



VYTÁPĚNÍ TEPELNÝMI ČERPADLY

CITYPLAN spol. s r.o.

Obsah

Obsah	2
Seznam použitých zkratk	3
1. Úvodem	4
1.1 Cíle dokumentu.....	4
2. Využití tepelných čerpadel.....	4
2.1 Tepelné spotřebiče	4
3. Popis a princip tepelných čerpadel	5
3.1 Teoretický úvod	5
3.1.1 Tepelná čerpadla	5
3.1.2 Topný faktor	5
3.1.3 Jímání geotermální energie	6
3.2 Tepelné čerpadlo.....	9
3.2.1 Základní popis	9
3.2.2 Zásady instalace.....	10
3.2.3 Energetické charakteristiky.....	11
3.3 Zdroje NPT	11
3.3.1 Vzduchové systémy	12
3.3.2 Využívání tepla země čerpáním podzemních vod	13
3.3.3 Využívání tepelné energie země pomocí zemních výměníků.....	14
3.3.3.1 Vertikální jímače	14
3.3.3.2 Horizontální jímač	16
4. Návrh topného systému s tepelným čerpadlem	18
4.1 Charakteristika systému s tepelným čerpadlem.....	18
4.1.1 Základní charakteristiky	18
4.2 Stanovení výkonu tepelného čerpadla	19
4.2.1 Topné systémy ve spolupráci s tepelným čerpadlem.....	19
4.2.2 Tepelné čerpadlo v topném systému 90/70 °C	20
4.2.2.1 Tepelné čerpadlo v systému nízkopotenciálních topných systémů.....	23
4.2.2.2 Tepelné čerpadlo v jiných topných systémech.....	25
4.2.3 Spolupráce s jinými zdroji	28
5. Ekonomické, energetické a environmenální hodnocení.....	29
5.1 Vstupní hodnoty - ekonomika	29
5.1.1 Ceny energií a paliv	29
5.1.2 Investiční náklady.....	30
5.2 Ekonomické hodnocení přínosu instalace TČ.....	30
5.3 Environmentální hodnocení	32
6. Doporučený postup při zvažování instalce tepelných čerpadel.....	32
6.1 Provedení energetického auditu	32
6.2 Výběr dodavatele.....	32
6.3 Započítání prací	33
6.4 Předání díla	33
7. Použitá literatura a podklady.....	33

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

RD	-rodinný dům
BD	-bytový dům
TČ	-tepelné čerpadlo
T	-teplota (K)
COP	-topný faktor
NPT	-nizkopotenciální teplo
TUV	-teplá užitková voda
TČ-ÚT	-výroba tepla v tepelné čerpadle pro vytápění
TČ-TUV	-výroba tepla pro ohřev TUV v tepelném čerpadle
DZ-ÚT	-výroba tepla v doplňkovém zdroji pro vytápění
DZ-TUV	-výroba tepla v doplňkovém zdroji pro ohřev TUV
BP	-přímotopná sazba
PB	-propan-butan
LTO	-lehký topný olej

1. ÚVODEM

1.1 CÍLE DOKUMENTU

Cílem dokumentu je podat základní informace o možnosti použití tepelných čerpadel pro vytápění rodinných a bytových domů. Oslovit by měl zejména potenciální zákazníky o instalaci tepelných čerpadel, dále pak zpracovatele energetických koncepcí měst a obcí a energetické auditory.

V úvodu je popsán teoreticky princip tepelných čerpadel a výpočet zemních jímáčů. Další část je věnována popisu těchto zařízení tepelných. Následuje díl věnovaný spíše potenciálním zákazníkům o TČ a popisuje ve stručnosti zásady instalace TČ. Pro zpracování energetických bilancí je vhodné použít kapitoly popisující TČ v různých topných systémech. V závěru jsou uvedeny měrné investiční náklady a příklad ekonomického a environmentálního vyhodnocení.

2. VYUŽITÍ TEPELNÝCH ČERPADEL

2.1 TEPELNÉ SPOTŘEBIČE

Tepelná čerpadla lze použít v následujících oblastech:

✓ **Vytápění domů a bytů**

- ohřev topné vody pro podlahové a radiátorové vytápění
- ohřev teplé užitkové vody
- ohřev vody v bazénu
- chlazení prostor - práce v reverzním režimu

✓ **Technologické procesy**

- využívání odpadního tepla
- kondenzační zařízení
- chladicí zařízení s využitím kondenzačního tepla
- a jiné technologie produkující teplo

V tomto materiálu se budeme zabývat pouze vytápěním domů a bytů. Kombinace s ohřevem bazénu nebudou uvažovány pro zachování stručnosti uvažovaného dokumentu.

3. POPIS A PRINCIP TEPELNÝCH ČERPADEL

3.1 TEORETICKÝ ÚVOD

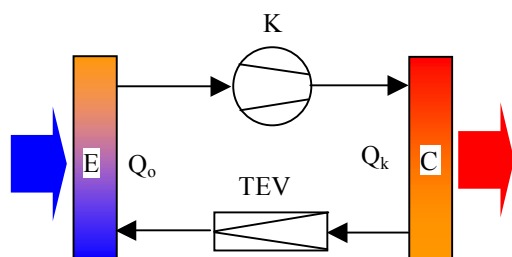
3.1.1 Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo (dále jen TČ) je stroj převádějící teplo z nízké teplotní hladiny do teplotní hladiny prakticky využitelné. Konstrukčně vychází tepelné čerpadlo z kompresorové chladničky. Využitelné teplo nalezneme na zadní straně chladničky (černá mřížka). Popisovaná tepelná čerpadla jsou výhradně kompresorová.

Při konstrukci TČ je aplikován poznatek, že teplota změny skupenství mezi kapalinou a plynou fází je závislá na tlaku. Látky používané jako teplotonosná média do tepelných čerpadel se nazývají chladiva.

Princip tepelného čerpadla dle obr. 1. Ve výparníku E se chladivo odpařuje při teplotě varu odpovídající nízkému tlaku při teplotě nižší než je teplota okolí a odnímá mu tepelný tok Q_o . Nízká teplota odpařování je dána nízkým tlakem ve výparníku vytvořeným kompresorem K. Kompresorem stlačené páry o vysokém tlaku, který umožňuje kondenzaci chladiva o teplotě vyšší než okolí, odevzdávají v kondenzátoru C tepelný tok Q_k . Kondenzát chladiva je veden do škrtícího (expanzního ventilu) TEV, ve kterém nastane pokles tlaku chladiva na hodnotu p_o .

Obr č. 1. : Schéma tepelného čerpadla



3.1.2 Topný faktor

Převážná většina tepelných čerpadel je založena na parním oběhu s jednosložkovým chladivem, umožňující srovnání s Carnotovým cyklem. Z hlediska energetického hodnocení provozu tepelného čerpadla má největší význam – topný faktor tepelného čerpadla. Při uvažování teoretického Carnotova oběhu, je topný faktor TČ dán vztahem

$$(1) \ \varepsilon = \frac{T_k}{T_k - T_o}$$

T_k – teplota kondenzační

T_o – teplota výparná

Energetická účinnost (topný faktor) je velmi závislá na výparné a kondenzační teplotě. Topný faktor uvedený ve vztahu (1) je ideální. Skutečný topný faktor lze získat vynásobením

teoretického topného faktoru průměrnou hodnotu účinnosti provozu skutečného oběhu vzhledem k ideálnímu (Carnotovu):

$$(2) \quad \varepsilon_{sk} = \varepsilon \times 0,55$$

Topný faktor tepelného čerpadla je dán poměrem energií z TČ odvedené a přivedené.

$$(3) \quad \varepsilon = \frac{Q_o + E}{E}$$

Q_o – teplo přivedené do TČ

E – elektrická energie přivedena do tepelného čerpadla

Topný faktor může vyjadřovat poměr okamžitých energetických toků, poměr jejich průměrných ročních hodnot a poměr všech toků energie celého systému s tepelným čerpadlem.

Okamžitý topný faktor - topný faktor vyplývá z okamžitých hodnot

Průměrný roční topný faktor - topný faktor vyplývající z průměrných ročních hodnot toků energie. Hodnota průměrného ročního faktoru je využívána pro určení energetických bilancí a ekonomického hodnocení.

Celkový topný faktor systému - průměrný topný faktor celého systému. Do bilancí jsou též započteny spotřeby energií na čerpání podzemní vody případně spotřeba oběhového čerpadla zemních kolektorů.

V tabulce 1 jsou uvedeny vybrané hodnoty topných faktorů dělené podle oblasti využití tepelného čerpadla. Nejvyšší topné faktory mají systémy využívající odpadní tepla (až do 40 °C) jako zdroj energie a pracující do nízkých teplot (např. teplota bazénové vody 28 °C)

Tabulka 1: Typické hodnoty okamžitých topných faktorů kompresorových TČ

Systém s tepelným čerpadlem	ε
Klasické teplovodní systémy	2,2 - 3,8
Nízkoteplotní otopné systémy	3,5 - 5,9
Příprava TUV (do 60 °C) z přírodních zdrojů	2,2 - 3,8
Příprava TUV (do 60 °C) z odpadního tepla	3,0 - 7,0
Přihřívání plaveckých bazénů	4,0 - 7,0

3.1.3 Jímání geotermální energie

Jak bylo řečeno v předchozím odstavci, TČ převádí pomocí chladicího okruhu tepelnou energii s nízkou teplotou na energii s teplotou využitelnou pro vytápění. Zdrojem energie pro vytápění jsou zdroje nízkopotenciálního tepla (dále jen NPT).

Zdrojem NPT pro tepelná čerpadla může být teplo z přírodních zdrojů nebo odpadní teplo. Způsob využívání odpadního tepla jako zdroje pro vytápění rodinných domků (RD) a bytových domů (BD) je velice odlišný případ od případu. Dále se odpadním teplem jako zdrojem NPT, pro svou specifickou, zabývat nebudeme.

Zdroje NPT z přírodních zdrojů

1. Venkovní vzduch

Venkovní vzduch představuje nevyčerpatelný zdroj energie. Z ekologického hlediska je využití venkovního vzduchu nejvýhodnější, neboť odebrané teplo je vzduchu vráceno formou ztrát (tepelné ztráty domu). Obrovskou nevýhodou využívání venkovního vzduchu jako zdroje NPT je pokles jeho teploty v období s největší potřebou tepla. Pro stanovení efektivity použití TČ je nutné znát alespoň měsíční průměrné hodnoty a četnost teplot vzduchu.

Průměrnou měsíční teplotu lze určit podle vztahu pracujícího s průměrnou roční teplotou

$$(4) \quad t = t_s + \Delta t \times \cos\left(\frac{\pi \times n}{6}\right)$$

t_s – průměrná roční teplota (°C)

Δt – maximální odchylka (°C)

n – číselné označení měsíce, srpen = 1

Tabulka 2: Výpočtové konstanty pro některá města

	Δt	t_s
Brno	10	8,4
České Budějovice	9,6	7,8
Domažlice	9,8	7,6
Hodonín	10,3	9,5
Cheb	9,6	6,8
Karviná	9,9	8,4
Liberec	9,6	7,1
Olomouc	10,1	8,4
Ostrava	10,1	8,6
Písek	9,8	7,5
Plzeň	10	7,8
Praha	10,1	9,1
Rakovník	9,8	7,8
Strakonice	9,7	7,5
Tábor	9,8	7,3
Trutnov	9,9	6,8
Vsetín	10,1	8
Znojmo	10,2	8,8
Česká republika ($t_v = -12^\circ\text{C}$)	9,8	8,6

Další vlastností vzduchu je obsah vodních par. Tyto vodní páry kondenzují na venkovních výparnicích zejména při teplotách kolem 0 °C. Vzniklou námrazu je třeba odstraňovat pomocí odmrazovacích cyklů zhoršujících topný faktor.

2. Půda jako zdroj NPT – plošné kolektory

Teplo je transportováno do TČ pomocí polyethylenových trub s teplotonosným médiem tvořících horizontální kolektor uložený v určité hloubce. Teplota v určité hloubce závisí na několika faktorech:

- ✓ teplota vzduchu
- ✓ intenzita dopadajícího záření
- ✓ geologické poměry
- ✓ hladina podzemních vod

Díky těmto faktorům jsou parametry půdy závislé i na geografické poloze a zastínění pozemku. Maximální tepelný tok z jednotkové plochy pozemku se pohybuje do 40 W/m². Průměrné hodnoty jsou okolo 10 W/m².

Díky akumulacím schopnostem půdy je nejkritičtější období pro odběr tepla v 1 – 3 měsíci roku. Uvážíme-li, že v těchto měsících je i maximální odběr tepla pro vytápění, klesá teplota půdy na hodnoty snižující topný faktor. Se snižující se teplotou trubek dochází k difúzi vody do míst uložení trubek, kde namrzá. Tvoří se izolační vrstva zabraňující přísunu tepla do potrubí. Následkem toho klesá neustále teplota potrubí až se TČ odstaví. Správně dimenzované půdní kolektory však systém z TČ neodstaví.

Teplotu půdy v určité hloubce lze určit přibližně ze vztahu :

$$(5) \quad t = t_s + \Delta t e^{(-x\sqrt{\frac{\pi}{a\tau}})} \cos(-x\sqrt{\frac{\pi}{a\tau}} + \frac{\pi n}{6})$$

t_s – průměrná roční hodnota (°C)

Δt – maximální odchylka vzduchu dle tabulky č. 2 (°C)

x – hloubka uložení v zemi (m)

a – součinitel teplotní vodivosti dle tabulky č. 3 (W/m.K)

n – číselné označení, srpen = 1

τ – 31 536 000 (s/rok)

Tabulka 3: Součinitele teplotní vodivosti půdy

	λ_s (W/m.K)
půda těžká suchá	0,865
půda lehká vlhká	0,865
půda lehká suchá	0,346
beton	1,73
půda těžká vlhká	1,3
skála	2,6
štěrka	2,42

Během odnámání energie z půdy klesá průměrná teplota půdy o Δt podle empirického vztahu:

$$(6) \Delta t = 0,27 q_p$$

q_p – tepelné zatížení vztažené na 1 bm zemního kolektoru (W/m)

Tabulka 4: Parametry zemních kolektorů

Uložení trubek		Pokles teploty půdy při odběru tepla	Zatížení zemního kolektoru
hloubka	rozteč		
(m)	(m)	(K)	(W/bm)
1	1	11	38
1,4	1,5	7	25
1,5	1,5	11	38
1,8	1,2	7,5	28
1,8	1	6	28

3.2 TEPELNÉ ČERPADLO

3.2.1 Základní popis

Tepelné čerpadlo je sestaveno z vlastního chladicího okruhu a elektrických a bezpečnostních prvků. Některá tepelná čerpadla jsou také vybavena prvky topného okruhu jako jsou oběhová čerpadla topného okruhu, výměník pro ohřev TUV a expanzní nádoba. Dále někteří výrobci montují do tepelného čerpadla i oběhová čerpadla kolektorových okruhů. Je třeba si především uvědomit že v tepelném čerpadle se objevují z hlediska bezpečnosti kritické hodnoty:

vysoký tlak výtláčného potrubí chladicího okruhu	4 MPa
vysoká teplota přehřátých par chladiva pro kompresy	až 150 °C
nízká teplota par chladiva	-25 °C
elektrické napětí mezi fázemi	380 V/ 50 Hz

Pozn.: Uvedené hodnoty nejsou běžnými provozními, ale nelze je vyloučit.

Hlavní prvky tepelného čerpadla

Kompresor – dnes jsou do tepelných čerpadel pro vytápění RD montovány výhradně hermetické kompresory (cca do výkonu 80 kW) a to v provedení pístovém nebo spirálovém. Spirálové kompresory (vyráběné sériově do výkonu 40 kW), označované scroll, mají oproti klasickým pístovým způsobům několik výhod. Hlavní výhodou je především lepší účinnost a nižší hlučnost. Předními výrobci hermetických kompresorů jsou např. firma Danfoss-Maneurop. U vyšších výkonů se používají polohermetické kompresory, buď pístové nebo

šroubové. (Bitzer). Pro snazší řízení výkonu a ze servisních důvodů bývají TČ, od určitého výkonu, osazena dvěma kompresory.

Kompresor v tepelném čerpadle je nejdražší část a proto je třeba dodržení provozních parametrů kompresoru věnovat náležitou péči.

Výparník - výměník tepla pro přenos energie ze zdroje NPT do chladicího okruhu. Tepelný výměník musí odolávat vysokým tlakům (u chladiv až 40 bar) a změnám teplot. Dále musí odolávat chemickému složení vody nebo teplotnosného média v zemním kolektoru (chloridy – nerezová ocel = bodová koroze).

Kondenzátor - výměník tepla pro přenos energie z chladicího okruhu do topné soustavy. Platí pro něj stejné podmínky jako pro výparník. Pro chemické složení vody platí stejné podmínky jako pro běžné vytápěcí systémy.

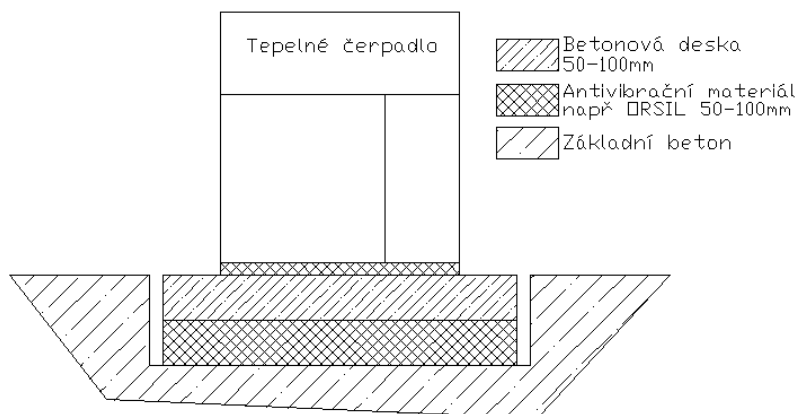
Ovládání tepelného čerpadla – tepelné čerpadlo bývá buď vybaveno ovládacím panelem přímo na tělese TČ anebo ovládací skřínkou. Regulace TČ je u hermetických kompresorů založena na dvojstavové regulaci vypnuto – zapnuto. Vypnutí TČ je vhodné řízeno termostaty vyhodnocujícími aktuální potřebu topné vody podle venkovní teploty (ekvitermní regulátory). Zabráni se tak ohřevu topné vody při horším topném faktoru TČ. U plynové kotle nemá výstupní teplota tak markantní vliv na účinnost spalování. Dále musí být tepelná čerpadla vybavena systémem zabráňujícím příliš častému zapínání. Výrobci kompresorů udávají maximálně 12 zapnutí do hodiny. Řízení tepelného čerpadla je vhodné umístit na přístupné místo.

Bezpečnostní prvky – zamezují poškození kompresoru a tlakově chrání celý systém tepelného čerpadla. Normy předepisují použití nízkotlakých a vysokotlakých ochran umístěných přímo v chladicím oběhu. Výrobci kompresorů doporučují ještě umístění termostatických čidel.

Prvky chladicího okruhu - v okruhu se nachází ještě další prvky důležité pro provoz tepelného čerpadla. Jedná se zejména o termostatický expanzní ventil řízený přehřátím par chladiva, sběrač chladiva, kontrolní manometry a další prvky. Tyto prvky nejsou přístupné uživatelům a neodborná manipulace s nimi je zakázána a je velmi nebezpečná.

3.2.2 Zásady instalace

Tepelná čerpadla jsou zařízení pracující většinou s napětím 3 x 380 /220 V. Do určitých vnitřních prostorů lze instalovat pouze zařízení, splňující předepsané elektrické krytí pro



uvažované místa. Povahu prostoru z hlediska elektrické bezpečnosti určuje projektant kotelny (strojovny), který je obeznámen s charakteristikou systému s tepelným čerpadlem. Je třeba připomenout např. při použití lihovodních směsí v zemním kolektoru nutnost odsávání z prostoru instalace pro zamezení možnosti hromadění lihových par. Většina tepelných čerpadel je určena do vnitřních prostorů. Do venkovních prostor jsou

určeny především některé modely TČ vzduch – voda. Dále je třeba uvážit materiál používaný při konstrukci tepelných čerpadel. Obsahují – li konstrukční prvky železné prvky není možno instalovat TČ do vlhkých prostor. Většina výrobců však omezuje množství kovových prvků v TČ. Uložení tepelných čerpadel se doporučuje provést podle uvedeného obrázku na straně 9.

3.2.3 Energetické charakteristiky

Energetické charakteristiky jsou hlavním parametrem při výběru tepelného čerpadla. Energetická účinnost TČ (topný faktor) je závislý na několika parametrech:

- ✓ Topný systém – teplota topné vody
- ✓ Zdroj NPT - vazba na výparnou teplotu je uvedena v následující tabulce.

Tabulka 5: Teoretické průměrné roční výparné teploty pro různé systémy

Vodní systém	+2 °C
Vertikální kolektor	+1 °C
Horizontální kolektor	-1 °C
Vzduchový systém	3,3 °C

Pozn.: V tabulce jsou uvedeny průměrné roční teploty uvedené v literatuře, u vzduchového systému je průměrná roční tepla vypočtena podle kapitoly 3.3.

- ✓ Použité chladivo
- ✓ Konstrukce tepelného čerpadla (teplosměnná plocha výměníků)

Poslední dva parametry jsou ovlivnitelné přímo výběrem tepelného čerpadla.

Použité chladivo a konstrukce tepelného čerpadla

V tepelných čerpadlech se dnes používají tato chladiva:

- R 22 – HCFC – je postupně odbouráván
- R 134a – HFC – náhrada za R12
- Propan
- R 407 C – HFC – směsné chladivo nahrazující R 22
- CO₂ – je v současné době ve fázi zkoušek
- R 290 - nový moderní typ chladiva

Průběhy topných faktorů pro jednotlivá chladiva jsou uvedeny v příloze. Z uvedeného grafu vyplývá i srovnání mezi TČ s pístovými a spirálovými kompresory. Lepší energetické parametry mají kompresory spirálové. U systémů pracujících s nižšími výparnými teplotami se častěji používají větší u pístové kompresory (info např. [http://: www. danfoss-maneurop.com](http://www.danfoss-maneurop.com)).

3.3 ZDROJE NPT

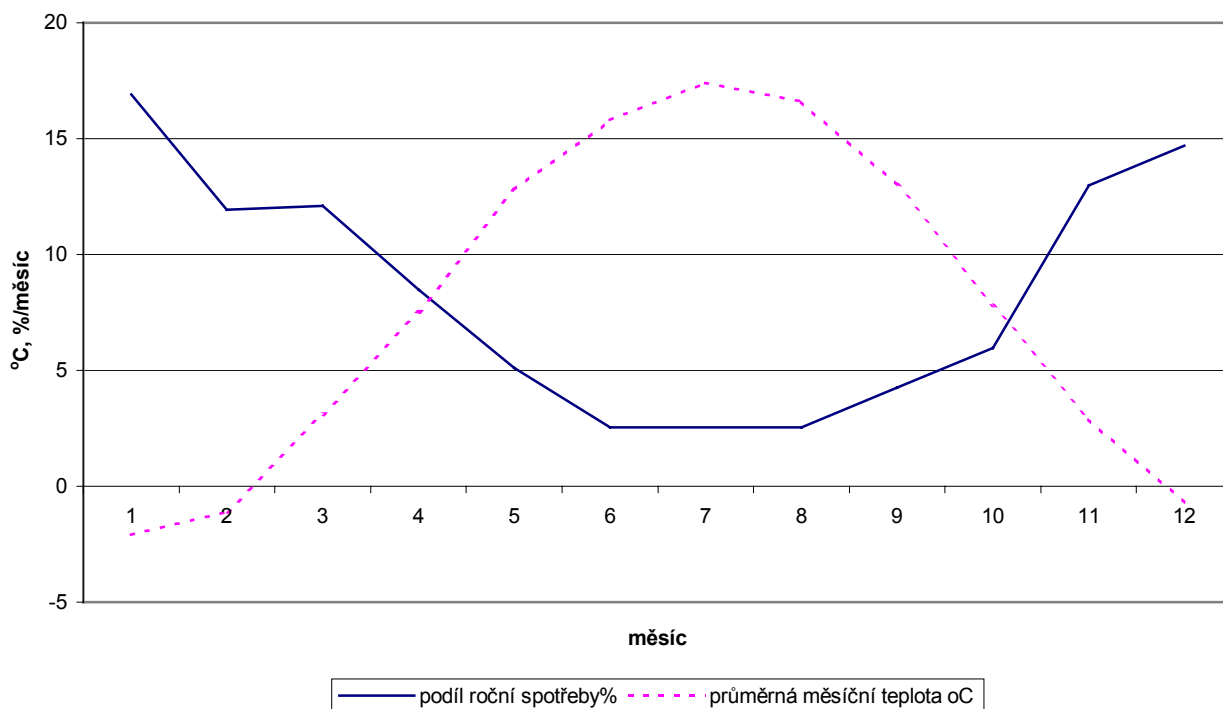
Dobré navržení zdrojů NPT je základem pro bezchybnou funkčnost systému s TČ. Někteří dodavatelé těchto systémů, ve snaze snížit cenu instalace, navrhuji např. jiné délky vrtů než je

potřeba. Díky tomu dochází k vysokému odběru tepla z okolní zeminy a půda se vychlazuje. Proto je třeba návrhu zdroje NPT věnovat velkou pozornost.

3.3.1 Vzduchové systémy

Tepelná čerpadla využívající jako zdroje NPT vzduch tvoří samostatnou skupinu, jelikož teploty zdroje tepla jsou závislé na ročním období. Průměrné teploty vzduchu jsou pro příklad Českých Budějovic vyneseny do grafu společně s poměrem roční spotřeby tepla pro daný měsíc.

Graf 1: Průměrné měsíční teploty a poměrné spotřeby tepla pro České Budějovice



Pro zjištění efektivity provozu jsou důležité následující parametry

- účinnost ventilátoru výparníku
- teplotní rozdíl mezi vstupní teplotou vzduchu do výparníku a výstupní teplotou
- rozdíl výstupní teploty vzduchu a výparné teploty ve výparníku.

U vzduchových topných systémů výparná teplota bývá o 6 až 10 °C nižší než okamžitá teplota venkovního vzduchu. Výpočet průměrného topného faktoru v příloze je proveden při uvažování rozdílu mezi vstupní teplotou vzduchu a výparnou teplotou 8 °C.

Vzduchové výparníky jsou v současné době konstruovány jako lamelové výměníky chladivo – vzduch se směrem toku většinou od shora dolů. Ventilátory výparníku jsou pomaloběžné, aby hladina zvuku z těchto zařízení splňovala normy pro hodnocení vlivu na okolní prostředí (tj. 40 dB). Splnění požadovaných hodnot by měli dodavatelé zařízení doložit protokolem o měření po instalaci zařízení. V některých případech může zvýšená hladina hluku narušit sousedské vztahy.

Námraza

Nevýhodou vzduchových výparníků je namrzání lamel výměníku. Venkovní vzduch obsahuje určité množství vodních par, jež při teplotách blízkých 0 °C vymrzá na povrchu výměníku. Vzniklá námraza zhoršuje přestup tepla, snižuje teplosměnnou plochu a snižuje množství protékajícího vzduchu. Díky tomu dojde velice rychle k zamrznutí celého výparníku.

Odmrazování výparníku je možné provést v zásadě dvěma způsoby. První možností je elektrické odmrzování, které je investičně náročnější ale provozně jednodušší. Spočívá v zamontování topných tyčí do výparníku. Po zamrznutí výparníku (dosažení určitého stupně zamrznutí) se vypne chladicí okruh TČ a topné spirály ohřívají výparník až do vyschnutí. Druhý způsob – reverzační okruh spočívá v krátkodobé záměně výparníku za kondenzátor. Vniknutím horkých par chladiva do výparníku dochází k odmrzení během několika minut. Teplo spotřebované pro odmrzení je vyrobeno s topným faktorem minimálně > 2 .

3.3.2 Využívání tepla země čerpáním podzemních vod

Dalším významným zdrojem tepla jsou podzemní vody. Teploty spodních vod se v našich podmínkách standardně pohybují kolem 10 °C. Odchyly od těchto teplot dosahují maximálně 2 °C. Některá literatura udává pro výpočet teploty spodních vod vztah používající jako parametr průměrnou roční teplotu vzduchu.

$$(7) \quad t_w = t_s + l + 0,03 h$$

t_s - průměrná roční teplota vzduchu

h - hloubka pramenu pod povrchem

0,03 – geotermický gradient (K/m)

Systém je založen na čerpání podzemních vod z jímacího vrtu a vsakování chlazené vody do jiného vrtu, dostatečně vzdáleného ve směru toku podzemních vod. Vypouštění ochlazené vody do povrchových toků nebo do kanalizace zhoršuje bilanci vody podloží a může vyústit ve ztrátu vody z pramene. Nezasakování, vody většinou v pitné kvalitě , je plýtvání touto dnes stále ještě nedoceněnou tekutinou.

Spotřeba vody

Spotřeba vody je dána chladícím výkonem tepelného čerpadla. Tento výkon lze v prvním přiblížení obdržet ze vztahu:

$$(8) \quad l = (Q_t - \frac{Q_t}{3}) \times \frac{1}{4,18 \times 4}$$

l – okamžitý průtok vody (l/s)

Q_t - topný výkon tepelného čerpadla udávaný výrobcem (kW)

4,18 – měrná tepelná kapacita vody (kJ/kg.K)

4 - ochlazení podzemní vody (°C)

Ochlazení podzemní vody je možné prakticky volit mezi 3 – 6 °C. Vyšší hodnoty jsou vhodné pro čerpání v oblastech s nejnižším přítokem vody do vrtu (nižší vydatnost vrtu). Používání podzemních vod jako zdroje pro tepelná čerpadla je velice výhodné, jelikož teplota vody vstupující do tepelného čerpadla je o cca 6-8 °C vyšší než u systémů se zemními kolektory.

Chemické složení podzemní vody

Chemické složení protékající vody ovlivňuje použité materiály, zejména pak výměníky tepla, kterými protéká (výparník a kondenzátor). Pro spolehlivý provoz je třeba aby podzemní voda měla parametry dle tabulky v příloze.

3.3.3 Využívání tepelné energie země pomocí zemních výměníků

Tam kde není dostatek podzemní vody, nebo jsou náklady na čerpání vody vzhledem k poloze spodních vod neekonomické, je možno uvažovat o dvou dalších zdrojích NPT. O vzduchu jako zdroji NPT bylo již pojednáno. Druhým zdrojem je zemské teplo (někdy označováno jako suché zemské teplo). Čerpání tepla je možné pomocí dvou systémů.

3.3.3.1 Vertikální jímače



Teplo je jímáno většinou ve svislých vrtech s uloženým potrubím, kde proudí teplotnosné médium. Délka vrtu je závislá na výkonu chladicí části tepelného čerpadla geologických parametrech zeminy uložení potrubí ve vrtech a počtu trubek. Výkon chladicí části TČ lze obdržet podle vztahu 8.

$$(9) \quad Q_{ch} = (Q_t - \frac{Q_t}{3})$$

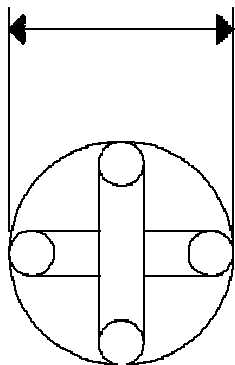
Geologické parametry zeminy jsou dány vlastnostmi zeminy (viz předchozí kapitoly).

Pro účely dimenzování délky vrtů plně postačují údaje podle tabulky č 6.

Tabulka 6: Měrné zatížení podloží W /m vrtu

Typ podloží	Vydatnost na 1m hloubky vrtu
Suché usazeniny	30W/m
Jíl, Břidlice	60W/m
Skála, pevné horniny	80W/m

Pro zvýšení symetrie odběru tepla se do vrtu vkládají dvě smyčky podle následujícího obrázku. Uvedené řešení zvětšuje efektivitu vrtu o 16 %. Průměr vrtu je podmíněn velikostí potrubí a řešením „spodní spojovací částí“. Při použití potrubí D 32 (vnější průměr 32 mm, je průměr vrtu 150 mm.



Materiál potrubí

Materiál pro zemní kolektor je třeba volit s velkou pečlivostí díky faktické nedopravitelnosti potrubí vrtu. TČ je schopné pracovat i v oblasti nízkých teplot pod +5 °C. Je třeba si uvědomit, že odolnost plastových materiálů s teplotou klesá. Na trhu jsou v současné době k dispozici materiály splňující požadavky na zachování pevnosti. Jedná se o plastové potrubí z HDPE – lineárního polyetylénu. Jeho pevnost je garantována až do teplot – 40 °C. Uvedené potrubí se používá pro rozvod zemního plynu nebo pitné vody. Dalším materiálem, který však v oblasti pod 5 °C začíná křehnout je rozvětvený polyetylén rPE, běžně používaný pro rozvody pitné vody. Nevýhodou materiálu HDPE je jeho spojování přes „elektrotvarovky“, které nejsou zrovna nejlevnější. Proto se spíše používá rPE, které lze svařovat polyfuzně.

Tlaková odolnost potrubí musí být dimenzována vzhledem k hloubce vrtu. V houbce 10 m je hydrostatický tlak 100 kPa (1 atm.). Hloubky vrtů dosahují i 100 m. Potrubí PN 6 (jmenovitý tlak 600 kPa) je vhodné do hloubek 40 m. Pro hlubší vrtvy doporučujeme použít potrubí s tlakovou odolností PN 10.

Provedení vrtu

Složitost vrtných prací je dána především geologickými podmínkami v místě vrtu. Nejsnadnější vrtání je v soudržných zeminách (skále), kdy nedochází k borcení vrtu a není nutno provádět pažení potrubím. Většinou však v prvních metrech vrtání probíhá v nesoudržných zeminách, kde je potřeba provádět pažení. V průběhu vrtných prací se používají ocelové pažnice, které se po dokončení vrtných prací vyjmou a nahradí novodurovým potrubím, je-li to nutné. Ihned po vyvrtání vrtu by mělo dojít k zavedení potrubí do vrtu. Přítomnost podzemních vod není na závadu.

Zapouštění potrubí

Zapouštění potrubí je třeba provést v co nejkratší době po ukončení vrtných prací. Před zapuštěním potrubí musí prováděcí organizace provést tlakovou zkoušku. Dále se doporučuje požadovat po organizaci provádějící potrubářské práce požadovat certifikaci svářečské školy. Ve většině případů je ve vrtech přítomna spodní voda. Pro snadnější manipulaci je vhodné „potrubní svařenec“ naplnit vodou. Po zapuštění potrubí je třeba vrt řádně utěsnit (zasypat) buď vytěženou zeminou nebo bentonitem (směs cementu, jílu a vody). Po zapuštění je třeba provést opět tlakovou zkoušku.

Manipulace s potrubím je možná pouze při teplotě okolí nad 5 °C. Při nižších teplotách je nebezpečí nalomení potrubí.

Spojení vrtů

Spojení vrtů je vhodné provádět přes uzavíratelné kohouty do jednoho rozdělovače-sběrače.

Zdroj NPT je připraven pro připojení až po odvzdušnění vrt po vrtu a naplnění nemrznoucí směsí.

Nemrznoucí směs

Pro bezporuchový provoz tepelným čerpadla je třeba do okruhu procházejícího výparníkem namíchat nemrznoucí směs, která má bod tuhnutí nižší než je minimální možná teplota okruhu při poruše. Rozmrazení zamrznutého kolektoru může být otázkou i několika dnů až týdnů.

Jako nemrznoucí kapaliny se používají :

Voda - Glykol

Poměr voda:glykol: 7 : 3 objemových

Negativní vlastnosti : zvýšení viskozity a tím zvýšení čerpací práce o 10 – 15 %.

Výhody : nevýbušný

Voda - Lih

Poměr voda:denaturovaný líh : 7 : 3 objemových

Negativní vlastnosti : zvýšení viskozity a tím zvýšení čerpací práce o 10 – 15 %. Při manipulaci s lihem je třeba dbát zvýšené opatrnosti (hořlavina 1. třídy nebezpečnosti).

Výhody : Nízká cena

Voda - Soli (NaCl)

Poměr voda:soli : 8 : 2 objemových

Negativní vlastnosti : díky působení na kovové materiály vzniká bodová koroze.

3.3.3.2 Horizontální jímač



Horizontální jímače nízkopotenciálního tepla patří do skupiny jímačů suchého zemského tepla. Tak jako jímače vertikální (vrty), jsou charakterizovány především vlastnostmi půdy. Úvodem lze říci, že horizontální jímače (kolektory) pracují s nižší teplotou teplotonosného média než vrty. Je to dáno především místem odběru tepla. Zatímco ve vrtech je teplota zeminy téměř nezávislá na teplotě vzduchu u horizontálních výměníků je tomu právě naopak.

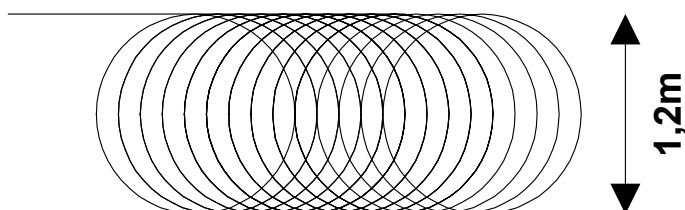
Dimenzování horizontálních kolektorů

Zatížitelnost půdy odebíraným výkonem je dána vlastnostmi půdy (viz. teoretická pojednání). Pro praktické výpočty se používá následujících parametrů.

Tabulka 7: Zatížitelnost půdy

Druh půdy	Vydatnost na běžný m potrubí	Plocha potřebná na 1 kW topného výkonu
	W/m	m ²
suchá, nesoudržná	6	70
vlhká, soudržná	12÷18	40÷26
mokrá sypká	25	20

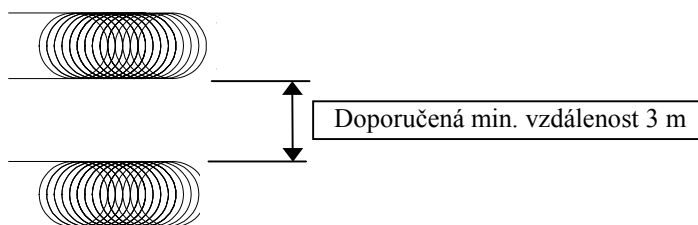
Dle uvedených hodnot lze dimenzovat klasický horizontální kolektor. Ten je sestaven z jednotlivých potrubních smyček (každá smyčka max. 200 m) které jsou uloženy v přímých výkopech. Jinou alternativou uložení jsou „Slimky“, spirálově uložené potrubí v rýze o šířce 1,3 m nebo 0,4 m.



Tabulka 8: Zatížitelnost půdy (průměr 1,2m)

Druh půdy	Vydatnost na 10 m výkopu
	W/10m
suchá, nesoudržná	113
vlhká, soudržná	283
mokrá sypká	396

Při uložení do rýhy 1,3 m se smyčky ukládají na dno výkopu do hloubky cca 1,5 m. Přitom platí, čím hlouběji tím lepší energetické parametry.



Alternativou k předchozímu uložení jsou vertikální slimky uložené do rýhy 0,2-0,4m. Hloubka výkopu je 2-2,5 m.

Volba typu uložení smyček je závislá nejvíce na dostupnosti daného typu mechanizace pro jednotlivou instalaci tepelného čerpadla.

Provedení horizontálních kolektorů

Použité materiály a nemrznoucí směsy se svou charakteristikou neliší od vertikálních kolektorů. Nejpoužívanější průměr potrubí je D 32 (vnější průměr). Pokládání potrubí je nejlépe provést do pískového lože. Vrstva písku by však neměla být příliš silná, neboť suchý písek má oproti zemině izolační schopnosti. Před definitivním zahrnutím je nutné provést tlakovou zkoušku.

4. NÁVRH TOPNÉHO SYSTÉMU S TEPELNÝM ČERPADLEM

4.1 CHARAKTERISTIKA SYSTÉMU S TEPELNÝM ČERPADLEM

V následujícím odstavci bude charakterizována topná soustava s tepelným čerpadlem. Systém jedosti odlišný od „klasického vytápění“, proto je této problematice věnována pozornost.

4.1.1 Základní charakteristiky

Základní charakteristiky současných vytápěcích systémů s TČ jsou dány především fyzikálními vlastnostmi používaných chladiv a charakteristikou zdroje tepla.

Maximální teplota topné vody

Maximální teplota topné vody je dána maximálním tlakem chladiva (kondenzačním) v kondenzátoru. tomuto tlaku odpovídá určitá teplota. Maximální kondenzační teploty u chladících okruhů v TČ se pohybují do 60 °C a do 70 °C u chladiva R 134a. Páry z kompresoru jsou přehřáté (u chladiva R22 až 145 °C) a teoreticky je proto možné zvýšit výstupní teplotu vody nad teplotu kondenzační. V praxi se pro velmi malý efekt uvedeného způsobu nepoužívá. Maximální teplota topné vody bývá o 2-3°C nižší než kondenzační teplota.

Vstupní teplota topné vody

Vstupní teplota topné vody má vliv především na energetické bilance uvnitř okruhu. Podchlazením zkondenzovaného chladiva o 10 °C se dosáhne zlepšení topného faktoru o 2–8 %. Podchlazení se ve skutečnosti dosahuje např. při přímém ohřevu teplé užitkové vody o teplotě (cca +10°C). Změna topného faktoru podchlazením kapalného chladiva je závislá i na náplni chladícího okruhu.

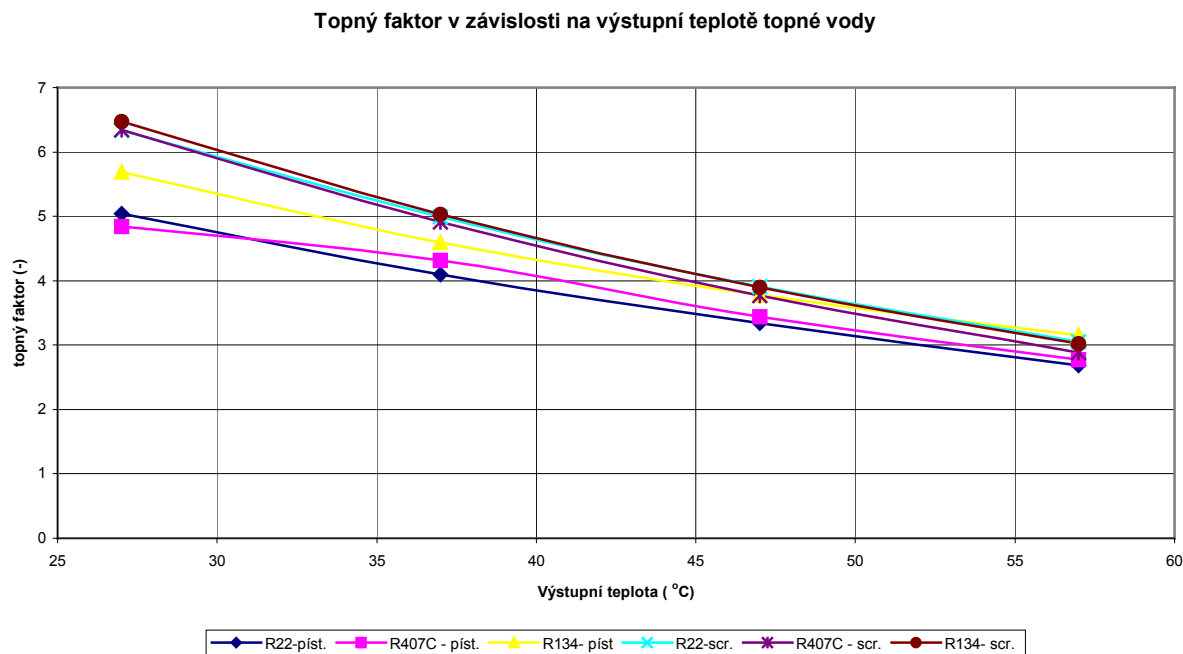
Provoz kompresoru

Při použití klasického např. plynového vytápění nezáleží životnost zařízení na počtu sepnutí kotle. U tepelného čerpadla je situace odlišná. Hlavní pohonnou jednotkou TČ je kompresor. Kompresor je obecně stroj, kde počet startů zařízení výrazně ovlivňuje životnost zařízení. U tepelných čerpadel je optimální frekvence ovlivněna právě kompresorem. Přípustná frekvence startů kompresoru za 1 hodinu se liší podle jednotlivých výrobců. Běžné hodnoty jsou od 4 startů za hodinu až do 12. Zvýšení frekvence startů je třeba zabránit vhodnými komponenty zvětšujícími akumulaci soustavy.

Energetické parametry

Narozdíl od klasických zdrojů vytápění, kde křivka účinnosti není tolik závislá na výstupní teplotě, je u tepelných čerpadel tato závislost velká.

Graf 2:



S ohledem na charakteristiku výkonu tepelného čerpadla je třeba dimenzovat topnou soustavu. Z grafu jsou vidět i lepší charakteristiky tepelných čerpadel se spirálovými kompresory (označeny scr.). Pro porovnání je uvedeno i chladivo R 22, jehož používání je omezoováno.

Umístění tepelných čerpadel

Díky vibracím a hluku se doporučuje tepelná čerpadla umisťovat do prostor vzdálených od místností pro spánek a dětských pokojů. Dále je potřeba osadit tepelné čerpadlo na antivibrační podložku dle nákresu uvedeného v obecné části.

4.2 STANOVENÍ VÝKONU TEPELNÉHO ČERPADLA

Výkon tepelného čerpadla je třeba stanovit tak, aby celková investice do tepelného čerpadla přinesla uživateli co největší efekt. Vzhledem k vysokým měrným investičním nákladům (25 000 Kč/kW-topného výkonu) je potřeba věnovat dimenzování výkonu TČ patřičnou pozornost. Výchozími parametry pro dimenzování výkonu jsou tepelná ztráta a bilance spotřeb energií. Z ekonomických důvodů (viz. volba bivalentního bodu) se tepelné čerpadla dimenzují pro krytí určitého podílu tepelných ztrát.

4.2.1 Topné systémy ve spolupráci s tepelným čerpadlem

Pro topný systém s tepelným čerpadlem jsou charakteristické vlastnosti podle odstavce 4.1.1. S ohledem na tyto vlastnosti je třeba posuzovat nasazení tepelných čerpadel v následujících systémech.

4.2.2 Tepelné čerpadlo v topném systému 90/70 °C

Klasické topné soustavy se navrhují na topný spád 90/70 °C. Na uvedené teploty se dimenzují i topná tělesa. Výkon těchto topných těles je závislý právě na střední teplotě těchto těles podle následujícího vztahu.

$$(10) \quad Q_{SK} = Q_N \times \left(\frac{t_{S1} - t_i}{t_{SN} - t_i} \right)^n$$

t_{S1} - skutečná střední teplota ot. tělesa $(t_{vst} + t_{výst})/2$ (pro nové podmínky)

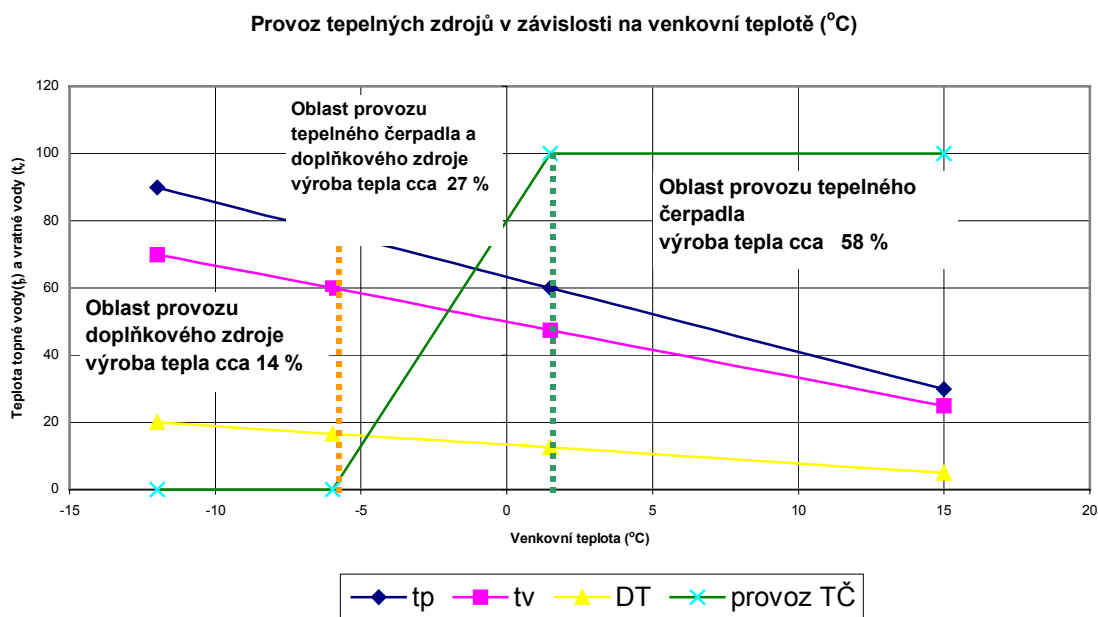
t_{SN} - nominální střední teplota otopného tělesa 80°C(90/70)

t_i - vnitřní teplota místnosti

n - je exponent otopného tělesa (1.3 pro deskové otopné těleso a až 1.4 pro konvektory)

Tepelné čerpadlo je schopno dodávat teplo v topné vodě pouze při teplotách topné vody nižších než 60 °C. Při zjednodušení závislosti teploty topné vody na venkovní teplotě lineární závislostí, je možné rozdělit výrobu tepla z jednotlivých zdrojů dle následujícího grafu.

Graf 3: Struktura výkonu



Uvedený graf platí pro oblast s výpočtovou teplotou -12 °C, topným systémem 90/70 °C, teplotě topné vody (t_p) při venkovní teplotě 15 °C 30 °C, teplotě vratné vody (t_v) při venkovní teplotě 15 °C 25 °C a ekvitermní regulaci. (DT teplotní spád topné vody °C).

Při venkovních teplotách nad 1,5 °C pracuje pouze tepelné čerpadlo. Při této venkovní teplotě dosahuje teplota topné vody 60 °C. Teplota zpátečky je o 12,5 °C nižší. Při venkovních teplotách pod 1,5 do -6 °C pracuje tepelné čerpadlo spolu s doplňkovým zdrojem. Od venkovní teploty -6 °C je tepelné čerpadlo již mimo provoz, jelikož teplota vratného potrubí (vody) je vyšší než 60 °C.

Výkon tepelného čerpadla

Maximální výkon tepelného čerpadla je při teplotě 1,5 °C (viz. graf 4). Tepelná ztráta odpovídající této hodnotě je dána vztahem

$$(11) \quad Q = Q_{skut} \frac{t_i - 1,5}{t_i - t_e}$$

Q - tepelná ztráta – maximální výkon tepelného čerpadla (kW)

Q_{skut} - skutečná tepelná ztráta objektu dle ČSN 06 0210 (kW)

t_i - vnitřní výpočtová teplota (zpravidla 20 °C)

t_e - vnější výpočtová teplota (-12, -15, -18 °C)

Pro teploty ($t_i = 20$ °C, $t_e = -12$ °C) lze vztah 11 zjednodušit na

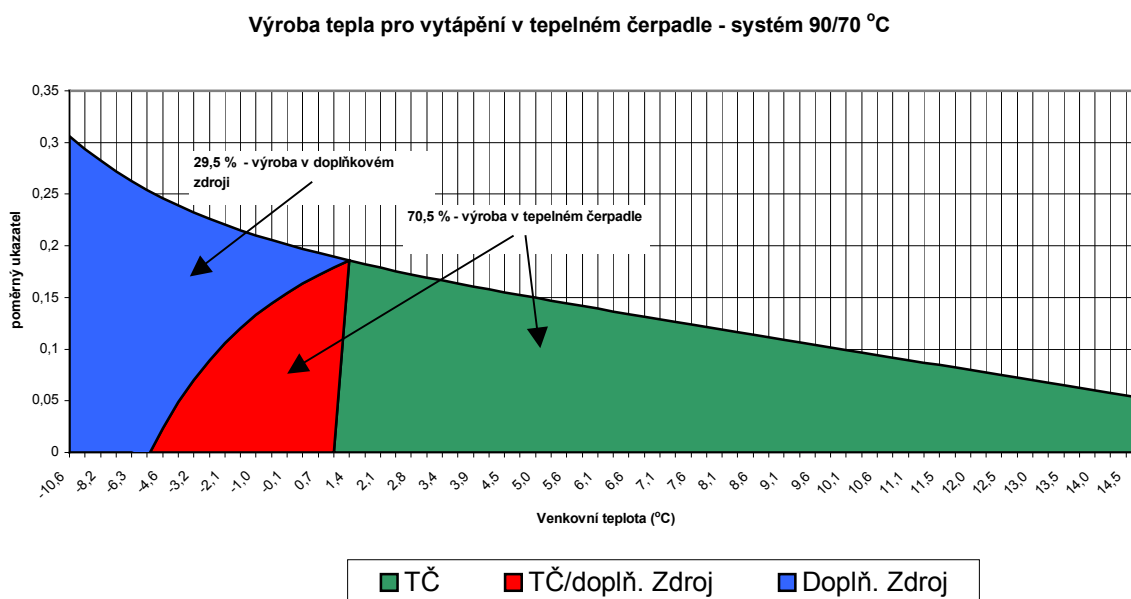
$$(12) \quad Q = Q_{skut} \times 0,58 \times 1,2$$

1,2 – koeficient přepočtu výkonu pro 20-ti hodinový provoz TČ

Výroba tepla

Výroba tepla v tomto příkladě kombinovaného systému je rozložena podle následujícího grafu. Tepelné čerpadlo dodává přibližně 58 % tepla z celkové tepelné potřeby pro vytápění v monovalentním provozu a 13,5 % v provozu s doplňkovým zdrojem. Celkem tedy tepelné čerpadlo hradí 71,5 % tepla. Na doplňkový zdroj připadne 29,5 %.

Graf 4:



Topný faktor

Pro ekonomická hodnocení instalací tepelných čerpadel je nejdůležitější stanovit průměrný topný faktor zařízení. Topný faktor je velmi závislý na výparné a kondenzační teplotě. Jeho stanovení je potřeba provést až podle konkrétní aplikace.

Jak již bylo zmíněno, je topný faktor závislý na kondenzační teplotě. Výstupní teplota topné vody je úzce svázána s kondenzační teplotou, proto stačí určit průměrnou roční teplotu topné vody. Průměrná teplota v topném období je např. 48 °C. Odpovídající kondenzační teplota je 50 °C.

Teplá užitková voda

Ohřev teplé užitkové vody, pokud je řešen samostatně, je možné řešit pomocí tepelného čerpadla v celém topném období. Výkon tepelného čerpadla pro ohřev TUV je výhodné dimenzovat na kontinuální ohřev během celého dne.

Jiná varianta dimenzování výkonu pro ohřev TUV je při použití tepelného čerpadla v pásmu s výkonem nižším než maximálním (pro vytápění). Spotřeba tepla pro TUV je uvažována v množství 17 %. Situace při potřebě tepla pro vytápění je znázorněna na následujícím grafu. Výhodnost tohoto řešení spočívá v lepším využití instalovaného výkonu.

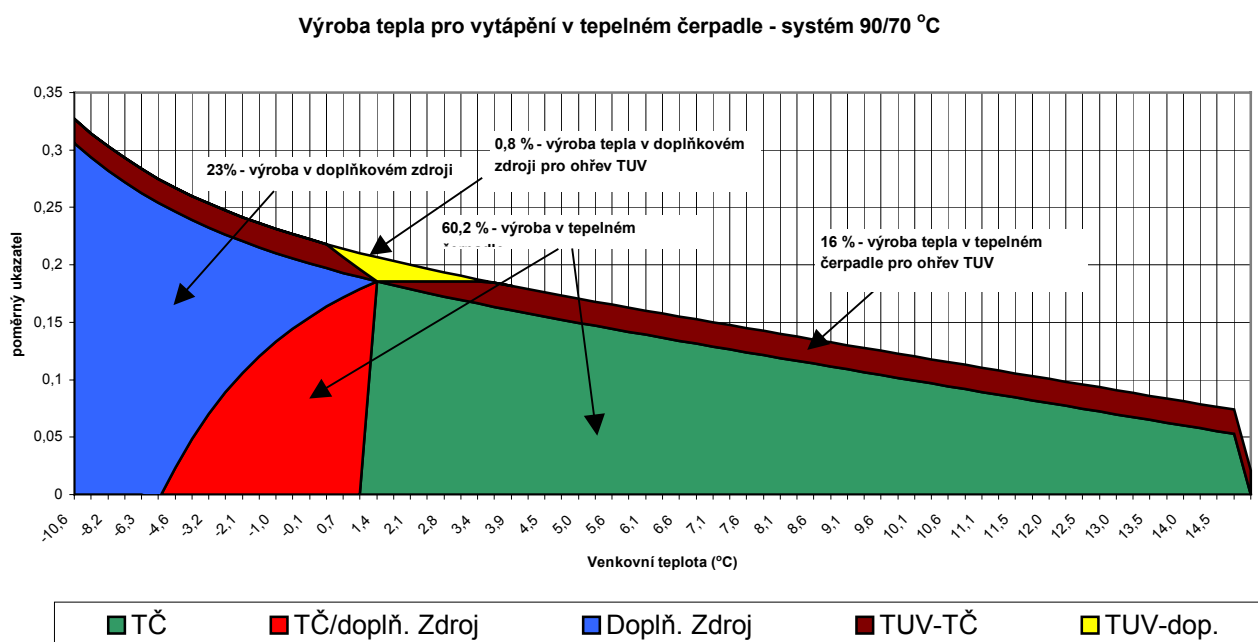
Topný faktor a ohřev teplé užitkové vody

Ohřevem TUV se nepatrně zvýší průměrná hodnota topné vody na hodnotu 51 °C. Ekonomika provozu se tím sice ovlivní (sníží se topný faktor), ale je kompenzována zvýšenou efektivitou využití instalovaného výkonu TČ.

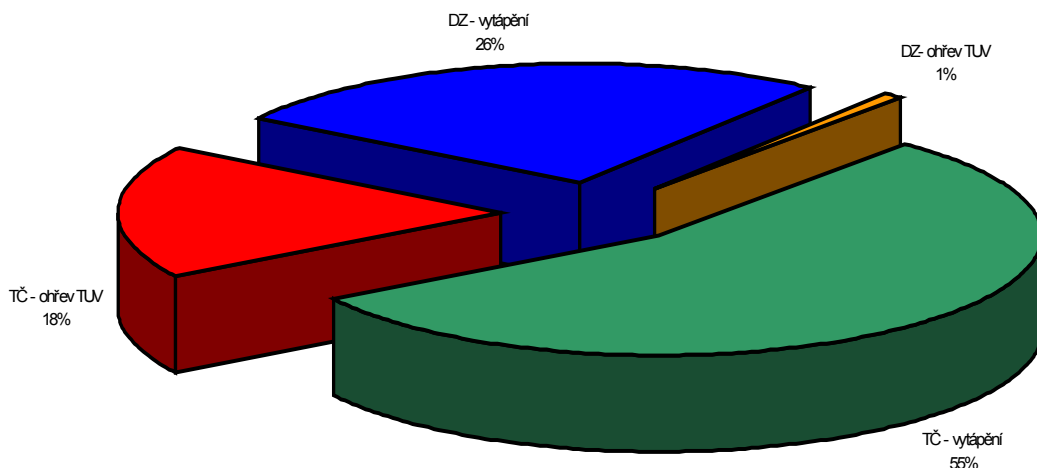
Celkové bilance

Při nasazení tepelného čerpadla do topného systému 90/70 °C s ohřevem TUV bude rozdělení výroby tepla následující:

Graf 5:



Graf 6: Rozložení výroby tepla



Z výše uvedeného odstavce vyplývá možnost nasazení tepelných čerpadel i do systémů s topným spádem 90/70 °C za podmínky, je-li při teplotě topné vody 60 °C dosaženo právě výkonu tepelného čerpadla v bivalentním bodě. Vhodnost tohoto provozu je však potřeba zhodnotit pro konkrétní případy (např. zvětšování otopné plochy v historických objektech bývá často neproveditelné).

Energeticky vhodnější jsou však topné systémy nízkoteplotní podle následujícího odstavce.

4.2.2.1 Tepelné čerpadlo v systému nízkopotenciálních topných systémů

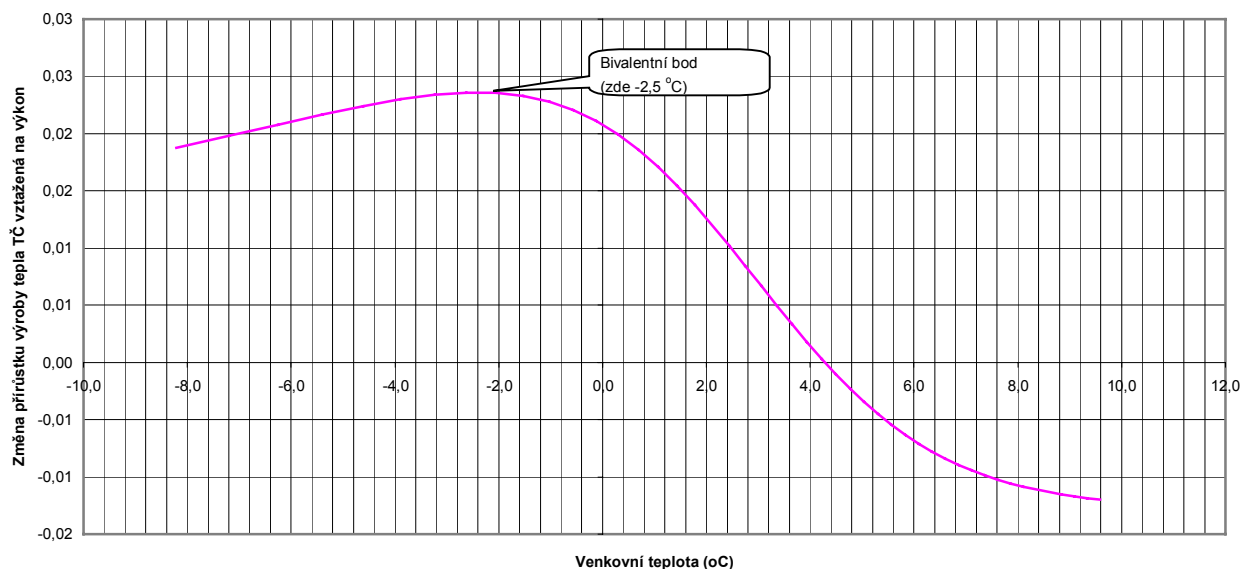
Nízkopotenciální topné systémy jsou dnes tvořeny podlahovým vytápěním a velkoplošnými radiátory. Pracovní teploty těchto topných systémů jsou v pásmu 40 – 55 °C. Tepelná čerpadla je tedy svými parametry pokrývají svými parametry vytápění během celého roku.

Otázka zvolení optimálního výkonu TČ pro vytápění je odvislá od doby trvání výkonu. Procento výroby tepla TČ je zobrazeno na grafu č. 9, který je vypočten z doby trvání teplot při různých výpočtových teplotách. Z praktických zkušeností se za optimální výkon tepelného čerpadla považuje 75 % výkonu podle skutečných tepelných ztrát, nikoliv podle výkonu instalovaného kotle.

Takzvaný bivalentní bod, což je venkovní teplota při které tepelné čerpadlo již nestačí se svým výkonem, se pohybuje, podle výpočtové teploty, v hodnotách –10 až +2 °C. Přesně lze určit optimální bivalentní bod z hlediska energetického na základě rozboru dodávek tepla při určité venkovní teplotě a dle doby trvání teplot. Výpočet není příliš jednoduchý. Zde je zobrazen výsledek pro venkovní výpočtovou teplotu –12 °C.

Graf 7:

Teoretické nalezení bivalentního bodu



Výkon tepelného čerpadla je určen podle vztahu

$$(13) \quad Q = Q_{skut} \frac{t_i - t_b}{t_i - t_e} \times 1,2$$

Q - tepelná ztráta – maximální výkon tepelného čerpadla (kW)

Q_{skut} - skutečná tepelná ztráta objektu dle ČSN 06 0210 (kW)

t_i - vnitřní výpočtová teplota (zpravidla 20 °C)

t_e - vnější výpočtová teplota (-12, -15, -18 °C)

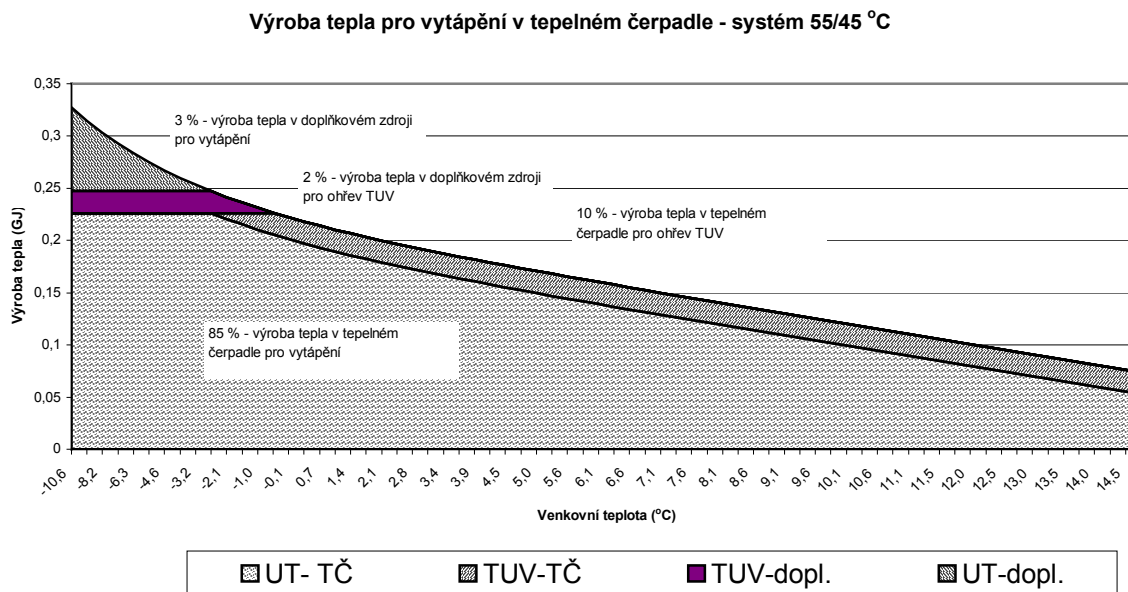
t_b - bivalentní bod (°C)

1,2 – koeficient přepočtu výkonu pro 20-ti hodinový provoz TČ

Pro ($t_e = -12$ °C, $t_i = 20$) je výkon tepelného čerpadla 70% skutečné tepelné ztráty.

Rozložení výroby tepla v bivalentním systému je ukázáno na následujícím grafu.

Graf 8:



Uvedené rozložení výroby tepla bude téměř shodné při použití podlahového vytápění.

4.2.2.2 Tepelné čerpadlo v jiných topných systémech

Uvedený odstavec se zabývá použitím TČ v topných systémech s vyšší teplotou.

Tepelné čerpadlo je určeno především pro topné systémy s nižšími teplotami topné vody. Dimenzování topného systému je však závislé jednak na celkové koncepci topných systémů a jednak na uvažovaném maximálním příkonu tepelného čerpadla, jak je ukázáno v předchozím odstavci. Z předchozího rozboru je patrné, že tepelné čerpadlo může pracovat i v topném systému 90/70 °C, kde hradí plných 60 % spotřeby tepla. Pokrytí potřeby topných systémů a ohřevu teplé užitkové vody ve formě grafů je v přílohách. Z porovnání jednotlivých topných systémů vyplývá následující tabulka.

Tabulka 9:

	t_e (°C)	-12	-15	-18
Topný systém				
90/70	TČ - ÚT	60,2%	63,4%	58,1%
	TČ - TUV	16,0%	15,4%	16,0%
	DZ - ÚT	23,0%	20,4%	25,2%
	DZ - TUV	0,8%	0,9%	0,7%
70/50	TČ - ÚT	79,7%	80,6%	58,1%
	TČ - TUV	16,6%	16,2%	16,0%
	DZ - ÚT	3,2%	2,7%	2,8%
	DZ - TUV	0,4%	0,5%	0,7%
70/60	TČ - ÚT	75,3%	75,1%	78,2%
	TČ - TUV	16,5%	16,3%	13,8%
	DZ - ÚT	7,9%	8,1%	7,8%
	DZ - TUV	0,3%	0,5%	0,1%
80/60	TČ - ÚT	69,9%	69,9%	74,1%
	TČ - TUV	16,3%	16,3%	13,8%
	DZ - ÚT	13,1%	13,1%	12,0%
	DZ - TUV	0,7%	0,7%	0,1%
55/45	TČ - ÚT	83,2%	83,2%	83,2%
	TČ - TUV	16,8%	16,8%	16,8%
	DZ - ÚT	0,0%	0,0%	0,0%
	DZ - TUV	0,0%	0,0%	0,0%

U topných systémů s maximální teplotou do 60 °C může u tepelné čerpadlo hradit až 100 % tepelné potřeby při dimenzování topné soustavy na tyto teploty (např. 55/45 °C). Tyto systémy provozu se nazývají monovalentní, protože veškeré teplo je vyráběno v TČ. Z tabulky je patrné, a to je důležité zejména u rekonstrukcí, že i v topných systémech s vyššími teplotami topné vody je tepelné čerpadlo použitelné.

Topný faktor

Velmi zajímavý je vliv uvedených systémů na topný faktor (tabulka č.11), závislý na průměrné roční teplotě topné vody. V tabulce 10 jsou uvedeny průměrné roční teploty topné vody na výstupu z tepelného čerpadla.

Tabulka 10:

Topný systém	-12	-15	-18
90/70	50,9	52,7	50,5
80/60	52,6	52,6	52,6
70/60	51,7	50,8	53,0
70/50	52,9	51,1	49,4
55/45	40,1	40,1	40,1
40/30	35,2	35,2	35,2

Pozn.: (-12,-15,-18 oblastní výpočtové vnější teploty)

Tabulka platí pro několik typů požadovaných topných soustav. Procento výkonu hrazené tepelným čerpadlem lze určit jednoduše pomocí následujícího vztahu a grafu.

Určení venkovní teploty t_x do které je tepelné čerpadlo schopno hradit tepelnou potřebu ze 100%:

$$(14) \quad t_x = \frac{(t_{e2} - t_{e1})(60 - t_{t1})}{t_{t2} - t_{t1}} - t_{e1}$$

t_{t1} - teplota topné vody při venkovní výpočtové teplotě

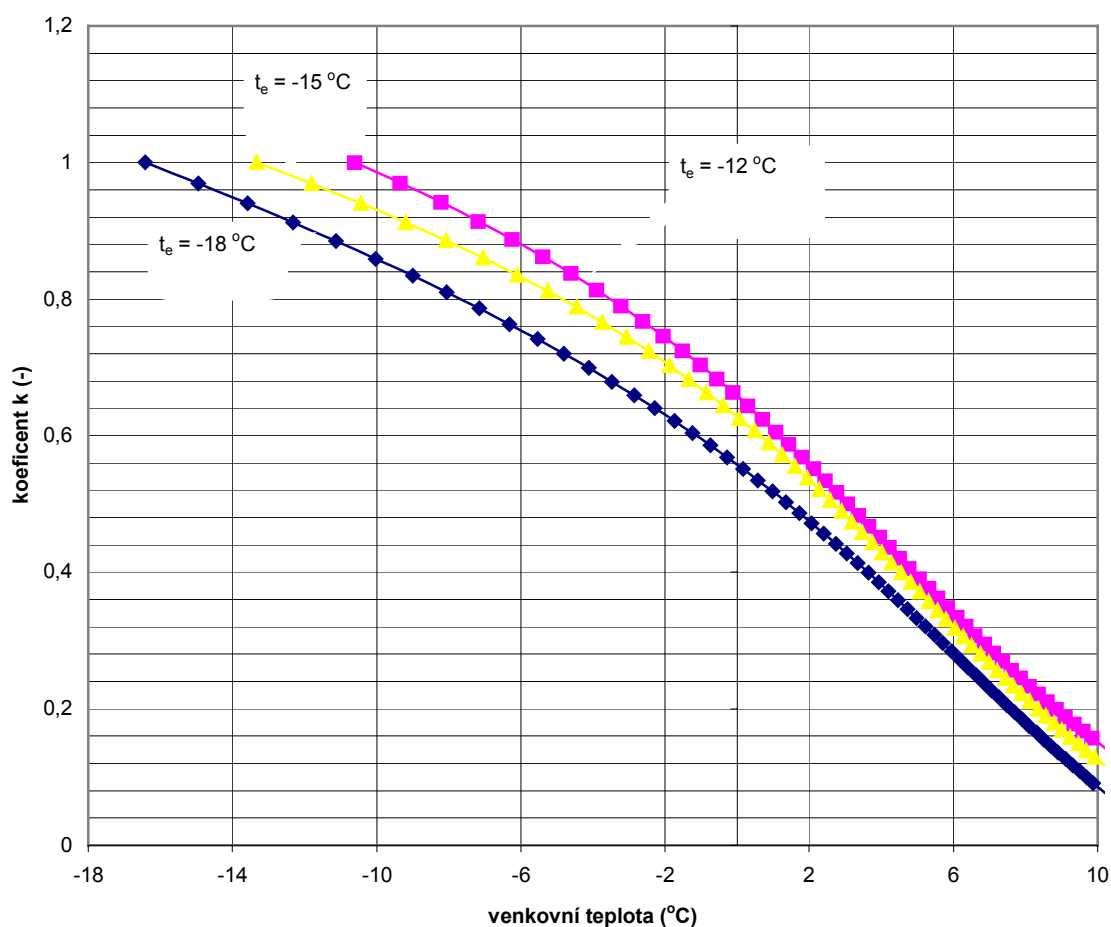
t_{e1} - vnější výpočtová teplota

t_{e2} - vnější teplota při přerušení vytápění (12 – 15 °C)

t_{t2} - teplota topné vody při přerušení vytápění (30 – 40 °C)

Graf 9:

Koeficient podílu výroby tepelného čerpadla



Podle hodnoty t_x se nalezne odpovídající hodnota koeficientu k . Roční podíl produkce tepelného čerpadla pro vytápění se získá ze zjednodušeného přepočítacího vztahu:

$$(15) Q_{TČ} = k \cdot Q_{celk} \times 1,2$$

$Q_{TČ}$ - roční produkce tepla tepelným čerpadlem

K výrobě tepla v tepelném čerpadle dochází i v přechodové oblasti (u systému 90/70 od venkovní teploty -2 °C do -6 °C). Podíl této výroby lze jednoduše obtížně vyčíslit. Uvedený podíl je lépe zjistit porovnáním s tabulkou č. 9.

U dobře dimenzovaných systémů s TČ je výroba teplé užitkové vody hrazena podle tabulky č.9.

V tabulce 11 jsou uvedeny topné faktory pro výpočtovou teplotu -15 °C , jelikož vliv výpočtové teploty na střední teplotu topné vody není významný.

Tabulka 11: Topné faktory (COP)

	Vzduch	Vrtané kolektory	Horizontální kolektory	Voda
90/70	2,6-2,9	2,3-2,8	2,1-2,6	2,4-2,8
80/60	2,6-2,9	2,3-2,8	2,1-2,6	2,4-2,8
70/60	2,7-3,1	2,5-2,9	2,3-2,7	2,7-2,9
70/50	2,7-3,1	2,5-2,9	2,3-2,7	2,7-2,9
55/45	3,5-3,8	3,4-3,6	3,2-3,4	3,4-3,7
40/30	4-4,2	3,7-4	3,5-3,8	3,8-4,1

Z uvedeného celkového srovnání je zřejmá volba nejvhodnějšího topného systému – nízkoteplotního vytápění (např. podlahové).

4.2.3 Spolupráce s jinými zdroji

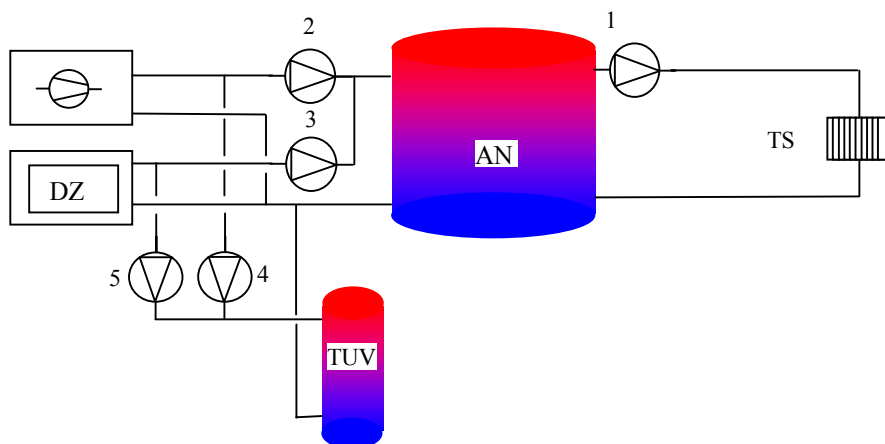
Existuje celá řada kombinací topných systémů používající tepelná čerpadla spolu s jinými zdroji tepla. Firmy dodávající tepelná čerpadla doporučují svoje osvědčená propojovací schémata, ve kterých lze nalézt společné rysy. Jsou to zejména

akumulační nádoby - omezující časté spínání tepelného čerpadla a hydraulické vyrovnání sítě.

regulace provozu tepelného čerpadla – vzhledem k výše uvedenému je nutné, aby tepelné čerpadlo vypínalo při teplotách topné vody odpovídající venkovní teplotě, tj. skutečné tepelné potřebě. Používání směšovacích ventilů, kdy je vyráběna topná voda s teplotou 55 °C a poté „míchána“ na 40 °C odporuje hospodárnému provozu TČ.

použití uzavírací armatury – při používání zdrojů, které umožňují ohřát vodu na teploty nad 80 °C , je nutno zabránit vstupu této vody do kondenzátoru TČ.

Obr. č. 8 Energeticky nejvýhodnější topný systém z tepelným čerpadlem - teoretické schéma



Ke schématu

Na obrázku je znázorněno ideální schéma topné soustavy s tepelným čerpadlem. Uvedené symboly čerpadel mohou být ve skutečnosti nahrazeny elektroventily, kombinací třicestných ventilů a oběhových čerpadel. V akumulční nádobě AN je shromažďována topná voda o teplotě odpovídající ekvitemní křivce. Do ohříváku TUV (s velkou plochou, např. EUROPA) je čerpána voda s teplotou až 60 °C. Při ohřevu TUV bývá systém vytápění (tj. čerpadla 2,3) mimo provoz. Do topného systému je čerpána topná voda z akumulční nádoby AN. Ohřev TUV je proto vhodné zajistit v dobách topných útlumů. U bytových domů to bývají noční a dopolední hodiny, u administrativních budov lze ještě ohřívat po skončení pracovní doby. Toto schéma je samozřejmě obměňováno podle konkrétního případu. Do akumulční nádoby lze zaústit samozřejmě i zdrojové okruhy solárních výměníků, kotlů spalujících biomasu.

5. EKONOMICKÉ, ENERGETICKÉ A ENVIRONMENTÁLNÍ HODNOCENÍ

5.1 VSTUPNÍ HODNOTY - EKONOMIKA

Vstupními hodnotami do ekonomického a environmentálního hodnocení jsou ceny platné v září 2000.

5.1.1 Ceny energií a paliv

Ceny zemního plynu (vč.DPH)

Domácnosti	901- 6000	m ³ 5,22 Kč/ m ³	stálý plat -130 Kč/odběrné místo měs.
Maloodběratelé	901- 6000	m ³ 6,48 Kč/ m ³	stálý plat -130 Kč/odběrné místo měs.
Maloodběratelé	6001- 60 000	m ³ 6,42 Kč/ m ³	stálý plat -160 Kč/odběrné místo měs.

Nahrazení ostatních kategorií tepelnými čerpadly nelze v podmínkách ČR zatím předpokládat.

Ceny elektrické energie

Domácnosti	BP	0,91	Kč/kWh (NT) 440 Kč/odběrné místo
Ostatní odběry v průměru (B12)		1,14	Kč/kWh 168 Kč/naměřené ¼ měs. maximum
Hnědé uhlí	- ořech	1400	Kč/t
PB		15000	Kč/t
Koks		4 200	Kč/t
LTO		12000	Kč/t

5.1.2 Investiční náklady

Odhad investičních nákladů je proveden podle dostupných firemních materiálů a obvyklých cen.

Investice do systémů s TČ zahrnuje následující položky:

Tepelné čerpadlo	10 000 Kč/kW
Vrt pro čerpání vody a zasakování vody	2 000 Kč/m
Vrt pro suché kolektory	1 000 Kč/m
Zemní práce pro horizontální kolektor (1,5m hluboký)	200-600 Kč/m
Regulační systémy (nad běžné vybavení kotelen)	5 000 Kč pro RD 20 000 Kč pro BD
Další vybavení	800 Kč/kW
Zvyšování topné plochy radiátorových těles	1 000 Kč/kW
Ohřívač TUV se zvětšenou teplosměnnou plochou	15 000 Kč/400 l
Pro porovnání jsou uvedeny investiční náklady na ostatní zdroje tepla	
Plynový kotel s odtahem spalin	2 000 Kč/kW
Kotel na tuhá paliva	1 200 Kč/kW
Systém pro spalování PB	6 100 Kč/kW
Systém pro spalování LTO	6 300 Kč/kW
Elektrické přímotopné vytápění	2 000 Kč/kW

Uvedené měrné investiční náklady neobsahují součásti nutné k provozu všech teplovodních systémů (oběhová čerpadla, potrubí, pojišťovací ventily, potrubí, izolace a pod.)

5.2 EKONOMICKÉ HODNOCENÍ PŘÍNOSU INSTALACE TČ

Ekonomické hodnocení je založeno na hodnocení z hlediska projektu.

Rodinný domek 10 kW

Roční spotřeba tepla pro vytápění 95 GJ

Roční spotřeba tepla pro ohřev TUV 21 GJ

Výpočtová teplota -12 °C

Novostavba

Navržen je nízkoteplotní systém 55/45 °C s rozdělením výroby tepla dle grafu č. 7.

Tabulka 12: Výroba tepla

	GJ
UT - dop. zdroj	3,5
UT - TČ	98,0
TUV- TČ	12,1
TUV- dop.zdroj	2,4

Tepelné čerpadlo celkem 110 GJ.

Pro ekonomické hodnocení se většinou uvažuje topný faktor 3.

Bivalentní bod –2,6 °C

Výkon tepelného čerpadla 8,4 kW

Souhrnná délka vrtů pro jímání vody 30 m

Ohřev TUV v nádobě s objemem 400 l

Investiční náklady

Tepelné čerpadlo	84 000 Kč
Vrt pro čerpání vody a zasakování vody	60 000 Kč
Regulační systémy (nad běžné vybavení kotelen)	5 000 Kč
Další vybavení	6 400 Kč
Zvyšování topné plochy radiátorových těles	8 000 Kč
Ohřívač TUV se zvětšenou teplosměnnou plochou	15 000 Kč
Doplňkový elektrický kotel 5 kW	10 000 Kč
Celkem	188 400 Kč

Investiční náklady porovnávacích variant

Plynový kotel s odtahem spalín	20 000 Kč
Kotel na tuhá paliva	12 000 Kč
Systém pro spalování PB	61 000 Kč
Systém pro spalování LTO	63 000 Kč
Přímotopné vytápění	20 000 Kč

Tabulka 13: Roční náklady na teplo pro RD

	jed	Výhřevnost	Provozní účinnost	Spotřeba paliva	Náklady
		MJ/jed		jed/rok	Kč/rok
LTO	kg	41	80%	3 537	42 439
Zemní plyn	m ³	34	80%	4 265	23 456
Koks	kg	27	55%	7 811	32 808
Hnědé uhlí	kg	15	55%	14 061	19 685
PB	kg	46	80%	3 152	47 283
Elektrická energie	kWh	3,6	98%	32 880	34 195
EE-Tepelné čerpadlo	kWh	3,6	289%	11 150	11 596

Porovnáním variantních řešení mezi sebou je možné provést standardní ekonomické hodnocení dle metodických pokynů ČEA. Úspora primárního paliva při použití TČ však bude 2/3 oproti jiným způsobům vytápění.

5.3 ENVIRONMENTÁLNÍ HODNOCENÍ

Dopady instalace tepelných čerpadel na globální stav životního prostředí jsou hodnoceny porovnáním celých procesních řetězců. (tj. včetně výroby elektřiny v elektrárnách v ČR)

Tabulka 14: Emise celého řetězce v kg

	SO ₂	NO _x	HCl	HF	SO _{2Ekv}	Prach	CO	NMVOC	CO ₂	CO _{2Ekv}
1 Tepelné čerpadlo	11,36	15,79	0,21	0,01	22,57	1,17	4,77	0,27	10 314	10 765
2 PB	6,50	9,49	0,09	0,01	13,19	0,85	7,03	6,08	10 182	10 378
3 elektřina	27,58	38,34	0,52	0,03	54,77	2,78	9,99	0,65	25 068	26 158
4 HU	173,78	23,59	4,46	0,05	194,20	92,30	400,83	98,14	18 177	18 769
5 Koks	71,98	20,76	0,02	0,00	86,45	33,18	173,40	0,93	19 430	22 980
6 ZP	0,83	9,80	0,03	0,00	7,68	0,26	4,17	8,23	8 174	9 385
7 LTO	19,67	15,60	0,09	0,01	30,61	1,20	4,46	6,53	11 670	11 820

6. DOPORUČENÝ POSTUP PŘI ZVAŽOVÁNÍ INSTALCE TEPELNÝCH ČERPADEL

6.1 PROVEDENÍ ENERGETICKÉHO AUDITU

Vzhledem k vysoké investiční náročnosti systémů s tepelnými čerpadly se doporučuje provést zjištění skutečné spotřeby tepla a možnosti energetických úspor. Jedině kombinací úsporných opatření a správným dimenzováním tepelného čerpadla lze dosáhnout snížení nákladů na vytápění a ohřev TUV

6.2 VÝBĚR DODAVATELE

Na základě doporučení energetického auditu poptat dodavatele topných systémů případně vyhlásit výběrové řízení na zpracování projektové dokumentace a dodávky topného systému.

Při výběru dodavatele je dobré se řídit následujícími radami:

- ✓ dodavatel topného systému (TČ, geotermální vrty, regulace, doplňkový zdroj) by měl být jeden,
- ✓ pokud je dodavatel zároveň výrobcem tepelného čerpadla je to výhodou,
- ✓ projektová dokumentace by měla být zpracována v intencích výsledků energetického auditu (neoprávněné zvyšování výkonu velice prodražuje topný systém),
- ✓ trvejte na prohlídce referenčních akcí (alespoň tří),
- ✓ garance dodavatele by měly být na celé dílo.

6.3 ZAPOČETÍ PRACÍ

- ✓ Před započítáním prací si nechte předložit jednoznačnou a úplnou projektovou dokumentaci.
- ✓ Pokud je to možné, nechte si zpracovat oponentní posudek.
- ✓ Firma provádějící práce by měla mít patřičná oprávnění (ŽL) a respektovat Stavební zákon (vedení stavebního deníku apod.).
- ✓ Jako investor máte právo být u všech tlakových a provozních zkoušek.

6.4 PŘEDÁNÍ DÍLA

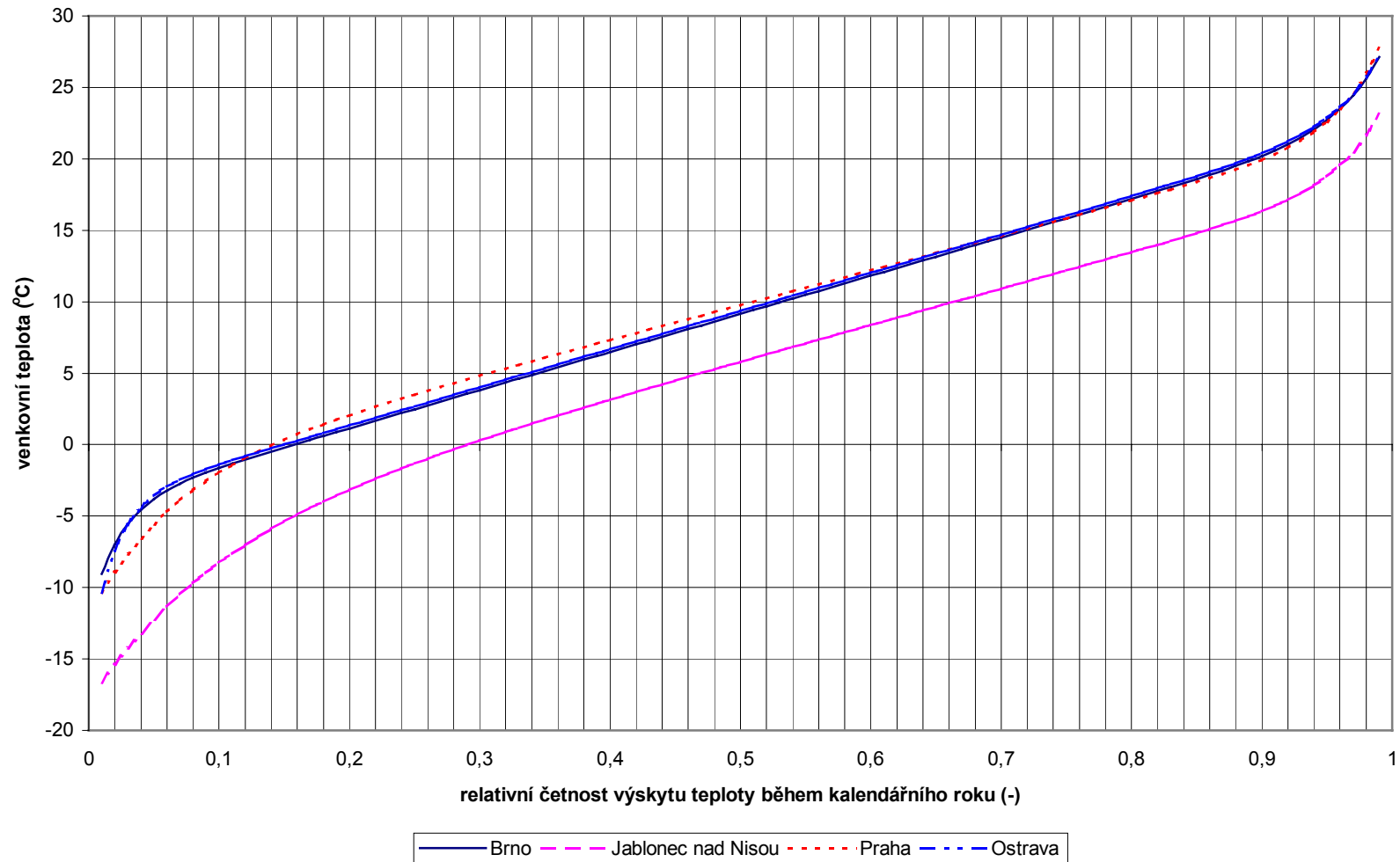
Předání díla je nutno podmínit provedením topné zkoušky dle příslušné ČSN.

7. POUŽITÁ LITERATURA A PODKLADY

1. Z. Dvořák, L. Klazar, J. Petrák – Tepelná čerpadla
2. M. Sazima a kol. - Sdílení tepla
3. Cenové věstníky MF
4. Firemní podkladové materiály

Přílohy :

Příloha č. 1 - Relativní četnost výskytu teploty během kalendářního roku



Příloha č. 2 - Tabulky

Tabulka 1: Doporučené složení protékající vody výparníkem u TČ voda - voda

Parametr	Hodnota	Vhodnost
vodivost μ -Siemens	>450	NE
hodnota pH	<6	!!!
	6÷8	ANO
	>8	NE
chloridy [mg/l]	<10	ANO
	10÷100	ANO
	100÷1000	!!!
	>1000	NE
sírany [mg/l]	<50	ANO
	50÷200	!!!
	>200	NE
dusičnany [mg/l]	<100	ANO
Kyselina Uhličitá [mg/l] (volná agresivní)	<5	ANO
	5÷20	!!!
	>20	NE
kyslík [mg/l]	<1	ANO
	1÷8	!!!
	>8	NE
amoniak [mg/l]	<2	ANO
	2÷20	!!!
	>20	NE
železo a mangan [mg/l]	>1	!!!
sírník		NE
chlór (volný) [mg/l]	<5	ANO
usazeniny		!!!

!!! - je možné nebezpečí vzniku koroze.

Tabulka 2: Výpočet ročního topného faktoru u TČ vzduch -voda

	Potřeba tepla podíl roční spotřeby %	průměrná měsíční teplota °C	Výparná teplota	COP v měsíci
leden	16,91	-2,1	-11,1	2,7
únor	11,93	-1,1	-10,1	2,8
březen	12,11	3,1	-5,9	3,2
duben	8,48	7,5	-1,5	3,7
květen	5,1	12,8	3,8	4,3
červen	2,54	15,8	6,8	4,7
červenec	2,54	17,4	8,4	4,9
srpen	2,54	16,6	7,6	4,8
září	4,25	13	4	4,3
říjen	5,98	7,8	-1,2	3,7
listopad	12,98	2,9	-6,1	3,2
prosinec	14,7	-0,7	-9,7	2,8

Průměrný roční topný faktor 3,3