

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**TEPELNÁ ČERPADLA V SOUSTAVĚ
CENTRALIZOVANÉHO ZÁSOBOVÁNÍ TEPLEM**

Bc. Antonín VACLÍK

2-TPR-2023



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vačlík** Jméno: **Antonín** Osobní číslo: **465542**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Technika prostředí**
Specializace: **Bez specializace**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Tepelná čerpadla v soustavě centralizovaného zásobování teplem

Název diplomové práce anglicky:

Heat Pumps in a District Heating System

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte rešerši tepelných čerpadel vhodných pro použití v soustavách centralizovaného zásobování teplem (CZT), zejména s ohledem na charakteristiky výkonu a účinnosti. Analyzujte použití tepelných čerpadel v definovaném souboru budov jako centrálního zdroje tepla a jako místních zdrojů tepla. Uvažujte různé technologie tepelných čerpadel (vzduch-voda, země-voda) a různou energetickou náročnost budov. Pracujte s měsíční metodou výpočtu potřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody jednotlivých budov. Bilanci potřeby elektrické energie tepelných čerpadel v navržených variantách stanovte intervalovou metodou. Vyhodnoťte rámcově ekonomické parametry variant.

Seznam doporučené literatury:

Přednášky k Základům zásobování teplem.
Přednášky k Základům alternativních zdrojů energie.
TNI 73 0350

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D. ústav techniky prostředí FS

Jméno a pracoviště druhého(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **28.10.2022**

Termín odevzdání diplomové práce: **10.01.2023**

Platnost zadání diplomové práce:

doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

26.10.2022

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá rešerší použitím tepelných čerpadel k dodávání tepla do bytových domů a soustav centrálního zásobování teplem. V práci je porovnána dodávka tepla pomocí různých tepelných čerpadel do budov s různými energetickými vlastnostmi budov. Tepelná čerpadla jsou použita jako samostatné zdroje u jednotlivých bytových budov. Anebo jako centrální zdroj tepla pro soustavu budov. Jsou porovnány i tepelná čerpadla s různými zdroji nízkopotenciálního tepla.

Abstract

The work is focused on background research using heat pumps in District heating systems. The work compares how different types of heat pumps supply heat to buildings with different energetical parameters. Different heat pump configurations of heat pumps are used as standalone source for single building and as source of heat for District Heating System of 10 buildings.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: Tepelná čerpadla v soustavě centralizovaného zásobování teplem vypracoval(a) samostatně pod vedením doc. Ing. Tomáše Matušky, PhD., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové v seznamu použité literatury.

V Českých Budějovicích dne 10. 1. 2023

.....

Antonín Vaclík

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu práce doc. Ing. Tomáši Matuškoví, Ph.D. za vedení této práce a za konzultace přispívající k její tvorbě.

Dále děkuji své rodině a blízkým za jejich plnou podporu v mém dosavadním studiu, zejména mamince a přítelkyni.

Anotační list

Jméno autora:	Antonín Vaclík
Název práce:	Tepelná čerpadla v soustavě centralizovaného zásobování teplem
Name of thesis:	Heat pumps in a District Heating System
Akademický rok:	2022/2023
Studijní program:	Technika prostředí
Specializace:	bez specializace
Ústav:	12116 - Ústav techniky prostředí
Vedoucí práce:	Ing. Tomáš Matušková, Ph.D.
Konzultant:	-
Zadavatel tématu:	Ústav techniky prostředí
Rozsah práce:	počet stran: 93 počet obrázků:8 počet tabulek:3
Klíčová slova:	tepelné čerpadlo, vysokoteplotní tepelné čerpadlo, centrální zásobování teplem
Keywords:	heat pump, high temperature heat pump, District Heating System

Obsah

1.	Úvod.....	7
2.	Zdroje tepla pro bytové domy	8
2.1	Decentrální zdroje tepla.....	8
2.1.1.	Plynové kotelny.....	8
2.1.1	Tepelná čerpadla	10
2.1.2	Případy použití decentralních tepelných čerpadel.....	15
2.2	Centrální zdroje tepla.....	19
2.2.1	Uhelné zdroje - vytopny, teplárny.....	22
2.2.2	Zdroje spalující zemní plyn	24
2.2.3	Zdroje spalující biomasu	26
2.2.4	Vysokoteplotní tepelná čerpadla	28
2.2.5	Případy použití tepelných čerpadel v CZT	30
3.	Soubor budov Barrandov.....	33
3.1	Popis typického bytového domu.....	33
3.2	Tepelné výkony	36
3.2.1	Tepelné ztráty.....	36
3.2.2	Výkon pro přípravu teplé vody.....	39
3.2.3	Přípojný výkon	41
3.3	Energetická náročnost budovy.....	41
3.3.1	Potřeba dodávky tepla na vytápění	41
3.3.2	Potřeba tepla na přípravu teplé vody	46
3.3.3	Výsledky energetické náročnosti budov	47
3.4	Soustava CZT	49
3.4.1	Tepelné ztráty rozvodů.....	51

3.4.2	Ztráty tepla rozvodů	54
4.	Analýza dodávky tepla	57
4.1	Decentrální tepelná čerpadla	57
4.1.1	Tepelná čerpadla	57
4.1.2	Intervalová metoda	60
4.1.3	Výsledky bilance	66
4.2	Centrální zdroj tepla	70
4.2.1	Tepelné čerpadlo	70
4.2.2	Intervalová metoda	72
4.2.3	Výsledky bilance	72
4.3	Porovnání	75
4.3.1	Energetické	75
4.3.2	Ekonomické	76
5.	Závěr	82
6.	Seznam obrázků	84
7.	Seznam tabulek	85
8.	Seznam použité literatury a zdroje	86

Soupis použitého značení

$\dot{Q}_{1,2}$	tepelné ztráty jednotlivých úseků potrubí [W];
\dot{Q}_i	tepelná ztráta daného úseku [W];
\dot{V}_{hyg}	průtok čerstvého vzduchu podle hygienických požadavků [m ³ /h];
\dot{V}_{inf}	průtok vzduchu infiltrací [m ³ /h];
\dot{V}_{tl}	objemový tok teplotnosné látky [m ³ /s];
$\Delta Q_{TV,max}$	maximální rozdíl tepla mezi křivkou dodávky a odběru tepla [kWh];
d_e	vnitřní průměr potrubí [m];
d_i	vnější průměr potrubí [m];
t_{1i}	teplota vody v přívodním potrubí [°C];
t_{2i}	teplota vody ve vratném potrubí [°C];
t_e	teplota venkovního vzduchu [°C].
α_e	součinitel přestupu tepla [W/m ² ·K].
η_{zzt}	účinnost zpětného získání tepla rekuperačního výměníku tepla vzducho-technické jednotky [-];
λ_{iz}	součinitel tepelné vodivosti izolace [W/m·K];
λ_z	součinitel tepelné vodivosti na terénu [W/m·K];
$A_{S,j}$	účinná sběrná plocha průsvitných konstrukcí v orientaci j [m ²].
A_{ok}	plocha okna [m ²];
A_p	plocha půdorysu [m ²];
A_{pdl}	podlahová plocha [m ²];
C_m	měrná tepelná kapacita budovy [J/K·m ²]
$E_{TC,VYT,j}$	Potřeba elektrické energie [kWh] pro pohon tepelného čerpadla při výrobě tepla na vytápění v teplotním intervalu j ;
E_{TC}	potřeba elektrické energie na pohánění TČ pro přípravu TV a vytápění [kWh];
$E_{pom,,VYT,j}$	Potřeba pomocné elektrické energie [kWh];
E_{pom}	potřeba pomocné elektrické energie [kWh];
F_C	součinitel trvalého clonění [-];
F_F	podíl rámu okna [-];
F_S	součinitel stínění [-];
H_T	měrná tepelná ztráta prostupem [W/K];
H_V	měrná tepelná ztráta větráním [W/K];
$I_{T,j}$	úhrn energie slunečního záření, které dopadne na plochu v orientaci j [kWh/m ²];
$P_{pom,TV}$	elektrický příkon pomocných zařízení, které pracují při přípravě teplé vody [kW];
$P_{pom,VYT}$	elektrický příkon pomocných zařízení pracujících při výrobě tepla na vytápění [kW];
$Q_{TC,TV,j}$	Teplu dodané tepelným čerpadlem [kWh];
Q_G	Zisky tepla v budově [kWh];
Q_L	potřeba tepla na vytápění v daném měsíci [kWh];
Q_R	Teplu, které se ztrácí z rozvodů [Wh];
Q_S	solární zisky tepla [kWh];



$Q_{TC,VYT,j}$	Teplo dodané tepelným čerpadlem [kWh];
Q_{TC}	Množství tepla pro přípravu TV a vytápění dodané tepelným čerpadlem za měsíc [kWh];
Q_{TV}	denní potřeba tepla na přípravu teplé vody [Wh/den];
$Q_{d,TV,j}$	Teplo vyrobené doplňkovým ohřívačem [kWh];
$Q_{d,VYT,j}$	Teplo vyrobené doplňkovým ohřívačem [kWh];
Q_d	dodávka tepla dodaná doplňkovým tepelným zdrojem [kWh];
Q_i	vnitřní zisky tepla [kWh];
$Q_{k,VYT,j}$	Dostupné teplo na vytápění [kWh];
$Q_{p,TV}$	celková potřeba tepla na přípravu teplé v jednotlivých měsících [kWh];
$Q_{p,TV}$	Potřeba tepla na přípravu TV v jednotlivých měsících [kWh];
$Q_{p,vyt}$	celková potřeba tepla na vytápění v jednotlivých měsících [kWh];
$Q_{p,VYT,j}$	Měsíční potřeba tepla na vytápění je pro jednotlivé výpočtové teplotní intervaly j otopného období [kWh];
SPF_{TC}	Sezónní topný faktor tepelného čerpadla [-];
SPF_{sys}	celkový sezónní topný faktor celé systému [-];
\dot{V}	průtok vzduchu [m^3/h];
V_{den}	denní potřeba teplé vody na osobu [$m^3/os \cdot den$];
V_{den}	denní potřeba teplé vody vztážená na osobu [$m^3/os \cdot den$];
$a_{H,0}$	bezrozměrný parametr pro měsíční výpočet [-];
c_p	měrná tepelná kapacita [$J/kg \cdot K$];
d_i	vnitřní průměr potrubí [m];
e_i	korekce na expozici budovy vůči větru [-];
g_n	součinitel prostupu sluneční energie oknem.
n_{50}	intenzita větrání infiltrací při rozdílu tlaků 50 Pa [1/h];
n_{hyg}	návrhová intenzita větrání budovy podle hygienických požadavků [1/h];
n_{prov}	průměrná intenzita větrání při běžném provozování budovy [1/h];
q_L	měrný výkon od lidí a spotřebičů vztážený na obydlenou plochu [W/m^2];
t_{TV}	teplota teplé vody [$^{\circ}C$];
$t_{e,N}$	střední teplota venkovního vzduchu [$^{\circ}C$];
t_e	střední teplota venkovního vzduchu ve výpočtovém intervalu [$^{\circ}C$];
t_i	výpočtová teplota vnitřního vzduchu [$^{\circ}C$];
$t_{k2,j}$	teplota výstupní teploty z TČ pro přípravu TV [$^{\circ}C$];
$t_{w1,N}$	návrhová teplota přívodní otopné vody [$^{\circ}C$];
$t_{w1,j}$	teplota přiváděné otopné vody [$^{\circ}C$];
$t_{w2,N}$	návrhová teplota vratné otopné vody [$^{\circ}C$];
v_n	návrhová rychlost [m/s];
Φ_H	Tepelná ztráta budovy [W];
Φ_P	přípojný výkon [W];
Φ_T	tepelná ztráta prostupem [W];
Φ_V	tepelná ztráta větráním [W];
$\Phi_{W,max}$	špičkový výkon pro přípravu teplé vody [W].
$\Phi_{W,s}$	trvalý výkon pro přípravu teplé vody [W].
Φ_i	průměrný tepelný výkon od lidí a spotřebičů v budově [W].



$\Phi_{k,TV,j}$	výkon tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody v podmínkách teplotního intervalu j [kW];
$\Phi_{k,TV,j}$	výkon tepelného čerpadla pro vytápění v podmínkách teplotního intervalu j [kW];
ε_i	korekce na výšku budovy [-];
η_H	stupeň využití zisků tepla;
$\tau_{TC,TV,j}$	doba provozu tepelného čerpadla v teplotním intervalu j při výrobě tepla pro přípravu teplé vody [h];
$\tau_{TC,VYT,j}$	Doba provozu tepelného čerpadla v teplotním intervalu j při výrobě tepla na vytápění [h];
τ_{TC}	doba provozu TČ [h];
$\tau_{b,0}$	referenční časová konstanta budovy [h];
τ_j	doba trvání výpočtového teplotního intervalu j [h];
$\tau_{k,VYT,j}$	doba provozu TČ [h] dostupná pro výrobu tepla pro vytápění;
Δt	rozdíl teplot [K];
$\Delta \tau$	počet hodin v daném měsíci [h];
A_i	plocha i-tého povrchu [m ²];
b_u	redukční teplotní faktor pro prostup tepla přes nevytápěný prostor [-].
$COP_{TV,j}$	topný faktor pro vytápění v podmínkách teplotního intervalu j [-];
$COP_{VYT,j}$	topný faktor pro přípravu TV v podmínkách teplotního intervalu j [-];
d	počet dní v měsíci;
DH	počet hodinostupňů za otopné období (rok) nebo v jednotlivých měsících [Kh];
DH_j	počet hodinostupňů výpočtového teplotního intervalu j [Kh];
e	korekce na expozici vůči větru [-].
$E_{pom,TV,j}$	Potřeba elektrické energie spotřebovaná pomocnými zařízeními [kWh];
$E_{TC,TV,j}$	Potřeba elektrické energie [kWh];
h	efektivní hloubka uložení [m].
h	efektivní hloubka uložení [m].
H_T	měrná tepelná ztráta prostupem [W/ K];
H_V	měrná tepelná ztráta větráním [W/ K];
Objemový tok	teplonosné látky \dot{V}_{tl}
P	příkon kompresoru pro pohon parního oběhu [Wh];
P	obecná výkonová charakteristika (výkon TČ nebo COP TČ);
Q_k	teplo odváděné do ohřívání látky. [Wh].
$Q_{k,TV,j}$	dostupné teplo z tepelného čerpadla [kWh];
Q_v	teplo přiváděné ochlazením nízkopotenciálního zdroje [Wh];
R_{t1}	tepelný odpor přívodního potrubí [mK/W];
R_{t2}	tepelný odpor vratného potrubí [mK/W].
$t_{em,j}$	střední teplota v intervalu j [°C];
U_i	součinitel prostupu tepla i-tého povrchu [W/m ² ·K];
$U_{podlahy}$	součinitel prostupu podlahy [W/m ² ·K];
V	objem budovy [m ³];
V_i	větráný objem [m ³];
V_i	větráný objem budovy [m ³];

x	počet pater [-].
z	přirážka na tepelné ztráty při přípravě TV (cirkulace, akumulace) [-];
z	přirážka na tepelnou ztrátu při přípravě teplé vody (cirkulace, akumulace) [-];
Δt_{TV}	zvýšení teploty při zohlednění teplotního rozdílu na výměníku tepla mezi teplotou připravované TV a teplotou přiváděné otopné vody [°C];
Δt_w	zvýšení teploty při zohlednění nabíjení nárazového zásobníku otopné vody [°C]
τ_j	doba trvání výpočtového teplotního intervalu j [h];
τ_j	doba trvání výpočtového teplotního intervalu j [h];
H	hloubka uložení potrubí [m];
L	délka potrubí [m];
L	délka potrubí [m];
c	měrná tepelná kapacita vody [J/kg·K];
c	měrná tepelná kapacita vody [J/kg·K];
f	Roční pokrytí celkové potřeby tepla na vytápění nebo přípravu TV [-];
m	teplotní exponent otopných ploch;
p	počet osob v domě [os];
p	počet osob v domě [os];
s	rozteč potrubí [m];
ρ	hustota [kg/m ³].

1. ÚVOD

Při výrobě tepla pomocí spalování fosilních zdrojů dochází k emisím skleníkových plynů, zejména oxidu uhličitého. Skleníkové plyny v atmosféře urychlují globální oteplování, které způsobuje ekologické problémy. Dochází ústupu ledovců, tání permafrostu a zvyšování hladiny oceánů. Dalším následkem jsou vlny extrémního počasí, jako jsou vyšší teploty, které zvyšují pravděpodobnost požárů a způsobují vymírání některých organismů. Pokud by nárůst průměrné světové teploty nebyl zastaven, klimatických problémů bude přibývat a dojde k nevratným změnám klimatu. V roce 2015 vznikla v Paříži dohoda, která navrhla dlouhodobou ochranu klimatu. Zásadním způsobem, jak snížit emise je postupné snižování využívání fosilních paliv, které jsou používány v různých odvětvích. Toho lze docílit změnou zdrojů a zařízení, které nemají takový dopad na životní prostředí.

Tato diplomová práce se zabývá použitím tepelných čerpadel k dodávání tepla do bytových domů a soustav centrálního zásobování teplem. V práci je porovnána dodávka tepla do budov s různými energetickými vlastnostmi budov pomocí různých tepelných čerpadel. Tepelná čerpadla jsou použita jako samostatné zdroje u jednotlivých bytových budov, anebo jako centrální zdroj tepla pro soustavu budov. Jsou porovnány i tepelná čerpadla s různými zdroji nízkopotenciálního tepla. [1] [2]

2. ZDROJE TEPLA PRO BYTOVÉ DOMY

2.1 Decentrální zdroje tepla

Jako decentrální zdroj je považován takový zdroj, který je umístěn blízko spotřebitele. Podle velikosti a použití se dají rozdělit následovně.

- Individuální topidla - zdroj tepla pro 1 místnost
- Etážové vytápění - zdroj tepla pro 1 byt
- Domovní kotelny - zdroj tepla pro 1 dům [3]

Nejčastěji se jedná o zdroje malého nebo středního výkonu v řádech jednotek kilowattů nebo megawattů. Například jako decentrální zdroje tepla mohou být použity mikrokogenerační jednotky, plynové kotle, kotle na pevná paliva, solární panely a tepelná čerpadla. Jako zdroj energie mohou zdroje využívat kvalitní fosilní paliva (zemní plyn), elektrickou energii, biomasu (peletky, kusové dřevo) nebo sluneční záření. V případě tepelných čerpadel je možné využít nízkopotenciálních zdrojů energie ze vzduchu, země nebo vody. [3]

V porovnání s centrálním zdrojem tepla není nutné řešit dopravu a rozvod tepla. Při poruše velkého centrálního zdroje může dojít k omezení dodávky tepla pro mnohem větší množství lidí. Oproti centrálnímu zásobování jsou pořizovací náklady sníženy o cenu rozvodu. Jako nevýhoda se dá také počítat vyšší měrná cena zdroje vztažená na jednu kilowattu výkonu. [4] [5] [6]

2.1.1. Plynové kotelny

Plynovou kotelnou může být samostatná budova, stavební objekt, zvláštní přístavek či místnost nebo vyhrazený prostor, ve kterém je umístěn jeden nebo více kotlů se zařízením nezbytným k jeho bezpečnému provozu. Při použití více kotlů je možnost kotle zapojit do kaskády. To umožňuje přesnou regulaci výkonu kotlů. Tedy možnost kotlů pracovat od minimálního výkonu jednoho kotle, až po maximální výkon všech kotlů v kaskádě. Plynové kotle jsou používány pro přípravu teplé vody i pro vytápění. [7] [8]

Dle normy ČSN 07 0703 Plynové kotelny z 23.7.1985 jsou kotelny s kotli na plynná paliva rozděleny do tří kategorií, a to podle jmenovitých tepelných výkonů kotlů:



- A. **Kotelny III. Kategorie** - Kotelny se jmenovitým tepelným výkonem jednoho kotle od 50 kW do součtu jmenovitých tepelných výkonů kotlů 0,5 MW včetně a kotelny se součtem jmenovitých tepelných výkonů kotlů větším než 100 kW, i když ani jeden z nich nedosahuje jmenovitého tepelného výkonu 50 kW, do součtu jmenovitých tepelných výkonů kotlů 0,5 MW včetně.
- B. **Kotelny II. kategorie** - Kotelny se součtem jmenovitých výkonů kotlů nad 0,5 MW do 3,5 MW včetně.
- C. **Kotelny I. kategorie** - Kotelny se součtem jmenovitých tepelných výkonů kotlů nad 3,5 MW. [9]

Druhy plynových kotlů:

- A. Závěsné kotle - Jsou kotle s menšími výkony. Jejich malá velikost umožňuje snadnou instalaci při rekonstrukcích. Mohou být zavěšeny na zeď. Jsou používány v běžných domácnostech.
- B. Stacionární kotle - Stacionární plynové kotle mají vyšší výkony oproti závěsným kotlům. Tento typ kotle vyžaduje velké množství prostoru, a proto je lepší jej umístit do speciální místnosti, například do kotelny. [10]

Kondenzační kotle

Kondenzační kotle využívají teplo obsažené ve spalínách. Při spalování zemního plynu, který je tvořen ze 70-90% metanem, vzniká oxid uhličitý a vodní pára. Při ochlazení spalin pod teplotu rosného bodu začne vodní pára kondenzovat, a při tom ve výměníku uvolňuje teplo. Ochlazená vytápěcí voda, která se vrací (tzv. zpátečka) z vytápěcího systému, se při vstupu do kotle přehřívá od teploty spalin. Následně se otopná voda v kotli dohřeje na požadovanou teplotu.

Teplosměnná plocha výměníku v kondenzačním kotli musí být kvůli přítomnosti kondenzátu vyrobena z materiálu, který je odolný vůči korozi. Kondenzát je totiž kyselý z důvodu přítomnosti dusíku a sirovodíku v zemním plynu. A proto musí být korozivzdorná i komínová konstrukce. Teplota spalin se pohybuje v rozmezí 40–90 °C. Díky nižší teplotě spalin můžeme u kondenzačních kotlů použít plastové spalinovody, které jsou zároveň odolné vůči korozi. Vložky klasických komínů přítomnost kondenzátu a jeho kyselost nevydrží.

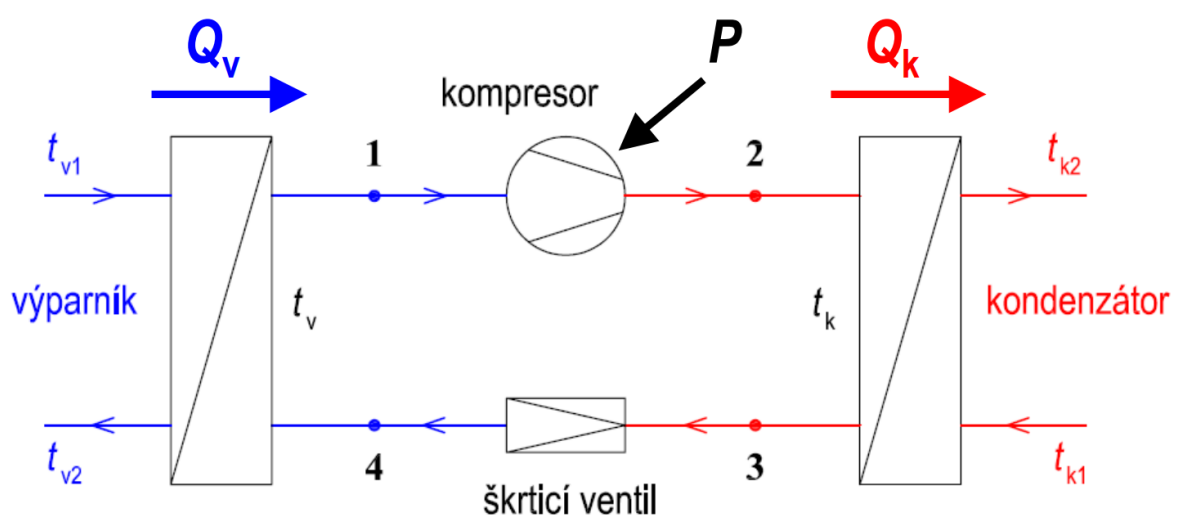
U ostatních kotlů či kamen používáme místo termínu spalínovod termíny komín a kouřovod. Výhodou plastových spalínovodů je nízká pořizovací cena. [11]

Účinnost kondenzačních kotlů počítána ze spalného tepla dosahuje až 98 procent. Zbývající dvě procenta ztrácíme spalínami, sáláním kotle a v odváděném kondenzátu. Využití energie obsažené v plynu je tedy opravdu velmi vysoké. [11]

Při použití kondenzačního kotle je nutno pamatovat na odvod kondenzátu. Při spálení 1 m³ zemního plynu vznikne až 1,6 litrů kondenzátu. Kondenzát je možné odvádět do stokové sítě při splnění podmínek uvedených v kanalizačním řádu. Například v pražském kanalizačním řádu je pro vypouštění do kanalizace uveden limit pH 6,0 až 10,0. Když kotel tyto podmínky nesplňuje, je nutné kondenzát neutralizovat. [12]

2.1.1 Tepelná čerpadla

Princip tepelného čerpadla (dále TČ) je založen na obráceném průběhu Carnotova cyklu. Druhý zákon termodynamiky říká, že teplo nemůže samovolně přecházet z prostředí o nižší teplotě do prostředí s vyšší teplotou. Tento proces je možné provést, když je do oběhu přivedena vnější pohonná energie. TČ tedy umožňuje přečerpávat nízkopotenciální energii na vyšší teplotní úroveň pomocí kompresoru. Právě energie dodaná kompresorem představuje vnější dodanou energii do cyklu. [13] [14] [15]



Obrázek 1: Schéma oběhu TČ

Kapalina v tepelném čerpadle obíhá následovně:

1-2: Kompresor saje páry kapaliny z výparníku a stlačuje páry na kondenzační tlak. Při tomto procesu se zároveň zvýší teplota par na teplotu t_k , teplotu chladiva v kondenzátoru.

2-3: V kondenzátoru je parám odebíráno teplo, což způsobuje kondenzaci par. Kondenzace probíhá při teplotě t_k , která je vyšší než t_{k2} , teplota výstupní látky.

3-4: Kapalina prochází škrticím ventilem. Tlak je snížen na tlak ve výparníku. Kapalina se částečně vypaří a vzniknou mokré páry. Při tomto procesu se sníží teplota chladiva na teplotu t_v , teplotu chladiva ve výparníku.

4-1: Ve výparníku je kapalině dodáváno teplo z nízkopotenciálního zdroje. To způsobí vypaření kapaliny. [13] [15]

Dle zákona o zachování energie platí rovnost mezi energií dodanou a odvedenou.

$$Q_v + P = Q_k \quad [15](1)$$

kde je:

Q_v teplo přiváděné ochlazením nízkopotenciálního zdroje [Wh];

P příkon kompresoru pro pohon parního oběhu [Wh];

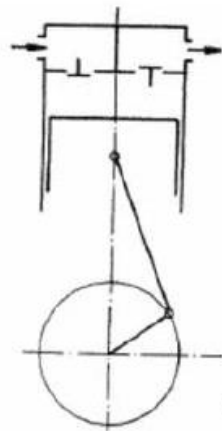
Q_k teplo odváděné do ohřívané látky. [Wh].

Základní charakteristikou tepelného čerpadla je topný faktor COP (Coefficient of Performance). Jedná se o poměr mezi vyrobeným teplem a spotřebovanou elektrickou energií. COP je závislý jak na vstupní, tak na výstupní teplotě látky. Dle normy ČS EN 14511 jsou jmenovité hodnoty vstupní teploty látky 2-10 °C a teplota výstupní látky 35 °C. Většina výrobců TČ zveřejňuje i podrobnější závislost COP na vstupních a výstupních teplotách.

Pohony tepelných čerpadel.

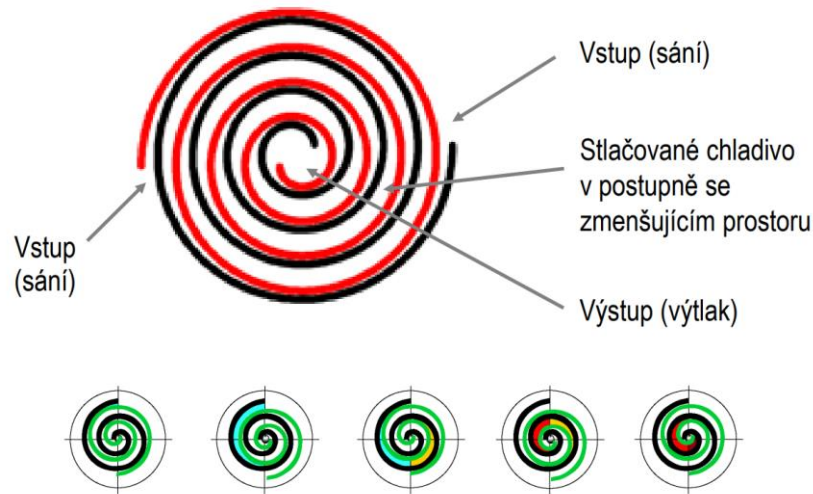
Základním prvkem tepelného čerpadla je kompresor, který zajišťuje oběh chladicího média. Mezi typy kompresorů patří pístový kompresor, šroubový kompresor a rotační spirálový kompresor (scroll). [15] [16]

Pístový kompresor – krouticí moment je převeden do posuvného pohybu pístu. Páry chladiva jsou nasávány přes sací ventil. Po uzavření sacího ventilu dojde ke stlačování par ve válci. Následně, při dosažení požadovaného tlaku, jsou přehřáté páry vytlačeny přes výtlačný ventil. [15] [16]



Obrázek 2: Pístový kompresor [16]

Rotační spirálový kompresor (scroll) - nasávání, stlačování a výtlač par chladiva jsou způsobeny pohybem pohyblivé spirály vůči statické spirále. Křivka pohybu je evolventa, vzniká odvalováním přímky po kružnici. Sání je na obvodu spirály a výtlač je ve středu. [15] [16]



Obrázek 3: Princip rotačního spirálového kompresoru (scroll) [15]

Kompresory v okruzích s parním cyklem chladiva (pístový kompresor, šroubový kompresor a scroll) mohou být poháněny buď pomocí elektrického motoru nebo plynovou turbínou. [15]

Při použití absorpčního cyklu chladiva je proces poháněn dodanou tepelnou energií. Může být použita energie vzniklá spalováním plynu, teplo ze spalin nebo teplo ze solárních kolektorů. V tomto oběhu se používá směs roztoku a chladiva LiBr-H₂O. [15]

Nízkopotenciální zdroje tepla pro tepelná čerpadla

A. Země/voda

Tepelná čerpadla mohou využívat různé nízkopotenciální zdroje tepla. Jedním z nich je teplo obsažené v zemi. Pro čerpání tepelné energie ze země se používají dva způsoby. Prvním z nich jsou **plošné horizontální kolektory v zemi**. Doporučená hloubka uložení těchto kolektorů je mezi 1,2 a 1,5 m. [17] Jako druhý způsob odebírání tepla ze země se používají **svislé hloubkové vrty**, které se dělají až do hloubky 200 m. Při použití země jako zdroje tepla pro TČ se výkon a tepelný faktor tepelného čerpadla v průběhu roku nijak významně nemění, protože se teplota ve vrtech, nebo kolektorech, v průběhu roku příliš neliší. Při návrhu pokládání plošných kolektorů nebo vrtání vrtů je nutné

počítat s rozsáhlejšími stavebními pracemi. U plošných kolektorů je potřeba zajistit dostatečnou plochu kolektorů, aby tepelný výkon získaný ze země byl dostatečný. [13] [15]

B. Voda/voda

Dalším zdrojem nízkopotenciálního tepla je voda. Teplo se čerpá z povrchové vody, z podpovrchových studen nebo ze spodní vody. Tento způsob čerpání tepla je velmi podobný jako čerpání tepla ze země. Jediný rozdíl je, že místo odbírání tepla ze zemského masivu odebíráme teplo z podzemní vody. Teplota vody se při správném návrhu systému v průběhu roku příliš nemění. Proto i v tomto případě má TČ téměř konstantní výkon a COP v průběhu celého roku. V některých oblastech lze využít i teplo z geotermálních vod. Vyšší teplota zdroje zvýší tepelný faktor čerpadla. [13] [15]

Obdobně lze i využít teplo obsažené v odpadní vodě, která bývá rovnou odváděna do kanalizace. Šedá odpadní voda má v průběhu roku teplotu kolem 20 °C. Při této realizaci je třeba oddělit šedé a černé odpadní vody, aby se nezanášel výměník. To platí pro decentrální vytápění. V případě centrálního vytápění je možné odebírat teplo například z čističky odpadních vod. Další možnost využití tepla z vody představuje možnost odebírat odpadní teplo z průmyslových podniků. [13] [15]

C. Vzduch/voda

Dalším zdrojem nízkopotenciálního tepla je vzduch. K odebírání tepla se používá venkovní vzduch nebo je možné použít odpadní vzduch. Nevýhoda využití odběru z venkovního vzduchu je, že se teplota vzduchu výrazně mění v průběhu roku. Bytové domy mají v zimě největší spotřebu tepla, protože tepelné ztráty jsou při nízkých venkovních teplotách nejvyšší. Právě při nízkých teplotách mají tepelná čerpadla nejmenší topný faktor a výkon. To znamená, že tepelná čerpadla musí pokrýt nejvyšší spotřebu tepla v podmínkách, kdy mají nejmenší COP. Oproti předešlým systémům mají TČ vzduch/voda výhodu ve snadné instalaci. TČ vzduch/voda totiž nepotřebuje žádné kolektory nebo vrty. Proto je vhodné pro rekonstrukce nebo při výměně zdroje tepla. [13] [15]

Při nízkých venkovních teplotách dochází k zamrznání plochy výparníku. To zabraňuje přenosu tepla a tím snižuje výkon a COP tepelného čerpadla. Tepelná čerpadla jsou vybavena ochranou proti námraze. Když čerpadlo námrazu detekuje, tak přejde do režimu odtávání, kdy čerpadlo přejde do reverzního chodu. Při něm se z výparníku stane kondenzátor a z kondenzátoru výparník. Při ohřátí výparníku tak dojde k odtávání námrazy. [13] [15]

Při návrhu TČ vzduch/voda je nutné zohlednit hluk, který čerpadlo bude při chodu produkovat. Jelikož čerpadlo odebírá teplo z venkovního vzduchu, musí být umístěno venku, narozdíl od TČ země/voda, které může být uvnitř v technické místnosti nebo kotelně. Problém hlukového znečištění je tím obtížnější řešit, čím více je oblast osídlena, protože jsou domy blíže k sobě.

2.1.2 Případy použití decentrálních tepelných čerpadel

Projekt Hohe Warte

Jedná se o budovu nedaleko Vídně postavenou v roce 2017. Jako zdroj tepla byla použita 4 tepelná čerpadla země/voda.



Obrázek 4: Hohe Warte [18]

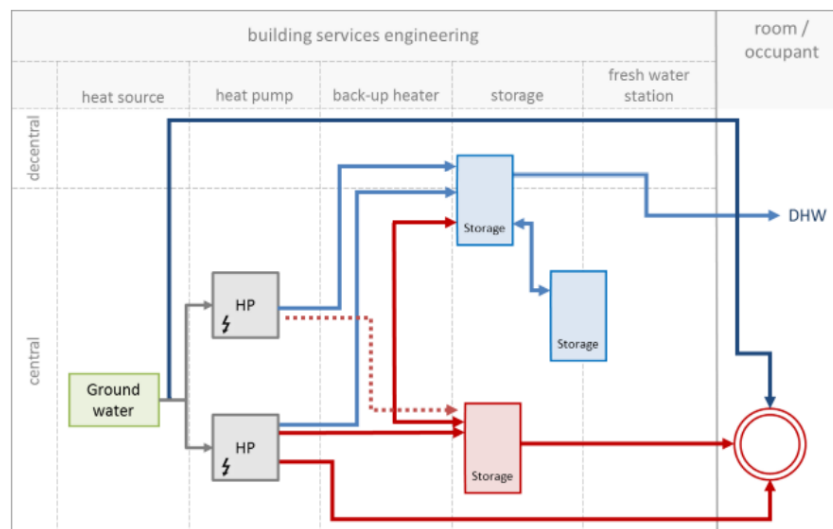
Tabulka 1: Parametry Hohe Warte

Vytápěná plocha	4600 m ²
Typ vytápění	Podlahové
Typ TČ	Země/voda
Tepelná ztráta	286 kW
Instalovaný výkon	200 kW
Výstupní teplota pro vytápění	40 °C
Výstupní teplota pro teplou vodu (TV)	60 °C
Počet vrtů	46
Hloubka vrtů:	120 m

[18]

Bytový dům Wien Simmering

Jde o bytový dům, postavený v roce 2008. Jako zdroj tepla bylo použito TČ voda/voda. Pro vytápění je používáno tepelné čerpadlo o výkonu 85 kW. Pro přípravu teplé vody je používán druhý stupeň čerpadla o výkonu 26 kW, který byl dodatečně nainstalován. Toto tepelné čerpadlo dokáže vodu ohřát až na 67 °C. [18]



Obrázek 5: Schéma zapojení Wien Simmering [18]

Tabulka 2: Parametry Wien Simmering [18]

Vytápěná plocha:	1500 m ²
Typ vytápění:	Podlahové
Instalovaný výkon:	85 kW a 26 kW
Výstupní teplota pro vytápění	35 °C
Výstupní teplota pro TV	60 °C

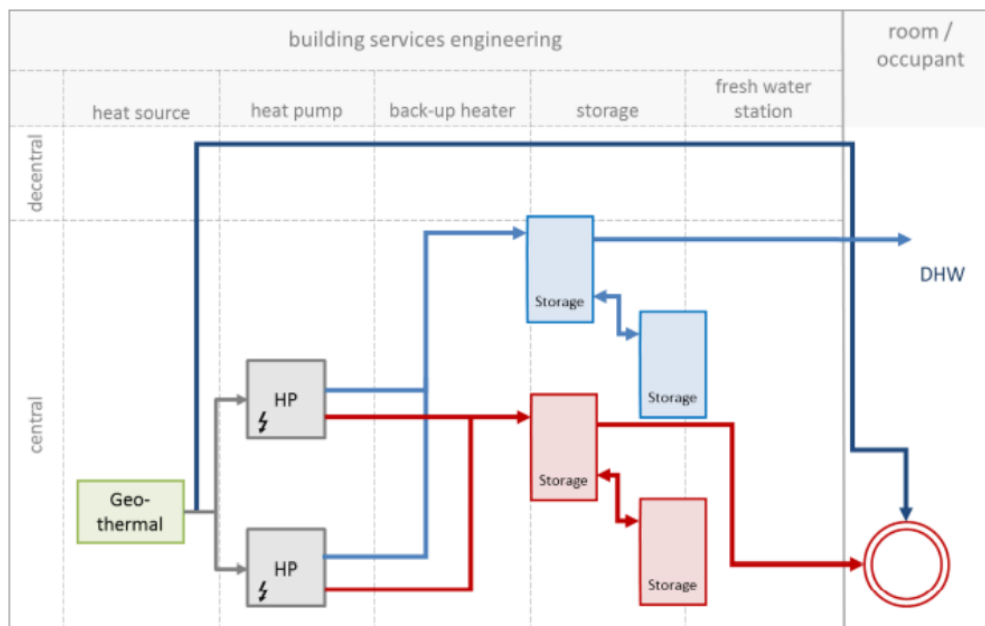
Bytový dům ve Villach

Jde o bytový dům ve Villach, kde bylo použito TČ země/voda. Jsou zde instalována dvě TČ, která se obě podílí na výrově tepla pro vytápění a přípravu TV.

Tabulka 3: Parametry BD ve Villach

Typ vytápění	Podlahové
Typ TČ	Země/voda
Instalovaný výkon	2x 87,4 kW
Výstupní teplota pro vytápění	35 °C
Výstupní teplota pro TV	63 °C
Počet vrtů	20
Hloubka vrtů	100 m

[18]



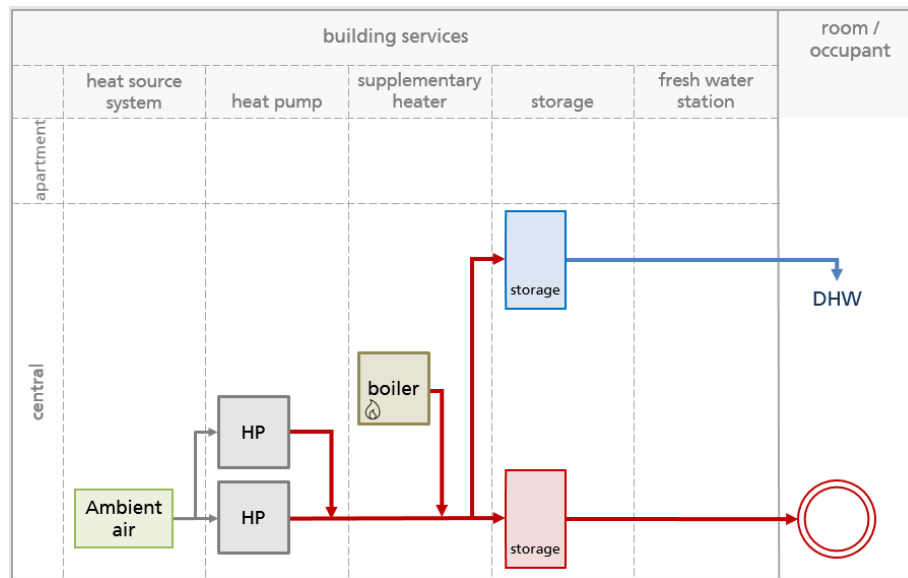
Obrázek 6: Schéma zapojení Villach [18]

St. Julien

V tomto projektu byla cílem výměna zdroje tepla panelového domu postaveného v roce 1972 v Ženevě. Kotel na topný olej byl vyměněn za dvě TČ vzduch/voda, která byla umístěna na střeše. V projektu bylo nutné správně naprojektovat úpravu nosných konstrukcí střechy. Dále bylo nutné zajistit odhlučnění, tlumení vibrací a také předělat elektrické rozvody.

Tabulka 4: Parametry St. Julien

Vytápěná plocha	4050 m ²
Typ TČ	vzduch/voda
Instalovaný výkon	2x 125 kW
Typ vytápění	Litínová otopná tělesa
Výstupní teplota pro TV	60 °C
Výstupní teplota pro vytápění	65 °C (při venkovní teplotě -7°C)



Obrázek 7: Schéma zapojení St. Julien [19]



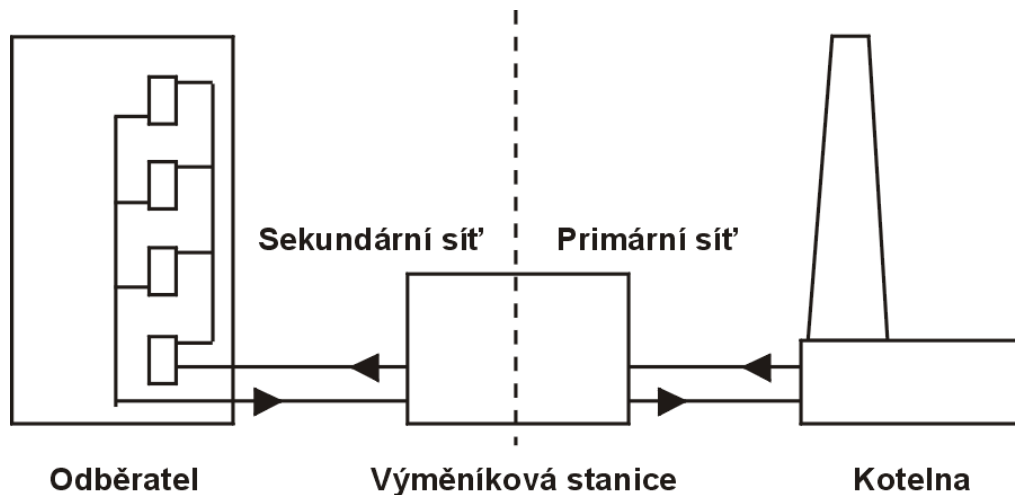
Obrázek 8: Panelový dům St. Julien [19]

Obrázek 9: TČ na střeše panelového domu [19]

2.2 Centrální zdroje tepla

Centrální zdroj tepla je základním článkem v soustavě centralizovaného zásobování teplem (dále CZT). CZT znamená zásobování více objektů z jednoho společného zdroje tepla a rozvod tepla tepelnou sítí, která alespoň z části prochází volným prostorem mezi objekty. Do CZT je zahrnuta dálková dodávka tepla pro vytápění a přípravu teplé vody. [20]

Síť CZT lze rozdělit na primární a sekundární. Primární síť odvádí teplonosnou látku od zdroje z kotelny a přivádí jí do výměňkové stanice. V té je teplo přenášeno přes výměník do sekundární sítě. Sekundární síť pak přenáší teplo od předávací stanice ke spotřebitelským zařízením. [3] [20]



Obrázek 10: Schéma CZT [20]

Zdroje můžeme podle funkce rozdělit na základní zdroje tepla a špičkové zdroje tepla. Základní zdroje jsou navrženy tak, aby pokryly většinu potřeby tepla. Jsou to tedy zdroje, u kterých je vysoké využití instalovaného výkonu. Proto je důležité, aby základní zdroj měl co nejvyšší účinnost a nízké provozní náklady. Naopak špičkové zdroje jsou určeny jenom pro pokrytí krátkodobých špiček v potřebě tepla. Mělo by se tedy jednat o levné zdroje, u kterých jsou nízké náklady na provoz a údržbu. [3]

Rozdělení zdrojů podle vzdálenosti od zásobované oblasti:

- A. Zdroj je umístěný přímo v zásobované oblasti. V tomto případě jsou rozvody tepla krátké a tím pádem je jejich pořizovací cena levná. Mezi nevýhody pak patří produkce hluku, a u některých zdrojů zplodiny spalování paliva. Řešení těchto problémů znamená zvýšení investičních nákladů. [3]
- B. Zdroj vzdálený od zásobované oblasti. V tomto případě je řešení zdroje levnější. Protože je vzdálen od zásobované oblasti nemusí být nutné řešit protihluková opatření. Nevýhodou jsou však vysoká pořizovací cena rozvodů tepla a také vyšší podíl tepelných ztrát z rozvodů. [3]

- C. Zdroje v okrskových nebo blokových kotelnách. Centrální zdroje mají v tomto případě výkon do několika MW. Zdroj vytápí několik budov a může být umístěn v jedné z nich. V této aplikaci je možné zdroj přímo napojit na tepelnou síť bez předávacích stanic. [3]

Rozvod tepla v CZT

V rozvodech tepla je jako teplotonosná látka používána pára, horká a teplá voda. Rozvody s vodou o teplotě do 110 °C se nazývají teplovody, nad 110 °C se pak jedná o horkovody. Rozvody s párou se nazývají parovody. Mezi nevýhody parovodů patří vysoké tepelné ztráty a potřeba kontrolovat a upravovat vodu, ze které se pára vyrábí. [3] [21]

Výhody zdrojů v CZT oproti jednotlivým decentrálním zdrojům: To, že má centrální zdroj tepla vysoký výkon znamená, že má oproti menším zdrojům vyšší účinnost. U centrálních zdrojů, které spalují palivo, je lepší kontrola a regulace spalovacího procesu. Dále tyto zdroje mohou mít možnost spalovat i méně hodnotná paliva. Větší zdroje pak mají i lepší řešení zachycování znečišťujících látek. Dále jsou u centrálních zdrojů menší nároky na rozvoz paliva a odvoz zbytků ze spalování. Co se týče údržby a obsluhy, tak mají zdroje v CZT menší počet pracovníků vztahený na jednotku výkonu zdroje. Velikost zdrojů také ulehčuje kombinovat výrobu elektrické energie a tepla. [3] [21]

Nevýhody zdrojů v CZT: Nevýhodou CZT jsou vysoké investiční náklady. Do těch je nutné započítat i cenu rozvodů tepla. Použití zdroje s velkým výkonem znamená, že při snížení spotřeby může být obtížné tento zdroj efektivně provozovat. V dnešní době CZT konkurují místní zdroje, jako tepelná čerpadla nebo domovní kotelny. Proto je dalším problémem odpojování odběrných míst. Tím se cena tepla zvýší, a to může opět vést ke ztrátě dalších odběratelů. Další nevýhodou je nutnost opravovat a udržovat rozvody CZT. Ve starých systémech CZT, kde byla k izolaci použita minerální vlna, se se stářím rozvodů začíná zvyšovat jejich tepelná ztráta. Izolace potrubí se s postupem času začne rozpadat. V dnešní době při použití potrubí s izolací z polyuretanu je tento problém částečně vyřešen. Veškeré náklady na údržbu i zvýšení úniku tepla z potrubí je nutné započítat do ceny tepla. [3] [21]

2.2.1 Uhelné zdroje - výtopny, teplárny

Výtopna je samostatný zdroj tepla pro výrobu tepla. V kotli se spaluje palivo (uhlí, zemní plyn, biomasa nebo topné oleje) a tím vzniká teplo, které v kotli ohřívá vodu. Výtopny lze rozdělit na teplovodní, horkovodní a na parní, a to podle teploty nebo stavu skupenství vody. V teplovodních kotlích má voda teplotu do 110 °C, v horkovodních nad 110 °C a v parních kotlích je voda ve formě páry. Výtopny mohou dosáhnout až 90% účinnosti. [3] [21]

Teplárna na rozdíl od výtopny vyrábí teplo i elektrickou energii. V parním kotli se vyrobí vodní pára o vysokém tlaku. Následně je pára přivedena do turbíny, která pohání generátor. Zbylé teplo je odváděno do soustavy CZT.

Kotle

Mezi tři základní typy kotlů, které se v teplárnách používají, jsou roštové kotle, granulační práškové kotle a fluidní kotle. V **roštových** kotlích je palivo spalováno na roštu v klidné vrstvě. **Práškové** kotle spalují uhlí rozemleté na prášek, který se vhání společně se vzduchem do hořáků. Ke spalování dochází v ohništi. Rozemletím dojde ke zvýšení měrného povrchu paliva až stonásobně. Tím dochází k intenzivnějšímu spalování. Základem **fluidního** kotle je pórovité dno, kterému se říká fluidní rošt. Na něm a nad ním je směs paliva v pevném skupenství smíchaná s aditivou, která je nadnášena vzduchem, který proudí zespoda skrze pórovité dno. Spalování ve fluidní vrstvě umožňuje spalovat i méněhodnotná paliva a umožňuje hoření i při nižších teplotách. Nižší teploty pomáhají redukovat produkci NO_x a snížit komínovou ztrátu. Díky snížení komínové ztráty mohou mít fluidní kotle účinnost spalování až 94 %. [22]

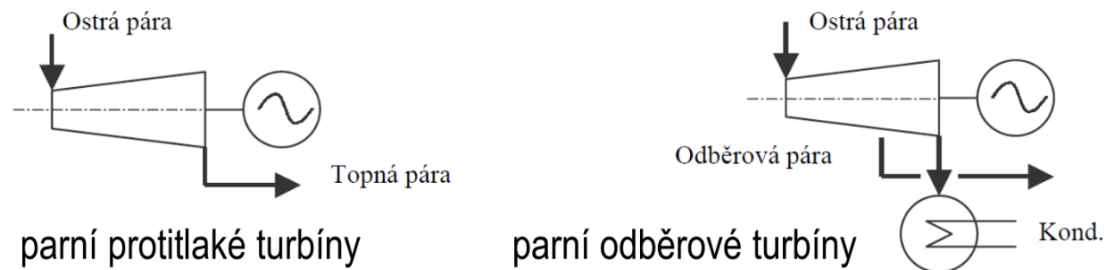
Turbíny

Turbína je točivý stroj, ve kterém se využívá energie vstupní páry. Na vstupu do turbíny je stator s rozváděcími koly, který navádí páru tak, aby správně dopadala na lopatky rotoru. Pára v turbíně expanduje a její tlaková energie roztáčí a udržuje v pohybu lopatky turbíny. Expanze páry se v turbíně zastaví při vyšším tlaku a teplotě mezi 90

a 150 °C, aby bylo možné teplo využít pro zásobování teplem. Turbíny mají velmi pomalé doby nájezdu, protože se turbína musí zahřát postupně, aby nedošlo k nechtěným mechanickým deformacím. Turbína tedy musí být v kontinuálním provozu. Dva základní typy turbín jsou parní protitlaková turbína a parní odběrová turbína. [3]

- A. **Parní protitlaková turbína** – Veškerá výstupní (emisní) pára, která opouští turbínu, je používána pro vytápění nebo přípravu teplé vody. V parních CZT je pára použita rovnou jako teplonosná látka. V případě horkovodních sítí CZT jde pára do výměňkových stanic, kde předává své teplo do horkovodní části sítě. Zdroj s protitlakovou turbínou má vysokou účinnost. Nevýhodou je, že je zdroj přímo závislý na odběru tepla. Dispečink tedy nemůže nijak manipulovat s elektrickým výkonem. Výkony protitlakových turbín se pohybují mezi 10 kW a 100 MW. Protitlakové turbíny mají dlouhou životnost. Kvůli pomalým náběhům je důležité, aby byly provozovány kontinuálně bez častých odstávek. Protitlakové turbíny se navrhují buď na celoroční nebo na sezónní provoz. Používají se ve velkých teplárnách nebo v průmyslových podnicích se stálou potřebou tepla a elektrické energie. [3]
- B. **Parní odběrová turbína** – Odběr páry nebo horké vody se využívá i u protitlakových turbín. U odběrových turbín je odběr konstruován tak, aby byla odebíraná pára použita pro dodávku tepla do CZT. Zbylá pára dále expanduje v turbíně a pokračuje do kondenzační části turbíny. Tepelný výkon odebíraný z odběrové turbíny je možné regulovat od nulového výkonu, až po maximální navržený výkon. Odběrové turbíny tak nejsou závislé na odběru tepla, jako protitlakové turbíny. Páru je možné odebírat v různých místech turbíny. Lze tak odebírat páru o vysokém tlaku pro technologické účely, nebo páru o nižším tlaku pro vytápění nebo přípravu teplé vody. Výkony odběrových turbín se pohybují od jednotek MW do stovek MW. Celková účinnost je závislá na množství odebíraného tepla. Nejvyšší je při maximálním odběru tepla a se snižováním množství odebírané páry celková účinnost klesá. Celková účinnost je oproti protitlakovým turbínám nižší. Dimenzování odběrové turbíny je snazší díky možnosti regulace. Používají

se ve velkých teplárnách nebo v průmyslových podnicích s velkou potřebou elektrické energie. [3]



Obrázek 11: Schéma protitlaké a odběrové turbíny

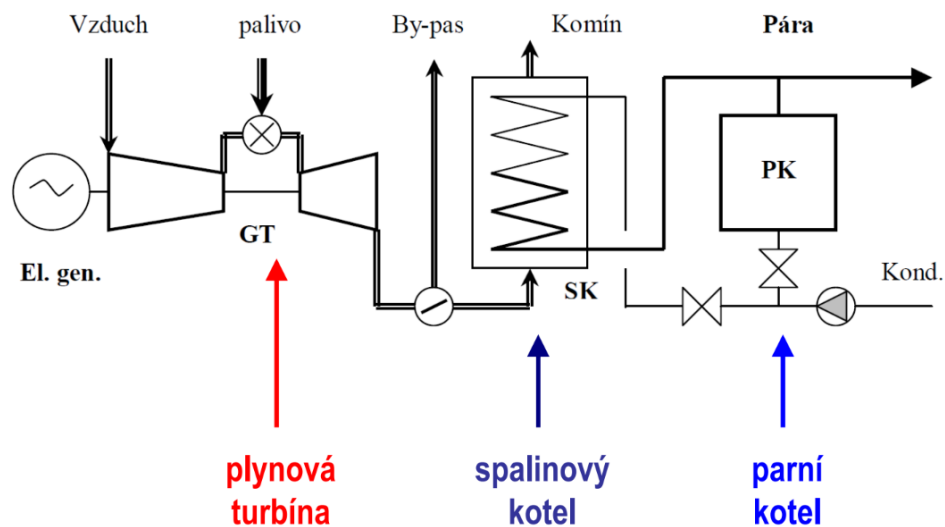
2.2.2 Zdroje spalující zemní plyn

Plynová turbína s rekuperací tepla

Plynová turbína je stroj, který se podobá proudovému motoru letadla. Skládá se ze tří částí, které jsou na společné hřídeli. První z nich je **axiální kompresor**, který nasává a stlačuje přivedený vzduch. Kompresní poměr vzduchu se pohybuje mezi 10 a 20. Za kompresorem následuje **spalovací komora**. Zde je stlačený vzduch smíchan s plynem. Palivo je spalováno při teplotě 900–1300 °C. Stlačené spaliny putují do **expanzní části turbíny**, kde se energie spalin mění na mechanickou práci. Část této mechanické práce je použita k pohonu kompresoru. K hřídeli je přes spojku nebo převodovku připojen generátor, který vyrábí elektrickou energii. Spaliny, které jsou odváděny z turbíny, mají teplotu kolem 500 °C. Buď jsou využity přímo v technologickém procesu nebo jsou odváděny do kotle, kde se ohřívá voda nebo vyrábí pára pro CZT. Výkony plynových turbín mají rozsah od 30 kW do 200 MW. [3]

Provoz plynové turbíny je analogický s protitlakovou turbínou. Množství vyrobené elektrické energie je úměrně závislé na výrobě tepla. Při snížení výkonu pod 70 % se výrazně sníží účinnost. U některých turbín je možné přebytečné teplo vypustit přes by-pass do komína. Tím poklesne celková účinnost, ale umožní to vyrábět elektrickou energii nezávisle na odběru tepla. [3]

Plynové turbíny jsou schopné rychlých nájездů nebo odstávek, to však snižuje jejich životnost. Pomalé starty plynové turbíny nezatěžují tolik. Vhodný je trvalý provoz, ale je možné turbínu odstavit na noc, nebo přes víkend. Používají se v průmyslových podnicích s potřebou elektrické energie, tepla, technologické páry nebo horkého vzduchu. Nevýhodou je, že plynové turbíny spalují pouze ušlechtilá paliva a vyžadují kvalifikovanou obsluhu a údržbu. [3]



Obrázek 12: Schéma plynové turbíny [3]

Paroplynový cyklus

Paroplynový cyklus využívá zároveň plynovou turbínu a spalínový kotel. Teplo ve spalínách z plynové turbíny se využívá ve spalínovém kotli, kde se vyrábí pára, která se následně využívá v protitlakové nebo odběrové turbíně. Tento princip se používá ve snaze maximalizovat podíl vyrobené elektrické energie z paliva. Účinnost výroby elektrické energie je 38 až 46 %. Účinnost výroby tepla se pak pohybuje mezi 25 a 40 %. [3]

Spalovací pístové motory (kogenerační jednotky)

Pístové motory fungují na stejném principu jako motory používané v automobilovém průmyslu. Při spalování paliva vzniká v pístech mechanická práce, která pohání klikovou hřídel. Tou je poháněn generátor, který vyrábí elektrickou energii. Chlazením

bloku kogenerační jednotky, mazacího oleje a výfukových plynů, získáváme teplo, které může být využito pro vytápění nebo přípravu teplé vody. Jako palivo lze používat zemní plyn, bioplyn a skládkový plyn. Spalovací motory umožňují spalovat i kapalná paliva. Paliva však musí být vyčištěna od síry a pevných částic. Výkony kogeneračních jednotek se pohybují od desítek kilowatt do jednotek megawatt. Elektrický výkon je závislý na odběru tepla. Spalovací motory jsou schopny opakovaných rychlých startů a odstávek. Oproti plynovým turbínám mají větší rozsah regulace výkonu a při regulaci není nijak významně snížena jejich účinnost. Kogenerační jednotky je možné navrhnout jak pro kontinuální provoz, tak i pro špičkovou výrobu elektrické energie, díky možnosti rychlého najetí. Nevýhody spalovacích motorů jsou hluk, potřeba pravidelných kontrol a servisu. Je potřeba doplňovat mazací oleje, měnit vzduchové filtry a svíčky v motoru. Využívají se v areálech, kde je vysoká a rovnoměrná potřeba tepla a elektrické energie. [3]

2.2.3 Zdroje spalující biomasu

Obecně pojem biomasa zahrnuje veškerou organickou hmotu. Z energetického hlediska je důležitá pouze ta část, kterou lze využít k výrobě elektřiny nebo tepla. Jedná se o rostliny, které jsou, díky fotosyntéze, schopné z oxidu uhličitého a vody vyrábět cukry. Jedná se o určitou formu akumulace sluneční energie, která probíhá s velmi malou účinností. Díky tomu je biomasa obnovitelný zdroj energie, který je CO₂ neutrální. [23]

Dřevní štěpka

Štěpka se vyrábí pomocí sekačky na dřevo, která dokáže zpracovat kusové dřevo, větve a zbytky z dřevozpracujícího průmyslu. Čerstvá štěpka může mít velmi vysokou vlhkost, až 50 % hmotnosti. To snižuje její výhřevnost, proto je dobré nechat usušit v nějakém skladu nebo zásobníku. Možnost, jak lze odpad ze dřeva využít, je výroba dřevních pelet nebo briket lisováním dřevního odpadu. [24]

Sláma

Dalším zdrojem pro výrobu tepla je balíková sláma. Kterou je možné spalovat ve specializovaných kotlích i po jednotlivých balících.

Kotle

Biomasa se spaluje v kotlích na roštu, palivo je v nich na vrstvě. Na roštu je možné spalovat paliva s vysokou vlhkostí. Využívá se vícestupňové spalování, kdy se z biomasy uvolňují plyny, které jsou spalovány ve spalovací komoře, která bývá nad kotlem, ale může být od kotle i oddělená. Účinnost roštových kotlů dosahuje až 85 %. Ve fluidních kotlích je palivo při spalování nadnášeno proudem vzduchu. Teploty při spalování dosahují 700 až 900 °C. Díky spalování při těchto teplotách nevzniká takové množství NO_x. [3]

Balíky slámy jsou při použití roštových kotlů rozděleny na malé kusy a následně dopraveny do kotle pomocí šnekového podavače nebo dopravníkového pásu. Existují spalovací zařízení na balíky, do kterých se dávkuje jednotlivé balíky po kusech. Když balík dohoří, sklopí se víko a do kotle je dopraven další. [3]

Spalování biomasy, která obsahuje různé nečistoty, produkuje při spalování škváru. Ta zůstává na roštu, anebo se zachytává na stěny kotle a po kusech se může odlamovat. Škvára je následně s popelem odváděna. Větší kusy pak dělají problémy ve šnekových dopravnících odpadu hoření. Kotle je kvůli tomu potřeba pravidelně kontrolovat a škváru ze stěn kotle odstranit.

Při plánování výstavby kotle na štěpku je důležité si zajistit dodávku do budoucna. V poslední době se začínají objevovat případy, kdy je instalovaný výkon zařízení spalujících štěpku vyšší, než kolik se štěpky v dané oblasti vyprodukuje.

Bioplynové stanice

V bioplynových stanicích se využívá procesu metanového kvašení k výrobě metanu. Proces je umožněn díky směsi metanogenních organismů, které rozkládají vyšší uhlovodíky na nižší a metan. Zároveň přitom produkuje energii potřebnou k průběhu procesu. Produkt jedné skupiny bakterií je tak substrátem pro druhou skupinu. Vyprodukovaný metan a oxid uhličitý jsou vedlejší produkty procesu. [3]

Mikroorganismy používané v bioplynových stanicích jsou rozděleny podle teplot, při kterých produkuje metan. Psychrofilní potřebují teplotu mezi 20 a 30 °C, mezofilní, které se používají ve většině bioplynových stanic v ČR, pracují mezi teplotami 30 až

40 °C. Termofilní bakterie vyžadují teplotu mezi 40 a 55 °C, bakterie je nutné udržovat v teple a je nutné vyhřívání. [3]

Suroviny, které používáme k produkci bioplynu jsou zkvasitelná organická látka a příměs, která obsahuje dusík, aby mohly bakterie správně fungovat. Dusík je obsažen například ve hnoji, kejďě, nebo i v odpadu z čistírny odpadních vod. Optimální poměr mezi uhlíkem a dusíkem ve směsi je 20:1 až 40:1. [3]

Vyprodukovaný plyn je složen z 50-70 % metanem a 30-50 % CO₂. Navíc jsou přítomny vodík, sirovodík, čpavek, a dusík, každý z nich zastoupen do 1 %.

Bioplyn je možné využívat v kogeneračních jednotkách nebo plynových turbínách. Je však nutné ho očistit od čpavku a sirovodíku, aby nezpůsobil korozi ve spalovacích motorech. Kogenerační jednotka může být přímo v areálu bioplynové stanice a pokrývá potřebu tepla a elektrické energie.

2.2.4 Vysokoteplotní tepelná čerpadla

V dnešní době se teplo vyrábí převážně z fosilního paliva. V posledních letech je snaha snižovat produkci oxidu uhličitého. Místo stávajících zdrojů se začínají používat tepelná čerpadla, která dokážou zužitkovat odpadní teplo z průmyslu a geotermální teplo. Právě k využití tepelných čerpadel ve stávajících systémech centrálního zásobování teplem je obtížné z několika důvodů. Starší bytové domy nebo panelové domy, které mají velké tepelné ztráty mají navržené výkony otopných těles s teplotním spádem 90/70 °C. Proto je potřeba, aby tepelné čerpadlo, určené k vytápění v CZT bylo schopné, v určitých případech, vyrábět vodu o teplotě ještě o něco vyšší, aby mohlo teplo být předáváno ve výměňkové stanici. [25]

Pro dosažení vyšší výstupní teploty je potřeba místo jednoduchého parního kompresorového oběhu, použít jeden ze složitějších oběhů. V jednostupňovém okruhu je pro dosažení vysoké výstupní teploty nutné zvýšit kompresní poměr kompresoru. To snižuje účinnost kompresoru a tím pádem vede ke zmenšení výkonu a topného faktoru čerpadla. K překonání tohoto problému se používají vícestupňové okruhy. Při použití okruhu s dvoustupňovou kompresí je účinnost komprese kompresoru vyšší než v jednostupňovém. Je tedy možné dosáhnout vyššího COP. Dále je možné do okruhu přidat průchozí

nebo neprůchozí středotlakou nádobu, průchozí nebo neprůchozí vnitřní výměník tepla. Použití každého z nich nějakým způsobem ovlivňuje, jak okruh pracuje a přináší různé výhody a nevýhody. Další možností je použití kaskádního okruhu, ve kterém jsou na sebe napojeny dva okruhy za sebou. [26]

Heat roadmap Europe: Large-Scale Electric Heat Pumps in District Heating Systems

Je studie, prováděná ve Švédsku, Švýcarsku, Norsku, Itálii, Finsku, Francii a Dánsku, která se zabývala snížením produkce CO₂, vzniklého vlivem výroby tepla pro CZT. Nejdříve byla snaha o snížení spotřeby tepla rekonstrukcí a zateplováním bytových domů. Později se však studie začala věnovat zdrojům tepla. Studie se tedy zabývala použitím velkých tepelných čerpadel v CZT, a zda by bylo možné pomocí TČ pokrýt 25-30 % celkové spotřeby CZT v evropské unii do roku 2050. Studie sbírala data o tepelných čerpadlech v CZT mezi roky 2015 a 2017. Do studie byla zahrnuta data 149 ti tepelných čerpadel používaných v CZT o celkovém tepelném výkonu 1580 MW. Většina těchto čerpadel byla postavena ve Švédsku v roce 1980, kde byl tou dobou přebytek elektrické energie. V době výzkumu byl celkový výkon těchto čerpadel 1000 MW. Mezi roky 1990 a 2006 vznikalo méně nových TČ a kvůli ekonomickým důvodům byl přerušen provoz 47 TČ o celkovém výkonu 300 MW. Od roku 2006 se začalo množství TČ v CZT opět zvyšovat díky použití nových chladiv, které jsou šetrnější k životnímu prostředí. [27]

Mezi používané zdroje nízkopotenciálního tepla patří:

- A. Teplo v odpadní vodě, které bylo nejčastěji používáno už od roku 1981. Celkový výkon těchto TČ tvořil zhruba polovinu výkonu všech instalovaných TČ. Teplota odpadní vody přiváděné do TČ se pohybuje v rozsahu mezi 10 a 20 °C a je, až na několik výjimek v Norsku, chemicky upravována.
- B. Voda, která se vyskytuje v okolním prostředí, tedy v moři, jezerech, rybnících a řekách je dalším možným zdrojem tepla pro TČ. Celkový výkon těchto TČ zhruba čtvrtinu výkonu všech instalovaných TČ. Teplota vody přiváděné do TČ se pohybuje v rozsahu mezi 2 a 15 °C.
- C. Odpadní teplo z průmyslu může být dalším zdrojem tepla pro TČ. Teplota vody přiváděné do TČ se pohybuje v rozsahu mezi 12 a 46 °C.

- D. Geotermální voda bývá dalším zdrojem tepla pro TČ. Rozsah teplot vody přiváděné do TČ je mezi 9 a 55 °C.
- E. Teplo ze spalin v průmyslu je dalším zdrojem tepla pro TČ. Rozsah teplot na přívodu do TČ se pohybuje mezi 34 a 60 °C.
- F. Teplo z chlazení – Jako zdroj tepla je použito vratné potrubí z centrálního zásobování chladem. Teplota teplonosné látky, která přivádí teplo do TČ se v těchto případech pohybuje mezi 0 a 9 °C.

[27]

Výstupní teploty

- A. Teplota do 70 °C – TČ s výstupní teplotou do 70 °C se používají v nových sítích CZT. Začaly přibývat od roku 2006.
- B. Teplota mezi 70 a 80 °C – Jedná se o nejčastější rozsah výstupních teplot ve studii, používaný u 57 TČ ze studie. Tyto teploty jsou dosahovány pomocí TČ instalovaných ve Švédsku od roku 1980.
- C. Teploty nad 80 °C – Tato čerpadla musela být co nejvíce optimalizovaná, aby bylo možné dosáhnout těchto teplot. Používat se začaly také od roku 1980 ve Švédsku, Norsku a Finsku. [27]

2.2.5 Případy použití tepelných čerpadel v CZT

Vienna Smart City Demo Aspern

Jedná se o koncept chytrého města ve Vídni, které bylo postaveno v roce 2014. Jako zdroj tepla bylo použita různá tepelná čerpadla s různými zdroji energie (země, voda, vzduch, solární kolektory). [18]

Tabulka 5: Parametry Vienna Smart City Demo Aspern

Vytápěná plocha	19 000 m ²
Typ vytápění	Podlahové
Instalovaný výkon	690 kW
Výstupní teplota pro vytápění	35 °C
Výstupní teplota pro TV	65 °C
Zdroje	tepla 2 studny o průtoku 12 l/s 81 geotermálních energetických košů

Bytový komplex D12, Aspern, Vídeň

Jde o 7 bytových domů postavených v roce 2016. Domy mají 4–6 pater. V přízemních patrech jsou obchody, v horních jsou byty. Pod zemí jsou dvě patra garáží, ze kterých je odsáván vzduch, a je používán jako zdroj tepla jednoho z tepelných čerpadel. [19]

Tabulka 6: Parametry vytovného komplexu D12, Aspern

Vytápěná plocha	20 600 m ²
Typ vytápění	Podlahové
Typ TČ	Země/voda, vzduch/voda
Instalovaný výkon země/voda	4x 144 kW, 2x 65 kW, vz-
Instalovaný výkon vzduch/voda	57,8 kW
Výstupní teplota pro vytápění	40 °C
Výstupní teplota pro TV	65 °C

Centrální zásobování teplem v Lund

Lund je město ve Švédsku. Skoro devadesát procent spotřeby tepla města Lund je dodáváno ze sítě CZT. Ve snaze snížit produkci CO₂, zde byla nainstalována tři TČ Unitop 33/28C. [28]

Tabulka 7: Parametry 3x Unitop 33/28C, Lund

Instalovaný výkon	9,3 MW
Příkon	3,3 MW
Teplota vstupní vody do a z TČ	+22/+4 °C
Teplota přívodní a vratné vody do CZT	+81/+60 °C
COP	2,9
Rozsah regulace výkonu	10–100 %



Obrázek 13: TČ Unitop 33/28C, Lund

Centrální zásobování ve městě Sandvika

V tomto městě je ze dvou TČ Unitop 28C zásobováno teplem 56 domů. Celková délka rozvodů je 10 km. Jako nízkopotenciální zdroj TČ použito teplo z odpadní vody. Odpadní voda musí být před tím, než vteče do výměníku TČ vyčištěna (mechanicky a sedimentací). Tepelný výkon dvou TČ je 13 MW (2x6,5 MW). Množství tepla vyrobeného za rok je 47 GWh.

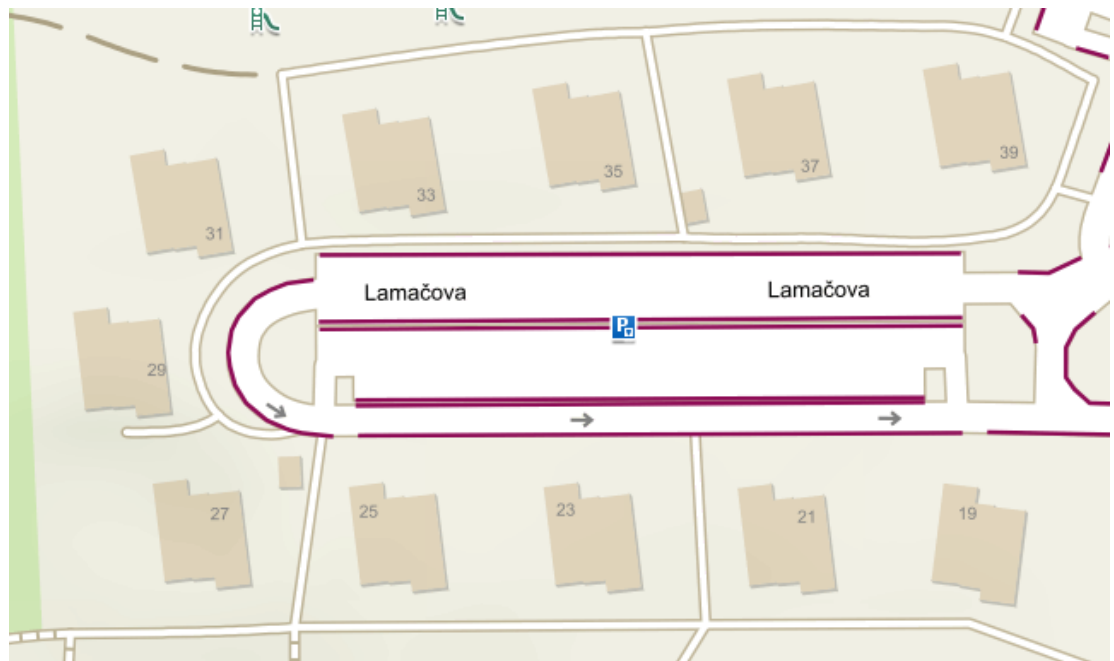


Obrázek 14: 2x TČ Unitop 28C, Mechanická filtrace odpadní vody

3. SOUBOR BUDOV BARRANDOV

3.1 Popis typického bytového domu

Bytový dům je stavbou pro bydlení, která není rodinným domem a ve které více než polovina podlahové plochy odpovídá požadavkům na trvalé bydlení a je k tomuto účelu určena. Může být buď samostatně stojící, který má kolem sebe nezastavenou plochu, nebo řadový, který stojí v kontaktu s dalšími domy. [29]



Obrázek 15: Situace, zdroj: mapy.cz

Pro účel výpočtu bylo vybráno deset panelových bytových domů na adrese Lamačova č.p. 906 – 916, Praha - Hlubočepy. Jsou to panelové bytové domy typu OP 1.11, postavené na Barrandově mezi roky 1984 a 1988. Bytové domy mají osm pater, každé patro je tři metry vysoké. V každém patře jsou 4 byty. Lodžie jsou zapuštěné a jsou na nich francouzská okna. Fasády jsou orientovány na jednotlivé světové strany s odchylkou deseti stupňů. V každém bytovém domě je uvažováno s 80 obyvateli. Objem budovy je 9600 m^3 , plocha půdorysu je 400 m^2 . [30]

Složení jednotlivých konstrukcí bytového domu je uvedeno v Tabulka 8.

Tabulka 8: Složení konstrukcí OP1.11

Obvodový plášť	150 mm železobeton [dále ŽB], 80 mm polystyrén 70 mm ŽB
Nosné stěny	Železobeton o tloušťce 140 mm.
Příčky	Železobeton o tloušťce 60 mm
Stropní panely	Železobeton o tloušťce 120 mm

[30]

Na Obrázek 16 je vyobrazen jeden z bytových domů v Lamačově ulici. Na Obrázek 17 je vyobrazen půdorys typického patra panelového domu OP 1.11.



Obrázek 16: Foto panelového domu, ulice Lamačova, zdroj: maps.google.com



Obrázek 17: Půdorys panelového OP 1.11 [31]

Ve výpočtu budou porovnány dvě energetické náročnosti bytového domu. Budou tedy srovnány stávající stav panelových domů a stav, kdyby budova byla zateplena tak, aby splnila doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní domy dle normy ČSN 73 0540-2. Dále bude o této zateplené budově referováno jako „Pasiv“. V tabulce jsou parametry, specifické pro oba případy.

Tabulka 9: Tepelně technické vlastnosti budov v řešených standardech energetické náročnosti

	n_{50}	$U_{stěn}$	U_{oken}	$U_{střechy}$	$U_{podlahy}$	g_n
	[1/h]	[W/m ² ·K]	[W/m ² ·K]	[W/m ² ·K]	[W/m ² ·K]	[-]
Aktuální stav	4,5	0,46	2,7	0,43	0,7	0,75
Pasiv	0,6	0,18	0,9	0,15	0,22	0,55

Pro dosažení potřebných hodnot součinitele prostupu tepla fasády u zateplené budovy, by bylo potřeba přidat dalších 215 mm polystyrenu. To představuje více než trojnásobek původní tloušťky izolace.

3.2 Tepelné výkony

3.2.1 Tepelné ztráty

Tepelná ztráta budovy Φ_H [W] se vypočítá následovně

$$\Phi_H = (\Phi_T + \Phi_V) = (H_T + H_V)(t_i - t_e) \quad (2)$$

kde je:

Φ_T	tepelná ztráta prostupem [W];
Φ_V	tepelná ztráta větráním [W];
H_T	měrná tepelná ztráta prostupem [W/ K];
H_V	měrná tepelná ztráta větráním [W/ K];
t_i	výpočtová teplota vnitřního vzduchu [°C];
t_e	výpočtová teplota venkovní vzduchu [°C].

Měrné tepelné ztráty se liší dle skladby konstrukcí. Výpočtová teplota vnitřního vzduchu je ve výpočtu uvažována 20 °C, výpočtová teplota venkovní vzduchu pro Prahu je uvažována -12 °C. [32]

Tepelné ztráty prostupem

Výpočet měrné tepelné ztráty prostupem H_T [W/K] je počítán zjednodušenou obálkovou metodou sledující postup podle normy ČSN EN 12831:2003.

$$H_T = \sum U_i \cdot A_i + A_p \cdot U_{podlahy} \cdot b_u \quad (3)$$

kde je:

U_i	součinitel prostupu tepla i-tého povrchu [W/m ² ·K];
A_i	plocha i-tého povrchu [m ²];
$U_{podlahy}$	součinitel prostupu podlahy [W/m ² ·K];
A_p	plocha podlahy [m ²];
b_u	redukční teplotní faktor pro prostup tepla přes nevytápěný prostor [-].

Redukční teplotní faktor b_n [-] se stanoví

$$b_n = \frac{t_i - t_n}{t_i - t_e} = 0,47 \quad (4)$$

Teplota v nevytápěném prostoru je uvažována 5 °C. Půdorysné rozměry domu jsou 20 x 20 m, výška domu je 24 m. Podle počtu oken a jejich velikosti, byla stanovena plocha, kterou zabírají okna na každé fasádě. Hodnoty součinitelů prostupu tepla se ve výpočtu mění v závislosti na zvoleném typu izolace.

Tepelné ztráty větráním

Větraný objem budovy V_i [m³] se stanoví ze vztahu

$$V_i = 0,6 \cdot V \quad (5)$$

kde je:

V_i větraný objem [m³];

V objem budovy [m³].

V objemu celé budovy jsou zahrnuty i prostory, které nejsou větrány, například: chodby, schodiště a zdi. Pro získání hodnoty větraného objemu obytných místností je objem budovy zjednodušeně (odhadem z půdorysů) vynásoben hodnotou 0,6. Objem budovy V je 9600 m³. Větraný objem budovy V_i je 5760 m³.

Průtok čerstvého vzduchu \dot{V}_{hyg} [m³/h] podle hygienických požadavků se stanoví ze vztahu

$$\dot{V}_{hyg} = V_i \cdot n_{hyg} \quad (6)$$

kde je:

V_i větraný objem budovy [m³];

n_{hyg} návrhová intenzita větrání budovy podle hygienických požadavků [1/h].

Podle hygienických požadavků platí, že návrhová intenzita větrání $n_{hyg} = 0,5$ [1/h]. Větraný objem budovy je 5760 m³. [32]

Průtok vzduchu infiltrací \dot{V}_{inf} [m³/h] se stanoví ze vztahu

$$\dot{V}_{inf} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad (7)$$

kde je:

n_{50} intenzita větrání infiltrací při rozdílu tlaků 50 Pa [1/h];

e_i korekce na expozici budovy vůči větru [-];

ε_i korekce na výšku budovy [-].

Hodnoty obou korekcí jsou dosazeny podle příloh D.8 a D.9 z normy ČSN EN 12831:2003. Intenzita větrání závisí především na vlastnostech oken budovy (jejich těsnosti), viz Tabulka 9.

Při výpočtu průtoku čerstvého vzduchu, kdy v budově není mechanické větrání, se počítá s větší hodnotou, z \dot{V}_{hyg} a \dot{V}_{inf} [m^3/h], podle vzorce

$$\dot{V} = \max(\dot{V}_{hyg}, \dot{V}_{inf}) \quad (8)$$

V případě, že je v budově mechanické větrání s rekuperačním výměníkem tepla, je pro výpočet průtoku vzduchu \dot{V} [m^3/h] použit vzorec:

$$\dot{V} = \dot{V}_{hyg}(1 - \eta_{zzt}) + \dot{V}_{inf} \quad (9)$$

kde je

\dot{V}_{hyg} průtok čerstvého vzduchu podle hygienických požadavků [m^3/h];

\dot{V}_{inf} průtok vzduchu infiltrací [m^3/h];

η_{zzt} účinnost zpětného získání tepla rekuperačního výměníku tepla vzduchotechnické jednotky [-].

Účinnost zpětného získání tepla vzduchotechnické jednotky ve výpočtu je uvažována na úrovni 70 %.

Výpočet měrné tepelné ztráty větráním H_V [W/K] je podle normy ČSN EN 12831:2003

$$H_V = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{1}{3600} \quad (10)$$

kde je

\dot{V} průtok vzduchu [m^3/h];

ρ hustota vzduchu [kg/m^3];

c_p měrná tepelná kapacita vzduchu [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$].

Hustota vzduchu je uvažována $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$, měrná tepelná kapacita vzduchu je uvažována $1010 \text{ J}/\text{kg}\cdot\text{K}$.

Tabulka 10: Vypočtené hodnoty měrných tepelných ztrát prostupem a větráním a celková tepelná ztráta budovy

Stav domu	H_t	H_v	Φ_H
	[W/K]	[W/K]	[kW]
Aktuální stav	2233	970	102,5
Pasiv	783	375	37,1

3.2.2 Výkon pro přípravu teplé vody

Průměrný denní výkon na přípravu teplé vody $\Phi_{W,S}$ [W] je vypočítán jako:

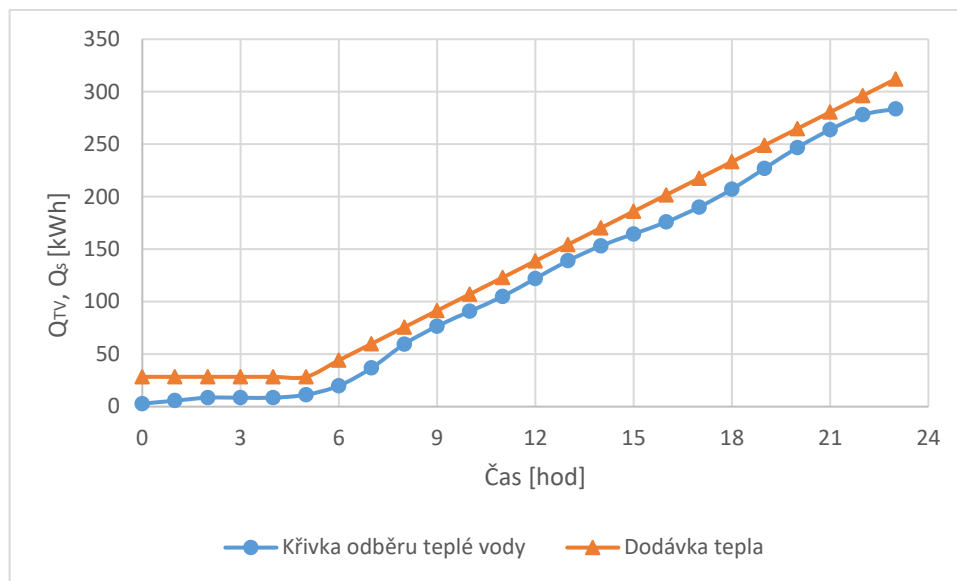
$$\Phi_{W,S} = \frac{Q_{TV}}{24} = \frac{(1+z) \cdot V_{den} \cdot p \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t}{3,6 \cdot 10^6 \cdot 24} \quad (11)$$

kde je

- Q_{TV} denní potřeba tepla na přípravu teplé vody [Wh/den];
- V_{den} denní potřeba teplé vody vztahovaná na osobu [$m^3/os \cdot den$];
- z přírážka na tepelnou ztrátu při přípravě teplé vody (cirkulace, akumulace) [-];
- p počet osob v domě [os];
- ρ hustota vody [kg/m^3];
- c měrná tepelná kapacita vody [$J/kg \cdot K$];
- Δt rozdíl mezi teplotou přiváděné studené vody a teplotou teplé vody [K].

Při výpočtu bylo potřebné množství teplé vody na jednu osobu $40 l/os \cdot den$, přírážka na tepelnou ztrátu při přípravě teplé vody (TV) je uvažována 0,7. Počet lidí v bytovém domě je 80. Hustota vody je uvažována $998 kg/m^3$, měrná tepelná kapacita vody je uvažována $4180 J/kg \cdot K$. Teplota studené vody je $10 ^\circ C$, teplota teplé vody je $55 ^\circ C$. Potřeba tepla na přípravu teplé vody na jeden den je 283,7 kWh. Výsledná hodnota průměrného denního výkonu pro přípravu TV je 11,82 kW.

Maximální výkon potřebný pro přípravu teplé vody $\Phi_{W,max}$ [W] je vypočítán z profilu navržené křivky dodávky tepla pro přípravu TV.



Graf 1: Křivka odběru a dodávky tepla pro přípravu TV

$$\Phi_{W,max} = \left(\frac{Q_i}{\tau}\right)_{max} \quad (12)$$

kde je

$\left(\frac{Q_i}{\tau}\right)_{max}$ maximální sklon křivky dodávky tepla [Wh].

Výsledná hodnota maximálního výkonu pro přípravu TV je 17,3 kW.

Objem zásobníku pro TV V_z [l] se stanoví jako

$$V_z = \frac{\Delta Q_{TV,max}}{\rho \cdot c \cdot \Delta t} \cdot 3600 \cdot 1000 \quad (13)$$

kde je

$\Delta Q_{TV,max}$ maximální rozdíl tepla mezi křivkou dodávky a odběru tepla [kWh];

ρ hustota vody [kg/m^3];

c měrná tepelná kapacita vody [$\text{J}/\text{kg}\cdot\text{K}$];

Δt rozdíl teplot mezi přiváděnou studenou vodou a teplotou teplé vody [K].

Maximální rozdíl tepla mezi křivkou dodávky a odběru tepla je 28,4 kWh. Hustota vody je $988 \text{ kg}/\text{m}^3$, měrná tepelná kapacita vody je $4180 \text{ J}/\text{kg}\cdot\text{K}$, teplota studené vody je $10 \text{ }^\circ\text{C}$, teplota teplé vody je $55 \text{ }^\circ\text{C}$. Minimální velikost zásobníku TV byla vypočtena jako $V_z = 544 \text{ l}$. [33]

3.2.3 Přípojný výkon

Přípojný výkon Φ_p [W] se stanoví

$$\Phi_p = 0,8 \cdot \Phi_H + \Phi_{W,s} \quad (14)$$

kde je

Φ_H tepelná ztráta budovy [W];

$\Phi_{W,s}$ trvalý výkon pro přípravu teplé vody [W].

Dále pak musí splňovat tyto podmínky

$$\Phi_p \geq \Phi_H \quad (15)$$

$$\Phi_p \geq \Phi_{W,max} \quad (16)$$

kde je

$\Phi_{W,max}$ špičkový výkon pro přípravu teplé vody [W].

Výsledek výpočtu přípojných výkonů vypadá následovně. V tabulce jsou vypočítané přípojné výkony bytového domu v aktuálním stavu a se zateplením.

Tabulka 11: Výpočet jednotlivých výkonů

Stav zateplení bytového domu	Φ_H	$\Phi_{W,s}$	Φ_w	Φ_p
	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
Aktuální stav	102,5	11,82	17,3	102,5
Pasiv	37,1	11,82	17,3	41,5

3.3 Energetická náročnost budovy

3.3.1 Potřeba dodávky tepla na vytápění

Potřeba tepla na vytápění $Q_{p,vyt}$ [kWh] je počítána po měsících, podle klimatických dat z normy ČSN 730331-1. [34]

$$Q_{p,vyt} = Q_L - \eta_H Q_G \quad (17)$$

kde je

Q_L potřeba tepla na vytápění v daném měsíci [kWh];

Q_G zisky tepla v daném měsíci [kWh];
 η_H stupeň využití zisků tepla.

$$Q_L = (H_T + H_V)(t_i - t_e) \cdot \Delta\tau \cdot \frac{1}{1000} \quad (18)$$

kde je

H_V měrná tepelná ztráta větráním [W/K];
 H_T měrná tepelná ztráta prostupem [W/K];
 t_e průměrná teplota venkovního vzduchu v daném měsíci [°C];
 t_i teplota vnitřního vzduchu [°C];
 $\Delta\tau$ počet hodin v daném měsíci [h].

Výpočet měrné tepelné ztráty větráním H_V [W/K] je počítán podobně, jako v předchozí kapitole dle vzorců:

$$H_V = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{1}{3600} \quad (19)$$

Při výpočtu bez mechanického větrání budovy je průtok vzduchu \dot{V} [m³/h] stanoven

$$\dot{V} = \max(\dot{V}_{hyg}, \dot{V}_{inf}) \quad (20)$$

kde je

\dot{V}_{hyg} průtok čerstvého vzduchu dle hygienických požadavků [m³/h];
 \dot{V}_{inf} průtok vzduchu infiltrací [m³/h].

V případě, že je v budově mechanické větrání s rekuperačním výměníkem tepla, použijeme pro výpočet průtoky čerstvého vzduchu \dot{V} [m³/h] vzorec:

$$\dot{V} = \dot{V}_{hyg}(1 - \eta_{ztt}) + \dot{V}_{inf} \quad (21)$$

kde je

\dot{V}_{hyg} průtok čerstvého vzduchu dle hygienických požadavků [m³/h];
 \dot{V}_{inf} průtok vzduchu infiltrací [m³/h];
 η_{ztt} účinnost zpětného získání tepla vzduchotechnické jednotky [-].

Průtok čerstvého vzduchu \dot{V}_{hyg} [m³/h] se stanoví

$$\dot{V}_{hyg} = V_i \cdot n_{prov} \quad (22)$$

kde je

V_i větraný objem budovy [m³];

n_{prov} průměrná intenzita větrání při běžném provozování budovy [1/h].

Při běžném provozu budovy je průměrná intenzita větrání uvažována 0,3 1/h. Větraný objem je 5760 m³.

Výpočet průtoku vzduchu infiltrací v provozu \dot{V}_{inf} [m³/h] se stanoví dle ČSN EN ISO 13 790 [3] jako

$$\dot{V}_{inf} = V_i \cdot n_{50} \cdot e \quad (23)$$

kde je

V_i větraný objem budovy [m³];

n_{50} intenzita větrání při rozdílu tlaků 50 Pa, závislá na vlastnostech oken [1/h];

e korekce na expozici vůči větru [-].

Intenzita větrání n_{50} závisí na vlastnostech oken budovy, viz Tabulka 9. Korekce e je 0,07.

Zisky tepla v budově Q_G [kWh] se stanoví

$$Q_G = Q_i + Q_S \quad (24)$$

kde je

Q_i vnitřní zisky tepla [kWh];

Q_S solární zisky tepla [kWh].

Vnitřní zisky tepla Q_i [kWh] jsou vypočítány v souladu s normou ČSN 730331

$$Q_i = \Phi_i \cdot \Delta\tau \frac{1}{1000} \quad (25)$$

kde je

$\Delta\tau$ počet hodin v daném měsíci [h];

Φ_i průměrný tepelný výkon od lidí a spotřebičů v budově [W].

Tepelný výkon lidí a spotřebičů Φ_i [W] se stanoví

$$\Phi_i = q_L \cdot 0,6 \cdot A_p \cdot x \quad (26)$$

kde je

q_L měrný výkon od lidí a spotřebičů vztahený na obydlenu plochu [W/m^2];

A_p plocha půdorysu [m^2];

x počet pater [-].

Plocha půdorysu je $400 m^2$, počet pater je 8. Měrný výkon lidí a spotřebičů vztahený na obydlenu plochu. Je vypočítaný z měrných výkonů lidí a spotřebičů a jejich podílu z doby provozu, z normy ČSN 730331.

$$q_L = q_{lidí} \cdot 0,68 \cdot q_{spotř} \cdot 0,6 = 3,7 \quad (27)$$

Měrný výkon lidí v budově $q_{lidí}$ je $2,8 W/m^2$ a jeho současnost je 0,68. Měrný výkon spotřebičů v budově $q_{spotř}$ je $3 W/m^2$ a jeho podíl z doby provozu je 0,6.

Solární zisky Q_G [kWh] se vypočítají jako

$$Q_G = \sum_j I_{T,j} \cdot A_{S,j} \quad (28)$$

kde je

$I_{T,j}$ úhrn energie slunečního záření, které dopadne na plochu v orientaci j [kWh/m²];

$A_{S,j}$ účinná sběrná plocha průsvitných konstrukcí v orientaci j [m^2].

Účinná sběrná plocha průsvitných konstrukcí $A_{S,j}$ [m^2] se vypočítá

$$A_S = A_{ok} \cdot F_C \cdot F_S \cdot (1 - F_F) \cdot g_n \cdot 0,9 \quad (29)$$

kde je

A_{ok} plocha okna [m^2];

F_C součinitel trvalého clonění [-];

F_S součinitel stínění [-];

F_F podíl rámu okna [-];

g_n součinitel prostupu sluneční energie oknem.

Součinitel trvalého clonění je uvažován 0,9, součinitel stínění je uvažován 0,9, podíl rámu oken je uvažován paušálně 0,25. Součinitel prostupu sluneční energie oknem g_n závisí na použitých oknech viz Tabulka 9: Tepelně technické vlastnosti budov v řešených standardech energetické náročnosti, viz Tabulka 9.

Pro výpočet stupně využití tisků tepla, je nejprve nutné zjistit časovou konstantu budovy, vnitřní tepelnou kapacitu budovy a bezrozměrný číselný parametr a_H .

Vnitřní tepelná kapacita budovy C [J/K] se stanoví jako

$$c = A_{pdl} \cdot C_m \quad (30)$$

kde je

A_{pdl} podlahová plocha [m²];

C_m měrná tepelná kapacita budovy [J/K·m²].

Měrná tepelná kapacita budovy je uvažována jako průměrná hodnota 165 000 J/K·m², podlahová plocha je 400 m².

Pomocí měrné tepelné kapacity budovy lze vypočítat časovou konstantu budovy τ_b [h] ze vztahu

$$\tau_b = \frac{C}{H_T + H_V} \cdot \frac{1}{3600} \quad (31)$$

kde je

H_V měrná tepelná ztráta větráním [W/K];

H_T měrná tepelná ztráta prostupem [W/K].

Parametr a_H [-] se stanoví

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau_b}{\tau_{b,0}} \quad (32)$$

kde je

$a_{H,0}$ bezrozměrný parametr pro měsíční výpočet [-];

$\tau_{b,0}$ referenční časová konstanta budovy [h].

Bezrozměrný parametr pro měsíční výpočet je roven 1, referenční časová konstanta je uvažována 16 h. [35]

Podle poměru celkových tepelných zisků a ztrát je výpočet stupně využití zisků tepla rozdělen na dva vzorce.

$$\gamma_H = \frac{Q_G}{Q_L} \quad (33)$$

Když $\gamma_H > 0$ a $\gamma_H \neq 0$, platí

$$\eta_H = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H + 1}} \quad (34)$$

Když $\gamma_H = 1$, platí

$$\eta_H = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad (35)$$

3.3.2 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Potřeba tepla na přípravu TV v jednotlivých měsících se vypočítá následovně.

$$Q_{p,TV} = \frac{(1+z) \cdot V_{den} \cdot p \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta t}{3,6 \cdot 10^6} \cdot d \quad (36)$$

kde je

V_{den}	denní potřeba teplé vody na osobu [$\text{m}^3/\text{os} \cdot \text{den}$];
z	přírážka na tepelné ztráty při přípravě TV (cirkulace, akumulace) [-];
p	počet osob v domě [os];
ρ	hustota vody [kg/m^3];
c	měrná tepelná kapacita vody [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$];
Δt	rozdíl teplot mezi přiváděnou studenou vodou a teplotou teplé vody [K];
d	počet dní v měsíci.

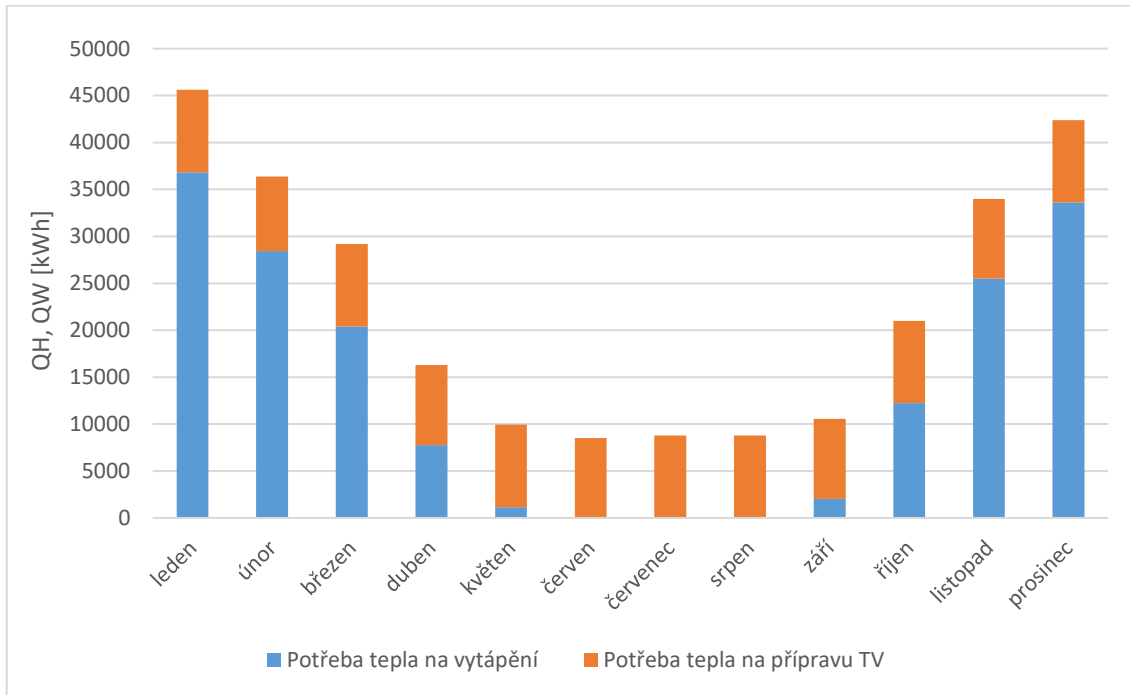
Při výpočtu bylo potřebné množství teplé vody na jednu osobu $40 \text{ l}/\text{os} \cdot \text{den}$, přírážka na tepelnou ztrátu při přípravě teplé vody (TV) je uvažována 0,7. Počet lidí v bytovém domě je 80. Hustota vody je uvažována $998 \text{ kg}/\text{m}^3$, měrná tepelná kapacita vody je uvažována $4180 \text{ J}/\text{kg} \cdot \text{K}$. Teplota studené vody je $10 \text{ }^\circ\text{C}$, teplota teplé vody je $55 \text{ }^\circ\text{C}$. Potřeba tepla na přípravu teplé vody na jeden den je $283,7 \text{ kWh}$. Výsledná hodnota průměrného denního výkonu pro přípravu TV je $11,82 \text{ kW}$.

3.3.3 Výsledky energetické náročnosti budov

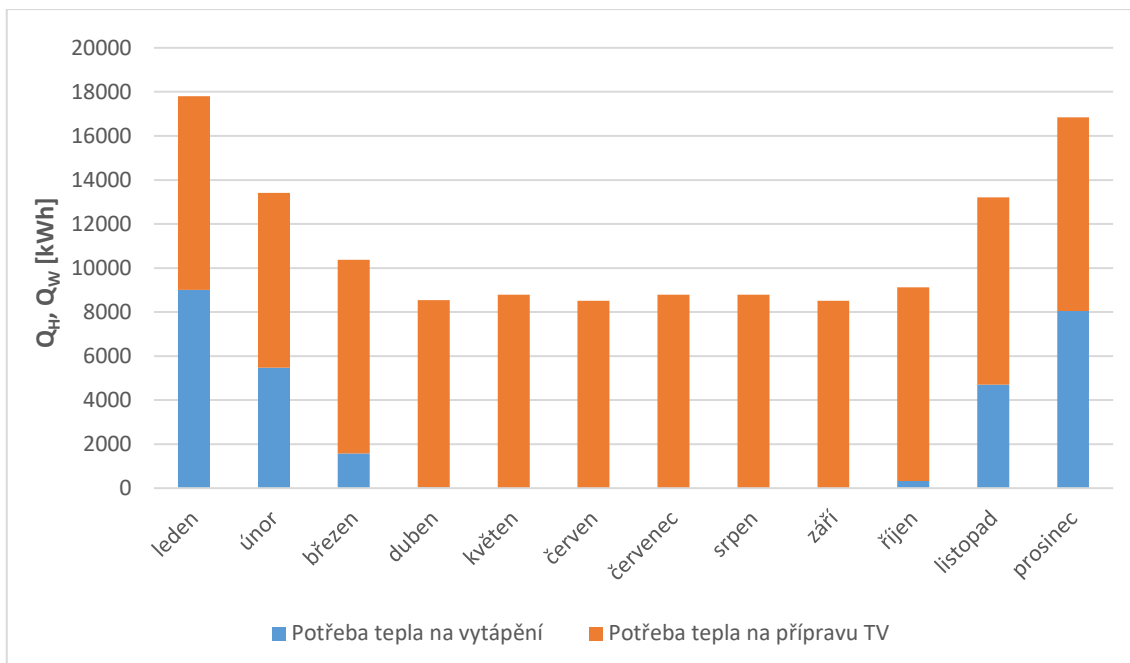
Měsíční bilance potřeby tepla na vytápění a přípravu teplé vody pro oba energetické standardy budovy (stávající stav, pasivní standard) je uvedena v Tabulka 12. Bytový dům ve stávajícím stavu, má celkovou roční potřebu tepla 271,4 MWh. V případě, že by byl bytový dům zateplen, tak aby splňoval doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní domy dle normy ČSN 73 0540-2 [36], měl by BD roční potřebu tepla 132,7 MWh. BD ve stávajícím stavu má dvakrát větší roční potřebu tepla než zateplený BD. Potřeba tepla na přípravu TV je v obou případech stejná. U BD ve stávajícím stavu tvoří 38 procent z celkové potřeby tepla. U zatepleného BD je 78 procent potřeby tepla použito na přípravu TV.

Tabulka 12: Srovnání potřeby tepla BD ve stávajícím stavu a ve stavu s izolací dle standardu pasivního domu (Pasiv).

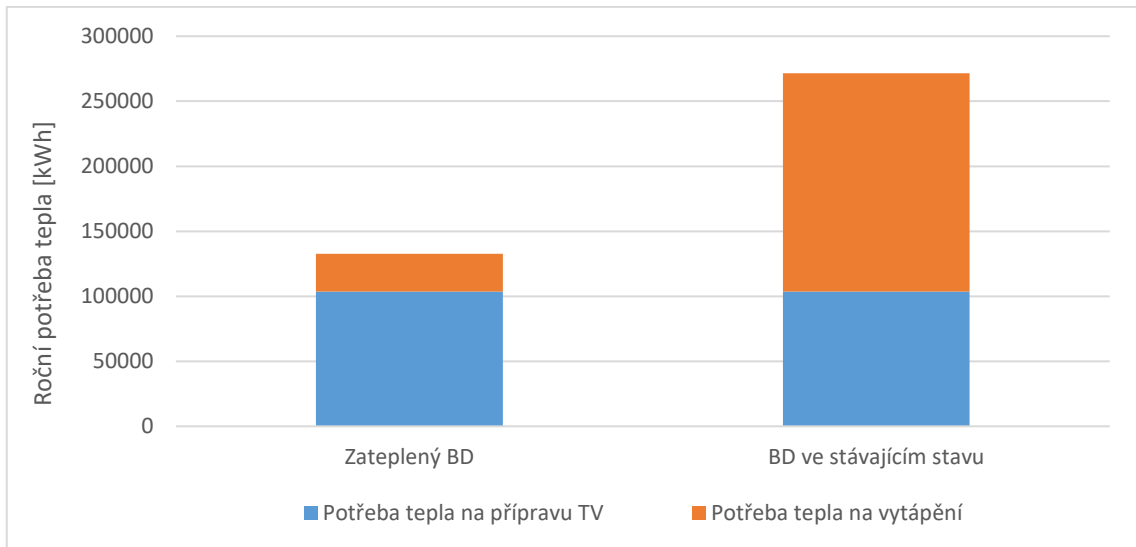
Měsíc	Zateplený BD (Pasiv)			Aktuální stav		
	Potřeba tepla na vytápění	Potřeba tepla na přípravu TV	Celková potřeba domu	Potřeba tepla na vytápění	Potřeba tepla na přípravu TV	Celková potřeba domu
	Q_H	Q_W	Q_C	Q_H	Q_W	Q_C
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
leden	9 004	8 794	17 798	36 814	8 794	45 608
únor	5 468	7 943	13 411	28 444	7 943	36 387
březen	1 582	8 794	10 375	20 374	8 794	29 168
duben	33	8 510	8 543	7 769	8 510	16 279
květen	0	8 794	8 794	1 142	8 794	9 935
červen	0	8 510	8 510	0	8 510	8 510
červenec	0	8 794	8 794	0	8 794	8 794
srpen	0	8 794	8 794	0	8 794	8 794
září	1	8 510	8 511	2 034	8 510	10 544
říjen	327	8 794	9 121	12 217	8 794	21 011
listopad	4 697	8 510	13 207	25 492	8 510	34 002
prosinec	8 050	8 794	16 844	33 601	8 794	42 395
celkem	29 162	103 541	132 702	167 887	103 541	271 427



Graf 2: Celková potřeba tepla uvažovaného bytového domu ve stávajícím stavu



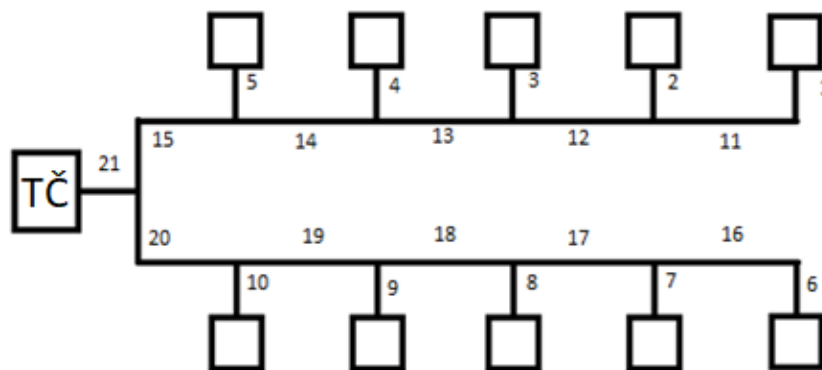
Graf 3: Celková potřeba tepla uvažovaného bytového domu při zateplení na pasivní standard



Graf 4: Porovnání roční potřeby tepla

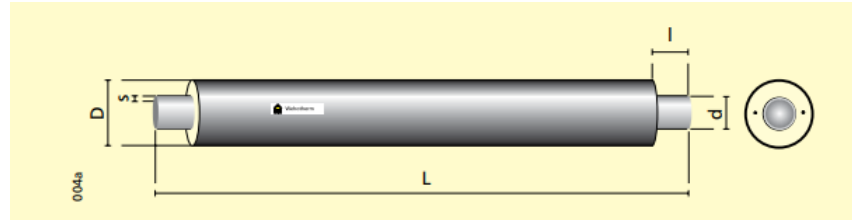
3.4 Soustava CZT

Pro variantu s centrálním tepelným čerpadlem je uvažována soustava CZT pro zásobování budov ve dvou teplotních úrovních. V případě budov ve stávajícím stavu jsou uvažovány návrhové teploty otopné vody v tepelné síti 80/60 °C, v případě budov v pasivním standardu jsou uvažovány návrhové teploty otopné vody v tepelné síti 60/40 °C. V soustavě CZT je jedenáct budov. Ve výpočtu potřeby tepla bude dům s č.p. 911/29 nahrazen strojovnou, kde bude umístěn centrální zdroj tepla. Teplo je dodáváno do zbylých deseti bytových domů prostřednictvím navržené teplotní sítě.



Obrázek 18: Schéma rozvodu

Teplo je k panelovým domům přiváděno potrubím. Soustava je navržena z předizolovaných trubek z katalogu Fintherm ve třídě izolace 3. Pro uložení potrubí je použitý bezkanálový způsob s hloubkou uložení 1,5 m.



Izolační třída 3

Obrázek 19: Potrubí Wehothem, zdroj: katalog Fintherm

Rozvod je rozdělený na jednotlivé úseky (viz Obrázek 18). Rozměry trubek jsou v každém úseku dimenzovány na průtok vody o návrhové rychlosti 1 m/s při přenášení přípojného výkonu. Ten je pro jeden BD v aktuálním stavu 102,5 kW a pro zateplený 41,5 kW.

Objemový tok teplonosné látky \dot{V}_{tl} [m³/s], při návrhové rychlosti 1 m/s v trubce, se stanoví

$$\dot{V}_{tl} = \frac{\Phi_p + \dot{Q}_i}{\rho \cdot c \cdot \Delta t} \quad (37)$$

kde je

Φ_p přípojný výkon [W];

\dot{Q}_i tepelná ztráta daného úseku [W];

ρ hustota vody [kg/m³];

c měrná tepelná kapacita vody [J/kg·K];

Δt rozdíl teplot mezi teplotou přívodní vody a vratné vody [K].

Hustota vody je 998 kg/m³, měrná tepelná kapacita vody je 4180 J/kg·K, rozdíl teplot mezi teplotou přívodní vody a vratné vody je 20 K.

Vnitřní průměr potrubí d_i [m] se při návrhové rychlosti 1 m/s stanoví jako

$$d_i = \sqrt{\frac{4 \cdot \dot{V}_{tl}}{\pi \cdot v_n}} \quad (38)$$

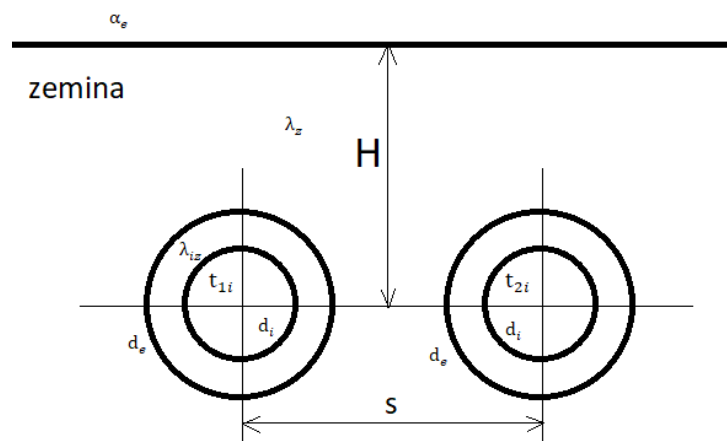
kde je

v_n návrhová rychlost [m/s];

\dot{V}_{tl} objemový tok teplotosné látky [m³/s].

3.4.1 Tepelné ztráty rozvodů

Výpočet tepelných ztrát je prováděn následovně. Pro každý úsek je tepelná ztráta vypočítána zvlášť. Ztráty jsou počítány pomocí vzorců pro výpočet tepelné ztráty izolovaného potrubí uloženého v zemině. Pro výpočet tepelné ztráty potrubí v zemině, je nutné spočítat různé faktory, které mají vliv na celkovou ztrátu potrubí. [3] [37]



Obrázek 20: Kruhové potrubí v zemině [3]

Tepelný odpor trubek R_{t1} a R_{t2} [mK/W] se stanoví

$$R_t = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} \cdot \ln \frac{d_e}{d_i} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} \cdot \ln \frac{4h}{d_e} \quad (39)$$

kde je

λ_{iz} součinitel tepelné vodivosti izolace [W/m·K];

λ_z součinitel tepelné vodivosti zeminy [W/m·K];

d_e vnitřní průměr potrubí [m];

d_i vnější průměr potrubí [m];

h efektivní hloubka uložení [m].

Součinitel tepelné vodivosti izolace je 0,03 W/m·K, součinitel tepelné vodivosti zeminy je 2 W/m·K. Efektivní hloubka uložení je 1,9 m.

Efektivní hloubka uložení h [m] se vypočítá

$$h = H + \frac{\lambda_z}{\alpha_e} \quad (40)$$

kde je

- H hloubka uložení potrubí [m];
 λ_z součinitel tepelné vodivosti na terénu [W/m·K];
 α_e součinitel přestupu tepla [W/m²·K].

Součinitel přestupu tepla na terén je 15 W/m²·K.

Teplotní faktory θ_1, θ_2 [-] se stanoví

$$\theta_1 = \frac{(t_{2i} - t_e)}{(t_{1i} - t_e)} \quad \text{a} \quad \theta_2 = \frac{(t_{1i} - t_e)}{(t_{2i} - t_e)} \quad (41)$$

kde je

- t_{1i} teplota vody v přívodním potrubí [°C];
 t_{2i} teplota vody ve vratném potrubí [°C];
 t_e teplota venkovního vzduchu [°C].

Geometrický faktor P_1, P_2 [-] se v případě stejné hloubky uložení obou potrubí stanoví jako

$$P_1 = P_2 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_z} \cdot \ln \sqrt{1 + 4 \left(\frac{h}{s}\right)^2} \quad (42)$$

kde je

- s rozteč potrubí [m];
 λ_z součinitel tepelné vodivosti zeminy [W/m·K];
 h efektivní hloubka uložení [m].

Celkový tepelný odpor vůči prostupu tepla R_{e1} a R_{e2} [m·K/W] se stanoví

$$R_{e1} = \frac{R_{t1} - \left(\frac{P_1^2}{R_{t2}}\right)}{1 - \frac{P_1 \cdot \theta_1}{R_{t2}}} \quad R_{e2} = \frac{R_{t2} - \left(\frac{P_2^2}{R_{t1}}\right)}{1 - \frac{P_2 \cdot \theta_2}{R_{t1}}} \quad (43)$$

Tepelné ztráty jednotlivých úseků potrubí \dot{Q}_1 a \dot{Q}_2 [W] se stanoví

$$\dot{Q}_1 = \frac{(t_{1i} - t_e) \cdot L}{R_{e1}} \quad \dot{Q}_2 = \frac{(t_{2i} - t_e) \cdot L}{R_{e2}} \quad (44)$$

kde je

- L délka potrubí [m];
 t_{1i} teplota vody v přívodním potrubí [°C];
 t_{2i} teplota vody ve vratném potrubí [°C];
 t_e teplota venkovního vzduchu [°C].

Pro případ CZT s deseti BD ve stávajícím stavu, při venkovní teplotě -12 °C, soustava přenáší tepelný výkon 1043,9 kW. Celková tepelná ztráta rozvodu CZT je 18,4 kW. Tepelné ztráty rozvodu jsou v tomto případě 1,77 % z celkové ztráty.

Tabulka 13: Tepelná ztráta potrubí uloženého v zemi, případ 1 (stávající stav)

Úsek	Přenášený výkon	DN	L	R_t	R_{e1}	R_{e2}	Q_1	Q_2	Q_c
-	kW	-	m	m·K/W	m·K/W	m·K/W	W	W	W
1	102,5	25	8	5,42	5,978	5,734	123	100	224
2	102,5	25	8	5,42	5,978	5,734	123	100	224
3	102,5	25	8	5,42	5,978	5,734	123	100	224
4	102,5	25	8	5,42	5,978	5,734	123	100	224
5	102,5	25	8	5,42	5,978	5,734	123	100	224
6	102,5	25	8	5,42	5,978	5,734	123	100	224
7	102,5	25	8	5,42	5,978	5,734	123	100	224
8	102,5	25	8	5,42	5,978	5,734	123	100	224
9	102,5	25	8	5,42	5,978	5,734	123	100	224
10	102,5	25	8	5,42	5,978	5,734	123	100	224
11	102,7	25	45	5,42	5,978	5,734	693	565	1258
12	205,2	40	45	4,32	4,874	4,626	849	700	1550
13	307,9	50	45	3,90	4,438	4,193	933	773	1706
14	410,6	65	45	3,38	3,907	3,662	1060	885	1944
15	513,3	80	30	3,12	3,643	3,400	758	635	1393
16	102,7	25	45	5,42	5,978	5,734	693	565	1258
17	205,4	40	45	4,32	4,874	4,626	849	700	1550
18	308,1	50	45	3,90	4,438	4,193	933	773	1706
19	410,8	65	45	3,38	3,907	3,662	1060	885	1944
20	513,5	80	30	3,12	3,643	3,400	758	635	1393
21	1043,9	100	10	3,00	3,491	3,263	264	221	484

Pro případ CZT s deseti BD, které by byly zateplený dle pasivního standardu soustava při návrhových podmínkách (venkovní teplota vzduchu je rovna -12 °C) přenáší tepelný výkon 425,9 kW. Celková tepelná ztráta rozvodu CZT je 9,4 kW. Tepelné ztráty rozvodu jsou v tomto případě 2,2 % z celkové ztráty.

Tabulka 14: Tepelná ztráta potrubí uloženého v zemi, případ 2 (Pasiv)

Úsek	Přenášený výkon	DN	L	R _t	R _{e1}	R _{e2}	Q ₁	Q ₂	Q _c
-	kW	-	m	m·K/W	m·K/W	m·K/W	W	W	W
1	41,5	20	8	6,44	7,093	6,708	70	50	120
2	41,5	20	8	6,44	7,093	6,708	70	50	120
3	41,5	20	8	6,44	7,093	6,708	70	50	120
4	41,5	20	8	6,44	7,093	6,708	70	50	120
5	41,5	20	8	6,44	7,093	6,708	70	50	120
6	41,5	20	8	6,44	7,093	6,708	70	50	120
7	41,5	20	8	6,44	7,093	6,708	70	50	120
8	41,5	20	8	6,44	7,093	6,708	70	50	120
9	41,5	20	8	6,44	7,093	6,708	70	50	120
10	41,5	20	8	6,44	7,093	6,708	70	50	120
11	41,6	20	45	6,44	7,093	6,708	393	282	675
12	83,0	25	45	5,42	6,081	5,685	459	332	791
13	124,6	32	45	4,94	5,593	5,200	499	363	862
14	166,2	40	45	4,32	4,980	4,577	560	413	973
15	207,8	40	30	4,32	4,980	4,577	373	275	649
16	41,6	20	45	6,44	7,093	6,708	393	282	675
17	83,2	25	45	5,42	6,081	5,685	459	332	791
18	124,7	32	45	4,94	5,593	5,200	499	363	862
19	166,3	40	45	4,32	4,980	4,577	560	413	973
20	207,9	40	30	4,32	4,980	4,577	373	275	649
21	425,9	65	10	3,38	4,015	3,614	154	116	271

3.4.2 Ztráty tepla rozvodů

Teplo, které se ztrácí z rozvodů Q_R [Wh] v průběhu celého roku vypočteme zjednodušeně po měsících při uvažování průměrných měsíčních teplot rozvodu a venkovního vzduchu.

$$Q_R = \left(\frac{(t_{1i} - t_e) \cdot L}{R_{e1}} + \frac{(t_{2i} - t_e) \cdot L}{R_{e2}} \right) \cdot \Delta T \frac{1}{1000} \quad (45)$$

kde je

t_{1i}	teplota vody v přívodním potrubí [°C];
t_{2i}	teplota vody ve vratném potrubí [°C];
t_e	průměrná teplota venkovního vzduchu v daném měsíci [°C];
$\Delta\tau$	počet hodin v daném měsíci [h];
L	délka potrubí[m];
R_{t1}	tepelný odpor přívodního potrubí [mK/W];
R_{t2}	tepelný odpor vratného potrubí [mK/W].

Teploty t_{1i} a t_{2i} je nutné dopočítat pro každý měsíc zvlášť z důvodu použití ekvitermní regulace v tepelné síti. Protože se rozvodem vede teplo pro vytápění a přípravu teplé vody, je teplota přívodní vody minimálně 60 °C.

$$t_{1i} = t_i + \frac{t_{w1,N} - t_{w2,N}}{2} \cdot \frac{t_i - t_e}{t_i - t_{e,N}} + \left(\frac{t_{w1,N} + t_{w2,N}}{2} - t_j \right) \cdot \left(\frac{t_i - t_e}{t_i - t_{e,N}} \right)^{1/m} \quad (46)$$

kde je

t_i	vnitřní teplota vzduchu [°C];
$t_{e,N}$	střední teplota venkovního vzduchu [°C];
$t_{w1,N}$	návrhová teplota přívodní otopné vody [°C];
$t_{w2,N}$	návrhová teplota vratné otopné vody [°C];
t_e	střední teplota venkovního vzduchu ve výpočtovém intervalu [°C];
m	teplotní exponent otopných ploch.

Pro případ CZT s deseti BD ve stávajícím stavu je množství tepla, které unikne z rozvodů 82 MWh/rok. Potřeba tepla deseti domů je 2 714 MWh/rok. Z rozvodu tedy unikne 2,94 % tepla dodaného do soustavy.

Tabulka 15: Výpočet tepla uniklého z rozvodu, případ 1 (aktuální stav)

měsíc	t_e	t_{w1}	t_{w2}	Q_1	Q_2	Q_c	Q_p
	[C]	[C]	[C]	[W]	[W]	[W]	[kWh]
leden	-1	63,5	43,5	7096	5187	12282	9138
únor	0	61,5	41,5	6751	4822	11573	7777
březen	4	60,0	40,0	6168	4205	10373	7718
duben	8	60,0	40,0	5686	3696	9382	6755
květen	13	60,0	40,0	5116	3093	8209	6108
červen	16	60,0	40,0	4809	2769	7578	5456
červenec	18	60,0	40,0	4601	2549	7150	5320
srpen	18	60,0	40,0	4612	2560	7173	5336
září	14	60,0	40,0	5094	3070	8164	5878
říjen	8	60,0	40,0	5664	3673	9337	6946
listopad	3	60,0	40,0	6223	4263	10486	7550
prosinec	1	60,5	40,5	6578	4639	11217	8345

Pro případ CTZ s deseti BD, které by byly zatepleny tak, aby splnily doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní domy, je množství tepla, které unikne z rozvodů 65 MWh/rok. Potřeba tepla deseti domů je 1327 MWh/rok. Z rozvodu tedy unikne 4,7 % tepla dodaného do soustavy.

Tabulka 16: : Výpočet tepla uniklého z rozvodu, případ 2 (Pasiv)

měsíc	t_e	t_{w1}	t_{w2}	Q_1	Q_2	Q_c	Q_p
	[C]	[C]	[C]	[W]	[W]	[W]	[kWh]
leden	-1	60,0	40,0	5362	3883	9245	6878
únor	0	60,0	40,0	5257	3770	9027	6066
březen	4	60,0	40,0	4925	3413	8338	6203
duben	8	60,0	40,0	4540	2999	7539	5428
květen	13	60,0	40,0	4085	2510	6595	4907
červen	16	60,0	40,0	3840	2247	6087	4383
červenec	18	60,0	40,0	3674	2068	5742	4272
srpen	18	60,0	40,0	3683	2078	5760	4286
září	14	60,0	40,0	4067	2492	6559	4722
říjen	8	60,0	40,0	4522	2981	7503	5582
listopad	3	60,0	40,0	4968	3460	8428	6068
prosinec	1	60,0	40,0	5205	3714	8918	6635

4. Analýza dodávky tepla

V analýze dodávky tepla pomocí tepelného čerpadla budou navržena tepelná čerpadla (TČ) jako centrální a decentrální zdroj tepla. V případě decentrálních tepelných čerpadel bude výkon TČ navržen na spotřebu tepla jednotlivých domů. TČ jako centrální zdroj tepla pak pokrývat tepelnou ztrátu deseti bytových domů a rozvodu. V obou případech pak budou uvažovány tepelné ztráty budovy ve stavu, ve kterém se aktuálně nachází, a v případě, kdyby budova byla zateplena tak, aby splnila doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní domy dle normy ČSN 73 0540-2.

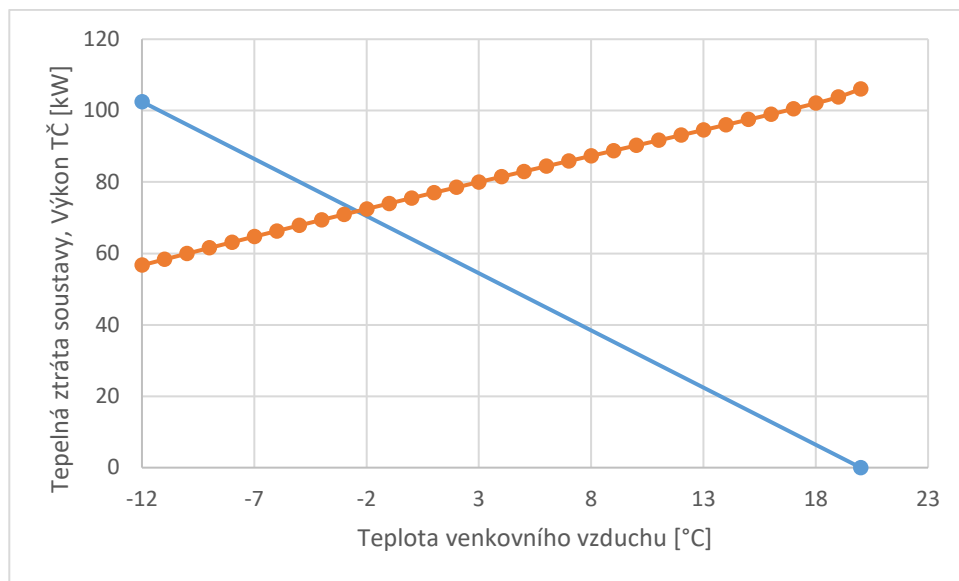
4.1 Decentrální tepelná čerpadla

V případně řešení dodávky tepla pomocí decentrálních tepelných čerpadel by se ke každému bytovému domu přidělilo jedno nebo více tepelných čerpadel. Nebylo by tedy potřeba navrhovat rozvody tepla.

4.1.1 Tepelná čerpadla

Bytový dům ve stávajícím stavu

Pro bytový dům, který byl postaven mezi roky 1987-1988, je nutné pro jeho stávající stav navrhnout vysokoteplotní tepelné čerpadlo. Důvodem je návrhová vstupní teplota vody do otopných těles, která může dosahovat až 80 °C. Bytový dům má při venkovní teplotě vzduchu -12 °C přípojný výkon 102,5 kW. Pro dodávku tepla bylo navrženo tepelné čerpadlo země-voda Vitocal BW 352.AHT096. Jako zdroj nízkopotenciálního tepla bude použito deset vrtů hlubokých 130 m.

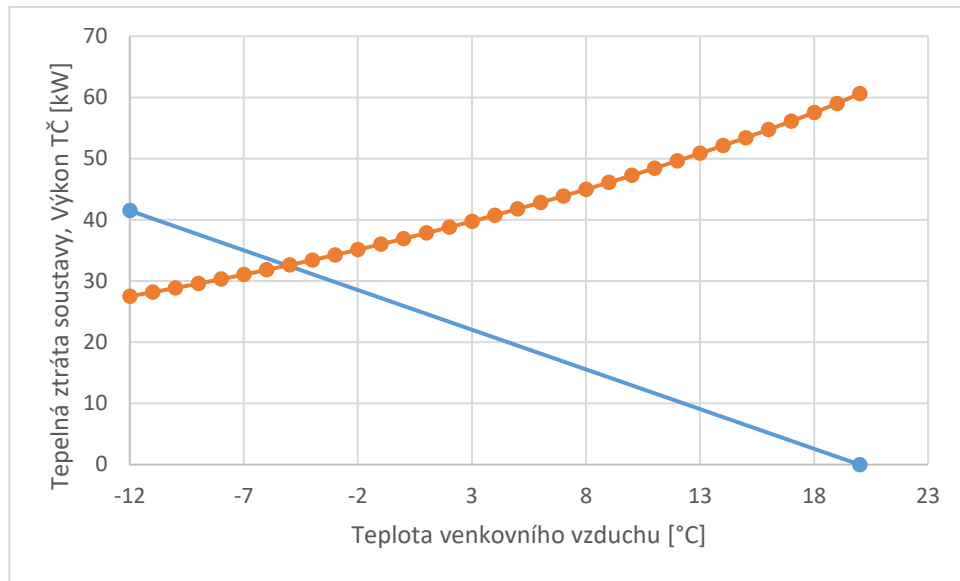


Graf 5: Návrh TČ BW 352.AH 096

Zateplený bytový dům

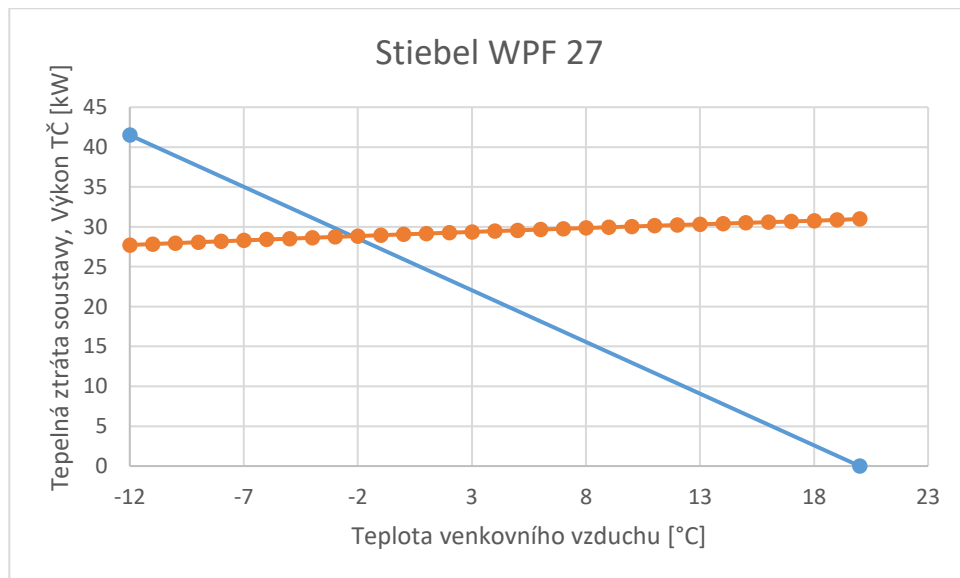
Pro bytový dům, který by byl zateplen tak, aby splnil doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní domy dle normy ČSN 73 0540-2, byla navržena výroba tepla dvěma způsoby. Prvním z nich je výroba tepla pomocí tepelného čerpadla vzduch/voda a ve druhém pomocí TČ země/voda. Zateplený dům potřebuje pro vytápění a přípravu TV tepelný výkon 41,5 kW. Protože se tepelná ztráta oproti tepelné ztrátě domu ve stávajícím stavu snížila, nejsou pro vytápění potřeba tak vysoké teploty (viz Tabulka 16). Z toho důvodu není nutné použít vysokoteplotní TČ.

V prvním návrhu jsou pro vytápění domu použita dvě TČ vzduch/voda od výrobce Stiebel, značená WPL 34. Dodatečný výkon bude dodáván elektrickým ohřevčem. V období roku, kdy klesne potřebný výkon je možné provozovat jenom jedno TČ.



Graf 6: Návrh TČ WPL 34

V druhém návrhu je pro výrobu tepla navrženo TČ země/voda Stiebel WPF 27. Jako zdroj nízkopotenciálního tepla budou použity čtyři vrty hluboké 130 m. Dodatečný výkon bude dodáván elektrickým ohříváčem.



Graf 7: Návrh TČ WPF 27

4.1.2 Intervalová metoda

Postup výpočtu potřeby elektrické energie při použití tepelného čerpadla vychází z normy TNI 73 0351. Metoda využívá údajů o teplotě venkovního vzduchu pro danou lokalitu v podobě výpočtových teplotních intervalů. Tyto intervaly jsou pro každý měsíc definovány střední teplotou vzduchu a dobou jejího trvání. Metodou bude řešena bilance zvláště po jednotlivých měsících. Vstupními údaji jsou měsíční potřeba tepla na vytápění a přípravu TV. Norma umožňuje řešit i celoroční bilanci.

V každém intervalu jsou vypočítány potřeba tepla pro vytápění a přípravu teplé vody, provozní podmínky a odpovídající charakteristiky tepelného čerpadla (tepelný výkon, topný faktor), teplo dodané tepelným čerpadlem, teplo dodané doplňkovým ohřevčem, potřeba elektrické energie pro tepelné čerpadlo, doba provozu tepelného čerpadla a potřeba pomocné elektrické energie. [38]

Výsledkem výpočtu jsou teplo dodané tepelným čerpadlem a doplňkovým ohřevčem, potřeba elektrické energie pro pohon TČ a celková efektivita provozu soustavy s tepelným čerpadlem, vyjádřená sezónním topným faktorem soustavy *SPF* (seasonal performance factor). [38]

Potřeba tepla

Pro energetickou bilanci TČ je potřeba mít zjištěnou hodnotu potřeby tepla (vytápění, příprava teplé vody). Potřeba tepla na vytápění Q_H je vypočtena v kapitole energetická náročnost budovy. V případě použití decentrálního zdroje se potřeba tepla týká jednoho bytového domu. Měsíční potřeba tepla na vytápění je pro jednotlivé výpočtové teplotní intervaly j otopného období $Q_{p,VYT,j}$ [kWh] rozdělena poměrovým přepočtem na základě příslušných hodinostupňů ve výpočtových teplotních intervalech, podle vztahu

$$Q_{p,VYT,j} = Q_{p,vyt} \frac{DH_j}{DH} = Q_{p,vyt} \frac{\tau_j \cdot (t_j - t_{em,j})}{\sum_j \tau_j \cdot (t_j - t_{em,j})} \quad (47)$$

kde je

$Q_{p,vyt}$ celková potřeba tepla na vytápění v jednotlivých měsících [kWh];

DH_j počet hodinostupňů výpočtového teplotního intervalu j [Kh];

DH počet hodinostupňů za otopné období (rok) nebo v jednotlivých měsících [Kh];

τ_j doba trvání výpočtového teplotního intervalu j [h];

$t_{em,j}$ střední teplota v intervalu j [°C]. [38]

Potřeba tepla na přípravu teplé vody Q_w byla stanovena v kapitole energetická náročnost budovy. V případě použití decentrálního zdroje se potřeba tepla týká jednoho bytového domu. Měsíční potřeba tepla na přípravu teplé vody je pro jednotlivé výpočtové teplotní intervaly j rozdělena poměrovým přepočtem na základě doby trvání výpočtových teplotních intervalů v jednotlivých měsících.

$$Q_{p,TV,j} = Q_{p,TV} \frac{\tau_j}{\sum_j \tau_j} = Q_{p,TV} \cdot f_{TV,j} \quad (48)$$

kde je

$Q_{p,TV}$ celková potřeba tepla na přípravu teplé v jednotlivých měsících [kWh];

τ_j doba trvání výpočtového teplotního intervalu j [h]. [38]

Hodnoty DH_j , DH , τ_j a τ jsou pro referenční klimatické údaje uvedeny v tabulkách v příloze A normy TNI 73 0351.

Charakteristiky tepelného čerpadla

Pro výpočet tepelného výkonu a topného faktoru TČ je potřeba mít údaje od výrobce. Podmínky pro měření charakteristik TČ stanovuje norma ČSN EN 14511. Výrobce tak o výrobku udává tepelný výkon a COP při jmenovitých nebo zkušebních teplotních podmínkách. Teplotní podmínky jsou tvořeny teplotou na vstupu do výparníku t_{v1} a teplotou na výstupu z kondenzátoru t_{v2} . [38]

Regrese charakteristik tepelného čerpadla do podoby matematického vztahu

Tepelný výkon a COP TČ se pro teplotní podmínky v daných intervalech stanoví pomocí regresní charakteristiky. Pro získání závislosti tepelného výkonu a COP TČ musí být zvolena vhodná funkce, kterou se proloží soubor naměřených charakteristik TČ. Pro TČ země/voda a voda/voda lze použít lineární závislost. Pro čerpadla vzduch/voda je potřeba použít polynom vyššího řádu. Pro hodnocení provozního chování TČ intervalovou metodou, je normou TNI 73 0351 doporučeno uvažovat funkční závislost

$$P = A + B \cdot t_{v1} + C \cdot t_{v2} + D \cdot t_{v1}^2 + E \cdot t_{v2}^2 + F \cdot t_{v1} \cdot t_{v2} \quad (49)$$

kde je

P obecná výkonová charakteristika (výkon TČ nebo COP TČ)

t_{v1} teplota na vstupu do výparníku [°C];

t_{v2} teplota na výstupu z kondenzátoru [°C]. [38]

Funkční závislost lze získat vícenásobnou lineární regresí. [38]

Pomocná elektrická energie

Do energetické bilance provozu soustavy je nutné zahrnout i provoz pomocných zařízení. Do pomocných zařízení lze zahrnout oběhová čerpadla, regulaci a ventily. Potřeba pomocné energie se stanovuje z doby běhu jednotlivých zařízení ve výpočtových intervalech. [38]

Příprava teplé vody

Teplota výstupní teploty z TČ pro přípravu TV je stanovena

$$t_{k2,j} = t_{TV} + \Delta t_{TV} \quad (50)$$

kde je

t_{TV} teplota teplé vody [°C];

Δt_{TV} zvýšení teploty při zohlednění teplotního rozdílu na výměníku tepla mezi teplotou připravované TV a teplotou přiváděné otopné vody [°C]. [38]

Vytápění

Otopná soustava je navržena pro výpočtovou teplotu venkovního vzduchu. Při ekvitermní regulaci je přívodní teplota otopné vody regulována dle okamžité teploty venkovního vzduchu. Při výpočtu je pro každý výpočtový teplotní interval stanovena teplota přiváděné otopné vody $t_{w1,j}$ [°C] v závislosti na střední teplotě venkovního vzduchu ve výpočtovém intervalu $t_{em,j}$.

$$t_{w1,j} = t_i + \frac{t_{w1,N} - t_{w2,N}}{2} \cdot \frac{t_i - t_{em,j}}{t_i - t_{e,N}} + \left(\frac{t_{w1,N} + t_{w2,N}}{2} - t_i \right) \cdot \left(\frac{t_i - t_{em,j}}{t_i - t_{e,N}} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (51)$$

kde je

t_i vnitřní teplota vzduchu, [°C];

$t_{e,N}$	výpočtová teplota venkovního vzduchu [°C];
$t_{w1,N}$	návrhová teplota přívodní otopné vody [°C];
$t_{w2,N}$	návrhová teplota vratné otopné vody [°C];
$t_{em,j}$	střední teplota venkovního vzduchu ve výpočtovém intervalu [°C];
m	teplotní exponent otopných ploch [-].

Požadovaná teplota otopné vody na výstupu z tepelného čerpadla $t_{k2,j}$ se v daném výpočtovém teplotním intervalu se stanoví

$$t_{k2,j} = t_{w1,j} + \Delta t_w \quad (52)$$

kde je

Δt_w zvýšení teploty při zohlednění nabíjení nárazového zásobníku otopné vody [°C]. [38]

Režim přípravy teplé vody

V provozu má režim přípravy přednost před vytápěním, proto je ve výpočtu nejprve bilancována příprava TV a poté vytápění. V každém výpočtovém teplotním intervalu j je stanovena potřeba tepla na přípravu teplé vody, teplota zdroje tepla $t_{v1,j}$ a teplota otopné vody na výstupu z tepelného čerpadla $t_{k2,j}$. Z teplot $t_{v1,j}$ a $t_{k2,j}$ je následně vypočten tepelný výkon $\Phi_{k,TV,j}$ a topný faktor $COP_{TV,j}$. Dostupné teplo z tepelného čerpadla $Q_{k,TV,j}$ [kWh] pro přednostní přípravu teplé vody v daném teplotním intervalu j je

$$Q_{kTV,j} = \Phi_{k,TV,j} \cdot \tau_j \quad (53)$$

kde je:

$\Phi_{k,TV,j}$ výkon tepelného čerpadla pro přípravu teplé vody v podmínkách teplotního intervalu j [kW];

τ_j doba trvání výpočtového teplotního intervalu j [h]. [38]

Teplo dodané tepelným čerpadlem $Q_{TC,TV,j}$ [kWh] pro krytí potřeby tepla na přípravu teplé vody je minimální hodnotou z dostupného tepla $Q_{k,TV,j}$ a potřeby tepla $Q_{p,TV,j}$ v teplotním intervalu j je

$$Q_{TC,TV,j} = \min(Q_{k,TV,j}; Q_{p,TV,j}) \quad (54)$$

[38]

Doba provozu tepelného čerpadla $\tau_{TC,TV,j}$ [h] v teplotním intervalu j , kdy tepelné čerpadlo vyrábí teplo pro přípravu teplé vody se stanoví

$$\tau_{TC,TV,j} = \frac{Q_{TC,TV,j}}{\Phi_{k,TV,j}} \quad (55)$$

[38]

Potřeba elektrické energie $E_{TC,TV,j}$ [kWh] pro výrobu tepla pro přípravu TV v teplotním intervalu j se stanoví

$$E_{TC,TV,j} = \frac{Q_{TC,TV,j}}{COP_{TV,j}} \quad (56)$$

[38]

Potřeba elektrické energie spotřebovaná pomocnými zařízeními $E_{pom,TV,j}$ [kWh] při výrobě tepla pro přípravu teplé vody se stanoví

$$E_{pom,TV} = P_{pom,TV} \cdot \tau_{TC,TV,j} \quad (57)$$

[38]

kde je

$P_{pom,TV}$ elektrický příkon pomocných zařízení, které pracují při přípravě teplé vody [kW];

$\tau_{TC,TV,j}$ doba provozu tepelného čerpadla v teplotním intervalu j při výrobě tepla pro přípravu teplé vody [h]. [38]

V případě, že tepelné čerpadlo nedokáže v teplotním intervalu j vyrobit dostatečné množství tepla pro přípravu TV, je nutné zbývající potřebu tepla vyrobit doplňkovým ohřívačem. Teplo vyrobené doplňkovým ohřívačem $Q_{d,TV,j}$ [kWh] se stanoví

$$Q_{d,TV,j} = Q_{p,TV,j} - Q_{TC,TV,j} \quad (58)$$

[38]

Režim vytápění

V každém výpočtovém teplotním intervalu j je stanovena potřeba tepla na vytápění, teplota zdroje tepla $t_{v1,j}$ a teplota otopné vody na výstupu z tepelného čerpadla $t_{k2,j}$. Z teplot $t_{v1,j}$ a $t_{k2,j}$ je následně vypočten tepelný výkon $\Phi_{k,VYT,j}$ [W] a topný faktor $COP_{VYT,j}$ [-] [38]

V případě použití TČ vzduchu voda, je teplota zdroje tepla rovná střední teplotě venkovního vzduchu v daném intervalu. V případě použití TČ země/voda, je teplota přivodní teplotnosné látky z vrtů uvažována 0 °C v průběhu celého roku.

Při výrobě tepla pro přípravu TV a vytápění, je teplo přednostně vyráběno pro přípravu TV. Dostupné teplo pro vytápění se vypočítá ze zbývající doby provozu TČ v teplotním intervalu j . [38]

Zbývající doba provozu TČ $\tau_{k,VYT,j}$ [h] dostupná pro výrobu tepla pro vytápění se vypočítá jako

$$\tau_{k,VYT,j} = \tau_j - \tau_{TC,TV,j} \quad (59)$$

[38]

Dostupné teplo na vytápění $Q_{k,VYT,j}$ [kWh], které TČ vyrobí po pokrytí potřeby tepla na přípravu TV v daném teplotním intervalu j je:

$$Q_{k,VYT,j} = \Phi_{k,VYT,j} \cdot \tau_{k,VYT,j} \quad (60)$$

[38]

Teplo dodané tepelným čerpadlem $Q_{TC,VYT,j}$ [kWh] pro výrobu tepla na vytápění je minimální hodnotou z dostupného tepla $Q_{k,VYT,j}$ [kWh] a potřeby tepla na vytápění $Q_{p,VYT,j}$ [kWh] v teplotním intervalu j

$$Q_{TC,VYT,j} = \min(Q_{k,VYT,j}; Q_{p,VYT,j}) \quad (61)$$

[38]

Doba provozu tepelného čerpadla $\tau_{TC,VYT,j}$ [h] v teplotním intervalu j při výrobě tepla na vytápění se vypočítá jako

$$\tau_{TC,VYT,j} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{\Phi_{k,VYT,j}} \quad (62)$$

[38]

Potřeba elektrické energie $E_{TC,VYT,j}$ [kWh] pro pohon tepelného čerpadla při výrobě tepla na vytápění v teplotním intervalu j se vypočítá jako

$$E_{TC,VYT,j} = \frac{Q_{TC,VYT,j}}{COP_{VYT,j}} \quad (63)$$

[38]

Potřeba pomocné elektrické energie $E_{po,,VYT,j}$ [kWh] při výrobě tepla na vytápění v teplotním intervalu j se vypočítá jako

$$E_{pom,VYT} = P_{pom,VYT} \cdot \tau_{TC,VYT,j} \quad (64)$$

kde je

$P_{pom,VYT}$ elektrický příkon pomocných zařízení pracujících při výrobě tepla na vytápění [kW];

$\tau_{TC,VYT,j}$ doba provozu tepelného čerpadla v teplotním intervalu j při výrobě tepla na vytápění [h]. [38]

V případě, že tepelné čerpadlo nedokáže v teplotním intervalu j vyrobit dostatečné množství tepla pro vytápění, je nutné zbývající potřebu tepla vyrobit doplňkovým ohřivačem. Teplo vyrobené doplňkovým ohřivačem $Q_{d,VYT,j}$ [kWh] vypočítáme jako

$$Q_{d,VYT,j} = Q_{p,VYT,j} - Q_{TC,VYT,j} \quad (65)$$

[38]

4.1.3 Výsledky bilance

Výsledky pro hodnocení

Sečtením hodnot jednotlivých veličin všech intervalů v každém měsíci se stanoví měsíční výsledky. Množství tepla pro přípravu TV a vytápění dodané tepelným čerpadlem za měsíc Q_{TC} [kWh] je

$$Q_{TC} = \sum_j Q_{TC,TV,j} + \sum_j Q_{TC,VYT,j} \quad (66)$$

[38]

Měsíční potřeba elektrické energie na pohánění TČ pro přípravu TV a vytápění

E_{TC} [kWh] je stanovena jako

$$E_{TC} = \sum_j E_{TC,TV,j} + \sum_j E_{TC,VYT,j} \quad (67)$$

[38]

Měsíční potřeba pomocné elektrické energie E_{pom} [kWh] pro provoz tepelného čerpadla na přípravu teplé vody a vytápění je stanovena jako

$$E_{pom} = \sum_j E_{pom,TV,j} + \sum_j E_{pom,VYT,j} \quad (68)$$

[38]

Měsíční dodávka tepla dodaná doplňkovým tepelným zdrojem Q_d [kWh] je stanovena jako

$$Q_d = \sum_j Q_{d,TV,j} + \sum_j Q_{d,VYT,j} \quad (69)$$

[38]

Měsíční doba provozu τ_{TC} [h] tepelného čerpadla se stanoví jako

$$\tau_{TC} = \sum_j \tau_{TC,TV,j} + \sum_j \tau_{TC,VYT,j} \quad (70)$$

[38]

Výsledné provozní parametry lze použít ke stanovení úsporám primární energie pomocí tepelného čerpadla, úsporám emisí nebo k výpočtu ekonomických ukazatelů instalace TČ. Pomocí výsledných parametrů je možné stanovit energetické ukazatele. Roční pokrytí celkové potřeby tepla na vytápění nebo přípravu TV f [-] se stanoví

$$f = \frac{Q_{TC,TV} + Q_{TC,VYT}}{Q_{p,TV} + Q_{p,VYT}} = \frac{Q_{TC}}{Q_p} \quad (71)$$

[38]

Sezónní topný faktor tepelného čerpadla SPF_{TC} [-] lze vypočítat jako

$$SPF_{TC} = \frac{Q_{TC}}{E_{TC}} \quad (72)$$

[38]

U soustav s tepelnými čerpadly s elektricky poháněnými kompresory, lze celkový sezónní topný faktor celé systému SPF_{sys} [-] vyjádřit jako

$$SPF_{sys} = \frac{Q_{TC} + Q_d}{E_{TC} + E_{pom} + E_d} \quad (73)$$

kde je

E_d potřeba doplňkové energie Q_d ze záložního zdroje, pokud se jedná o elektrický ohřivač, v kWh. [38]

Bytový dům v současném stavu

Bytový dům má při venkovní teplotě vzduchu -12 °C přípojný výkon 102,5 kW. Celková roční potřeba tepla je 271 MWh. Pro dodávku tepla bylo navrženo TČ Vitocal BW 352.AHT096. Celková spotřeba elektrické energie za jeden rok je 107,3 MWh, roční pokrytí tepla TČ je 0,99, sezónní topný faktor je 2,59 a sezónní topný faktor systému je 2,53. Doba chodu TČ je 3623 h.

Tabulka 17: Bilance aktuální stav, TČ Vitocal BW 352.AHT096

	Q_{tc}	E_{tc}	E_{pom}	E_{dod}	$\tau_{tc,celk}$
	kWh	kWh	kWh	kWh	h
leden	44 318	17 457	44	1 290	611
únor	35 241	14 575	37	1 146	517
březen	29 168	10 928	26	0	383
duben	16 279	6 061	13	0	213
květen	9 935	3 684	6	0	129
červen	8 510	3 156	4	0	111
červenec	8 794	3 261	5	0	115
srpen	8 794	3 261	5	0	115
září	10 544	3 910	7	0	137
říjen	21 011	7 805	17	0	274
listopad	34 001	12 803	31	1	449
prosinec	40 792	16 190	41	1 604	570
celkem	267 388	103 090	236	4 041	3 623

Zateplený bytový dům

Pro bytový dům, který by byl zateplen tak, aby splnil doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní domy dle normy ČSN 73 0540-2, byla navržena výroba tepla pomocí tepelného čerpadla vzduch/voda a země/voda. Zateplený dům potřebuje pro vytápění a přípravu TV tepelný výkon 41,5 kW. Bytový dům má celkovou roční potřebu tepla 132,7 MWh.

Při použití dvou TČ vzduch/voda Stiebel WPL 34 byly intervalovou metodou získány tyto výsledky. Celková spotřeba elektrické energie za jeden rok je 53,6 MWh, roční pokrytí tepla TČ je 0,999, sezónní topný faktor je 2,483 a sezónní topný faktor systému je 2,47. Doba chodu TČ je 3462 h.

Tabulka 18: Bilance Pasiv, 2x TČ Stiebel, WPL 34

	Q_{tc}	E_{tc}	E_{pom}	E_{dod}	$\tau_{tc,celk}$
	kWh	kWh	kWh	kWh	h
leden	17 772	7 489	30	26	506
únor	13 411	6 358	23	0	411
březen	10 375	4 378	13	0	277
duben	8 543	3 519	9	0	217
květen	8 794	3 317	8	0	209
červen	8 510	3 064	8	0	195
červenec	8 794	2 985	8	0	193
srpen	8 794	3 003	8	0	193
září	8 511	3 190	8	0	201
říjen	9 121	3 630	9	0	227
listopad	13 207	5 165	18	0	345
prosinec	16 811	7 325	29	33	488
celkem	132 642	53 423	171	60	3 462

Při použití TČ Stiebel WPF 27, byly intervalovou metodou získány tyto výsledky. Celková spotřeba elektrické energie za jeden rok je 58,3 MWh, roční pokrytí tepla TČ je 0,997, sezónní topný faktor je 2,29 a sezónní topný faktor systému je 2,28. Doba chodu TČ je 5131 h.

Tabulka 19: Bilance Pasiv, TČ Stiebel, WPF 27

	Q_{tc}	E_{tc}	E_{pom}	E_{dod}	$\tau_{tc,celk}$
	kWh	kWh	kWh	kWh	h
leden	17 567	7 659	41	231	681
únor	13 411	5 847	29	0	520
březen	10 375	4 524	19	0	402
duben	8 543	3 725	13	0	331
květen	8 794	3 834	14	0	341
červen	8 510	3 710	13	0	330
červenec	8 794	3 834	14	0	341
srpen	8 794	3 834	14	0	341
září	8 511	3 711	13	0	330
říjen	9 121	3 977	15	0	354
listopad	13 207	5 758	28	0	512
prosinec	16 702	7 282	38	142	648
celkem	132 328	57 694	250	373	5 131

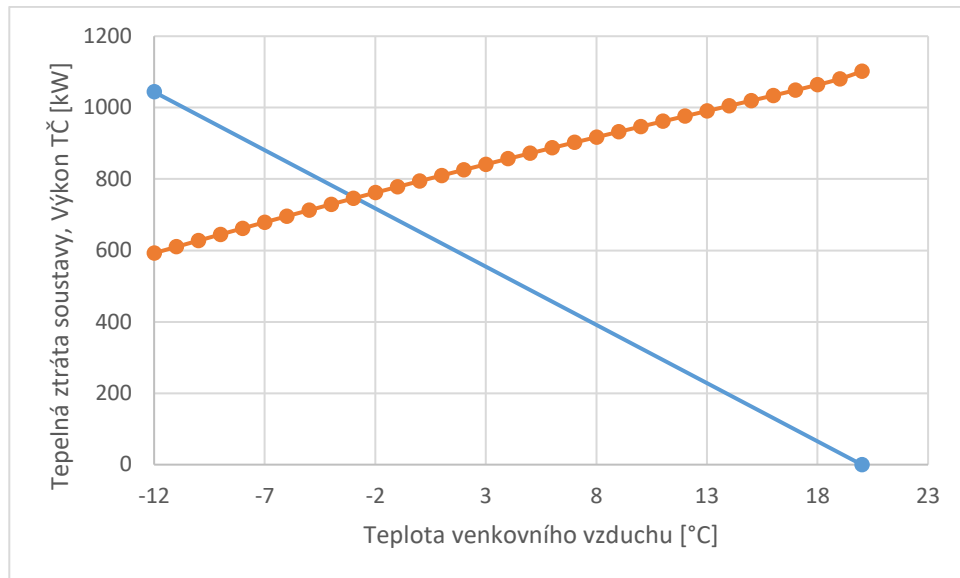
4.2 Centrální zdroj tepla

Na rozdíl od decentrálního zdroje, jsou bytové domy zásobovány teplem z jednoho centrálního zdroje tepla. Teplo je přenášeno vodou pomocí teplovodního rozvodu.

4.2.1 Tepelné čerpadlo

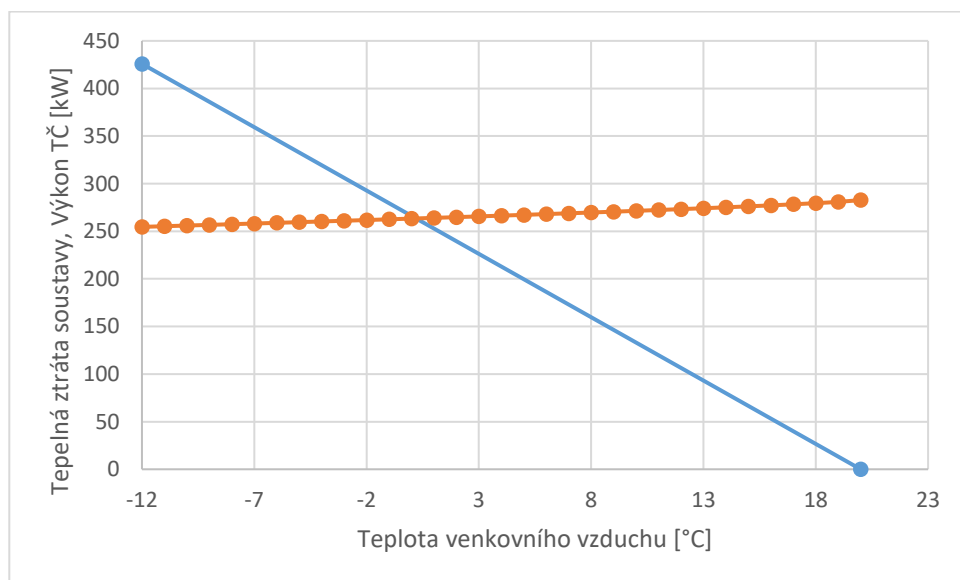
Soustavu deseti bytových domů ve stávajícím stavu a s rozvodem tepla má přípojný výkon 1043,9 kW. Na pokrytí tohoto výkonu bylo navrženo použití sedmi vysokoteplotních čerpadel Vitocal BW 352.AHT147. Návrhová teplota přívodní otopné vody je 80 °C, Návrhová teplota vratné otopné vody je 60 °C, teplotní exponent otopných ploch je 1,3.

Pro běžné podmínky se uvažuje $\Delta t_w = 2$ K. [38]

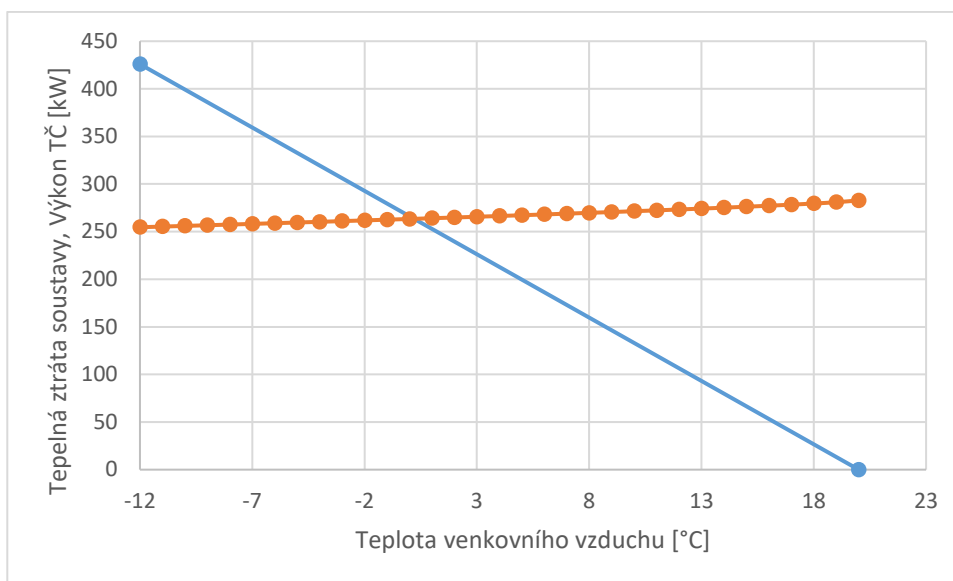


Graf 8: Návrh 7x BW 352.AHT147

K vytápění stejné soustavy, kde by bytové domy byly zateplené tak, aby splnily doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní domy, je maximální přípojný výkon 425,9 kW. Jako řešení byly navrženy dvě varianty výroby tepla. V prvním návrhu jsou pro výrobu tepla použita dvě TČ země/voda Vitocal BW 352.AHT147, ve druhém návrhu jsou pro výrobu tepla použita čtyři TČ země/voda Stiebel WPF 66.



Graf 9: Návrh 2x Vitocal BW 352.AHT147



Graf 10: Návrh 4x Stiebel WPF 66

4.2.2 Intervalová metoda

V soustavě je jedenáct budov. Ve výpočtu potřeby tepla bude dům s č.p. 911/29 použit jako strojovna, kde bude umístěné centrální zdroj tepla. Teplo je dodáváno do zbylých deseti bytových domů.

Výpočet pomocí intervalové metody je shodný i případě výpočtu celé soustavy CZT. Jako vstupné údaje jsou použity hodnoty měsíční potřeby tepla pro celou soustavu. Potřeba tepla pro soustavu CZT zahrnuje potřebu tepla všech deseti bytových domů a tepla ztraceného z rozvodu CZT.

4.2.3 Výsledky bilance

Soustavu deseti bytových domů ve stávajícím stavu a s rozvodem tepla má přípojný výkon 1043,9 kW. Na pokrytí tohoto výkonu bylo navrženo použití sedmi vysoko-teplotních čerpadel země/voda Vitocal BW 352.AHT147. Roční potřeba tepla je 2796 MWh. Celková spotřeba elektrické energie za jeden rok je 1098,1 MWh, roční pokrytí tepla TČ je 0,96, sezónní topný faktor je 2,6 a sezónní topný faktor systému je 2,55. Doba chodu TČ je 3561 h.

Tabulka 20: CZT, BD ve stávajícím stavu, TČ 7x Vitocal BW 352.AHT 147

	Q_{tc}	E_{tc}	E_{pom}	E_{dod}	$\tau_{tc,celk}$
	kWh	kWh	kWh	kWh	h
leden	455 140	179 199	43	10 078	597
únor	361 975	149 481	36	9 672	505
březen	299 400	112 144	25	0	374
duben	169 547	63 118	12	0	211
květen	105 461	39 107	6	0	131
červen	90 558	33 579	4	0	112
červenec	93 258	34 580	5	0	116
srpen	93 275	34 586	5	0	116
září	111 320	41 277	7	0	138
říjen	217 058	80 626	17	0	269
listopad	347 574	130 834	30	0	436
prosinec	418 872	166 200	40	13 425	557
celkem	2 763 437	1 064 733	229	33 175	3 561

Soustavu deseti bytových domů, kde by bytové domy byly zateplené tak, aby splnily doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní domy dle normy ČSN 73 0540-2, je maximální přípojný výkon 425,9 kW. Jako řešení byly navrženy dvě varianty výroby tepla. Roční potřeba tepla je 1392,4 MWh.

V prvním návrhu jsou pro výrobu tepla použita dvě TČ země/voda Vitocal BW 352.AHT147. Celková spotřeba elektrické energie za jeden rok je 513,8 MWh, roční pokrytí tepla TČ je 0,98, sezónní topný faktor je 2,7 a sezónní topný faktor systému je 2,618. Doba chodu TČ je 5933 h.

Tabulka 21: CZT, BD zateplené (Pasiv), TČ 2x Vitocal BW 352.AHT 147

	Q_{tc}	E_{tc}	E_{pom}	E_{dod}	$\tau_{tc,celk}$
	kWh	kWh	kWh	kWh	h
leden	169 789	62 958	42	15 069	736
únor	139 372	51 679	34	801	604
březen	109 957	40 772	22	0	477
duben	90 855	33 689	16	0	394
květen	92 846	34 427	16	0	403
červen	89 484	33 181	16	0	388
červenec	92 210	34 192	16	0	400
srpen	92 224	34 197	16	0	400
září	89 830	33 309	16	0	390
říjen	96 793	35 891	17	0	420
listopad	138 138	51 222	32	3	599
prosinec	166 785	61 844	41	8 288	723
celkem	1 368 284	507 359	284	24 161	5 933

Ve druhém návrhu jsou pro výrobu tepla použita čtyři TČ země/voda Stiebel WPF 66. Celková spotřeba elektrické energie za jeden rok je 578,6 MWh, roční pokrytí tepla TČ je 0,99, sezónní topný faktor je 2,44 a sezónní topný faktor systému je 2,40. Doba chodu TČ je 5642 h.

Tabulka 22: CZT, BD zateplené (Pasiv), TČ 4x Stiebel WPF 66

	Q_{tc}	E_{tc}	E_{pom}	E_{dod}	$\tau_{tc,celk}$
	kWh	kWh	kWh	kWh	h
leden	176 319	72 237	42	8 539	721
únor	140 049	57 377	32	124	573
březen	109 957	45 049	21	0	450
duben	90 855	37 223	15	0	372
květen	92 846	38 038	15	0	380
červen	89 484	36 661	15	0	366
červenec	92 210	37 778	15	0	377
srpen	92 224	37 783	15	0	377
září	89 830	36 803	15	0	368
říjen	96 793	39 656	16	0	396
listopad	138 141	56 595	30	0	565
prosinec	170 274	69 760	40	4 799	697
celkem	1 378 982	564 959	271	13 463	5 642

4.3 Porovnání

4.3.1 Energetické

V Tabulka 23 je patrné, že největší sezónní topný faktor má vysokoteplotní TČ. To je dané tím, že je navržené pro ohřev vody na vysoké výstupní teploty. Příprava TV v průběhu celého roku vyžaduje každý měsíc stejné množství tepla, při kterém musí být výstupní teplota z TČ alespoň 60 °C. TČ země/voda Stiebel WPF 27 má nižší SPF než TČ vzduch/voda Stiebel WPL 34, protože vstupní teplota teplotnosné látky do TČ země/voda je uvažována 0 °C v průběhu celého roku. Průměrná roční teplota vzduchu v Praze, který nasává TČ vzduch/voda je 8 °C.

Tabulka 23: Porovnání výsledků intervalové metody pro jeden BD

	Pasiv, Stiebel WPF 27	Pasiv, 2x WPL 34	Stávající stav, Vitocal BW 352.AHT096
Celková potřeba tepla [MWh]	132,7	132,7	271,4
Celková spotřeba elektrické energie [MWh]	58,3	53,7	107,4
Roční pokrytí tepla TČ [-]	0,997	0,999	0,985
Sezónní topný faktor SPF [-]	2,294	2,483	2,594
Sezónní topný faktor systému [-]	2,276	2,473	2,528

V návrzích TČ do CZT má nejvyšší SPF vysokoteplotní TČ, které zásobuje soustavu deseti zateplených BD. To je způsobeno tím, že v zimních obdobích není nutné u lépe izolovaných domů ohřívat přírodní vodu na teplotu vyšší než 60 °C. TČ země/voda Stiebel WPF 66 má za stejných podmínek horší SPF než Vitocal BW 352.AHT147.

Tabulka 24: Tabulka 25: Porovnání výsledků intervalové metody pro soustavu CZT s deseti domy

	CZT 10x BD Pasiv, 4x Stiebel WPF 66	CZT 10x BD Pa- siv, 2x Vitocal BW 352.AHT147	CZT 10x BD Stávající stav, 7x Vitocal BW 352.AHT147
Celková potřeba tepla [MWh]	1 392,4	1 392,4	2 796,6
Celková spotřeba elektrické energie [MWh]	578,7	531,8	1 098,1
Roční pokrytí tepla TČ [-]	0,990	0,982	0,988
Sezónní topný faktor [-]	2,441	2,697	2,595
Sezónní topný faktor systému [-]	2,406	2,618	2,547

Při srovnání výsledných parametrů čerpadel, je u výrobku Stiebel při zvýšení výkonu TČ vidět nárůst SPF. SPF TČ od výrobce Vitocal se od sebe tolik neliší.

Tabulka 26: Porovnání 1x BD vs CZT, různá TČ

	1x BD Pa- siv, Stiebel WPF 27	CZT 10x Pasiv 4x Stiebel WPF 66	1x BD stávající stav Vitocal BW 352.AHT096	CZT 10x BD stá- vající stav 7x Vi- tocal BW 352.AHT147
Celková potřeba tepla [MWh]	132,7	1392,4	271,4	2 796,6
Celková spotřeba elektrické energie [kWh]	58,3	578,7	107,3	1 098,1
Roční pokrytí tepla TČ [-]	0,997	0,990	0,985	0,988
Sezónní topný faktor [-]	2,294	2,441	2,594	2,595
Sezónní topný faktor systému [-]	2,276	2,406	2,528	2,547

4.3.2 Ekonomické

V ekonomickém porovnání jsou srovnány tři případy. V prvním z nich je porovnána cena investice a vytápění jednoho bytového domu pomocí TČ vzduch/voda s TČ země/voda po dobu 60 let.

Ve druhém porovnání je srovnána cena investice a vytápění pro deset zateplených samostatných bytových domů po dobu 60 let. Je porovnáván případ, kdy má každý BD vlastní TČ s případem, kdy jsou BD zásobovány teplem ze sítě CZT.

Třetí porovnání je obdobné s druhým. Bytové domy jsou však ve stávajícím stavu.

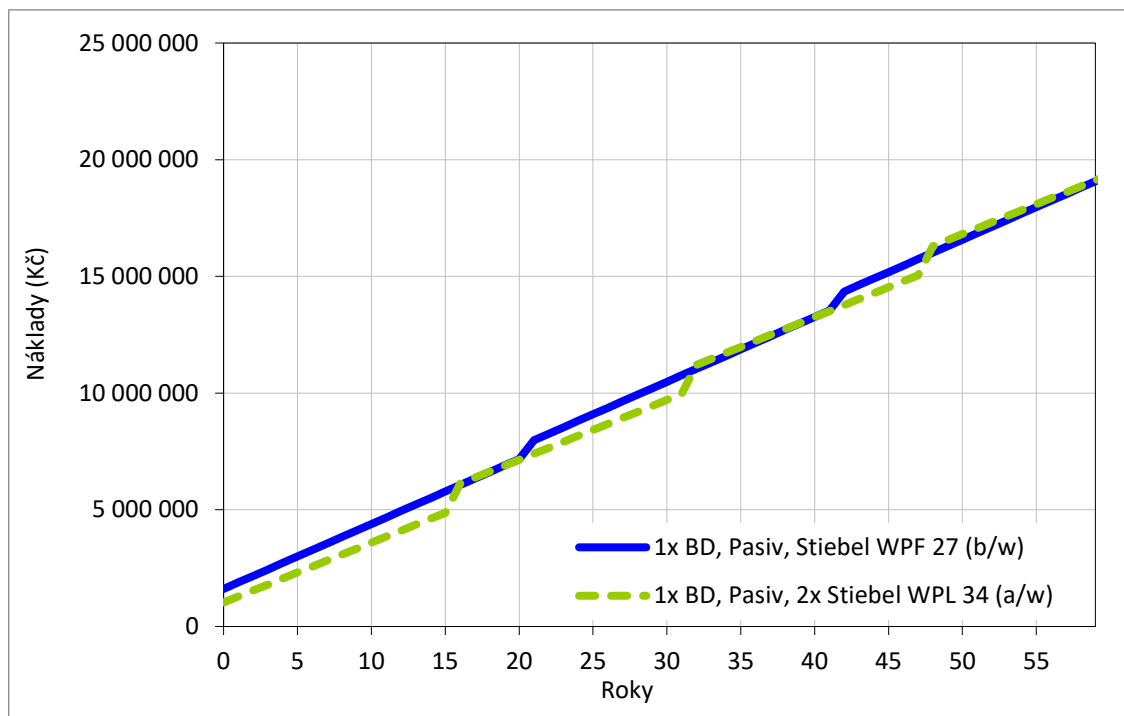
Porovnání TČ vzduch/voda TČ země/voda

Při ekonomickém porovnání TČ vzduch/voda a TČ země/voda je srovnána cena v horizontu 60 let. V tomto případě je srovnána cena investice, montáže, servisu, výměny dílů TČ a cena za výrobu tepla pro zateplený BD – Pasiv.

Investiční náklady pro TČ vzduch/voda jsou 2x Stiebel WPL 34 (960 000 Kč) [39], montáž (50 000 Kč), akumulční nádoba a rozvody (40 000 Kč). Investiční náklady pro TČ země/voda jsou Stiebel WPF 27 (480 000 Kč) [39], 4x 130 m hluboký vrt (1 040 000 Kč) [40], montáž (uvažována 50 000 Kč), akumulční nádoba a rozvody (uvažováno 40 000 Kč).

Náklady za celoroční provoz zahrnují roční spotřebu elektrické energie vynásobenou cenou elektrické energie. Aktuální cena elektrické energie je 4,7 Kč/kWh (10.1.2023) [41], cena za pravidelný roční servis je uvažována 4 000 Kč.

Životnost TČ vzduch/voda je o 20–30 % kratší než u TČ země/voda. Ve srovnání je životnost TČ vzduch/voda 15 let a životnost TČ země/voda je 20 let. Při výměně TČ země/voda není nutné měnit vrty. [42]



Graf 11: Porovnání TČ vzduch/voda a země/voda

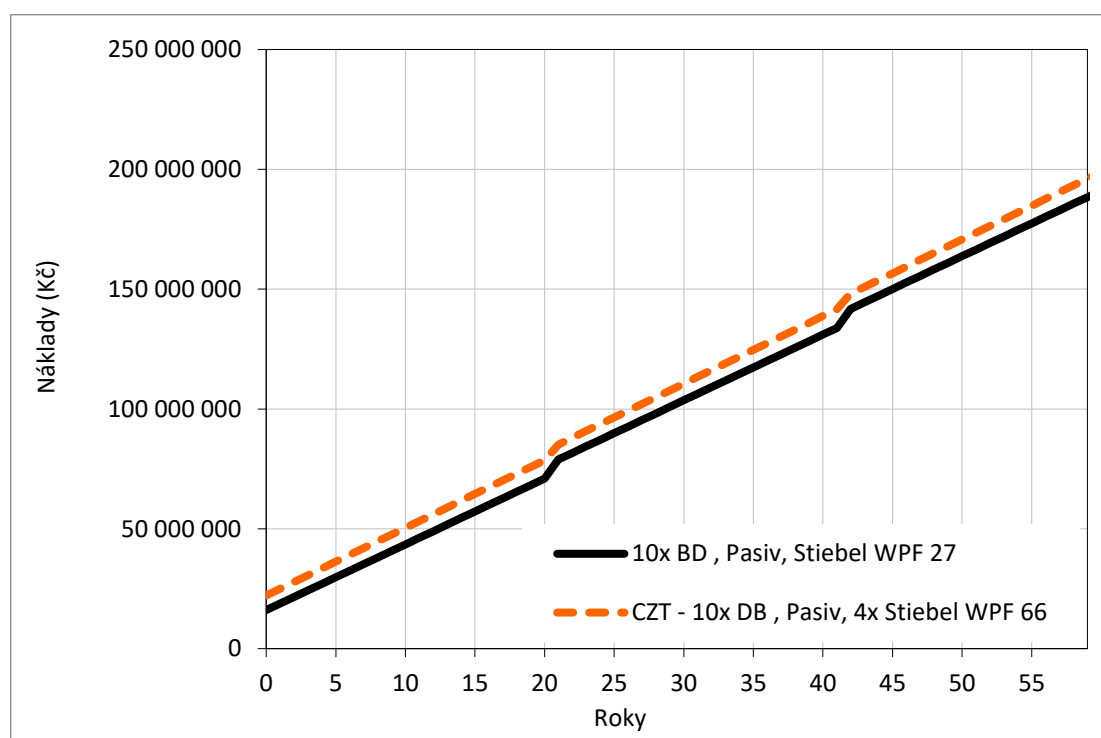
Při uvažovaných podmínkách a cenách, je celková cena investice, údržby a provozu TČ vzduch/voda (a/w–z angl. air/water) po 60 letech 19,3 mil. Kč. Celková cena investice, údržby a provozu TČ země/voda (b/w–z angl. brine/water) je po 60 letech 19,3 mil. Kč. Investiční náklady jsou pro TČ b/w vyšší, protože je nutné pro TČ připravit vrty do země. Tyto náklady jsou však po 60 letech vykompenzovány kratší životností TČ a/w, které je potřeba častěji vyměnit.

Porovnání 10x bytový dům a CZT, TČ - Stiebel

V tomto porovnání jsou srovnány dva případy. V prvním z nich je v každém z deseti bytových domech nainstalováno jedno TČ Stiebel WPF 27. Ve druhém je teplo rozváděno teplovodem z kotelny, kde jsou umístěna čtyři TČ Stiebel WPF 66. V obou případech jsou BD izolovány, dle doporučených hodnot pro pasivní dům. Cena je porovnána v horizontu 60 let. V tomto případě je srovnána cena investice, montáže, servisu, výměny dílů TČ a cena za výrobu tepla pro zateplený BD – Pasiv.

Investiční náklady jsou v prvním případě 10x TČ Stiebel WPF 27 (4 800 000 Kč) [39], montáž (uvažována 500 000 Kč), akumulční nádoba a rozvody (uvažováno 400 000 Kč), 40x 130 m hluboký vrt (10 400 000 Kč) [38]. V druhém případě jsou investiční náklady pro 4x TČ Stiebel WPF 66 (3 560 000 Kč) [39], 40x 130 m hluboký vrt (10 400 000 Kč), montáž (20 000 Kč), akumulční nádoby a rozvody uvnitř (40 000 Kč), teplovod (7 650 000 Kč – cena rozvodu je uvažována 15 000 Kč/m, délka rozvodu je 510 m).

Náklady za celoroční provoz zahrnují roční spotřebu elektrické energie vynásobenou cenou elektrické energie. Aktuální cena elektrické energie je 4,7 Kč/kWh (10.1.2023) [41], cena za pravidelný servis je uvažována 40 000 Kč v prvním případě a 100 000 Kč ve druhém případě. Životnost TČ země/voda je 20 let.



Graf 12: Ekonomické porovnání 10x BD(Pasiv) a CZT s 10x BD(Pasiv)

Při uvažovaných podmínkách a cenách je celková cena investice, údržby a provozu deseti TČ země/voda pro deset samostatných BD (pasiv) po 60 letech 191,1 mil. Kč. Celková cena investice, údržby a provozu TČ země/voda, které zásobuje soustavu CZT s deseti BD (Pasiv) je po 60 letech 198,9 mil. Kč. Investiční náklady jsou pro systém s CZT

vyšší, protože je nutné pro TČ vybudovat rozvody tepla. Tyto náklady jsou však při uvažovaných podmínkách po 60 letech vykompenzovány nejsou.

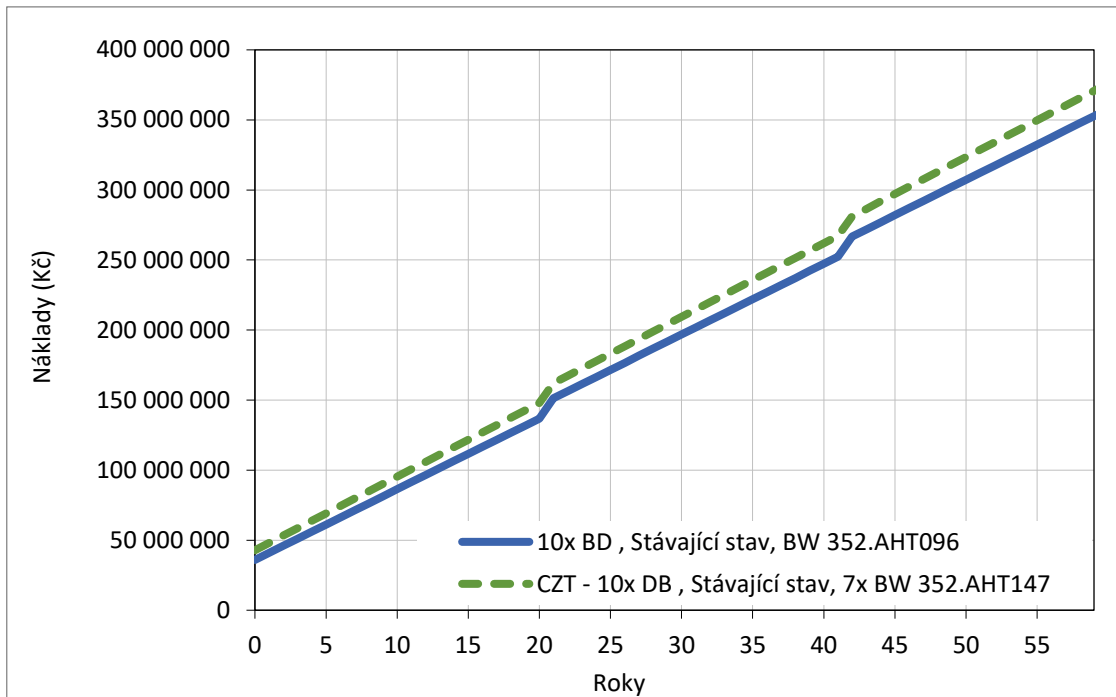
Porovnání 10x bytový dům a CZT, BD ve stávajícím stavu, TČ Vitocal HT

V tomto porovnání jsou srovnány dva případy. V prvním z nich je v každém z deseti bytových domech nainstalováno jedno TČ Vitocal BW 352.AHT096. Ve druhém je teplo rozváděno teplovodem z kotelny, kde je umístěno sedm tepelných čerpadel Vitocal BW 352.AHT147. V obou případech jsou BD ve stávajícím stavu. Cena je porovnána v horizontu 60 let. V tomto případě je srovnána cena investice, montáže, servisu, výměny dílů TČ a cena za výrobu tepla pro BD.

Investiční náklady jsou v prvním případě deseti BD bez CZT 10x TČ Vitocal BW 352.AHT096 (9 000 000 Kč) [43], montáž (uvažována 500 000 Kč), akumulční nádoba a rozvody (uvažovány 400 000 Kč), 100 x 130 m hluboký vrt (26 000 000 Kč).

V druhém případě jsou investiční náklady pro 7x TČ Vitocal BW 352.AHT147 (8 400 000 Kč), 100 x 130 m hluboký vrt (26 000 000 Kč), montáž (350 000 Kč), akumulční nádoby a rozvody uvnitř (uvažováno 400 000 Kč), teplovod (uvažováno s investicí 7 650 000 Kč).

Náklady za celoroční provoz zahrnují roční spotřebu elektrické energie vynásobenou cenou elektrické energie. Aktuální cena elektrické energie je 4,7 Kč/kWh (10.1.2023) [41], cena za pravidelný servis je uvažována 40 000 Kč v prvním případě a 100 000 Kč ve druhém případě. Životnost TČ země/voda je uvažována 20 let.



Graf 13: Ekonomické porovnání 10x BD a CZT s 10x BD

Při uvažovaných podmínkách a cenách je celková cena investice, údržby a provozu deseti TČ země/voda pro deset samostatných BD ve stávajícím stavu po 60 letech 357,7 mil. Kč. Celková cena investice, údržby a provozu TČ země/voda, které zásobuje soustavu CZT s deseti BD ve stávajícím stavu je po 60 letech 376 mil. Kč. Investiční náklady jsou pro systém s CZT vyšší, protože je nutné pro TČ vybudovat rozvody tepla. Tyto náklady jsou však při uvažovaných podmínkách po 60 letech vykompenzovány nejsou.

5. ZÁVĚR

V práci byly porovnány dodávky tepla pomocí různých typů tepelných čerpadel do budov s různými energetickými vlastnostmi budov. Ve výpočtu jsou porovnány dvě energetické náročnosti bytového domu. První z nich je stávající stav panelových domů OP.11 a stav, kdyby budova byla zateplena tak, aby splnila doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní domy dle normy ČSN 73 0540-2.

Pro oba typy budov byly vypočítány přípojné výkony, které jsou 102,5 kW pro BD ve stávajícím stavu a 41,5 kW pro zateplený BD. Bytový dům ve stávajícím stavu má celkovou roční potřebu tepla 271,4 MWh. V případě, že by byl bytový dům zateplen, měl by BD roční potřebu tepla 132,7 MWh. Množství tepla, které za rok unikne z rozvodu tepla, který by zásoboval deset BD, jsou v případě návrhu pro stávající stav 3 procenta z celkové potřeby tepla soustavy, a v případě zatepleného BD 5 procent z celkové potřeby tepla soustavy.

Intervalovou metodou byly ohodnoceny tři případy pro samostatnou budovu a další tři pro zásobování teplem pomocí CZT. V prvním z nich je teplo dodáváno do BD ve stávajícím stavu pomocí vysokoteplotního TČ b/w. Ve druhém je dodáváno teplo z TČ a/w do zatepleného BD a ve třetím je do zatepleného BD dodáváno teplo pomocí TČ b/w. SPF je v případě vysokoteplotního TČ b/w Vitocal BW.AHT096 2,59, v případě TČ b/w Stiebel WPF 27 je SPF 2,29 a TČ a/w Stiebel WPL 34 má SPF 2,48. Při dodávání tepla do CZT je v prvním případě bilancováno vysokoteplotní TČ, které dodává teplo do soustavy s deseti BD v současném stavu. Ve druhém a třetím případě je teplo dodáváno do soustavy s deseti zateplenými BD a v každém z nich je navržen jiný zdroj. Vypočítané SPF jsou:

- pro vysokoteplotní TČ BW.AHT147 s BD v současném stavu 2,6;
- pro vysokoteplotní TČ BW.AHT.147 se zateplenými BD 2,7;
- pro Stiebel WPL 66 2,44.

V ekonomickém ohodnocení byla stanovena celková investice pro jednotlivé varianty a rovněž provozní náklady pro všech šest zmíněných případů v horizontu 60 let. V grafech Graf 11, Graf 12, Graf 13 byly porovnány následující dvojice.

1. V porovnání TČ a/w a TČ b/w, která vytápí teplo pro jeden zateplený BD. Po 60 letech jsou náklady srovnatelné.
2. V porovnání případu deseti samostatných BD s vlastními TČ a soustavy CZT, kde jsou BD zatepleny a TČ značky Stiebel, jsou náklady po 60 letech pro variantu s CZT vyšší. A
3. V porovnání případu deseti samostatných BD s vlastními TČ a soustavy CZT, kde jsou BD ve stávajícím stavu a jsou použita vysokoteplotní TČ značky Vitocal, jsou náklady po 60 letech pro variantu s CZT také vyšší.

Vyšší náklady v případě CZT jsou způsobeny počáteční investicí, která je vysoká z důvodu výstavby teplovodů. Dalším nepříznivým faktorem jsou tepelné ztráty teplovodů. Tyto náklady u samostatných budov nejsou.

U použitých tepelných čerpadel nedocházelo ke zvýšení COP se zvýšením výkonu zdroje. Kdyby bylo jako centrální zdroj navrženo TČ optimalizované výrobcem pro dané podmínky, mohl by být SPF TČ vyšší a tím by mohlo dojít k úsporám energie. Z důvodu nedostupnosti informací od výrobců TČ o velkých výkonech, tato varianta nemohla být ohodnocena.

Další možností, jak snížit náklady na výrobu tepla pomocí TČ, je použití jiného zdroje nízkoteplotního tepla. V intervalové metodě v této práci byla uvažována teplota vstupní látky do TČ 0°C. V případě použití tepla z odpadní vody nebo odpadního tepla z průmyslu a zvýšení teploty vstupní látky do TČ, by došlo ke zvýšení SPF TČ.

6. SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Schéma oběhu TČ	10
Obrázek 2: Pístový kompresor [16].....	12
Obrázek 3: Princip rotačního spirálového kompresoru (scroll) [15].....	13
Obrázek 4: Hohe Warte [18]	15
Obrázek 5: Schéma zapojení Wien Simmering [18].....	16
Obrázek 6: Schéma zapojení Villach [18]	17
Obrázek 7: Schéma zapojení St. Julien [19]	19
Obrázek 8: Panelový dům St. Julien [19].....	19
Obrázek 9: TČ na střeše panelového domu [19].....	19
Obrázek 10: Schéma CZT [20]	20
Obrázek 11: Schéma protitlaké a odběrové turbíny.....	24
Obrázek 12: Schéma plynové turbíny [3].....	25
Obrázek 13: TČ Unitop 33/28C, Lund.....	32
Obrázek 14: 2x TČ Unitop 28C, Mechanická filtrace odpadní vody.....	32
Obrázek 15: Situace, zdroj: mapy.cz	33
Obrázek 16: Foto panelového domu, ulice Lamačova, zdroj: maps.google.com	34
Obrázek 17: Půdorys panelového OP 1.11 [31]	35
Obrázek 18: Schéma rozvodu	49
Obrázek 19: Potrubí Wehootherm, zdroj: katalog Fintherm	50
Obrázek 20: Kruhové potrubí v zemině [3]	51

7. SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Parametry Hohe Warte	16
Tabulka 2: Parametry Wien Simmering [18].....	17
Tabulka 3: Parametry BD ve Villach	17
Tabulka 4: Parametry St. Julien.....	18
Tabulka 5: Parametry Vienna Smart City Demo Aspern	30
Tabulka 6: Parametry vytovného komplexu D12, Aspern	31
Tabulka 7: Parametry 3x Unitop 33/28C, Lund.....	31
Tabulka 8: Složení konstrukcí OP1.11	34
Tabulka 9: Tepelně technické vlastnosti budov v řešených standardech energetické náročnosti	35
Tabulka 10: Vypočtené hodnoty měrných tepelných ztrát prostupem a větráním a celková tepelná ztráta budovy	39
Tabulka 11: Výpočet jednotlivých výkonů	41
Tabulka 12: Srovnání potřeby tepla BD ve stávajícím stavu a ve stavu s izolací dle standardu pasivního domu (Pasiv).....	47
Tabulka 13: Tepelná ztráta potrubí uloženého v zemi, případ 1 (stávající stav) 53	
Tabulka 14: Tepelná ztráta potrubí uloženého v zemi, případ 2 (Pasiv)	54
Tabulka 15: Výpočet tepla uniklého z rozvodu, případ 1 (aktuální stav).....	56
Tabulka 16: : Výpočet tepla uniklého z rozvodu, případ 2 (Pasiv)	56
Tabulka 17: Bilance aktuální stav, TČ Vitocal BW 352.AHT096	68
Tabulka 18: Bilance Pasiv, 2x TČ Stiebel, WPL 34	69
Tabulka 19: Bilance Pasiv, TČ Stiebel, WPF 27	70
Tabulka 20: CZT, BD ve stávajícím stavu, TČ 7x Vitocal BW 352.AHT 147	73
Tabulka 21: CZT, BD zateplené (Pasiv), TČ 2x Vitocal BW 352.AHT 147	74
Tabulka 22: CZT, BD zateplené (Pasiv), TČ 4x Stiebel WPF 66	74
Tabulka 23: Porovnání výsledků intervalové metody pro jeden BD.....	75
Tabulka 24: Tabulka 25: Porovnání výsledků intervalové metody pro soustavu CZT s deseti domy	76
Tabulka 26: Porovnání 1x BD vs CZT, různá TČ	76

8. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJE

1. **Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu.** Brusel: Evropská komise. [Online] <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52016DC0051&from=EN>.

2. **Míchalová, Šárka.** INTEGRACE OBNOVITELNÝCH IZDROJŮ ENERGIE DO TEPELNÝCH SÍTÍ DÁLKOVÉHO VYTÁPĚNÍ. [Online] https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/103392/F2-BP-2022-Michalova-Sarka-bp_michalova.pdf?sequence=-1.

3. **doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D.** *Základy zásobování teplem - přednášky.*

4. **TEDOM a.s.** Jako decentrální nebo také decentralizovaný. www.technickytydenik.cz. [Online] 1. 1 2006. https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/jako-decentralni-nebo-take-decentralizovany_17117.html.

5. **EGÚ Brno, a. s.** Centrální a decentrální výroba elektřiny a tepla. www.ceskajadernaasociace.cz. [Online] 12 2017. <https://www.ceskajadernaasociace.cz/wp-content/uploads/2021/05/Centralni-a-decentralni-vyroba-elektriny-a-tepla.pdf>.

6. **doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.** tzb-info.cz. *Centrální systémy zásobování teplem nebo tepelná čerpadla?* [Online] 4. 8 2012. <https://energetika.tzb-info.cz/teplarenstvi/11552-centralni-systemy-zasobovani-teplem-nebo-tepelna-cerpadla>.

7. **ČSN EN 1775.**

8. **Thermona.** Domovní kaskádové kotelny. www.thermona.cz. [Online] <https://www.thermona.cz/kotelny>.

9. **23.7.1985, ČSN 07 0703 Plynové kotelny z. 1985.**

10. Svatošová, Ing. Irena. PLYNOVÉ KOTLE PRO VYTÁPĚNÍ. <http://fast10.vsb.cz/>. [Online] Číslo projektu: CZ.O4.01.3/3.2.15.2/0326. <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-fbi/12.html>.

11. Viessmann. www.viessmann.cz. *Jak funguje kondenzační plynový kotel?* [Online] Viessmann. <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/jak-funguje-kondenzacni-kotel.html>.

12. Ing. Jakub Vrána, Ph.D. Odvádění kondenzátu od kondenzačních kotlů z pohledu zdravotní techniky. *tzb-info.cz*. [Online] 13. 7 2015. <https://voda.tzb-info.cz/kanalizace-splaskova/12974-odvadeni-kondenzatu-od-kondenzacnich-kotlu-z-pohledu-zdravotni-techniky>.

13. Klaban, Bc. Pavel. Využití tepelného čerpadla pro zásobování panelového domu . [Online] https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/61696/F3-DP-2015-Klaban-Pavel-Vyuziti_tepelneho_cerpadla_pro_zasobovani_paneloveho_domu_teplem.pdf?sequence=19&isAllowed=y.

14. Vitouš, Bc. Jan. Návrh a využití tepelných čerpadel vzduch – voda. [Online] <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/74370/F1-DP-2018-Vitous-Jan-Diplomova%20prace%20Jan%20Vitous.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>.

15. doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D. Základy tepelných čerpadel. [Online] http://users.fs.cvut.cz/tomas.matuska/wordpress/wp-content/uploads/2015/02/AZE-P5-tepelna_cerpadla_zaklady.pdf.

16. Ing. Vladimír Šulc, Ph.D. *CHLAZENÍ*.

17. Gerotop. Zemní plošný kolektor a jeho instalace. www.gerotop.cz. [Online] <https://www.gerotop.cz/instalace-plosneho-kolektoru>.

18. R. Rieberer, R. Pratter, A. Zottl, T. Natiesta. Heat Pumps in Multi-Family . *HPT Annex 50* . [Online] <https://heatpumpingtechnologies.org/annex50/wp-content/uploads/sites/56/2021/05/annex50-task1marketoverviewaustria.pdf>.

19. 50, IEA HPT Annex. Case Studies. *IEA HPT Annex 50*. [Online] <https://heatpumpingtechnologies.org/annex50/case-studies/>.

20. Tepelné hospodářství prachatice. Co je CZT. *Tepelné hospodářství prachatice*. [Online] <https://www.thpt.cz/co-je-czt.html>.

21. Budín, Jan. Jak funguje soustava centrálního zásobování teplem v ČR? *Oenergetice.cz*. [Online] <https://oenergetice.cz/teplarenstvi/jak-funguje-soustava-centralniho-zasobovani-teplem-v-cr>.

22. Ing. Marek Baláš, Ph.D., Ing. Martin Lisý, Ph.D., Ing. Jiří Moskalík. Kotle - 2. část. *tzb-info.cz*. [Online] <https://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/8438-kotle-2-cast#:~:text=4.1%20Ro%C5%A1tov%C3%A9%20kotle&text=Slou%C5%BE%C3%AD%20ke%20spalov%C3%A1n%C3%AD%20kusov%C3%BDch%20paliv,v%C5%A1ak%20velk%C3%A9%20mno%C5%BEstv%C3%AD%20v%20provozu..>

23. Vobořil, David. Biomasa - využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR. *O energetice*. [Online] <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>.

24. Viessmann. Biomasa jako palivo a jaké existují typy biomasy. *Viessmann*. [Online] <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/biomasa-pro-spalovani-v-kotlich.html>.

25. J. Barco-Burgos, J.C. Bruno, U. Eicker, A.L. Saldaña-Robles, V. Alcántar-Camarena,. Review on the integration of high-temperature heat pumps in district heating and cooling networks. *ScienceDirect*. [Online] 2021. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.122378>. ISSN 0360-5442.

26. Xing-Qi Cao, Wei-Wei Yang, Fu Zhou, Ya-Ling He. Performance analysis of different high-temperature heat pump. [Online] 2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054422102627X?via%3Dihub>.

27. Andrei David, Brian Vad Mathiesen, Helge Aeverfalk, Sven Werner, Henrik Lund. Heat Roadmap Europe: Large-Scale Electric Heat. [Online] https://scholar.google.cz/scholar_url?url=https://www.mdpi.com/1996-1073/10/4/578/pdf&hl=en&sa=X&ei=eJGsY5iDCfWSy9YPu-S3uAU&scisig=AAGBfm2aFfkRTVMvzkwFFuugygYle3r4Zg&oi=scholarr.
28. AG, Friotherm. Geothermal energy and 3 Unitop® 33/28C heat pump, Lund. www.friotherm.com. [Online] Friotherm AG. https://www.friotherm.com/wp-content/uploads/2017/11/Lund_E003_UK.pdf.
29. Sb., § 2 vyhlášky č. 501/2006. [Online]
30. Panelaky.info. <http://panelaky.info/op1-11/>. *Panelaky.info*. [Online] <http://panelaky.info/op1-11/>.
31. —. <http://panelaky.info/t06b/>. *Panelaky.info*. [Online] <http://panelaky.info/t06b/>.
32. ČSN EN 12831. [Online]
33. Ing. Roman Vavříčka, Ph.D. Metody návrhu zásobníku teplé vody. *tzb-info.cz*. [Online] 3. 10 2011. <https://voda.tzb-info.cz/priprava-teple-vody/7885-metody-navrhu-zasobniku-teple-vody>.
34. —. Výpočet potřeby tepla a paliva. <http://users.fs.cvut.cz/>. [Online] [Citace:] http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Vytapeni/002_Potreba_tepla.pdf.
35. ČSN EN ISO 13790.
36. Ing. Roman Vavříčka, Ph.D. Projekt II a III . [Online] <http://users.fs.cvut.cz/~vavrirom/Projekt%20III.html>.
37. ASHRAE.
38. doc. Ing. Tomáš Matuška, Ph.D. *TNI 73 0351, Energetické hodnocení soustav s tepelnými čerpadly – Zjednodušený výpočtový postup*. 2014.
39. [Online] <https://www.vanwalraven.com/en/catalog/heating-cooling/heat-pumps/stiebel-eltron-heat-pumps/groups/g+c+p+view>.

40. K čemu slouží a kolik stojí vrty pro tepelná čerpadla. [Online] <https://www.eon.cz/radce/vytapeni-a-ventrání/tepelná-čerpadla/k-cemu-slouzi-a-kolik-stoji-vrty-pro-tepelná-čerpadla/>.

41. Elektřina - ceny a grafy elektřiny, vývoj ceny elektřiny 1 MWh - 1 rok - měna CZK. [Online] <https://www.kurzy.cz/komodity/cena-elektřiny-graf-vyvoje-ceny/1MWh-czk-1-rok>.

42. Viessmann. [Online] <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/tepelné-čerpadlo-zivotnost.html#:~:text=U%20tepeln%C3%A9ho%20%C4%8Derpadla%20zem%C4%9B%2Dvoda,maj%C3%AD%20toti%C5%BE%20prakticky%20neomezenou%20%C5%BEivotnost..>

43. Grunewald. Heatpumps . [Online] <https://www.bestellkatalog-grunewaldkassel.de/Waermepumpen/>.

44. A. Volkova, H. Koduvere, H. Pieper. Large-scale heat pumps for district heating systems in the Baltics: Potential. *ScienceDirect*. [Online] 2022. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032122006360?via%3Dihub>. ISSN 1364-0321.

45. Ing. Martin Barták, Ph.D. *Úvod do přenosových jevů pro inteligentní budovy*. Praha : Ing. Martin Barták, Ph.D., 2010.

46. Svatošová, Ing. Irena. TEPELNÉ ZTRÁTY OBJEKTU. *TZB pro FBI* . [Online] http://fast10.vsb.cz/tzb_FBI/6.html#:~:text=6.1.2%20V%C3%BDpo%C4%8Det%20tepeln%C3%BDch%20ztr%C3%A1t,m%C3%ADstnost%20od%20jej%C3%ADho%20chladn%C4%9Bj%C5%A1%C3%ADho%20prost%C5%99ed%C3%AD..