78
	Tla/zemlja	0,717	10,7	3,04x3,52	8	61,38
	Okno	1,600	1,58	1,58x1	27	68,26
7.HODNIK						
	Tla/zemlja	0,717	2,19	2,19x1	8	12,56
MANSARDA						
1.GALERIJA						
	Stena/zrak	0,326	13,36	3,22x4,15	27	117,59
	Tla/zrak	0,326	4,15	1x4,15	27	36,53
	Streha/zrak	0,348	50,22	12,1x4,15	27	471,87
	Okno	1,600	7,3	1,76x4,15	27	315,36
2.SPALNICA				5,25x3,54		
	Stena/zrak	0,326	16,27		27	143,21
	Streha	0,348	23,29	6,58x3,54	27	121,574
	Okna	1,600	2,03	2,03x1	27	218,83
3.KABINET				3,54x4,03		
	Stena/zrak	0,326	14,07	f1+f2	27	123,84
	Streha	0,348	28,29	3,54x7,99	27	265,81

	Okna	1,600	1,41	1,41x1	27	60,91
4. SPALNICA						
	Fasada/zrak	0,326	6,22	1,817x3,42	27	54,75
	Streha/zrak	0,348	22,02	7,135x3,52- 2,918x1,06	27	206,90
	Okno	1,600	1,96	o1+o2	27	84,67
5. SHRAMBA						
	Fasada/zrak	0,326	15,05	4,4x3,42	27	132,47
	Streha/zrak	0,348	3,69	12,974x3,52	27	34,67
	Okno	1,600	4,27	4,4x0,97	27	184,46
6.HODNIK				2,39x1,06		
	Streha	0,348	12,97	3,69x3,52	27	121,87
	Okna	1,600	0,79	0,79x1	27	34,13
SKUPAJ						5267,75

Tabela 17: Izračun toplotnih izgub (tokov) za primer visokoenergijske gradnje brez učinka prezračevanja
(Lastni vir)

6.3 Toplotne izgube (toplotni tok) zaradi prezračevanja

Prezračevalne toplotne izgube (toplotni tok) ogrevanega prostora (i) so določene z *Enačba 22*:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i}(\theta_{int,i} - \theta_e), \text{ [W]}$$

Enačba 22: Prezračevalne toplotne izgube
(Vir: Prek, 2013, str. 25)

kjer pomenijo:

$\theta_{int,i}$: notranja projektna temperatura ogrevanega prostora, [K],

θ_e : zunanja projektna temperatura, [K],

$H_{V,i}$: koeficient prezračevalnih toplotnih izgub ogrevanega prostora, [W/K].

Koeficient prezračevalnih toplotnih izgub ogrevanega prostora je opredeljen z enačbo:

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \rho c_p ; [W/K]$$

Enačba 23: Koeficient prezračevalnih toplotnih izgub ogrevanega prostora

(Vir: Prek, 2013, str. 25)

kjer so:

$\dot{V}_i$: volumski pretok zraka skozi meje ogrevanega prostora (i); [m^3/s],

ρ : gostota zraka pri temperaturi $\theta_{int,i}$; [kg/m^3],

c_p : specifična toplota zraka pri temperaturi $\theta_{int,i}$; [kJ/kgK].

Ob predpostavki, da sta gostota in specifična toplota zraka konstantni, lahko izračun $H_{V,i}$ poenostavimo in ga ocenimo z naslednjo enačbo:

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \rho c_p \Rightarrow \text{poenostavitev}(\rho c_p = \text{konst.} = 0,34 \text{ Wh/Km}^3) \Rightarrow H_{V,i} = 0,34 \frac{\text{Wh}}{\text{K m}^3} \dot{V}_i$$

Enačba 24: Koeficient prezračevalnih toplotnih izgub ogrevanega prostora – poenostavljen izračun

(Vir: Prek, 2013, str. 25)

Ob teh predpostavkah je poenostavljen izračun prezračevalnih toplotnih izgub (toplotni tok) ogrevanega prostora (i):

$$\Phi_{V,i} = 0,34 \frac{\text{Wh}}{\text{K m}^3} \dot{V}_i (\theta_{int,i} - \theta_e), [W]$$

Enačba 25: Prezračevalne toplotne izgube – poenostavljen izračun

(Vir: Prek, 2013, str. 28)

Izračun za določitev volumskega pretoka zraka skozi ogrevani prostor, $\dot{V}_i$, je odvisen od načina prezračevanja prostora – ali je to naravno ali mehansko.

6.3.1 Naravno zračenje

Pri naravnem zračenju predpostavljamo, da ima dovedeni zrak enake toplotne lastnosti kot zunanji zrak.

Volumski pretok zraka skozi ogrevani prostor je pri naravnem zračenju opredeljen kot maksimalna vrednost med pretokom zraka v ogrevani prostor, ki je posledica netesnosti ovoja stavbe, in minimalne potrebne količine za vzdrževanje higienskega minimuma.

$$\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf,i}, \dot{V}_{min,i})$$

Enačba 26: Volumski pretok zraka skozi ogrevani prostor ob naravnem zračenju

(Vir: Prek, 2013, str. 25)

kjer sta:

$\dot{V}_{inf,i}$: volumski pretok zraka v ogrevani prostor (i) zaradi netesnosti ovoja stavbe (infiltracija); [m^3/h],

$\dot{V}_{min,i}$: minimalni volumski pretok zraka, potreben za vzdrževanje higienskega minimuma, [m^3/h].

Vdor zraka v notranjost stavbe zaradi vpliva vetra in vzgona (infiltracija) je posledica netesnosti ovoja stavbe. Izračunamo ga z enačbo:

$$\dot{V}_{inf,i} = 2V_i n_{50} e_i \varepsilon_i ; [m^3/h]$$

Enačba 27: Volumski pretok zraka zaradi netesnosti ovoja stavbe (infiltracija)

(Vir: Prek, 2013, str. 27)

kjer so

V_i : notranja prostornina ogrevanega prostora (i), [m^3],

n_{50} : število izmenjav zraka na uro kot posledica razlik zračnega tlaka 50 Pa med notranjo in zunanostjo in zunanostjo stavbe [h^{-1}] (Tabela 18),

e_i : koeficient zaščitenosti stavbe pred vplivom vetra

Tabela 19),

ε_i : višinski korekturni faktor, ki upošteva naraščanje hitrosti vetra z višino (Tabela 20).

Vrsta stavbe	$n_{50} [h^{-1}]$		
	Stopnja tesnosti ovoja stavbe (kakovost tesnjenja oken) visoka (kakovostna zatesnitve)	srednja (dvojna zasteklitev, normalna tesnila)	nizka (enojna zasteklitev, brez tesnil)
Individualne stanovanjske stavbe	< 4	4 – 10	> 10
Ostale stavbe	< 2	2 - 5	> 5

Tabela 18: Število izmenjav zraka zaradi netesnosti ovoja stavbe

(Vir: Prek, 2013)

Stopnja zaščitenosti	e		
	Ogrevan prostor brez izpostavljenih odprtín	Ogrevan prostor z eno izpostavljeno odprtino	Ogrevan prostor z več izpostavljenih odprtín
Brez zaščite (stavba v vetrovni pokrajini, visoke stavbe v mestih)	0	0,03	0,05
Zmerna zaščita (stavbe izven mest med drevesi ali drugimi stavbami, predmestja)	0	0,02	0,03
Zaščiteni (povprečno visoke stavbe v mestnih centrih, stavbe v gozdovih)	0	0,01	0,02

Tabela 19: Koeficient zaščitenosti stavbe
(Vir: Prek, 2013)

Višina ogrevanega prostora nad nivojem tal (sredina prostora nad nivojem tal)	ϵ
0 – 10 m	1,0
>10 – 30 m	1,2
>30 m	1,5

Tabela 20: Višinski korekturni faktor ϵ
(Vir: Prek, 2013)

Minimalna količina svežega zraka, ki mora biti zagotovljena v skladu s higienskimi standardi, $\dot{V}_{min,i}$, je navedena v Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji (UL RS 42/2002); določimo pa jo lahko tudi s pomočjo števila izmenjav zraka v prostoru v skladu z *Enačba 28* in Tabela 21.

$$\dot{V}_{min} = n_{min} V_i ; [m^3/h]$$

Enačba 28: Minimalni volumski pretok zraka, potreben za vzdrževanje higienskega minimuma – minimalna potrebna količina svežega zraka
(Vir: Prek, 2013, str. 26)

n_{min} : minimalno število izmenjav zraka na uro, $[h^{-1}]$,
 V_i : notranja prostornina ogrevanega prostora (i), $[m^3]$.

Tabela 21 prikazuje minimalno število izmenjav zraka na uro za izbrane prostore stavbe.

Vrsta prostora	$n_{\min}$ h^{-1}
Bivalni prostor (prevzeto)	0,5
Kuhinja ali kopalnica z oknom	1,5
Pisarna	1,0
Učilnica, sejna soba	2,0

Tabela 21: Minimalno število izmenjav zraka na 1 uro
(Vir: Prek, 2013)

6.3.2 Dimenzioniranje naravnega zračenja

Naravno zračenje se dimenzionira za objekte, ki niso zračno tesni.

Pri poenostavljenem izračunu koeficienta prezračevalnih toplotnih izgub ($H_{V,i}$), to je ob predpostavki konstantne gostote in specifične toplote zraka, uporabimo opredelitev toka prezračevalnih toplotnih izgub ogrevanega prostora (i), $\Phi_{V,i}$, kot je zapisano v enačbah od *Enačba 25* do *Enačba 28* in povzeto spodaj:

$$\Phi_{V,i} = 0,34Wh/Km^3(\theta_{int,i} - \theta_e) * \max(2V_i n_{50} e_i \varepsilon_i, n_{min} V_i)$$

Pri tem dodatno predpostavimo, da je sprememba temperature ($\theta_{int,i} - \theta_e$) za vse ogrevane prostore enaka $(20 - (-7)) = 27$ K, $n_{50} = 10h^{-1}$, $e_i = 0,05$, $\varepsilon_i = 1$, iz česar sledi naslednja formula za izračun toka prezračevalnih izgub na ogrevani prostor (i):

$$\Phi_{V,i} = 0,34Wh/Km^3 * 27 K * V_i ; [W]$$

Po izbranih predpostavkah je seštevek prezračevalnih izgub (toplotnega toka) ogrevanih prostorov iz primera visokoenergijske stavbe, kot ga prikazuje Tabela 22, enak 5,1 kW.

PROSTORI- VISOKOENERGIJSKA STAVBA	Površina [m ²]	Volumen, V _i [m ³]	Sprememba temperature, $\theta_{int,i} - \theta_{e,i}$ [K]	$2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e \cdot \epsilon$ $= 2 \cdot V_i \cdot 0,5$	$\Phi_{V,i} =$ $0,34 \text{ Wh/Km}^3 \cdot V_i$ $(\theta_{int,i} - \theta_{e,i})$ [W]
PRITLIČJE					
1.GALERIJA	18,21	44,08	27	44,08	404,6544
2.KUHINJA	19,11	46,26	27	46,26	424,6668
3.KABINET	24,78	59,96	27	59,96	550,4328
4.KABINET	9,54	23,08	27	23,08	211,8744
5.SANITARIJE	5,21	12,61	27	12,61	115,7598
6.SHRAMBA	10,70	25,90	27	25,90	237,762
7.HODNIK	2,19	5,30	27	5,30	48,654
MANSARDA					
1.GALERIJA	33,58	114,17	27	114,17	1048,081
2.SPALNICA	18,59	63,21	27	63,21	580,2678
3.KABINET	14,27	48,52	27	48,52	445,4136
4.SPALNICA	18,59	63,21	27	63,21	580,2678
5. SHRAMBA	12,04	40,94	27	40,94	375,8292
6.HODNIK	2,53	8,60	27	8,60	78,948
SKUPAJ	189,34	555,84	27	555,84	5102,611

Tabela 22: Prezračevalne toplotne izgube – izračun, visokoenergijska gradnja
(Lastni vir)

6.3.3 Mehansko (umetno) zračenje

V skladu s Pravilnikom o prezračevanju in klimatizaciji stavb (Uradni list RS, št. 42/02) je najmanjši priporočeni potreben vtok zunanjega zraka v bivalni prostor 15 m³/h na osebo oziroma 1,5 m³/h na kvadratni meter talne površine prostora. Minimalni zahtevki glede volumske izmenjave zraka znaša vsaj $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$. Te pogoje glede naravnega prezračevanja izpolnjuje že vsaka starejša (slabo izolirana) hiša, bolje izolirane hiše pa je za zadostitev tem kriterijem potrebno dodatno prezračevati z mehanskim oziroma prisilnim načinom prezračevanja.

Minimalne zahteve, ki jih potrebuje posameznik za bivanje, so približno 0,4 m³/h zraka, kar z naravnim prezračevanjem izpolnjuje že vsaka starejša (slabo izolirana) hiša. Bolje izolirane hiše je za zadostitev teh kriterijev potrebno dodatno prezračevati.

Prisilno oziramo mehansko prezračevanje omogoča kontrolirano vzdrževanje toplote in vlažnosti v prostoru. Zelo poznan način mehanskega prezračevanja je prezračevanje z rekuperatorjem, ki s pomočjo keramičnih akumulatorjev prevzame

toploto (energijo) odpadnega zraka prostora in jo odda svežemu, vstopnemu zraku. V dobro izoliranih objektih je toplotni izkoristek rekuperacije med 80 % in 93 %, kar je tudi predpisano v pravilnikih za gradnjo nizkoenergijskih stavb. Rekuperacijsko zračenje lahko vsebuje tudi senzor vlažnosti, s čimer vzdržuje kontrolirano vlažnost prostora (40 % - 60 %). V prostorih, ki nimajo stika z zunanjo steno, zagotovimo potrebe po svežem zraku s kanalskim načinom prezračevanja.

Volumski pretok zraka skozi ogrevani prostor je pri mehanskem načinu prezračevanja določen z Enačba 29:

$$\dot{V}_i = \dot{V}_{inf,i} + \dot{V}_{su,i} * f_{V,i} + \dot{V}_{mech,inf,i}$$

Enačba 29: Volumski pretok zraka skozi ogrevani prostor

(Vir: Prek, 2013, str. 26)

kjer pomenijo:

$\dot{V}_{inf,i}$: volumski pretok zraka v ogrevani prostor (i) zaradi netesnosti ovoja stavbe (infiltracija); [m^3/h],

$\dot{V}_{su,i}$: volumski pretok svežega (dovedenega) zraka v ogrevani prostor (i), [m^3/h] (določen s projektom o mehanskem prezračevalnem sistemu),

$\dot{V}_{mech,inf,i}$: presežek volumskega pretoka odvedenega zraka iz ogrevanega prostora (i), [m^3/h],

$f_{V,i}$: faktor redukcije temperature; določen je z enačbo:

$$f_{V,i} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{su,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

Enačba 30: Faktor redukcije temperature

(Vir: Prek, 2013, str. 26)

$\theta_{su,i}$: temperatura dovedenega zraka v ogrevani prostor (i) iz centralnega prezračevalnega sistema, sosednjih prostorov ali iz zunanje okolice, [K],

Volumski pretok zraka v ogrevani prostor (i) zaradi netesnosti ovoja stavbe (infiltracija) opredelimo na enak način kot v Enačba 27, in sicer:

$$\dot{V}_{inf,i} = 2V_i n_{50} e_i \varepsilon_i ; [m^3/h]$$

Presežek volumskega pretoka odvedenega zraka iz ogrevanega prostora (i) določimo s pomočjo presežka pretoka odvedenega zraka v celotni stavbi. Ta je za celotno stavbo opredeljen kot maksimalna vrednost med 0 in razliko med pretokom odvedenega in dovedenega zraka.

$$\dot{V}_{mech,inf} = \max(\dot{V}_{ex} - \dot{V}_{su}, 0) , [m^3/h]$$

Enačba 31: Presežek volumskega pretoka odvedenega zraka za ogrevano stavbo

(Vir: Prek, 2013, str. 28)

$\dot{V}_{ex}$: pretok odvedenega zraka za stavbo, $[m^3/h]$,

$\dot{V}_{su}$: pretok dovedenega zraka za stavbo, $[m^3/h]$.

Iz tega sledi, da je ustrezna enačba za ogrevani prostor (i) stavbe:

$$\dot{V}_{mech,inf,i} = \dot{V}_{mech,inf} * \dot{V}_i / \sum_i \dot{V}_i$$

Enačba 32: Presežek volumnskega pretoka odvedenega zraka za ogrevani prostor
(Vir: Prek, 2031, str. 28)

kjer je V_i : notranja prostornina ogrevanega prostora (i), $[m^3]$.

6.3.4 Dimenzioniranje mehanskega zračenja z rekuperacijo

Pri dimenzioniranju mehanskega zračenja z uporabo ventilacijskega sistema upoštevamo priporočila glede minimalnega potrebnega vtoka zunanjega zraka ($15 m^3/h$) na osebo. Ventilacijski varnostni sistem ne sme dosegati celotne zmogljivosti, ampak 200 % minimalnih zahtev prezračevanja ($30 m^3/h \cdot os$).

Za izračun toplotnih izgub (toplotnega toka) zaradi mehanskega prezračevanja uporabimo poenostavljeno formulo toplotnih izgub iz *Enačba 25* in pretokov zraka iz *Enačba 29* vse do *Enačba 32*, kot je povzeto v nadaljevanju:

$$\begin{aligned} \Phi_{V,i} &= 0,34Wh/Km^3 (\theta_{int,i} - \theta_e) * (\dot{V}_{inf,i} + \dot{V}_{su,i} * f_{V,i} + \dot{V}_{mech,inf,i}) = \\ &= 0,34Wh/Km^3 (\theta_{int,i} - \theta_e) * (2V_i n_{50} e_i \epsilon_i + \dot{V}_{su,i} * f_{V,i} + \dot{V}_{mech,inf} * \dot{V}_i / \sum_i \dot{V}_i) \end{aligned}$$

Pri tem dodatno predpostavimo, da velja:

sprememba temperature $(\theta_{int,i} - \theta_e)$ *za vse ogrevane prostore* = 27 K;

$$n_{50} = 4h^{-1}; e_i = 0,025; \epsilon_i = 1; \dot{V}_{su,i} = 15 \frac{m^3}{h}; f_{V,i} = \frac{20-18}{20+7} = 0,074;$$

$$\dot{V}_{mech,inf} = 0,$$

iz česar sledi izračun prezračevalnih izgub (toplotni tok) na ogrevani prostor (i) :

$$\Phi_{V,i} = \frac{0,34Wh}{Km^3} * 27 K * (0,2h^{-1} * V_i + 1,11 * \frac{m^3}{h} * os + 0) [W].$$

Na osnovi izbranih predpostavk je seštevek prezračevalnih izgub (toplotnega toka) ogrevanih prostorov na primeru nizkoenergijske stavbe, kot ga prikazuje Tabela 23, enak 1,2 kW.

PROSTORI- NIZKOENERGIJ SKA STAVBA	POVRŠINA[m ²]	VOLUMEN[m ³]	V _{min} [0,5m n-1]	št. oseb na prostor	DOVOD na osebo(15m ³ /os, n=50%)[m ³ / h]	ODVOD na osebo[15m ³ /os,n=50%]	$\Phi_{V,i}$ [W]
PRITLIČJE							
1.GALERIJA	18,21	44,08	22,04	1	30	90	91,13
2.KUHINJA	19,11	46,26	22,39	3	60	90	115,53
3.DNEVNI PROSTOR	24,78	59,96	29,98	2	60	30	130,48
4.KABINET	9,54	23,08	11,54	1	30	0	52,57
5.SANITARIJE	5,21	12,61	6,30	0	30	30	23,15
6.SHRAMBA	10,70	25,90	12,95	0	30	0	47,55
7.HODNIK	2,19	5,30	2,65	1	0	0	19,93
MANSARDA							
1.GALERIJA	33,58	114,17	57,09	1	30	60	219,82
2.SPALNICA	18,59	63,21	31,60	2	60	30	136,45
3.KABINET	14,27	48,52	24,26	1	30	0	99,28
4.SPALNICA	18,59	63,21	31,60	2	60	30	136,45
5. SHRAMBA	12,04	40,94	20,47	0	0	60	75,17
6.HODNIK	2,53	8,60	4,30	1	0	0	25,99
SKUPAJ	189,34	555,84	277,17				1173,51

*Tabela 23: Prezračevalne toplotne izgube – izračun, nizkoenergijska stavba
(Lastni vir)*

6.4 Sistem sanitarne vode

Če uporabljamo toplotno črpalko tudi za ogrevanje sanitarne vode, moramo pri izračunu moči toplotne črpalne k moči za ogrevanje prostorov dodati moč, potrebno za ogrevanje sanitarne vode.

Toplotna črpalka je nameščena na grelnik vode. Če je črpalka ločena, hranilnik vode in črpalko samo povežemo z vodovodnimi cevmi. Za kroženje vode je treba vgraditi obtočno črpalko, ki jo upravlja termostat, vgrajen v hranilnik vode. Glavna prednost toplotne črpalke je v tem, da porabi trikrat manj električne energije kot klasični električni grelnik. Vodo segrevamo največ na 55 °C, kar pomeni manjše toplotne izgube v hranilniku vode in ceveh, prav tako pa manjše nalaganje vodnega kamna na ogrevalne površine (Grobovšek, 2021a)

Pri dimenzioniranju sanitarnega sistema določimo potrebno količino vode glede na število prebivalcev v objektu. Dnevne potrebe po sanitarni vodi na osebo so med 30

in 50 litri. Pri gretju sanitarne vode z visokotemperaturnimi toplotnimi črpalkami je temperatura vode okoli 55 °C, pri nizkotemperaturnimi pa okoli 45 °C. Razliko do 65 °C, ki je potrebna za dezinfekcijo sistema, zagotovi električni grelec.

Izračun celoletne porabe tople vode (STV) v stavbi določimo s pomočjo *Enačba 33*:

$$V_{PTVlet} = \sum (n_{st} p_{o,st} V_{STVd} d); [L]$$

Enačba 33: Letna poraba tople vode
(Vir: Labudović, 2006, str. 353)

kjer so:

V_{STVlet} ... letna poraba sanitarne tople vode [L],

$\sum n_{st}$... število stanovanj v stavbi,

$p_{o,st}$... število stanovancev v stanovanju,

V_{STVd} ... povprečna dnevna poraba tople vode na osebo, odvisno od modela porabnika [L],

d ... število dni v letu, ko obstaja potreba po sanitarni topli vodi [$d=365$ dni].

Teoretično potrebno energijo za pripravo STV določa enačba:

$$E_{teo} = V_{STVlet} C_v \rho_v dT_v; [W]$$

Enačba 34: Potrebna letna energija za pripravo sanitarne vode
(Vir: Labudović, 2006, str. 354)

kjer pomenijo:

E_{teo} ... teoretična potrebna letna energija za pripravo sanitarne tople vode, [kWh],

V_{STVlet} ... celoletna letna poraba sanitarne tople vode [L],

C_v ... specifična toplotna kapaciteta vode [4,2 kJ/(kgK) oziroma 0,00116 kW h/kg K],

ρ_v ... gostota vode [kg/dm³],

dT_v ... razlika vstopne in izstopne temperature vode [K].

6.4.1 Primer izračuna letne porabe sanitarne vode (STV)

Izračun izdelamo za enostanovanjsko stavbo s štirimi porabniki, ki je opremljena z umivalnikom, običajno kadjo, kabino za prhanje in pomivalnim strojem. Dnevna poraba vode pri teh pogojih znaša okoli 200 litrov (Labudović, 2006). Iz tega sledi, da je:

- dnevna poraba STV (izpeljana iz *Enačba 33* pri $d=1$): $V_{PTV,d} = 200l$
- dnevna potrebna energija za pripravo STV (izpeljana iz *Enačba 24*; pri tem predpostavimo, da je dejanska potrebna energija enaka teoretični):

$$E_{teo,d} = V_{STV,d} \cdot C_v \cdot \rho_v \cdot dT_v = 200l \cdot 0,00116 \text{ kW h/kg K} \cdot 1,0 \text{ kg/l} \cdot 20 \text{ K} = 4,64 \text{ kWh}$$

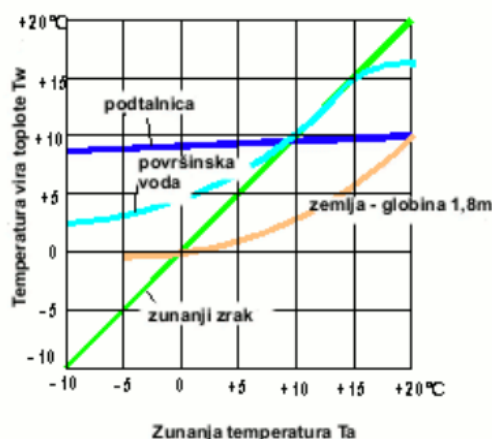
7 DIMENZIONIRANJE TOPLOTNIH ČRPALK ZA OBJEKT

Pri dimenzioniranju toplotnih črpalk upoštevamo energetske porabe in želena končna toplota oziroma temperaturo, ki jo lahko toplotna črpalka zagotovi. Obe spremenljivki determinirata učinkovitost delovanja toplotnih črpalk (COP). Faktor COP je oznaka za razmerje med vloženo in oddano energijo.

Pri izbiri ustrezne (najbolj učinkovite) toplotne črpalke upoštevamo predvsem naslednje kriterije:

- toplotne potrebe oziroma izgube zaradi ogrevanja (in sanitarne vode),
- razpoložljivi toplotni vir z najvišjo povprečno temperaturo v ogrevalni sezoni (npr. podtalna voda, zemlja, zrak),
- razpoložljivi ali želeni tip ogrevalnega oziroma hladilnega sistema (talno, radiatorsko ogrevanje).

Ker je TČ naprava, ki prenaša toploto iz toplotnega vira z nižjo temperaturo na toplotni porabnik z višjo temperaturo, mora biti temperaturna razlika med vira čim manjša. Takrat bo kompresor porabil manj električne energije (Grobovšek, 2009). Slika 29 prikazuje temperaturo različnih virov toplote glede na temperaturo zunanjega zraka.



Slika 29: Temperature vira toplote glede na zunanjo temperaturo
(Vir: Grobovšek, 2009)

Med viri toplote se najpogosteje uporablja podtalna voda. Ta ima povprečno temperaturo okrog +10 °C, dosegljiva pa mora biti na globini do 20 m in v količini najmanj 0,2 m³/h za vsak kW grelne moči toplotne črpalke (pri stanovanjskih hišah do okoli 250 m²). V tem primeru izberemo toplotno črpalko voda/voda. Če voda ni na voljo ali ni ustrezne kvalitete (vsebuje preveč železa in mangana oziroma drugih primesi, ki negativno vplivajo na toplotni izmenjevalnik), se lahko za vir toplote uporabi

toplota zemlje, ki jo izkorišča toplotna črpalka zemlja-voda, in sicer v obliki vgradnje vodoravnega kolektorja ali pa navpične zemeljske sonde. V prvem primeru potrebujemo ustrezno prosto zemeljsko površino – vsaj 40 m² za vsak kW grelne moči toplotne črpalke; v drugem primeru pa mora biti omogočen dostop vrtnemu stroju. Kot tretjo možnost pa lahko izberemo toploto okoliškega zraka, to je toplotno črpalko zrak-voda. Zrak je vedno razpoložljiv, vendar ima v primerjavi s prej navedenimi viri najnižjo povprečno temperaturo (razen na Primorskem) in je zato ta vir lahko manj učinkovit (Pesjak, 2013).

Pri načrtovanju TČ je zelo pomembno, da pravilno določimo njeno ogrevalno moč, ki naj odraža energijske izgube oziroma potrebe objekta in odločitev, kolikšen odstotek potreb naj pokrije TČ. Močnejša TČ, kot je potrebno, namreč vodi v nepotrebne stroške ogrevanja (Grobovšek, 2009). Empirični podatki kažejo, da povzroči 1 °C višja temperatura ogrevalne vode za 2,5 % nižje grelno število. To v praksi pomeni, da je grelno število pri sistemih s temperaturo pretoka 55 °C (radiatorsko ogrevanje) za 50 % nižje kot pa pri ogrevalnih sistemih s temperaturo pretoka do 35 °C (talno ogrevanje) (Pesjak, 2013).

Pri izbiri ogrevalnega sistema izberemo sistem z najnižjo ogrevalno temperaturo vode, npr. talno, stensko ogrevanje, nizkotemperaturni radiatorji. Ogrevanje s klasičnimi (visokotemperaturnimi) radiatorji ali konvektorji je manj učinkovito (Grobovšek, 2009) Povezavo med učinkovitostjo TČ (COP) in temperaturo ogrevalnega medija na primeru TČ zrak/voda proizvajalca LG kaže Tabela 24.

Outdoor Temperature [°C DB]	Water flow rate 40.3 LPM								Water flow rate 25.2 LPM				Water flow rate 20.1 LPM			
	LWT 30 °C		LWT 35 °C		LWT 40 °C		LWT 45 °C		LWT 50 °C		LWT 55 °C		LWT 60 °C		LWT 65 °C	
	TC	COP	TC	COP	TC	COP	TC	COP	TC	COP	TC	COP	TC	COP	TC	COP
-25	9.25	2.08	9.00	1.80	8.75	1.53	8.50	1.25	-	-	-	-	-	-	-	-
-20	10.63	2.28	10.50	2.05	10.38	1.84	10.25	1.63	10.13	1.41	-	-	-	-	-	-
-15	12.00	2.45	12.00	2.30	12.00	2.15	12.00	2.00	12.00	1.85	12.00	1.70	-	-	-	-
-7	14.00	3.12	14.00	2.95	14.00	2.78	14.00	2.63	14.00	2.48	14.00	2.30	14.00	2.14	-	-
-4	14.00	3.30	14.00	3.10	14.00	2.90	14.00	2.70	14.00	2.50	14.00	2.30	14.00	2.10	14.00	1.95
-2	14.00	3.38	14.00	3.20	14.00	3.01	14.00	2.82	14.00	2.63	14.00	2.43	14.00	2.24	14.00	2.05
2	14.00	3.65	14.00	3.40	14.00	3.21	14.00	3.02	14.00	2.83	14.00	2.63	14.00	2.44	14.00	2.25
7	14.00	4.83	14.00	4.50	14.00	4.17	14.00	3.83	14.00	3.50	14.00	3.16	14.00	2.82	14.00	2.50
10	14.00	5.12	14.00	4.77	14.00	4.42	14.00	4.08	14.00	3.71	14.00	3.36	14.00	3.00	14.00	2.65
15	14.00	6.02	14.00	5.57	14.00	5.13	14.00	4.68	14.00	4.24	14.00	3.79	14.00	3.35	14.00	2.90
18	14.00	6.33	14.00	5.88	14.00	5.39	14.00	4.92	14.00	4.45	14.00	3.99	14.00	3.62	14.00	3.05
20	14.00	6.53	14.00	6.05	14.00	5.57	14.00	5.08	14.00	4.60	14.00	4.12	14.00	3.63	14.00	3.15
35	14.00	8.09	14.00	7.49	14.00	6.89	14.00	6.29	14.00	5.70	14.00	5.10	14.00	4.50	14.00	3.90

Tabela 24: Povezava med zunanjo temperaturo, temperaturo ogrevalnega medija, COP in maksimalno močjo TČ zrak/voda (THERMA proizvajalca LG)
(Vir: Emundia, 2021)¹⁹

¹⁹ V seznamu virov: Emundia (b. l.). LG Therma. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.emundia.si/lg-ogrevalna-toplotna-crpalke-monoblok-hm143m-u33>

7.1 Izbira toplotne črpalke na osnovi dimenzioniranih toplotnih izgub

Toplotne izgube objekta

Spodnja tabela povzema izračune pričakovanih toplotnih izgub (toplotnega toka) zaradi ogrevanja prostorov in pripravo sanitarne vode, ki smo jih izdelali v prejšnjih poglavjih naloge:

PORABNIK TOPLOTE	NIZKOENERGIJSKI OBJEKT	VISOKOENERGIJSKI OBJEKT
Toplotne izgube (tok) stavbe brez prezračevanja [kW]	2,054	5,268
Prezračevanje [kW]	1,174	5,102
Sanitarna voda [kW] *	4,64	4,64
SKUPAJ	7,868	15,01
(SKUPAJ - MINIMALNE ZAHTEVE)**	3,615	10,697

*Tabela 25: Toplotne potrebe za izbrani nizko- in visokoenergijski objekt
(Lastni viri)*

* moč TČ, ki je potrebna, da se STV segreje v 1 uri

** minimalna moč TČ, ki zadovolji potrebe vseh treh porabnikov

Letna potreba po toploti

Danes nove tehnologije omogočajo, da je pri nižjih temperaturah prenosnega medija oziroma pri večji razliki med virom toplote in ogrevalnim medijem poraba električne energije kompresorja bistveno manjša, kot je to veljalo pri starih tehnologijah. Vpliv klimatskih pogojev okolja, v katerem se stavba nahaja, na izbiro TČ je zato nekoliko manjši, kot je bil v preteklosti, vendar še vedno nezanemarljiv.

Podatek, s katerim opišemo klimatske pogoje, je temperaturni primanjkljaj. Ta je definiran kot produkt med časom ogrevanja in razliko temperatur med notranjostjo zgradbe (po dogovoru je to 20 °C) in zunanjim zrakom. Po dogovoru je trajanje omejeno na število dni, ko je zunanja temperatura nižja od 12 °C (prag). Za določen kraj torej vzamemo povprečno zunanjo temperaturo v času ogrevalne sezone in jo odštejemo od dogovorjenih 20 °C ter jo pomnožimo s številom ogrevalnih dni. Izrazimo jih v enoti »stopinja dan«, zato se pogosto uporablja tudi izraz »stopinjski dnevi« namesto temperaturni primanjkljaj (Legada, 2021).

Slika 30 in Slika 31 prikazujeta porazdelitev projektne temperature zraka in temperaturnega primanjkljaja po Sloveniji.

Celoletna poraba toplotne energije stavbe je odvisna predvsem od načina gradnje in klimatskih pogojev okolja, v katerem se stavba nahaja. Na osnovi izračuna toplotnih izgub, ki smo ga izdelali za dva tipa stavb (nizko- in visokoenergijsko), in temperaturnega primanjkljaja okolja, v katerem se stavba nahaja, določimo celoletno porabo toplotne energije s pomočjo *Enačba 35*.

$$Q_{top} = Q \frac{24h * TP}{dT_p} * k$$

Enačba 35: Letna poraba toplotne energije za toplotno črpalko
(Vir: Novak, 2019, str. 23)

kjer pomenijo:

Q_{top} : toplota za ogrevanje stavbe [kWh],

$k = \frac{T_N - T_z}{20 - T_z}$, korekcija ($k=1$, če je $T_n = 20\text{ °C}$)

TP : temperaturni primanjkljaj v kraju, kjer stoji zgradba [°C dni/leto]

Q : izračunana potrebna toplotna moč za ogrevanje stavbe [kW],

dT_p : projektna temperaturna razlika [°C],

T_n : notranja temperatura v času ogrevalne sezone [°C],

T_z : povprečna zunanja temperatura v času kurilne sezone [°C] (opredeljena z enačbo $20 - TP/st. \text{ dni v kurilni sezoni}$ (ARSO, 2021))

Obe stavbi se nahajata v okolici Nove Gorice (GK kooordinati (X,Y) = (91500, 396500)), zato pri izračunu porabe toplotne energije predpostavimo, da veljajo naslednji podatki (ARSO, 2021):

- zunanja projektna temperatura (θ_e): -7 °C ,
- temperaturni primanjkljaj (TP): 2500 Kdan,
- trajanje kurilne sezone: 150 dni,
- povprečna zunanja temperatura v času kurilne sezone: $3,3\text{ °C}$ ($20 - 2500/150$).

Letna poraba toplotne energije za primer nizkoenergijskega objekta je tako izračunana pri predstavkah:

$k=1$

$TP=2500\text{ °C dni/leto}$

$T_n= 20\text{ °C}$

$T_z= 3,3\text{ °C}$

$Q=3,228\text{ kW}$ (toplotne izgube, vključno s prezračevanjem, iz Tabela 25)

$dT_p=27\text{ °C}$ ($=20-(-7)\text{ °C}$)

in znaša

$$Q_{top,niz} = Q \frac{24h*TP}{dT_p} * k = 3,228 \text{ kW} \frac{24*2500}{27} * 1 = 7.173,3[kWh/leto] \approx 7,17 \text{ MWh/leto}$$

oziroma 37,8 kWh/leto*m², kar stavbo uvršča v energijski razred C (Elcond, 2021)

Letna poraba toplotne energije za visokoenergijski objekt, izračunana pri predpostavkah

$$k=1$$

$$TP=2500 \text{ }^{\circ}\text{C dni/leto}$$

$$T_n= 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_z= 3,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$Q=10,371 \text{ kW (toplotne izgube, vključno s prezračevanjem, iz}$$

Tabela 25)

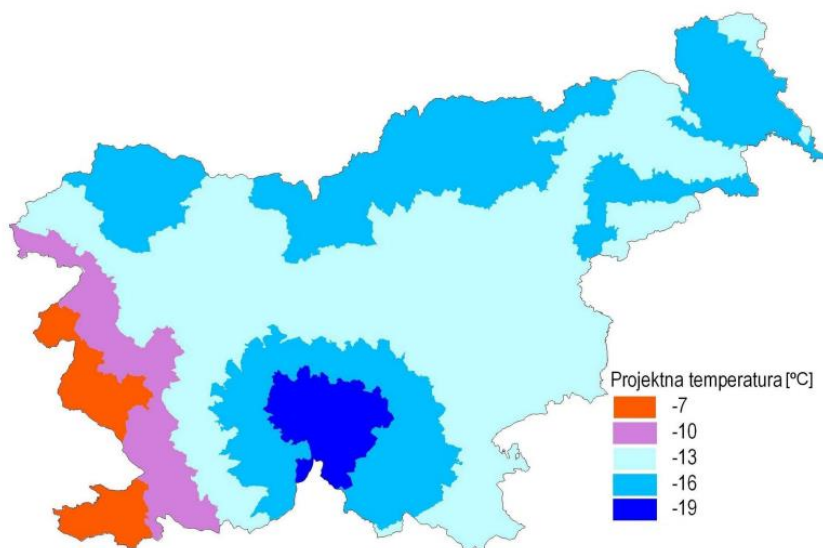
$$dT_p=27 \text{ }^{\circ}\text{C (20-(-7) }^{\circ}\text{C)}$$

pa znaša

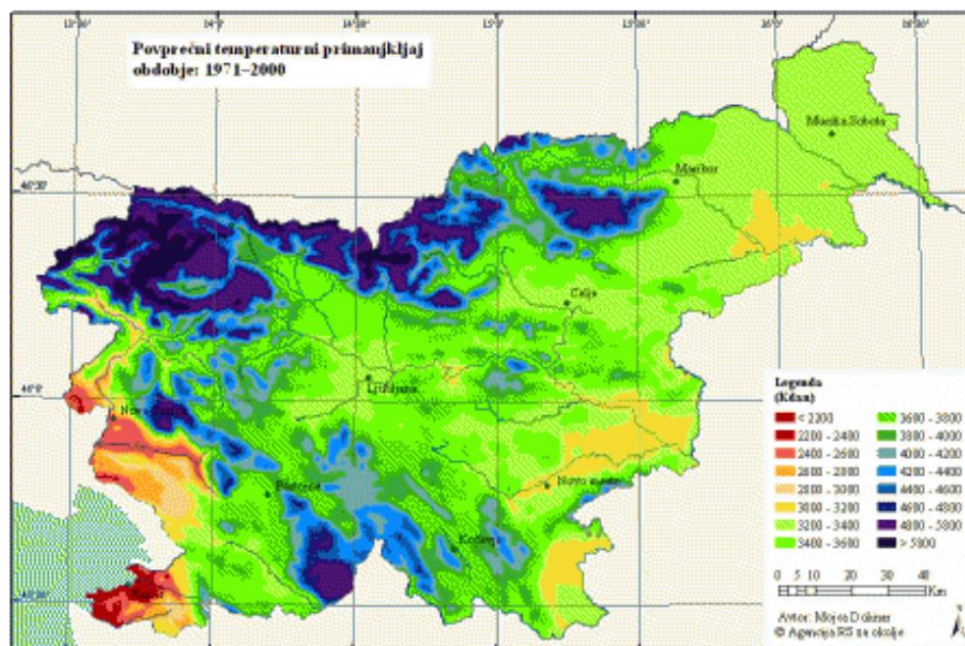
$$Q_{top,vis} = Q \frac{24h*TP}{dT_p} * k = 10,371 \text{ kW} \frac{24h*2500}{27} * 1 = 23.046,67[kWh/leto] \approx$$

$$23,05 \text{ MWh/leto}$$

oziroma 121,3 kWh/leto*m², kar stavbo uvršča v energijski razred E (Elcond, 2021)



Slika 30: Projektne temperature zraka v Sloveniji
(Vir: Novak, 2019)



Slika 31: Zemljevid povprečnega temperaturnega primanjkljaja v Sloveniji
(Vir: Legada, 2021)²⁰

Lokacija	Povprečni temperaturni primanjkljaj
Koper	2100 Kdni / leto
Nova Gorica	2500 Kdni / leto
Murska Sobota	3300 Kdni / leto
Novo Mesto	3100 Kdni / leto
Ljubljana	3300 Kdni / leto
Maribor	3300 Kdni / leto
Celje	3300 Kdni / leto
Kranj	3500 Kdni / leto
Krško	3100 Kdni / leto
Postojna	3700 Kdni / leto
Kočevje	3700 Kdni / leto
Jesenice	4100 Kdni / leto

Tabela 26: Temperaturni primanjkljaj za posamezne kraje v Sloveniji
(Vir: Legada, 2021)²¹

²⁰ V seznamu virov: Legada (b. l.). *Energetska izkaznica stavbe*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.energetska-izkaznica.si/energetska-ucinkovitost/temperaturni-primanjkljaj/>

²¹ V seznamu virov: Legada (b. l.). *Energetska izkaznica stavbe*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.energetska-izkaznica.si/energetska-ucinkovitost/temperaturni-primanjkljaj/>

Na osnovi letne potrebe po toploti in predpostavljenega grelnega števila lahko s pomočjo Enačba 36 ocenimo letno porabo električne energije.

$$P_e = Q_{top} / COP$$

Enačba 36: Letna poraba električne energije

(Vir. Grobovšek, 2009, str. 388)

V poglavju 7.2 bomo na podoben način, vendar ob upoštevanju letnega grelnega števila, ocenili letno porabo električne energije.

Izbira ogrevalnega sistema

Med razpoložljivimi ogrevalnimi sistemi izberemo sistem ogrevanja z nizkotemperaturnimi radiatorji, ki omogoča dokaj učinkovito delovanje TČ. Povezavo med zunanjo temperaturo, temperaturo ogrevalnega medija in COP za TČ zrak/voda znamke LG Therma prikazuje Tabela 24.

Za prikaz vpliva ogrevalnega režima na izkoristek TČ in stroške ogrevanja s TČ LG THERMA ocenimo COP TČ (

Tabela 24), letno porabo električne energije in stroške električne energije pri ogrevanju z visokotemperaturnimi radiatorji-VTR ($T > 60^{\circ}\text{C}$), nizkotemperaturnimi radiatorji-NTR ($T = 40^{\circ}\text{C}$) in talnim sistemom-TS ($T = 30^{\circ}\text{C}$) v nizko- in visokoenergijski stavbi. Izračun letne porabe električne energije je narejen na osnovi ocen letnih potreb po toploti (

Tabela 25) in COP pri zunanji temperaturi (T_{zun}) 2°C (

Tabela 24); izračun stroškov električne energije je izdelan pri povprečni ceni električne energije med leti 2016 in 2020, ki po podatkih Statističnega urada RS znaša 0,158 EUR/kWh. Rezultate primerjave prikazujeta Tabela 27 in Slika 32.

Ogrevalni sistem	Visokoenergijska stavba			Nizkoenergijska stavba		
	VTR	NTR	TS	VTR	NTR	TS
COP	2,25	3,21	3,65	2,25	3,21	3,65
Letna potreba po toploti - Q top (MWh/leto)	23,05	23,05	23,05	7,17	7,17	7,17
Letna poraba električne energije: Qtop/COP (MWh/leto)	10,24	7,18	6,31	3,19	2,23	1,97
Letni stroški električne energije (EUR)	1618,41	1134,40	997,65	503,70	353,06	310,50

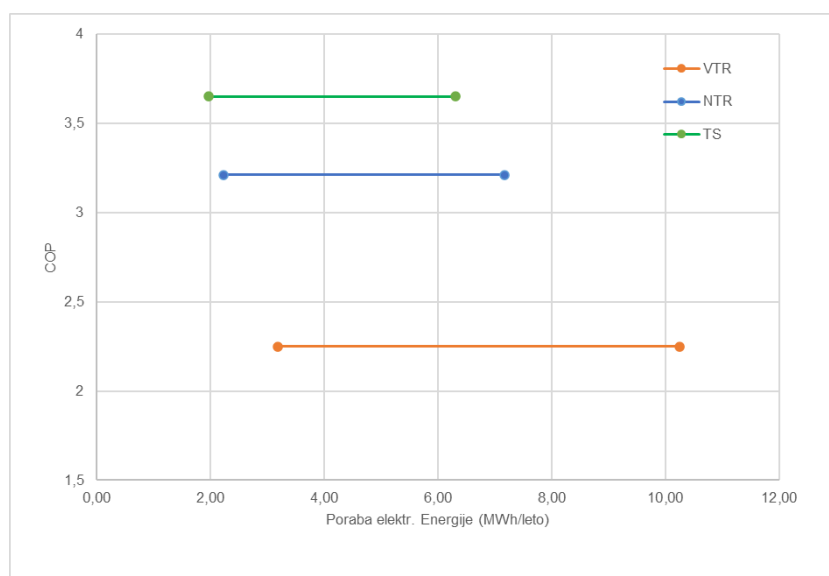
Tabela 27: COP TČ, letna poraba električne energije in stroški električne energije za ogrevanje visoko- in nizkoenergijsko stavbo v odvisnosti od tipa ogrevalnega sistema

(Viri: Lastni vir; SURS, 2021)²²)

²² V seznamu virov: SURS (b. l.). *Cena električne energije za gospodinjstva (EUR/kWh), Slovenija*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://pxweb.stat.si/SiStat/sl>

Rezultati analize kažejo, da lahko z ustrezno izbiro ogrevalnega sistema močno izboljšamo učinkovitost delovanja TČ in zmanjšamo porabo električne energije. Pri uporabi TČ LG Therma bi lahko na primer z zamenjavo starih visokotemperaturnih radiatorjev s sistemom talnega ogrevanja znižali porabo električne energije za približno 38 %, kar pomeni prihranek 621 evrov na leto pri visokoenergijski in 193 evrov leto pri nizkoenergijski stavbi.

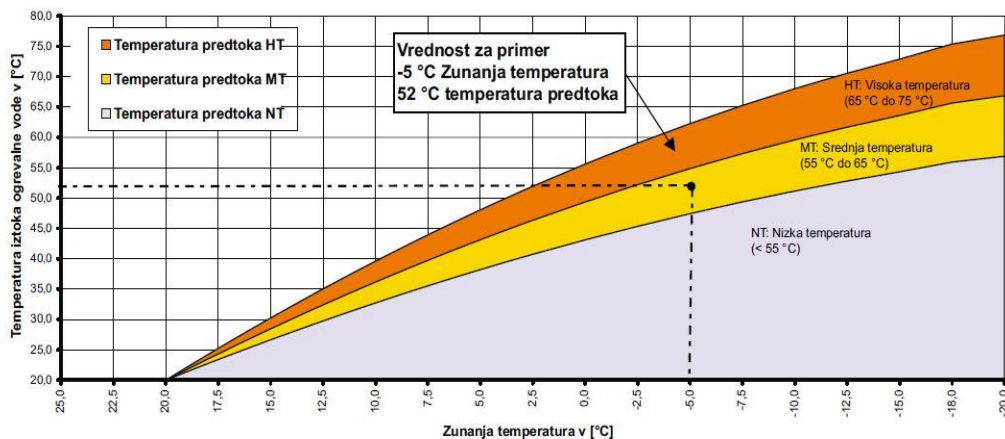
Spodnja slika kaže porabo električne energije TČ zrak/voda LG Therma v nizkoenergijski (leva točka) in visokoenergijski stavbi (desna točka) za tri tipe ogrevalnih sistemov (VTR- visokotemperaturni radiatorju, NTR-nizkotemperaturni radiatorji, TS-sistem talnega ogrevanja).



Slika 32: Poraba električne energije za ogrevanje nizko- in visokoenergijske stavbe v odvisnosti od tipa ogrevalnega sistema (VTR, NTR, TS)
(Lastni vir)

Izbira ustrezne TČ glede na potrebe po toploti in tip ogrevalnega sistema

Na osnovi zunanjih klimatskih pogojev in izbranega ogrevalnega sistema (nizkotemperaturni radiatorji) lahko s pomočjo Slika 33 izberemo tip toplotne črpalke, ki najbolj ustreza našim zahtevam po toploti. To je nizkotemperaturna TČ. Poleg te v splošnem ločimo še med MT (nizkotemperaturnimi TČ) in VT (visokotemperaturnimi TČ).



Slika 33: Povezava med zunanjo temperaturo in temperaturo predtoka ogrevalnega medija

(Vir: Grobovšek, 2009, str. 130; Dimplex, 2009)

Pri končnem izboru TČ se omejimo na ponudbo nizkotemperaturnih toplotnih črpalk podjetja LG, ki ustrezajo letnim potrebam po toploti naših dveh objektov, to je pri:

- za nizkoenergijsko stavbo izberemo nizkotemperaturno toplotno črpalko moči 9 kW;
- za visokoenergijsko stavbo izberemo nizkotemperaturno toplotno črpalko moči 16 kW.

7.2 Učinkovitost toplotnih črpalk

Toplotne črpalke obstajajo v številnih izvedbah. Te se med seboj razlikujejo po obliki oziroma tipu glede na vir toplote in medij ponora toplote, poleg tega pa tudi po zmožnostih doseganja želenih temperatur ogrevanega prostora in/ali sanitarne vode ter učinkovitosti delovanja. Zaradi precejšnjih odstopanj v kvaliteti TČ je pred nakupom treba preveriti, kakšna je njena učinkovitost in pri katerih pogojih je podana.

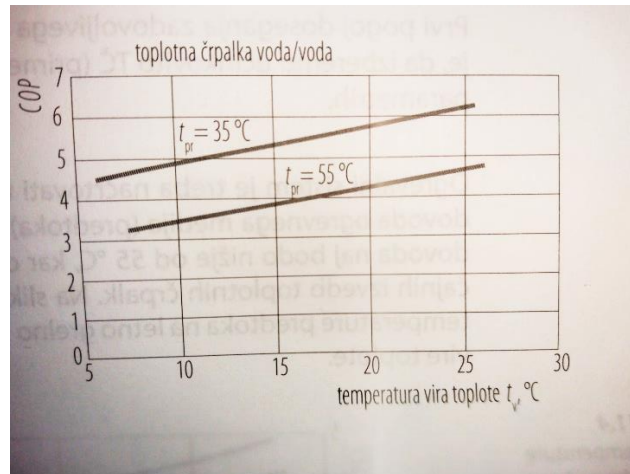
Grelno število

Učinkovitost toplotnih črpalk najpogosteje merimo z grelnim številom (angl. Coefficient of Performance – COP). To je v splošnem opredeljeno kot razmerje med oddano energijo toplotne črpalke in dovedeno električno energijo (Labudović, 2006) oziroma med grelno (toplotno) močjo TČ in dovedeno električno (pogonsko) močjo (Grobovšek, 2009).

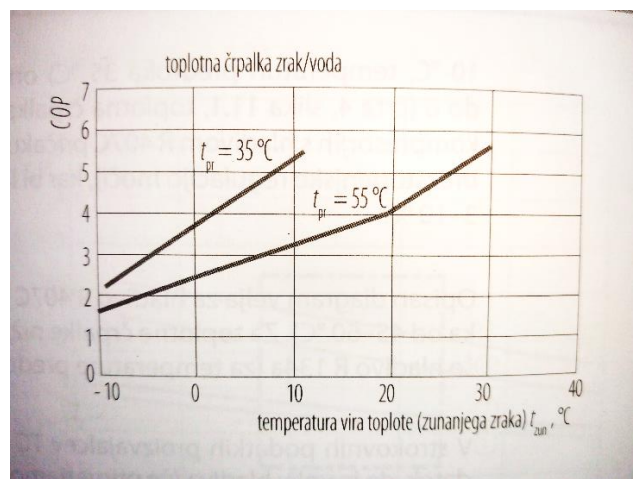
Grelno število je odvisno od temperature toplotnega vira, ki ga izkoriščamo, in temperature medija, ki ga segrevamo. V splošnem velja, da je COP višji, kadar je

razlika med temperaturo vira toplote in temperaturo ogrevalnega medija manjša. Ogrevalni sistem je torej treba načrtovati tako, da je temperatura dovoda ogrevalnega medija (predtoka) čim nižja (Grobovšek, 2009)

Sliki v nadaljevanju kažeta odvisnost COP od zunanje temperature in temperature pretoka na dveh izvedbah TČ: voda/voda in zrak/voda.

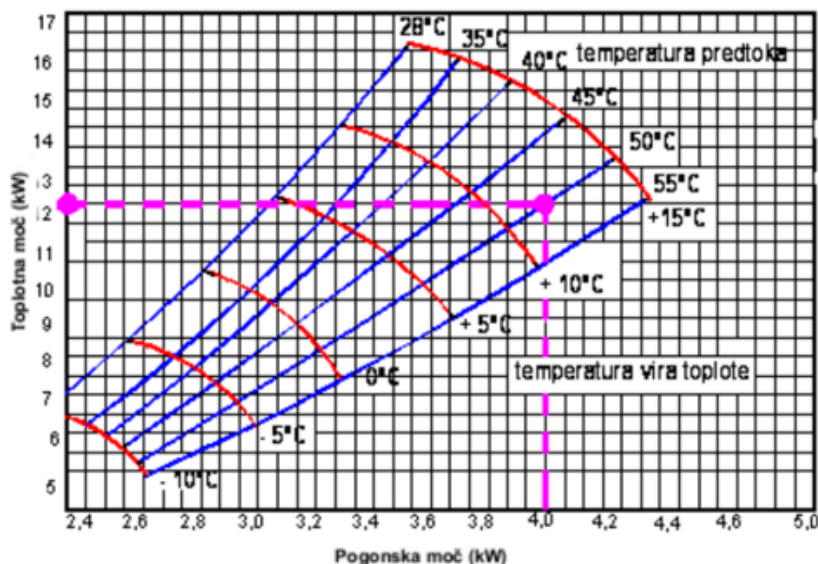


Slika 34: Odvisnost COP od temperature podtalnice in pretoka za TČ voda/voda
(Vir: Grobovšek, 2009)



Slika 35: Odvisnost COP od temperature zunanjega zraka in temperature pretoka za TČ zrak/voda
(Vir: Grobovšek, 2009)

Povezavo med pogonsko in toplotno močjo TČ v odvisnosti od temperature toplotnega vira in pretoka kaže Slika 36.



Slika 36: Povezava med pogonsko in toplotno močjo v odvisnosti od temperature toplotnega vira in predtoka
(Vir: Grobovšek, 2009)

Metode za merjenje učinkovitosti toplotnih črpalk določa standard EN 14511. V skladu s tem je grelno število oziroma učinkovitost toplotne črpalke v določeni obratovalni točki določeno kot delež grelne moči glede na celotno dovedeno električno moč naprave in deleže moči za prenos toplote znotraj naprave, (električno) moč za prenos kompresorja, moč za odmrznitev uparjalnika, regulacijske naprave, črpalke, ventilator. Standard ne določa minimalnih kriterijev učinkovitosti, temveč opredeljuje standardne pogoje za testiranje (temperaturo vira in ponora toplote) za različne tipe toplotnih črpalk (Grobovšek, 2009).

V skladu s standardom EN 14511 mora biti tako grelno število TČ podano pri vnaprej predpisanih pogojih. EHPA Quality Label, certifikat o kakovosti za električne toplotne črpalke do 400 kW moči, ki ga dodeljuje European Heat Pump Association, potrjuje učinkovitost TČ pri naslednjih pogojih:

- A7/W35 in A7/W55 za TČ zrak-voda, kjer A7 pomeni temperaturo zunanjega zraka (+7 °C) in W35 oz. W55 temperaturo ogrevalne vode (+35 oz. 55 °C) (EHPA, 2021a),
- B0/W35 in B0/W55 za TČ zemlja-voda, kjer B0 pomeni temperaturo zemlje (+0°C) in W35 oz. W55 temperaturo ogrevalne vode (+35 oz. 55 °C) (EHPA, 2021)

- W10/W35 in W10/W55 za TČ voda-voda, kjer W10 pomeni temperaturo podtalne vode (+10 °C) in W35 oz. W55 temperaturo ogrevalne vode (+35 oz. 55 °C) (EHPA, 2021)

Poleg grelnega števila se pri testiranju kvalitete TČ preverjajo tudi letna učinkovitost, raven hrupnosti, območje delovanja (angl. operating range) in varnost naprave.

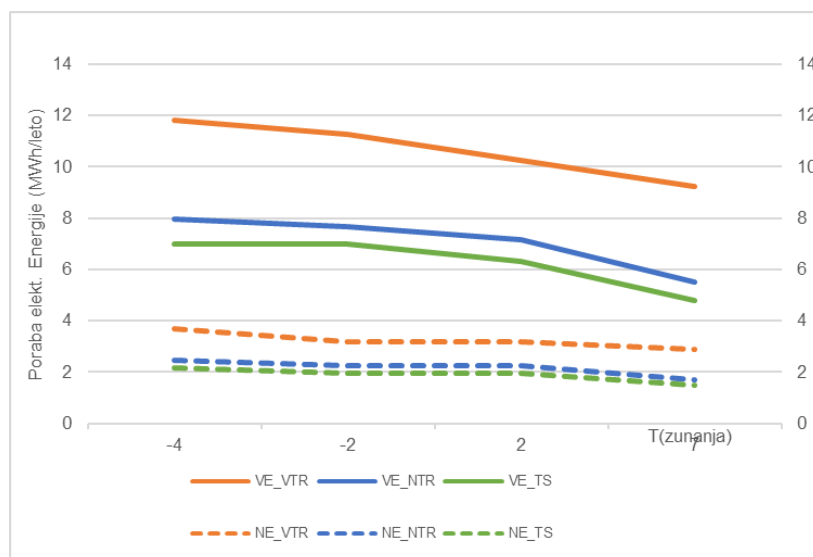
V Sloveniji preverja ustreznost TČ Fakulteta za strojništvo v Ljubljani.

Vpliv zunanjih (klimatskih) pogojev na grelno število

Moč toplotne črpalke je premo sorazmerna s porabo toplotne energije, ki jo zahtevajo sanitarni sistem, centralno ogrevanje, rekuperacija. Pri sanitarnem sistemu velja, da je poraba tople vode odvisna od števila ljudi in malo odstopa skozi leto, med tem ko se pri centralnem ogrevanju izgube v prostoru povečujejo linearno s spremembo zunanje temperature. Padanje zunanje temperature povzroči, da se toplotna črpalka oziroma kompresor črpalke večkrat aktivira, s tem pa se poveča poraba električne energije in posledično zmanjša učinkovitost delovanja toplotne črpalke. To lahko zmanjšamo na primer z vgradnjo hranilnika ogrevalne vode. V času, ko kompresor ne deluje, ogrevalni sistem jemlje toploto iz hranilnika, ki tako služi kot kompenzator večjih ali manjših potreb po toploti. Pri toplotnih črpalkah zrak/voda pa lahko služi tudi za hitro in učinkovito odtaljevanje uparjalnika.

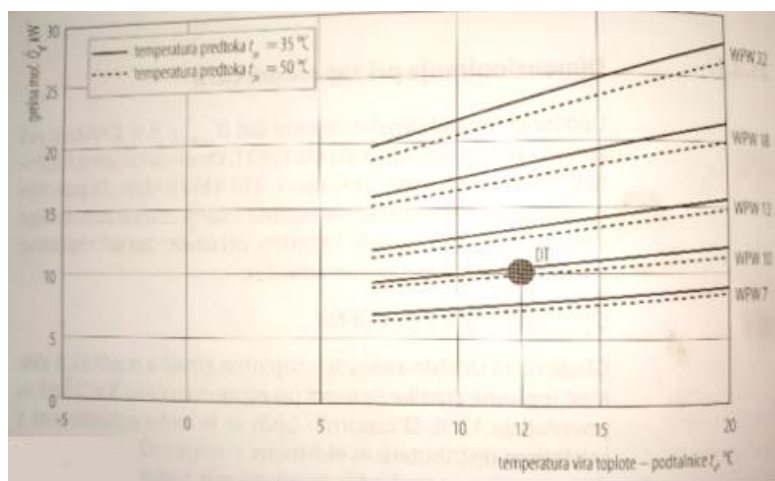
V nadaljevanju prikažemo tri primere vpliva zunanjih pogojev na grelno število oziroma učinkovitost delovanja TČ.

Primer 1: Analizo učinkovitosti delovanja TČ zrak/voda LG THERMA iz prejšnjega poglavja (analiza vpliva ogrevalnega režima na izkoristek TČ (COP) in stroške ogrevanja pri zunanjih pogojih 2 °C) razširimo z vidika zunanjih klimatskih pogojev. Spodnja slika kaže porabo električne energije TČ LG Therma v odvisnosti od zunanje temperature (-4, -2, 2, 7 °C) za visokoenergijsko (VE) in nizkoenergijsko (NE) stavbo v odvisnosti od ogrevalnega režima (VTR- visokotemperaturni radiatorji, NTR- nizkotemperaturni radiatorji, TS-sistem talnega ogrevanja).



Slika 37: Poraba električne energije TČ za ogrevanje visoko- in nizkoenergijske stavbe v odvisnosti od tip ogrevalnega sistema (VTR, NTR, TS)
(Lastni vir)

Primer 2: Primer uporabe TČ v nizkoenergijski hiši z ogrevalno površino 240 m² in ogrevalno močjo 9,6 kW. Za ogrevanje je predvideno izkoriščanje podtalnice. Ustrezna TČ voda/voda je izbrana na osnovi delovnega diagrama, ki ga kaže Slika 38 (Grobvšek, 2009)



Slika 38: Delovni diagram toplotne črpalke voda-voda
(Vir: Grobovšek, 2009)

Iz tehničnih podatkov TČ (*Tabela 28*) je razvidno, da je grelna števila TČ najvišje pri temperaturi podtalnice +20 °C in temperaturi predtoka ogrevalne vode 35 °C, najnižje pa pri temperaturi podtalnice +7 °C in temperaturi predtoka ogrevalne vode 60 °C.

temperatura podtalnice t_{pod}	grelna moč Q_g			pogonska moč P_{el}			grelno 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

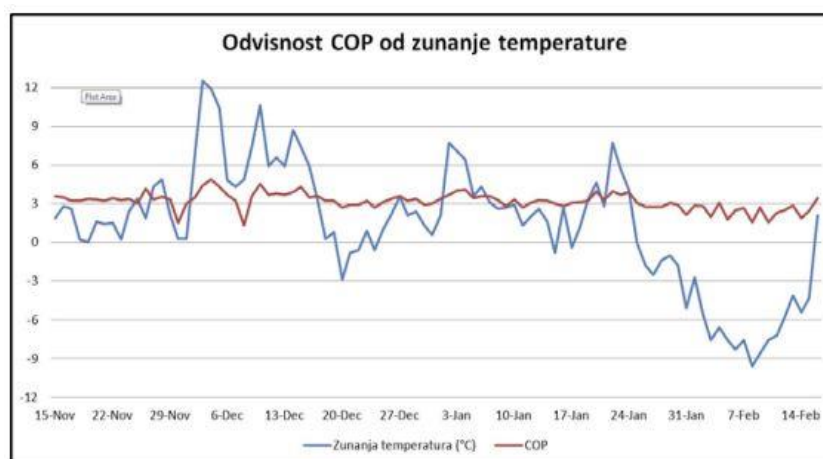
Tabela 28: Toplotni vir temperature podtalnice

(Vir: Grobovšek, 2009)

Primer 3: Analiza je izvedena na ogrevalnem sistemu, ki ga poganja TČ zrak/voda. Grelna krivulja je nastavljena tako, da so pri zunanji temperaturi zraka (+10, 0, -10 °C) ustrezne temperature dovodne vode (30, 40, 50 °C). Grelna krivulja je dodatno uravnavana s sobnim tipalom (korektorjem ogrevanja) (Jodeh, 2012).

Podatki za izračun grelnega števila (Slika 39) so zbrani s pomočjo kalorimetra, ki je v centralno inštalacijo vezan zaporedno, in sicer pri izhodu vroče vode. Kalorimeter meri oddano energijo toplotne črpalke Q [MWh]. V sistem je priključen tudi merilec električne energije, ki meri porabo električne energije Q_{TC} ; ta je priključen na električno napajanje iz glavne omarice. Oba podatka, to je oddana toplotna energija in porabljena električna energija, nam v razmerju podata število COP.

Iz Slika 39 je razvidno, da COP nekoliko upade ob večjem znižanju zunanjih temperatur, vendar pa ostaja blizu povprečja 3. Tudi ko povprečna dnevna temperatura pade pod -10 °C, se povprečni COP bistveno ne spremeni, kar kaže na precejšnjo stabilnost delovanja sistema.



Slika 39: COP in zunanja temperatura

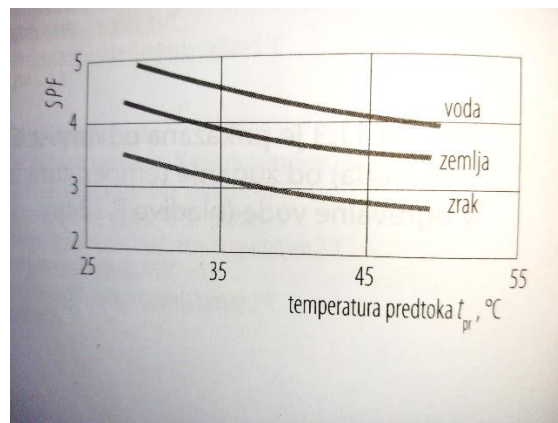
(Vir: Jodeh, 2012)

Letno grelno število

Temperatura ogrevanja se med letom spreminja, prav tako tudi temperatura vira toplote. Realno energetska slika TČ zato pogosto določimo z letnim grelnim številom, ki upošteva potrebe in vloženo energijo preko celega leta. Letno grelno število, β (SPF, angl. *Seasonal Performance Factor*), izračunamo kot razmerje med toploto, ki jo dovedemo grelnemu mediju, in celotno porabljeno električno energijo v času ogrevalne sezone. Pri tem moramo poleg porabe kompresorja upoštevati tudi porabo pomožnih komponent (črpalke, odmrznitev uparjalnika, regulacijske naprave, ventilatorja idr.). Na vrednost β vplivajo predvsem naslednji dejavniki: potrebe po toploti in hlajenju glede na lokacijo objekta, temperatura dovoda ogrevalnega medija (predtoka), dimenzioniranje TČ v odvisnosti od potrebe po toploti in obratovalne karakteristike TČ, kakovost izdelave TČ, poraba električne energije pomožnih komponent, sistem regulacije v ogrevalnem sistemu in hranilniku toplote (Grobovšek, 2009).

Vpliv vira toplote na letno grelno število

Slika 40 kaže povezavo med temperaturo predtoka in letnim grelnim številom v odvisnosti od vira toplote: voda, zemlja, zrak.



Slika 40: Povezava med temperaturo predtoka in letnim grelnim številom v odvisnosti od vira toplote
(Vir: Grobovšek, 2009)

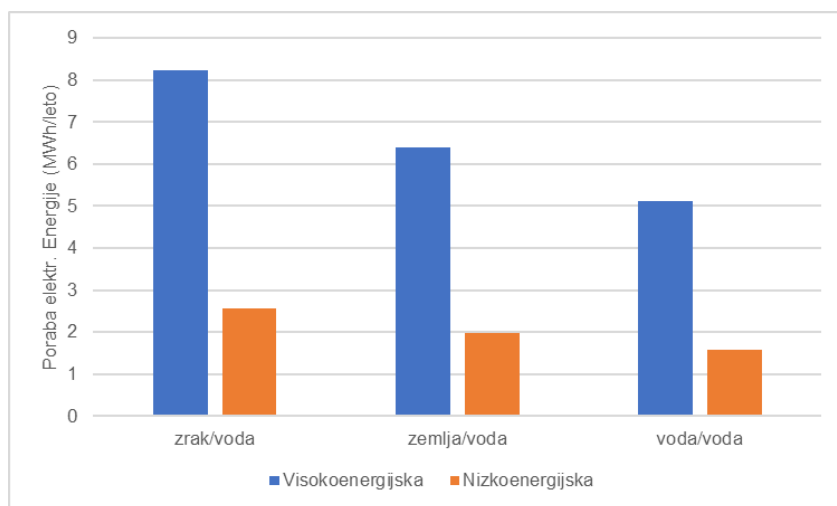
V nadaljevanju ocenimo vpliv vira toplote na letno učinkovitost TČ (SPF) in porabo električne energije na primeru uvodoma predstavljenih stavb nizke- in visokoenergijske gradnje. Pri izračunu stroškov električne energije upoštevamo letne potrebe po toploti stavb (Tabela 25), SPF (Grobovšek, 2009; Slika 40), in povprečno ceno električne energije med leti 2016 in 2020, ki po podatkih Statističnega urada RS znaša 0,158 EUR/kWh (SURS, 2021). Rezultati so prikazani v Tabela 29.

Tip TČ	Visokoenergijska stavba			Nizkoenergijska stavba		
	zrak/voda	zemlja/voda	voda/voda	zrak/voda	zemlja/voda	voda/voda
SPF *	2,80	3,60	4,50	2,80	3,60	4,50
Letna potreba po toploti - Q _{top} (MWh/leto)	23,05	23,05	23,05	7,17	7,17	7,17
Letna poraba električne energije: Q _{top} /SPF (MWh/leto)	8,23	6,40	5,12	2,56	1,99	1,59
Letni stroški električne energije (EUR)	1300,51	1011,51	809,21	404,76	314,82	251,85

Tabela 29: SPF TČ, letna poraba električne energije in stroški električne energije za ogrevanje visoko- in nizkoenergijsko stavbo v odvisnosti od vira toplote
(Viri: Lastni vir; Grobovšek, 2009)

Analiza pokaže, da lahko z izbiro ustreznega vira toplote, če je ta seveda razpoložljiv, precej zmanjšamo porabo električne energije. Na prikazanem primeru (Tabela 29) smo z zamenjavo manj učinkovite TČ zrak/voda s TČ voda/voda letne stroške električne energije zmanjšali za okoli 38 %, kar pomeni prihranek 491 evrov pri visokoenergijski in 153 evrov pri nizkoenergijski stavbi.

Grafični prikaz razlik med porabo električne energije pri ogrevanju nizko- in visokoenergijske stavbe za tri tipe TČ (zrak/voda, zemlja/voda, voda/voda) daje Slika 41.



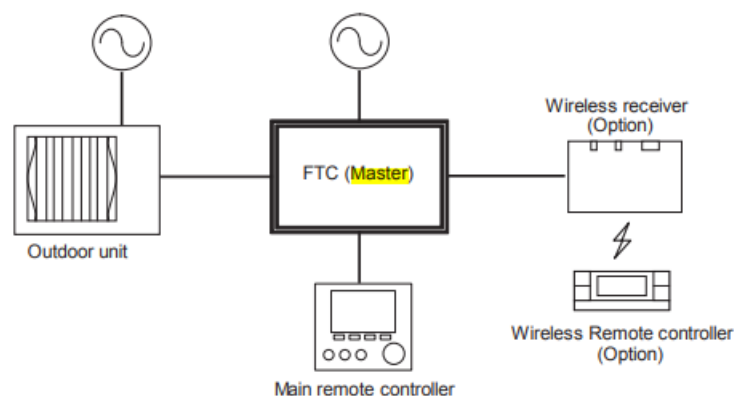
Slika 41: Poraba električne energije TČ za ogrevanje visoko- in nizkoenergijske stavbe v odvisnosti od tipa toplotne črpalke (zrak/voda, zemlja/voda, voda/voda)
(Lastni vir)

8 KRMILNI SISTEM TOPLOTNE ČRPALKE ZRAK/VODA

Naloga krmilnega sistema oziroma krmilnika je, da regulira delovanje elementov toplotne črpalke, upoštevajoč stanje vstopnega in izstopnega tlaka, temperaturo ogrevanega prostora in zunanje okolice. Regulacija poteka s pomočjo stikal (kontaktor, mehki zagon, rele) in natančnejših krmilnikov (električni ekspanzijski ventil) po programu, ki je zapisan na krmilni enoti. Program krmilne enote vsebuje vse podatke fizikalnih omejitev toka toplotne črpalke.

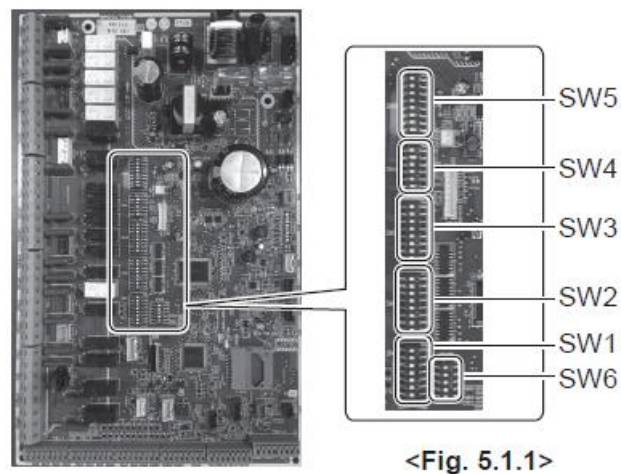
8.1 Predstavitev notranje (»master«) in zunanje (»slave«) plošče

Glavni funkciji notranje (»master«) plošče sta, da napaja zunanjo (»slave«) ploščo in regulira komunikacijo med ploščama (po komunikacijskem kablu) glede na potrebe po toploti v centralnem hidrosistemu in sanitarni inštalaciji. Funkcija »slave« plošče je, da regulira kompresor in celoten tokokrog freona, od prihoda iz kondenzatorja in prehoda skozi uparjalnik do kompresorja.

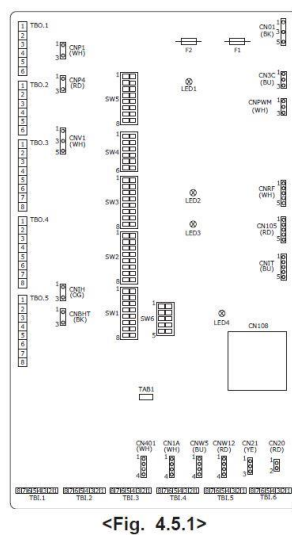


Slika 42: Povezava zunanje enote in notranjih senzoričnih enot na glavno krmilno ploščo

(Vir: MEC, 2019)



Slika 43: Stikala na glavni plošči
(Vir: MEC, 2019)



Slika 44: Shema glavne plošče
(Vir: MEC, 2019)

Stikala za vklapljanje in izklapljanje funkcij:

Ime	FUNKCIJE	IZKLOPLJENO	VKLOPLJENO
SW1-1	Centralni zalogovnik	Izključen	Priključen
SW1-2	Maksimalna nastavljena zunanja temperatura črpalke	55	60
SW1-3	Sanitarni zalogovnik	Izključen	Priključen

SW1-4	Grelec sanitarnega zalogovnika	Izključen	Priključen
SW1-5	Grelec v TČ	Izključen	Priključen
SW1-6	Grelec v TČ	Centralno gretje	Centralno in sanitarno gretje
SW1-7	Tip zunanje enote	Zunanja in notranja	Samo zunanja enota
SW1-8	Brezžična kontrola	Brez wifi-ja	Z wifi-jem
SW2-1	Sobni termostat (input-IN)	Ne greje, ko je termostat zaprt	Ne greje, ko je termostat odprt
SW2-2	Pretočni senzor	Napaka pri sklenjeni zanki	Napaka pri odprti zanki
SW2-3	Omejitev kapacitete gretja	Izklopljena	Vklopljena
SW2-4	Hladilna funkcija	Izklopljena	Vklopljena
SW2-5	Avtomatsko stikalo za nadomestitev gretja v primeru ustavitve zunanje enote	Izklopljena	Vklopljena
SW2-6	Mešalni zalogovnik	Z zalogovnikom	Brez zalogovnika
SW2-7	Druga območna kontrola temperature	Izklopljena	Vklopljena
SW2-8	Senzor pretoka	Brez senzorja	S senzorjem
SW3-1	Sobni termostat druga izbira vrste termostata	Prekine gretje, ko je termostat zaprt	Prekine gretje, ko je termostat odprt
SW3-2	Napaka pretočnega stikala 2 in 3	Zaznava napake pri odprtem stikalu	Zaznava napake pri zaprtem stikalu
SW3-4	Električni meter energije	Brez merilca	Z merilcem
SW3-5	Grelni model funkcije	Neaktiven	Aktiven
SW3-6	2-stopenjski ventil	Neaktiven	Aktiven
SW3-7	Temperaturni izmenjevalec sanitarne	Spirala zalogovnika	Zunanji izmenjevalec v enoti toplotne črpalke
SW3-8	Toplotni meter	Brez metra	Z metrom
SW4-1	Zunanja kontrolna enota	Neaktivna	Aktivna
SW4-2	Funkcija zunanje kontrolne enote	Pomožna kontrolna enota - zunanja	Glavna kontrolna enota
SW4-4	Notranja enota operation	Neaktivna	Aktivna
SW4-5	Varnostni sistem - grelec	Normalen	Varnostni sistem-

			grelec
SW4-6	Varnostni sistem - bojler operacija	Normalen	Varnostni sistem za bojler
SW5-2	Napreden avtoadapter	Neaktiven	Aktiven
SW6-3	Senzor tlaka	Neaktiven	Aktiven
SW6-4	Analogni izhodni signal	Neaktiven	Aktiven

Tabela 30: Stikala na glavni plošči

(Vir: MEC, 2019, str. 25)

STIKALO	FUNKCIJA	IZKLOPLJEN	VKLOPLJEN
SW1-2	Vklop maksimalne temperature	55 °C	60 °C
SW1-3	DHW-zunanji sanitarni zalogovnik	S sanitarnim zalogovnikom	Brez sanitarnega zalogovnika
SW1-7	Zunanja enota	Povezana z notranjo enoto	Brez notranje enote
SW2-2	Sprememba logike s stikalom pretoka	Zaznava napake brez stika	Zaznava napake v stični poziciji
SW2-8	Senzor pretoka	Brez senzorja	S senzorjem
SW4-1	Večnamenska kontrolna enota	Neaktivna	Aktivna
SW4-2	Pozicija večnamenske zunanje kontrolne enote	Pomožna plošča	Glavna plošča
SW6-3	Senzor tlaka	Neaktiven	Aktiven

Tabela 31: Funkcije "slave" plošče

(Vir: MEC, 2019)

Pomembna komponenta glavne (»master«) plošče je konzola za spreminjanje nastavitev. Ta omogoča, da je temperatura v prostorih prilagojena potrebam uporabnika. Displej konzole priključimo na ploščo z dvema napajalnima kabloma na pozicijo TBI.6.



<Fig. 4.2.1>

Slika 45: Mesto priključitve displeja konzole

(Vir: MEC, 2019)

8.2 Pogoste napake na TČ

Napaka	Opis rešitve
Prekinjena komunikacija med zunanjo in notranjo enoto	Preverimo kontakte med napajalnimi in komunikacijskimi kabli.
Neveljaven vklopljen modul (naprava je na matični plošči vklopljena, a jo sistem ne zazna)	Preverimo, na kateri modul se nanaša napaka, in pregledamo dotični modul.
Vklopljeno visokotlačno stikalo za tlak	Napaka na visokotlačnem delu plinske inštalacije. Preverimo tlak in količino oz. nivo plina, ki je v inštalaciji (stekleno okence).
Vklopljeno nizkotlačno stikalo za tlak	Napaka na nizkotlačnem delu plinske inštalacije. Preverimo tlak v plinskem sistemu in zunanji zračni pretok toplotne črpalke (poledenelo).
Napaka na zunanjem krmilniku	Preverimo kontakte in signal oz. zamenjamo zunanji krmilnik.
Izklopljena rjava napajalna žička (U=230V)	Preverimo napetost 3-faznega napajalnika. Za zagon ventilatorja in kompresorja mora biti na liniji L2 napetost večja od 190V.
Ni napetosti (U=230V)	Preverimo razliko potencialov med L2 in N(ničlo), nato preverimo, kje je izgubljen kontakt.
Napaka zunanjega zračnega senzorja	Preverimo kontakte senzorja vse do zunanje plošče in ohmsko upornost senzorja.
Napaka na zunanjem spiralnem senzorju	Preverimo kontakte napeljave senzorja vse do zunanjega krmilnika in ohmsko upornost senzorja.

Kontaktor ne zažene kompresorja	Preverimo napetost na kontaktorju. Če napetosti ni, je verjetno razlog napake v kontaktorju (blokiran ali napačno zvezan).
Kompresor se ne zažene	Preverimo napetost na kompresorju. Če napetosti ni, je verjetno razlog napake v kompresorju (blokiran ali napačno zvezan).

Tabela 32: Pogoste napake na TČ
(Lastni vir)

9 POTEK VGRADNJE TOPLOTNE ČRPALKE

V nadaljevanju je prikazan potek vgradnje TČ zrak/voda, ki je trenutno najbolj pogosta izvedba TČ tako zaradi prostorskih omejitev kot finančnih ugodnosti.

DELA NA TOPLOTNI ČRPALKI	OPIS DEL
MONTAŽERSKA DELA	
Določitev lokacije zunanje enote	Montaža zunanje enote na podstavek (bližina notranje enote). Priprava odprtin na podstavku za elektro in freonsko inštalacijo.
Določitev lokacije notranje enote	Montaža v bližini stare hidroinštalacije.
HIDROINŠTALATERSKA DELA	
Priključitev R(redirect)-povratnega voda (hladna voda)	Montaža magnetnega filtra (zaporedno vezan) in ventila za zaprtje povratka iz predhodne hidroinštalacije.
Priključitev F(foreword)-odhodnega voda (ogreta voda)	Montažni tipi: Zaporedna ali vzporedna vezava na centralni zalogovnik./Direktna vezava na hidroinštalacijo brez zalogovnikov./Vzporedna vezava na sanitarni zalogovnik.
Priključitev F(foreword)-odhodne hidroinštalacije	Montaža ventila na stari del hidroinštalacije.
Testiranje hidroinštalacije	Polnjenje sistema z izpuščanjem zraka do predpisanega tlaka in pregled tesnjenja na stikih.
ZIDARSKA DELA	
Izkop jarka	Izkop in zasutje jarka glede na podstavek (približno 1,5 x 1 x 0,6 m) in po potrebi tudi do objekta (oddaljenost: $d > 0,5$ m).
Vgradnja podstavka	Montaža podstavka (betonski ali kovinski) z niveliranjem in utrjevanjem tal.
Kronsko vrtanje	Izvrtna v zidu ($L = \text{cca } 0,4 \text{ m}$) s kronskim svedrom $d =$

	60 mm.
Vrtanje za električno inštalacijo	Vrtanje zidov (cca: l = 0,4 m, d = 20 mm) za polaganje električnih vodnikov.
MONTAŽERSKA DELA	
Vgradnja plastične kanalete	Montaža plastične kanalete na zid do notranje enote.
Vgradnja freonskih cevi	Vgradnja freonskih cevi s hard lotanjem ali brez (odvisno od moči toplotne črpalke).
Priključitev freonskih cevi	Zatesnitev stikov in testiranje tesnosti.
Izolacija freonskih cevi	Če izolacije ni na cevi, se jo montira naknadno.
ELEKTRIČARSKA DELA	
Montaža elektro omarice	Montaža elektro omarice z varovalkami in fit stikalom.
Polaganje električnega vodnika	Polaganje el. vodnika v kanaletu (cca 20 X 15 mm) ali zid.
Priključitev na glavno in TČ omarico	Vrtanje odprtine za vstop za glavno elektro omarico. Vstavev električnega kabla z odstranitvijo izolacije in priključitev na novo (ali obstoječo) varovalko. Priključitev na fit stikalo in s fit stikala na varovalke.
Priključitev TČ na elektro omarico	Polaganje kabla od elektro omarice po kanaleti oz. zidu v zato pripravljene sistemske odprtine na TČ. Priprava električnega kabla in priključitev na stikala, ki so na shemi toplotne črpalke.
Priključitev elektrike iz notranje enote na zunanjo enoto	Polaganje električnega vodnika v kanaletu, ki je bila namenjena za freonske cevi. Vstavev kabla v sistemske odprtine na zunanji in notranji enoti in priključitev TČ.
Testiranje električne napetosti do kontaktorja	Vklopimo varovalke in preverimo napetost na stikalu toplotne črpalke.
Priključitev črpalk	Za regulacijo tople vode v bivalne prostore priključimo črpalke na matično ploščo, ki jih vklaplja termostat v prostorih.
Priključitev senzorjev na zalogovnike	Priključitev senzorjev na zalogovnik sanitarne ali centralne vode.
MONTAŽERSKA DELA	
Zagon toplotne črpalke	Pregled hidroinštalacije, freonske inštalacije in elektro priključitve. Vklop elektrike na matični plošči toplotne črpalke in nastavitev parametrov ogrevanja.

Tabela 33: Seznam del na toplotni črpalci
(Lastni vir)

10 FINANČNA POMOČ INVESTITORJEM (EKO SKLAD)

Eko sklad je slovenski okoljski javni sklad, čigar osnovni namen je spodbujati naložbe v okoljske projekte, kot so energetska prenova stavb – vgradnja naprav in sistemov za učinkovito ogrevanje in prezračevanje prostorov ter pripravo tople vode, vgradnja naprav in sistemov za povečanje rabe obnovljivih virov energije za ogrevanje prostorov in pripravo tople vode, vgradnja naprav za proizvodnjo, sproizvodnjo ali hrambo električne energije, zmanjšanje toplotnih izgub toplotnega ovoja stavb, gradnja ali nakup skoraj ničenergijskih stanovanjskih stavb, nakup energijsko učinkovitih gospodinjskih aparatov, nakup okolju prijaznih vozil ipd. Sklad deluje na osnovi finančnih spodbud (nepovratna sredstva, ugodni krediti), namenjenih gospodinjstvom, podjetjem, javnemu sektorju, NVO, s katerimi podpira tako potrošnike kot proizvajalce na trgu.

V okviru razpisov Eko sklada lahko deležniki sodelujejo na različnih projektih s področja energetike. Na dan 12. 1. 2022 je sklad nudil naslednje spodbude za naložbe v TČ (Eko sklad, 2021):

- subvencijo za samostojne naložbe za namen: uporaba TČ za centralno ogrevanje; višina subvencije: od 20 % do 50 % vrednosti naložbe, največ do 2.500 evrov oz. 5.000 evrov,
- subvencijo za skupne naložbe v večstanovanjskih stavbah za namen: zamenjava stare kurilne naprave z novo v skupnih kotlovnica; višina subvencije: 25 % priznanih stroškov naložb,
- subvencijo za socialno šibko gospodinjstvo za namen: zamenjave sistema priprave tople vode; višina subvencije: 100 % vrednosti naložbe,
- kredit za samostojno naložbo za namen: ogrevanje in prezračevanje; obrestna mera: trimesečni EURIBOR + 1,3 %.

Pri investicijah v nakup in vgradnjo TČ lahko vsak investitor sam ali preko pooblaščenega zastopnika zaprosi za finančno pomoč (sofinanciranje investicije). Natančen postopek za pridobitev spodbude je opredeljen v posameznem javnem razpisu. Za namen prikaza je v nadaljevanju opisan splošni postopek za pridobitev subvencij oziroma kredita in podan primer izračuna anuitete najema kredita v višini 10.000 evrov z dobo odplačevanja pet let (Eko sklad, 2021).

Postopek pridobivanja subvencij (Eko sklad, 2021):

1. pridobitev predračuna za vašo naložbo,
2. oddaja vloge na Eko sklad,
3. pričetek z deli za izvedbo naložbe,
4. prejem odločbe o sofinanciranju po približno treh mesecih,
5. podpis pogodbe,
6. zaključek del in oddaja zaključne dokumentacije,
7. nakazilo subvencije v dveh do treh mesecih.

Postopek pridobivanja kredita (Eko sklad, 2021):

1. pridobitev predračuna za investicijo (nakup in vgradnjo TČ),
2. oddaja vloge na Eko sklad,
3. prejem kreditne odločbe in obrazcev za preverjanje kreditne sposobnosti,
4. sklenitev in podpis kreditne pogodbe na banki Intesa Sanpaolo najkasneje v 60 dneh,
5. (možnost nakazila 40 % zneska kredita),
6. zaključek del in oddaja zaključne dokumentacije na banko,
7. nakazilo preostalega (60 %) oziroma celotnega zneska kredita.

Primer izračuna anuitete pri najemu kredita v višini 10.000 evrov z odplačilno dobo 5 let: Informativna mesečna anuiteta znaša 172,23 evra, skupni znesek, ki ga plača kreditojemalec pa 10.806,07 evra. Pri izračunu so upoštevani naslednji pogoji: obrestna mera: 3M Euribor + 1,3 %, strošek nadomestila za sklenitev: 140,00 evra, strošek zavarovanja: 132,27 evra, strošek za vodenje: 40,00 EUR/leto oziroma 3,33 EUR/mesec, stroški ob podpisu pogodbe: 272,27 evra.

11 ZAKLJUČEK

TČ sodijo med najbolj učinkovite in trajnostne sisteme ogrevanja stavb, vendar pod pogojem, da so te dimenzionirane in izbrane ustrezno.

V praktičnem delu diplomske naloge izdelamo izračun toplotnih potreb za dva objekta, in sicer dobro toplotno izoliran (nizkoenergijski) objekt in slabše izoliran (visokoenergijski) objekt, in predstavimo način za izbiro ustrezne toplotne črpalke, pri čemer sledimo načelu čim večje učinkovitosti delovanja TČ (čim višjemu grelnemu številu). V analizo učinkovitosti vpeljemo vse pomembnejše dejavnike izbire TČ: zunanje klimatske pogoje, vir toplote, toplotne izgube in tip ogrevalnega sistema; učinek posameznega dejavnika pa ocenimo pri izbranih klimatskih pogojih, ki so značilno za okolico Nove Gorice, in ocenjenih toplotnih potrebah za ogrevanje stavb, to je 7,17 MWh/leto za nizkoenergijsko in 23,05 MWh/leto za visokoenergijsko stavbo.

Analiza pokaže, da lahko z ustrezno izbiro pogojev delovanja TČ močno izboljšamo učinkovitost njenega delovanja in zmanjšamo porabo električne energije. Pri uporabi TČ zrak/voda LG Therma bi lahko na primer z zamenjavo starih visokotemperaturnih radiatorjev s sistemom talnega ogrevanja znižali letno porabo električne energije za okoli 38 %, kar pomeni prihranek 621 evrov pri visokoenergijski in 193 evrov pri nizkoenergijski stavbi.

Porabo električne energije lahko zmanjšamo tudi z ustrezno izbiro vira toplote, v kolikor je ta seveda razpoložljiv. Na prikazanem primeru smo z zamenjavo manj učinkovite TČ zrak/voda s TČ voda/voda letne stroške električne energije zmanjšali za približno 38 %, kar pomeni prihranek 491 evrov pri visokoenergijski in 153 evrov pri nizkoenergijski stavbi.

TČ sodijo med energijsko učinkovite rešitve, ki pripomorejo k doseganju energetske-podnebnih ciljev države. Eko sklad, slovenski javni sklad, čigar osnovni namen je spodbujati naložbe v okoljske projekte, je za spodbujanje investicij v TČ februarja 2022 nudil subvencije za nakup TČ za namen centralnega ogrevanja, za zamenjavo stare kurilne naprave z novo v skupnih kotlovnica in za zamenjavo sistema priprave tople vode, ter kredite za naložbe v TČ za namen ogrevanja in prezračevanja.

12 LITERATURA IN VIRI

Arhem d.o.o. (b. l.). *Izvedbe in dimenzioniranje zemeljskih kolektorjev za ogrevanje in hlajenje s toplotno črpalko*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.pasivnagrada.com/wp-content/uploads/2013/05/toplotna-crpalka-dimenzioniranje-zemeljskega-kolektorja-ARHEM-doo.pdf>.

ARSO (b. l.). *Podatki za pravilnik o učinkoviti rabi energije*. Pridobljeno 1. 12. 2021 z naslova: <https://meteo.arso.gov.si/met/si/climate/tables/pravilnik-ucinkoviti-rabi-energije/>.

BS EN 12831:2003 (2009). *Heating systems in buildings — Method for calculation of the design heat load*. Incorporating Corrigendum January 2009. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: https://canvas.salfordcc.ac.uk/files/211561/download?download_frd=1&verifier=zmwUultBD5n0CndJE1tJ3gsJa1D8NS4FgdqEYCXD.

Biro Cegnar (b. l.). *Legalizacije objektov zgrajenih pred 1998 in legalizacije stavb zgrajenih pred 2005*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://biro-cegnar.com/legalizacije/>.

Dimplex (2009). *Priročnik za projektiranje in instalacijo*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: https://www.dimplex-partner.de/fileadmin/dimplex/downloads/planungshandbuecher/si/phb_dimplex-wp_072009_si.pdf.

DIN EN 14336 (2005) *Heating systems in buildings - Installation and commissioning of water based heating systems*.

Ebolet (b. l.). *Spajkanje bakra s plinskim gorilnikom*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://tisto.eu/varilni-aparat-za-polipropilenske-pp-pvc-cevi-2700-w/>.

EHPA (2021). *EHPA Testing Regulation. Testing of Water (Brine) /Water Heat Pumps*. Version 2.2 (22.2.2021). Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: https://www.ehpa.org/fileadmin/user_upload/EHPA_TestReg_BWWW_HP_V2.2_February_02_2021.pdf.

EHPA (2021a). *EHPA Testing Regulation. Testing of Air/Water Heat Pumps*. Version 2.4a (7.6.2021). Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: https://www.ehpa.org/fileadmin/user_upload/EHPA_TestReg_AW_HP_V2.4a_20210607_.pdf.

Eko sklad (b.l.). *Toplotne črpalke – spodbude za vašo naložbo*. Eko sklad, slovenski okoljski javni sklad. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.ekosklad.si/prebivalstvo/pridobite-spodbudo/seznam-spodbud/toplotne-crpalke>.

Elcond (b.l.). *Energetska izkaznica stavbe*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.energetska-izkaznica.eu/osnovne-informacije/energijski-razredi/>.

E-NETSI (b.l.). *Samogradnja prezračevalnega sistema*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://prezracevanje.si/services/samogradnja/>.

Grassi, W. (2018). *Heat Pumps: Fundamentals and Applications*. Switzerland: Springer International Publishing AG.

Grobovšek, B. (b.l.). *Pasivna hisa – raba energije, toplotne izgube in osnovne značilnosti zunanjih gradbenih konstrukcij*. Arhem d.o.o. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.pasivnogradnja.com/wp-content/uploads/2013/05/pasivna-hisa-zasnova-ARHEM-doo.pdf>.

Grobovšek, B. (b.l.a). *Ogrevanje in učinkovita raba energije: Prava vprašanja, uporabni nasveti*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <http://www.zmes.si/wp-content/uploads/2017/10/Prava-vpra%C5%A1anja-uporabni-nasveti.pdf>.

Grobovšek, B. (2009). *Praktična uporaba toplotnih črpalk*. Ljubljana: Energetika marketing.

Hidrosistemi (b. l.). *Prikaz spajanja cevi s tehnologijo press*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.hidrosistemi.si/component/virtuemart/ogrevanje/ogljikovo-jeklo-press>.

IEA (b.l.). *Heat pumps*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.iea.org/reports/heat-pumps..>

Jodeh, Y. (2012). *TČ Thermia zanesljiva tudi na radiatorjih. Praktični primer iz Slovenije*. Instalater, V(17), strani 16-17. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.instalater.si/files/revija/Instalater-17-web.pdf>.

Kraut, B. (1981). *Strojniški priročnik*. Ljubljana: Strojniški vestnik.

Labudović, B. (2006). *Priročnik za ogrevanje*. Ljubljana: Energetika marketing.

Legada (b.l.). *Energetska izkaznica stavbe*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <http://www.energetska-izkaznica.si/energetska-ucinkovitost/temperaturni-primanjkljaj>.

MEC. (2019). *FLOW TEMP. CONTROLLER. PAC_IF071_2_3*. Tokyo: MEC. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: https://www.mitsubishi-les.info/database/servicemanual/files/IM_PAC_IF071_2_3.pdf.

MojMojster Revija (b. l.). *Toplotna črpalka voda/voda in zemlja/voda*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: https://www.mojmojster.net/clanek/610/Toplotne_crpalke_voda_voda_in_zemlja_voda_gorenje.

Novak, M. (2019) *Potrebna energija za ogrevanje stavbe, locirane v različnih klimatskih prostorih*. Diplomsko delo. Ljubljana: ICES, Višja strokovna šola.

PCtech-Support (b. l.). *Vrste vijačnih kompresorjev in njihove prednosti*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://sl.best-support-pc.com/88212-types-of-screw-compressors-and-their-advantages>.

Pesjak, F. (2013). *Nasveti za varčen ogrevalni sistem s toplotnim črpalkami*. Energetik, 101/XX, 24–29. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.revija-energetik.si/wp-content/plugins/downloads-manager/upload/Energetik%20101.pdf>.

Pinterest (b. l.). *Spiralni kompresor*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.pinterest.com/pin/513762269975086402/?form=MY01SV&OCID=MY01SV>.

Prek, M. (2013). *Izračun projektne toplotne moči za ogrevanje*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.

Reberšek, T. in Reberšek, Z. (2018). *Priročnik tlačnih preskusnih strojnih instalacij za sisteme ogrevanja in hlajenja, vodovoda in kanalizacije, plinov, pare in prezračevanja*. Ljubljana: IZS.

SCC (b. l.). *Kompresorji*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: https://dijaski.net/gradivo/str_ref_kompresorji_01.

Shende, W., Ghosh, K., Patil, K. (1981). *Designing a helical-coil heat exchanger*. Calcutta: Chemical Engineering Journal.

Stern (b. l.). *Tehnologije mehkega lotanja*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.stern.si/Ponudba..>

SURS (b. l.). *Cena električne energije za gospodinjstva (EUR/kWh), Slovenija*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://pxweb.stat.si/SiStat/sl>.

Tisto (b. l.). *Stroj za varjenje plastičnih cevi*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://tisto.eu/varilni-aparat-za-polipropilenske-pp-pvc-cevi-2700-w/>.

Tuiasi (b. l.). *Kompresorji*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: https://mec.tuiasi.ro/diverse/MITH_Compresoare.pdf.

Tušek, J. in Poredoš, A. (2017) *Metode za preračun in dimenzioniranje prenosnikov toplote*. Učni pripomoček pri predmetu Prenosniki toplote. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo..

Zerox (b. l.). *Zemeljski kolektor*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <https://www.pinterest.com/pin/513762269975086402/?form=MY01SV&OCID=MY01SV>.

Zerox-1 (b. l.). *Sonda*. Pridobljeno 20. 12. 2021 z naslova: <http://slo.zerox.si/images/sonda.jpg>.