

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



**Bakalářská práce
Vytápění administrativní budovy**

TEPELNÁ ČERPADLA

Autor práce: Eliška Süssová

Vedoucí práce: Ing. Roman Musil, Ph.D.

2016/2017



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Süssová Jméno: Eliška Osobní číslo: 423800

Zadávací katedra: K125 - Katedra technických zařízení budov

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vytápění administrativní budovy

Název bakalářské práce anglicky: Heating of Administrative Building

Pokyny pro vypracování:

Předmětem bakalářské práce bude vytápění budovy domu ve stupni rozšířeného stavebního povolení. Součástí projektu budou všechny půdorysy M1:50, schéma otopné soustavy, schéma zapojení zdroje tepla, návrh otopných ploch a technická zpráva. Bude provedeno hydraulické zaregulování otopné soustavy a návrh oběhových čerpadel.

Prohlubující část bakalářské práce bude pojednávat o alternativních zdrojích energie pro administrativní budovu konkrétně typy tepelných čerpadel. V práci bude jejich princip, základní rozdělení, porovnání a jejich možnosti využití v řešeném objektu na vytápění, přípravu teplé vody alternativně k možnosti částečného chlazení objektu.

Seznam doporučené literatury:

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Roman Musil, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 01.03.2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 28.05.2017

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

ABSTRAKT

Prohlubující část bakalářské práce obsahuje stručný úvod do problematiky tepelných čerpadel a rozebírá princip jejich fungování. V práci jsou popsány jednotlivé druhy tepelných čerpadel, mezi něž patří typy: vzduch/voda, voda/voda a země voda. U každého typu jsou shrnuty výhody, nevýhody a podmínky pro jejich realizaci. V práci se popisuje jak využití tepelných čerpadel k vytápění a přípravě teplé vody, tak k možnosti chlazení. Poslední kapitola práce se věnuje aplikaci tepelného čerpadla pro řešený objekt administrativní budovy z projektové části bakalářské práce.

Klíčová slova: tepelné čerpadlo, nízkopotenciální zdroje tepla, topný faktor, bivalentní systém

ABSTRACT

The deepening part of bachelor thesis contains a brief introduction to problematics of heat pumps and analyses a principle of their operation. In this thesis there are described different heat pump types, which are: air/water, water/water and ground/water. For each type advantages, disadvantages and conditions for realization are summarized. The thesis describes both the use of heat pumps for heating and hot water preparation, as well as the possibility of cooling. The last chapter of thesis deals with heat pump application for the object of administrative building from the project part of the bachelor thesis.

Keywords: heat pump, low-potential heat sources, coefficient of performance, bivalent system

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracovala samostatně dle rad a pokynů vedoucího bakalářské práce, s použitím uvedené odborné literatury a podkladů z internetových stránek.

V Praze dne 20. 5. 2017

.....
Eliška Šissová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Romanovi Musilovi, Ph.D. za odborné vedení a podnětné rady, které mi v průběhu konzultací bakalářské práce poskytl. Dále bych ráda poděkovala firmě Rehau za poskytnutí plné verze programu RAUCAD TechCON k vypracování projektové části této bakalářské práce.

OBSAH

1. Úvod	7
2. Tepelná čerpadla	8
2.1 Historie	9
2.2 Princip tepelného čerpadla	10
2.3 Topný faktor	12
2.4 Základní komponenty tepelného čerpadla.....	13
3. Typy tepelných čerpadel	14
3.1 Tepelné čerpadlo VZDUCH/VODA	15
3.1.1 Venkovní vzduch	15
3.1.2 Odpadní vzduch	17
3.2 Tepelné čerpadlo VODA/VODA	18
3.2.1 Podzemní voda	18
3.2.2 Povrchová voda.....	20
3.3 Tepelné čerpadlo ZEMĚ/VODA	21
3.3.1 Plošný kolektor.....	21
3.3.2 Výkopový kolektor.....	22
3.3.3 Svislé vrty	23
4. Chlazení tepelným čerpadlem	25
5. Aplikace TČ v řešeném objektu z projektové části BP	26
5.1 Schéma zapojení tepelného čerpadla.....	28
5.2 Situace – rozmístění svislých vrtů	29
6. Závěr	30
7. Seznam literatury a podkladů	31

1. ÚVOD

Tepelná čerpadla jsou u nás stále populárnějším zdrojem tepla, i přestože se jedná o vynález starý více než sto padesát let. Tepelná čerpadla patří mezi alternativní zdroje energie, které umožňují odnímat teplo okolnímu prostředí, převádět ho na vyšší teplotní hladinu a následně ho cíleně využít pro potřeby vytápění nebo ohřev teplé užitkové vody. Za hlavní zdroje tepla okolního prostředí považujeme vzduch, vodu a zemi. Tepelná čerpadla můžeme dělit podle toho, z jakého zdroje teplo odebírají a jakým způsobem ho předávají dále. Pokud se bavíme například o tepelném čerpadlu označeném jako země/voda, znamená to, že tepelné čerpadlo odebírá teplo ze země a následně ho předává do topné vody.

Pro převod tepla na vyšší teplotní hladinu je zapotřebí mu dodávat určité množství energie. Nejčastějším typem čerpadel jsou kompresorová tepelná čerpadla napájená z elektrické sítě. Tyto tepelná čerpadla spotřebovávají elektrickou energii na svůj provoz, především na běh kompresoru, kde dochází ke stlačení chladiva. Podrobnější popis principu fungování kompresorového tepelného čerpadla bude popsán v samostatné kapitole s názvem Princip tepelného čerpadla. Existuje však i řada jiných typů pracujících na odlišných principech nebo používajících jiný druh pohonu. Čerpadla, kde je chladivo nesené další látkou, která ho vstřebává a uvolňuje za přestupu tepla, se nazývají sorpční tepelná čerpadla. V současnosti se však tyto čerpadla pro vytápění téměř nepoužívají a trh je nenabízí pro svou horší efektivitu. Čerpadla kombinující sorpční a kompresorový oběh se nazývají hybridní. Hybridní tepelná čerpadla dosahují zajímavých výsledků, jsou ale konstrukčně náročnější, takže se uplatňují pouze ve speciálních případech.

Cílem této prohlubující části bakalářské práce je popsat základní princip fungování tepelného čerpadla, popsat jednotlivé typy tepelných čerpadel a zhodnotit jejich výhody a nevýhody. K tomuto účelu je využívána literatura [1] [2] [3], kde je problematika tepelných čerpadel popsána z hlediska konstrukce a principu fungování. Výhody a nevýhody tepelných čerpadel jsem vyhledávala pomocí internetových zdrojů ze stránek prodejců a diskuzí uživatelů. Seznam použité literatury a zdrojů je uveden na konci práce. Dalším cílem této práce je následné posouzení, jaký typ tepelného čerpadla by se nejvíce hodil pro vytápění objektu z mé projektové části bakalářské práce, kde jsem navrhla vytápění administrativní budovy pomocí plynového kondenzačního kotle. Tomuto posouzení se věnuji v páté kapitole.

2. TEPELNÁ ČERPADLA

V současné době jsou kladeny stále větší nároky jak na ekologické dopady všech produktů běžných pro život člověka, tak na úspory energií. Není proto pochyb, proč se tepelná čerpadla stávají stále populárnějšími. Mezi hlavní charakteristiky a důvody pořizování TČ totiž především patří významná úspora energie, šetrnost vůči životnímu prostředí a pohodlné řešení vytápění a ohřevu teplé užitkové vody.

• Významná úspora energie:

Někteří výrobci udávají, že lze dosáhnout až 80% úspory energie z původní hodnoty, jelikož tepelná čerpadla fakticky odebírají teplo z okolního prostředí, které je „zadarmo“. Tepelná čerpadla spotřebovávají pouze část energie pro svůj provoz. Díky tomu bývají účty za energii nižší než u standardních způsobů vytápění, například plynovými či elektrickými kotli.

• Šetrnost vůči životnímu prostředí:

Ochrana životního prostředí by měla být v současnosti na prvním místě. Tepelná čerpadla představují zdroj tepla, který životní prostředí zatěžuje podstatně méně než jiné zdroje. Pomáhají snižovat emise skleníkových plynů, snižují spotřebu nerostných surovin (plynu, uhlí apod.) a kvalitní tepelná čerpadla nezatěžují prostředí ani hlukem.

• Pohodlné řešení vytápění:

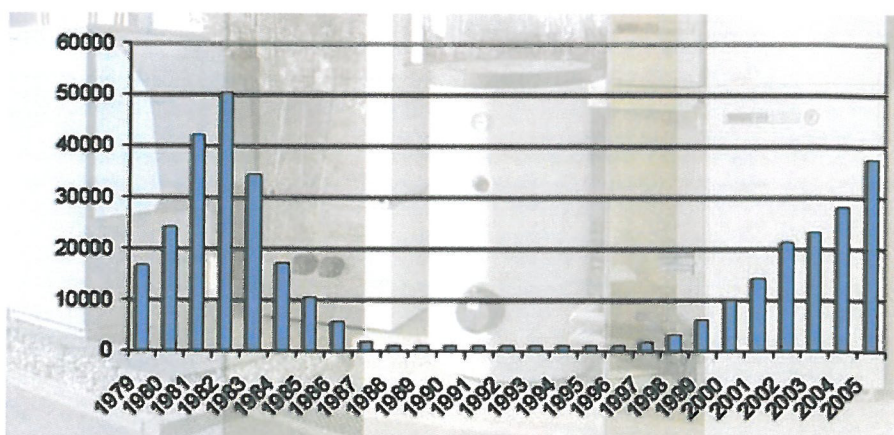
U každého plynového kotle je nutné provést pravidelnou roční údržbu a revizi komínu. Kotle na tuhá paliva jsou po této stránce ještě více problematické. Práci a starosti navíc představuje skládání uhlí, vybírání popele, přikládání a zatápění. Podobným starostem, které plýtvají časem i penězi, se dá předejít využitím tepelných čerpadel. Na moderní tepelná čerpadla lze dokonce vzdáleně dohlížet pomocí internetu, čímž odpadá nutnost provádět pravidelné roční prohlídky. V případě zaznamenání poruchy či jiného potenciálního problému v otopném systému se odešle e-mail majiteli nebo servisní organizaci. [4]

Díky dlouhodobému mezinárodnímu závazku na snižování produkce CO₂ a zvyšování podílu produkce elektrické energie z obnovitelných zdrojů se dnes vláda snaží různými způsoby podporovat alternativní přístupy k vytápění a produkci elektrické energie. Jelikož tepelné čerpadlo představuje při modernizaci vytápění výrazný výdaj, existuje několik programů, díky kterým je možné po splnění určitých podmínek dostat finanční dotaci. Příkladem je třeba dotační program Nová zelená úsporám. Tyto kroky přispívají ke stále většímu zájmu o tepelná čerpadla a o alternativní zdroje vytápění celkově.

2.1 HISTORIE

Základní myšlenku principu fungování tepelného čerpadla popsal už v roce 1852 William Thomson Kelvin ve své druhé termodynamické větě. První tepelné čerpadlo pak bylo sestrojeno koncem 40. let minulého století americkým vynálezcem Robertem C. Webberem. K jeho sestrojení došlo v podstatě náhodou, když vynálezce Webber prováděl pokusy s hlubokým zamrazením. Dotkl se výstupního potrubí mrazicího přístroje a popálil si dlaň. Této nešťastné náhodě ale nejspíše vděčíme za objevení principu tepelného čerpadla. Vynálezce následně propojil výstup z mrazicího přístroje se zásobníkem na teplou vodu a pomocí potrubní smyčky a malého větráku začal vhnět přebytečné teplo do domu. Vývoj tepelných čerpadel je tedy silně spjat s rozvojem chladících zařízení. Tepelné čerpadlo funguje prakticky na stejném principu jako chladící zařízení. Přenáší tepelnou energii z jednoho prostředí do druhého a liší se především svou funkcí. Díky chladicímu zařízení využíváme chlad a díky tepelnému čerpadlu teplo, ale termodynamické principy se nemění. [5]

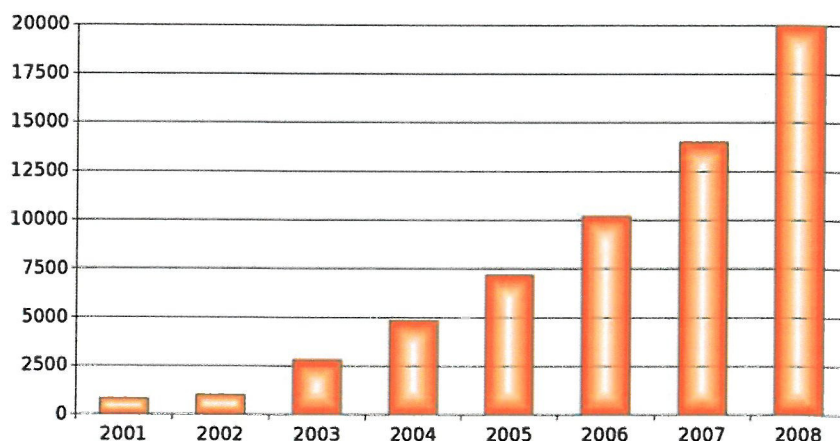
Velký rozmach využití tepelných čerpadel v Evropě nastává až okolo roku 1980, kdy nastává ropná krize. V důsledku krize se hledaly alternativní způsoby vytápění k tehdy rozšířenému vytápění fosilními palivy. Kotle na topný olej přestaly být v této době výhodné. Po mimořádném nárůstu počtu instalací tepelných čerpadel ale následuje prudký propad, jak je možné vidět na obrázku číslo 1. Hlavní roli tomuto vývoji sehrály dvě skutečnosti. U prvních tepelných čerpadel nebyly vyřešeny všechny provozní stavy, které tepelné čerpadlo musí zvládnout. Byly proto poruchová a nesplňovala očekávání uživatelů. Druhým faktorem, který přispěl k negativním ohlasům na tepelná čerpadla, byla jejich instalace. Tepelná čerpadla nebylo totiž možné zapojit do stávajících otopných systémů. Systém vytápění, který dobře fungoval s kotlem na topný olej, nefungoval stejně s instalací tepelného čerpadla.



Obrázek č. 1: Vývoj počtu instalací tepelných čerpadel ve Francii [6]

Podle dostupných informací bylo před rokem 1990 v České republice instalováno pouze několik málo kusů tepelných čerpadel, které sloužili převážně pro propagační nebo demonstrativní účely. Teprve až po roce 1990 se začaly objevovat opravdová tepelná čerpadla. Jejich import přicházel především ze zemí, které s nimi už měly vlastní zkušenosti, jako například z Německa či Rakouska. Opravdový rozvoj instalací tepelných čerpadel v ČR ale nastal v roce 2000, jak je možné vidět na obrázku číslo 2. Teprve od této doby se provoz vytápění touto technologií považuje za prověřený a ekonomický. Vyšší zájem o tepelná čerpadla byl způsoben především dvěma důvody.

Státní fond životního prostředí ČR stanovil podmínky dotační politiky na instalace tepelných čerpadel a pro tepelná čerpadla byly zavedeny speciální sazby za elektrickou energii. Dalším jistě významným faktorem bylo zvyšování cen energií, které se promítlo do ekonomické návratnosti tepelných čerpadel. Dřívější návratnost investice tohoto zařízení byla poměrně dlouhá a často tak překračovala jejich životnost. Se zvyšováním cen energií návratnost klesla na méně než 10 let, tedy zhruba na polovinu dřívějšího stavu. V dnešní době stále roste jak počet instalací, tak i instalovaný výkon tepelných čerpadel a zájem o tento ekonomický a ekologický způsob vytápění je stále větší. [6]



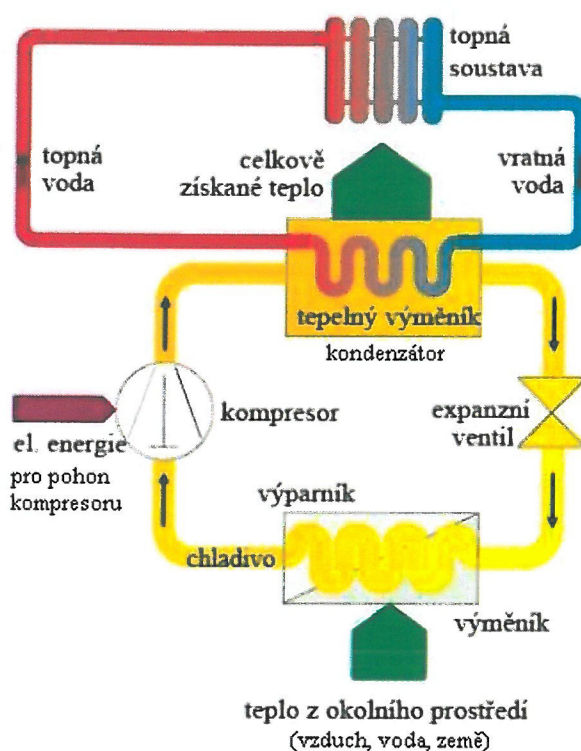
Obrázek č. 2: Vývoj počtu instalací tepelných čerpadel v ČR [6]

2.2 PRINCIP TEPELNÉHO ČERPADLA

Jak už bylo zmíněno, princip fungování tepelného čerpadla je vlastně analogií chladicího zařízení. Teplo, které chladicí zařízení odebírá potravinám v izolované skříni, předává do vzduchu v bytě svojí zadní stranou, černou mřížkou. Takto trvale vytápí naši kuchyni. Skutečné tepelné čerpadlo umí využít zdroje nízkopotenciální energie, které je mnoho kolem nás. Ochlazuje venkovní vzduch, půdu nebo vodu v okolí domu a z nich získává teplo, které je předáno do otopného systému při vyšší teplotě. Druhý termodynamický zákon, který říká, že teplo z chladného tělesa nemůže samovolně přecházet na těleso teplejší, je zachován. V uvedené větě je důležité slůvko *samovolně*. Musíme proto přestupu tepla nějak pomoci. Je tedy patrné, že tepelné čerpadlo ke svému provozu potřebuje dodávat nějakou vnější energii, kterou obvykle bývá elektrická energie. Tepelné čerpadlo energii nevyrábí, ale pouze přečerpává teplo z relativně chladného tělesa na vyšší teplotní hladinu. Z paralely s vodním čerpadlem vznikl i název tepelné čerpadlo. Vodu, která samovolně teče jen shora dolů, je možné přemístit (přečerpát) z nižší hladiny na vyšší, dodáme-li jí energii vodním čerpadlem. [1]

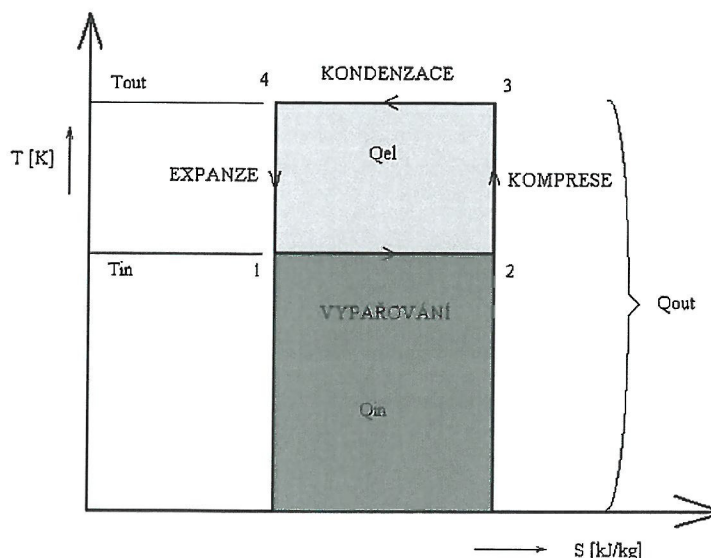
Už ve svém úvodu jsem zmínila, že nejrozšířenějším typem čerpadel jsou kompresorová tepelná čerpadla. Z tohoto důvodu bych se ráda zaměřila právě na jejich princip fungování. Skutečné tepelné čerpadlo pracuje na principu změny skupenství pracovní látky v závislosti na jejím tlaku a teplotě. Tepelné čerpadlo má čtyři základní části chladicího okruhu. Dva tepelné výměníky - výparník a kondenzátor, expanzní ventil a kompresor. Výparník je vždy na vstupní, tzv. primární straně tepelného čerpadla. Sem se pomocí vhodného teplotněstabilního média (vzduch, voda, nemrznoucí směs) přivádí nízkopotenciální teplo z venkovního prostředí a do jeho druhé poloviny se vstříkuje pod velkým tlakem kapalné chladivo pomocí expanzního ventilu.

Chladivo je látka s vhodnou teplotou varu, přes kterou se uskutečňuje přenos tepla. Chladivo mění své skupenství z kapalného na plynné ve výparníku a opět na kapalné v kondenzátoru. V minulosti byla používána chladiva na bázi plně halogenových uhlovodíků, v současné době se používají fluorované uhlovodíky a jejich směsi. Tlak ve výparníku je nižší a kapalné chladivo se proto rychle odpařuje. Díky tomu se výparník podchlazuje a jeho teplota je nižší než teplota prostředí, ze kterého se odebrá teplo. Chladivo v plynné podobě je následně nasáváno kompresorem, který ho stlačí a tím i současně výrazně ohřeje. Stlačený plyn dosáhne vyšší teploty než voda v otopném systému a putuje dále do sekundárního výměníku, tzv. kondenzátoru, ve kterém proudí topná voda. Chladivo v podobě horkého plynu v kondenzátoru opět zkapalní a předá teplo chladnější topné vodě. Chladivo je opět vedeno do expanzního ventilu, kde je přesně regulován jeho vstřík znovu do výparníku. Celý cyklus se neustále opakuje dokola. [2]



Obrázek č. 3: Schéma principu kompresorového tepelného čerpadla [7], upraveno autorem

Na obrázku číslo 4 je znázorněn teoretický pracovní cyklus tepelného čerpadla. Jde o takzvaný T-S diagram, nazývaný Carnotův Cyklus.



Obrázek č. 4: Grafické znázornění teoretického pracovního cyklu [2], upraveno autorem

Popis obrázku č. 4:

T ... teplota [K]

S ... entropie [kJ/kg]

T_{IN} ... teplota zdroje nízkopotenciálního tepla [K]

T_{OUT} ... teplota na výstupu pro otopnou soustavu [K]

Q_{IN} ... energie získaná z okolního prostředí (zadarmo) při teplotě T_{IN}

Q_{EL} ... energie dodaná z elektrické sítě potřebná pro pohon kompresoru

Q_{OUT} ... výsledná energie při vyšší teplotě T_{OUT} , kterou TČ dodává do topného systému

Pracovní cyklus se skládá z následujících fází:

1-2 ... izotermické vypařování při stálé teplotě

2-3 ... adiabatická komprese při stálém tlaku

3-4 ... izotermická kondenzace při stálé teplotě

3-4 ... adiabatická expanze při stálém tlaku

2.3 TOPNÝ FAKTOR

U většiny zařízení se energetická efektivita posuzuje podle jejich účinnosti, která udává poměr mezi energií přivedenou (např. ve formě paliva) a energií získanou (např. ve formě tepla z radiátorů). Jelikož každý stroj vykazuje určité ztráty, jeho účinnost je vždy nižší než 1 neboli nižší než 100%. U tepelných čerpadel se efektivita vyjadřuje topným faktorem ε_T . Často je také označován COP z anglického Coefficient of Performance. Topný faktor tepelného čerpadla je číslo, udávající poměr mezi množstvím energie vyrobené a energie vložené. Jde tedy o poměr, který udává spotřebu elektřiny na produkci tepla.

Topný faktor je jedním z nejdůležitějších parametrů tepelného čerpadla, který můžeme zapsat vzorcem:

$$\begin{aligned}\varepsilon_T &= Q_{OUT}/Q_{EL} & Q_{OUT} & \dots \text{ teplo dodané do topného systému [kWh]} \\ &= (Q_{IN} + Q_{EL}) / Q_{EL} & Q_{EL} & \dots \text{ energie potřebná pro pohon tepelného čerpadla [kWh]} \\ &= T_{OUT} / (T_{OUT} - T_{IN}) & Q_{IN} & \dots \text{ energie získaná z okolního prostředí [kWh]} \\ & & T_{IN} & \dots \text{ teplota zdroje nízkopotenciálního tepla [K]} \\ & & T_{OUT} & \dots \text{ teplota na výstupu pro otopnou soustavu [K]}\end{aligned}$$

Podle okolních podmínek se tepelný faktor mění, ale jeho hodnota je vždy vyšší než jedna. Dále platí, že hodnota COP je vyšší, je-li rozdíl mezi teplotou zdroje nízkopotenciálního tepla (T_{IN}) a teplotou požadovanou pro otopnou soustavu (T_{OUT}) co nejmenší. V praxi to znamená, že je nejvýhodnější používat zdroje s co nejvyšší teplotou a teplo dodávat do topných systémů s co nejnižší teplotou. Běžně se hodnota tepelného faktoru pohybuje v rozsahu 2,5-3,5.

Pro shrnutí lze říct, že efektivnost použití tepelného čerpadla závisí na čtyřech hlavních faktorech:

- teplotě zdroje nízkopotenciálního tepla
- kvalitě vlastního tepelného čerpadla
- teplotě použité do topného systému
- tepelně-izolačních vlastnostech vytápěného objektu [3]

2.4 ZÁKLADNÍ KOMPONENTY TEPELNÉHO ČERPADLA

Jak už jsem zmínila v kapitole Princip tepelného čerpadla, tepelné čerpadlo má čtyři základní části chladicího okruhu. V této kapitole bych ráda každou část detailněji popsala. [8]

• Výparník:

Výparník je jedním ze dvou tepelných výměníků tepla, použitých v tepelném čerpadle. Tepelné výměníky slouží k přenosu tepla mezi médii, aniž by došlo k jejich fyzickému kontaktu. Aby toho bylo dosaženo, musí být mezi nimi teplotní rozdíl (podle druhé termodynamické věty). Výparník odebírá teplo nízkopotenciálnímu zdroji tepla z venkovního prostředí, které je následně předáno pracovní látce (chladivu). Při nízkém tlaku a teplotě má zahřáté chladivo, vstříknuté pomocí expanzního ventilu, schopnost se vypařovat i při velmi nízkých teplotách. Výměníky jsou pro kapaliny většinou letované deskové a pro vzduch trubkové žebrované.

• Expanzní ventil:

Funkcí expanzního ventilu je udržení tlakového rozdílu mezi vysokotlakou a nízkotlakou stranou chladicího oběhu. Dále má za úkol regulovat průtok chladiva z kondenzátoru do výparníku v závislosti na výstupní teplotě z výparníku a udržovat předeřtí chladiva za výparníkem. Díky tomu je zaručeno, že chladivo vstupuje do kompresoru zcela vypařeno. Expanzní ventily jsou řízené buď termostaticky (TEV) nebo elektronicky (EEV).

• Kompresor:

Důležitým a nejdražším prvkem tepelného čerpadla je kompresor. Kompresor nasává plyn z výparníku a stlačuje ho na tlak odpovídající kondenzační teplotě. Dodáním vnější energie, kterou nejčastěji bývá elektrická energie, pro pohon motoru kompresoru dojde ke zvýšení tlaku a tím i teploty chladiva. Tímto způsobem je energie přečerpávána z nižší teplotní hladiny na vyšší a je jí možné využít pro vytápění či přípravu teplé užitkové vody. Kompresor je většinou spolu s pohonným elektrickým motorem hermeticky uložen v tlakově uzavřené ocelové nádobě. Tímto způsobem je zajištěna úplná těsnost, což brání jakémukoliv úniku chladiva do atmosféry přes spojovací potrubí. Můžeme se setkat se čtyřmi typy kompresorů. Spirálové kompresory (SCROLL) jsou v současnosti nejpoužívanějším typem. Ve srovnání s pístovými kompresory, které jsou druhé nejpoužívanější, dosahují vyšších topných faktorů, mají delší životnost a jsou méně hlučné. Díky těmto vlastnostem jsou ale samozřejmě dražší variantou. Dalšími typy jsou rotační a šroubové kompresory.

• Kondenzátor:

Kondenzátor je sekundární tepelný výměník, ve kterém chladivo odevzdá své získané teplo do otopné soustavy. Při vysokém tlaku a teplotě chladivo kondenzuje a teplo mu je respektive odebráno teplotonosnou látkou, například vodou nebo vzduchem. Výměníky jsou letované deskové nebo trubkové uvnitř zásobníku.

3. TYPY TEPELNÝCH ČERPADEL

Tepelná čerpadla můžeme dělit především podle toho, jakým způsobem získávají teplo z okolního prostředí a jakým způsobem ho předávají dále. Volba primárního zdroje tepla má zásadní vliv jak na konstrukci a vlastnosti tepelného čerpadla tak na finanční náročnost realizace tepelného čerpadla. V názvech systémů tepelných čerpadel vždy první slovo znamená zdroj nízkopotenciálního tepla. Druhé slovo za lomítkem označuje médium, do kterého se teplo předává. Pokud se tedy bavíme například o tepelném čerpadle označeném jako země/voda, znamená to, že tepelné čerpadlo odebírá teplo ze země a následně ho předává do topné vody. Pro každý objekt se bezpochyby hodí jiný typ tepelného čerpadla. Proto bych ráda v této kapitole popsala vybrané typy tepelných čerpadel, přiblížila jejich realizaci a zhodnotila jejich výhody a nevýhody.

Vybrané typy tepelných čerpadel:

- vzduch/voda
- voda/voda
- země/voda

V této kapitole bakalářské práce jsem se rozhodla nezabývat se podrobněji systémy, jejichž výstupním médiem je vzduch. Nízkopotenciální zdroje tepla u nich mohou být stejné, avšak jejich výkon je nízký, a proto se nehodí pro vytápění. V jednodušších verzích se používají spíše jako klimatizační zařízení.

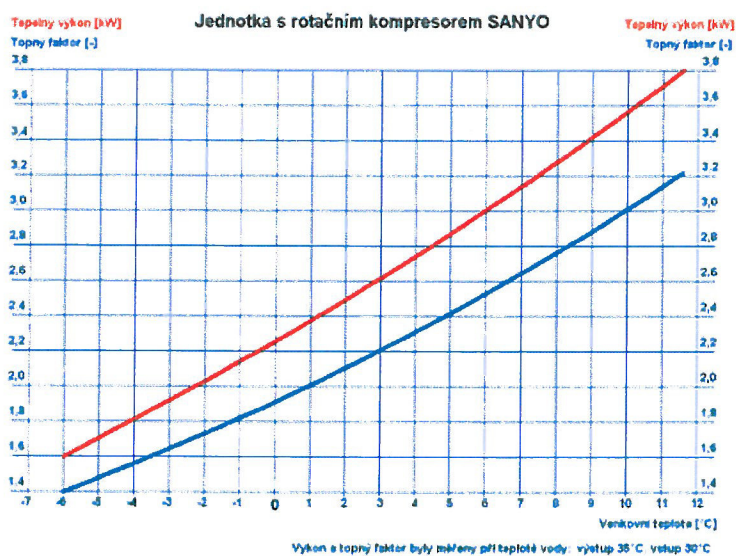
Text v následujících kapitolách popisující jednotlivé typy tepelných čerpadel je významně ovlivněn informacemi, uveřejněnými v následujících zdrojích [1] [2] [3].

3.1 TEPELNÉ ČERPADLO VZDUCH/VODA

Tepelné čerpadlo vzduch/voda odebírá teplo buď z okolního, nebo odpadního vzduchu a předává ho do otopné soustavy. Tento typ tepelného čerpadla je nejlepší variantou pro rodinné domy, které nemají pozemek pro TČ s plošnými zemními kolektory. Jejich pořizovací náklady jsou nižší a instalace jednodušší.

3.1.1 VENKOVNÍ VZDUCH

Venkovní vzduch je všude přítomný kolem nás. Průměrná teplota vzduchu se v otopném období pohybuje okolo 4 °C, ale nejnižší teploty mohou dosahovat až -20 °C. Většina výrobců uvádí, že jejich tepelná čerpadla, dokáží pracovat dokonce i v takto nepříznivých podmínkách. Většinou už ale nezmiňují, že v těchto podmínkách je jejich topný faktor nízký a efektivnost klesá. Vyplývá to z toho, že na rozdíl od ostatních zdrojů nízkopotenciálního tepla množství energie ve vzduchu není přímo úměrné teplotě, ale klesá rychleji. Proto se používají bivaletní systémy. Tepelná čerpadla se dimenzují jen na 60-70 % tepelných ztrát objektu a systém je vybaven o další energetický zdroj. Obvykle jde o elektrokotel, který je tvořený jedním nebo několika topnými tělesy. Někdy jsou topná tělesa součástí konstrukce tepelného čerpadla, respektive součástí jeho vnitřní jednotky. Dní, kdy venkovní teplota dosahuje takto velice nízkých hodnot, je v otopném období velice málo. Tepelné čerpadlo navržené na 100 % tepelných ztrát objektu by proto nebylo využito tak, jak by bylo vhodné. Vhodnou volbou výkonu TČ a výkonu dodatkového zdroje se dosáhne optimalizace pořizovacích nákladů a nákladů za provoz.



Obrázek č. 5: Závislost výkonu a topného faktoru na teplotě venkovního vzduchu malého TČ s rotačním kompresorem SANYO [10]

• Samostatná venkovní a vnitřní jednotka:

Pokud se tepelné čerpadlo skládá ze samostatné venkovní a vnitřní jednotky hovoříme o takzvaném split provedení. Venkovní vzduch je ve venkovní části tepelného čerpadla nasáván ventilátorem a ochlazován. Tato venkovní jednotka je propojena s vnitřní částí tepelně izolovaným měděným potrubím, ve kterém proudí chladivo. V některých konstrukcích je ve venkovní části jen výparník, ventilátor a expanzní ventil. Zbývající části, jako kompresor a kondenzátor, jsou uloženy ve vnitřní části. Tato varianta je výhodná z důvodu snížení hluku, jelikož kompresor je uzavřen v objektu a venku způsobuje hluk pouze ventilátor. Další možností je, že kompresor je také součástí venkovní jednotky a ve vnitřní části zbývá pouze sekundární výměník neboli kondenzátor. Venkovní jednotka je relativně malá a lze ji postavit na zem nebo na střechu, případně ji lze umístit na venkovní stěnu. Vzdálenost venkovní a vnitřní části by se většinou měla pohybovat maximálně do 10 metrů. Vnitřní jednotka je již běžně připojena na otopnou soustavu. U split provedení se chladivo plní na místě až po propojení obou jednotek a provedené tlakové zkoušce.

• Kompaktní venkovní provedení:

U tohoto provedení je kompletní tepelné čerpadlo umístěno v jedné venkovní jednotce a je od výrobce naplněno chladivem. V kondenzátoru tepelného čerpadla proudí topná voda. Propojení s vnitřní otopnou soustavou se provede potrubím, ve kterém taktéž proudí topná voda. Jednodušší instalace je komplikována tím, že se musí zajistit ochrana tohoto potrubí a kondenzátoru proti zamrznutí při výpadku elektrické energie, nebo se musí v celém topném systému použít nemrznoucí směs. Výhodou tohoto systému je, že nezabírá žádný vnitřní prostor.

• Kompaktní vnitřní provedení:

Kompletní tepelné čerpadlo je instalováno ve vnitřním prostoru objektu, obvykle v přízemí, ve sklepě nebo na půdě. K čerpadlu musí být vzduch z venkovního prostoru přiváděn například tepelně izolovanými „rukávy“ nebo potrubím. Ochlazovaný vzduch se opět vyfukuje ven do volného prostoru, kde nebude vadit. Sací i výfukové potrubí má průměr okolo 400 mm. Sací a výfukový otvor musejí být v dostatečné vzdálenosti, aby bylo zajištěno, že do sání se nepřimíchá ochlazovaný vzduch z výfuku. Vhodným řešením je například umístění tepelného čerpadla do rohové místnosti s vývody do dvou vzájemně kolmých stěn. Vnitřní provedení je levnější než venkovní, ale zabírá podstatně více vnitřního prostoru.

U všech tepelných čerpadel vzduch/voda nesmíme opomenout, že se na venkovním výměníku neboli na výparníku sráží vodní pára a může docházet ke vzniku námrazy, kterou je nutné pro zajištění správné funkce odstranit. Její tvorba je závislá především na vlhkosti vzduchu stejně jako obsah energie ve vzduchu. Různí výrobci mají různé systémy pro odtávání námrazy. Jednou z možností je reverzace chodu TČ, kdy se zamění funkce tepelných výměníků výparník-kondenzátor, další variantou je výjimečně elektricky vhodně umístit topné těleso či kabel. Odtávání v každém případě zhoršuje efektivitu tepelného čerpadla a vždy musí být zajištěn odvod zkondenzované vody.



Obrázek č. 6: Schéma TČ vzduch/voda odebírající teplo z venkovního vzduchu [9]

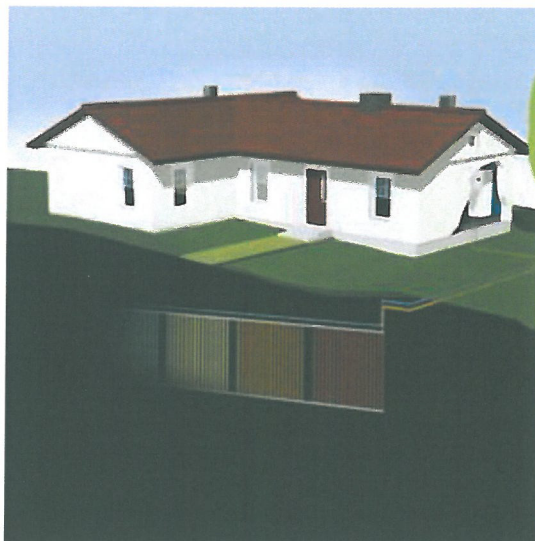
• Shrnutí výhod a nevýhod TČ vzduch/voda – venkovní vzduch:

- + - Jednoduchá a rychlá instalace
- Bez nároků na velikost pozemku
- Variabilita a možnost změny umístění
- Nižší investiční náklady (nejlevnější varianta)
- Využití pro chlazení v letním období

- - Možné problémy s hlučností venkovní jednotky
- Snížený tepelný faktor a výkon při nízkých venkovních teplotách
- Nutno řešit odtávání námrazy na výparníku
- U některých split provedení mohou být povinné roční revize chladicího okruhu

3.1.2 ODPADNÍ VZDUCH

Tento typ tepelného čerpadla je možné použít v případě, že je objekt vybaven nuceným větráním. V odváděném vzduchu jsou obsaženy tepelné zisky z vnitřních i vnějších zdrojů a jeho teplota je relativně vysoká, okolo 20 °C. Tento teplý odpadní vzduch je tepelným čerpadlem ochlazen a odebrané teplo je použito pro vytápění nebo ohřev teplé užitkové vody. Tepelné čerpadlo může pracovat efektivně i za podmínek, v nichž běžně užívané způsoby zpětného získávání tepla v rekuperačních výměnících nejsou použitelné. Zásadní nevýhodou je, že větracího vzduchu je k dispozici pouze omezené množství a tak se zpravidla nepokryje celá požadovaná spotřeba. Proto často bývá potřeba dalšího zdroje tepla. Na trhu jsou některé systémy tepelných čerpadel, které mohou kombinovat odběr tepla ze země s odběrem tepla z odpadního vzduchu. V tomto případě funguje odběr tepla tak, že když není potřeba vytápnout nebo ohřívát vodu, nadbytečné teplo z větracího vzduchu je uloženo do zemního kolektoru. Díky tomu je teplota zemního kolektoru stále vysoká a tepelné čerpadlo pracuje celoročně s vysokým topným faktorem.



Obrázek č. 7: Schéma TČ vzduch/voda s odběrem tepla ze země a z odpadního vzduchu [9]

• Shrnutí výhod a nevýhod TČ vzduch/voda – odpadní vzduch:

- + - Náhrada rekuperačního výměníku odpadního vzduchu
- Stálé pracovní podmínky (při vysoké teplotě odpadního vzduchu je vysoký topný faktor)
- Jednodušší instalace nuceného větrání s menším množstvím potrubí

- - Nízký výkon daný množstvím větracího vzduchu
- Potřeba dalšího zdroje tepla
- Vhodné pouze pro nízkoenergetické a pasivní domy

3.2 TEPELNÉ ČERPADLO VODA/VODA

Tepelné čerpadlo voda/voda odebírá teplo z vody, která přímo protéká výměníkem na primární straně TČ a předává ho do topné vody. Primární okruh je tedy otevřený. Tento typ využívá buď vodu podzemní, kterou čerpá ze studny, nebo vodu z vodní plochy. Tepelná čerpadla voda/voda patří k neúčinnějším zdrojům tepla, pracující s vysokou mírou efektivity.

3.2.1 PODZEMNÍ VODA

Nízkopotenciálním zdrojem tepla je v tomto případě spodní voda. Teplota spodní vody v hloubkách větších než 10 metrů je během celého roku stálá a relativně vysoká. Pohybuje se v rozmezích od 8 °C do 10 °C. Díky tomu se u tohoto tepelného čerpadla uvádí nejvyšší průměrný roční topný faktor a předpokládá se, že výkon tepelného čerpadla bude relativně stálý i během zimních měsíců. Předpokládané ochlazení vody v tepelném čerpadle je okolo 3-5 °C. Ochlazení nesmí být příliš velké, aby nedocházelo k zamrznutí vody na výparníku. Spodní voda se čerpá ze zdrojové studny většinou klasickým ponorným čerpadlem a po ochlazení v tepelném čerpadle se voda vrací zpět do druhé, takzvané vsakovací studny. Vypouštění do vodoteče nebo do kanalizace se obvykle nepovoluje. Vzdálenost mezi zdrojovou a vsakovací studnou by měla být v rozmezí 15-30 metrů.

Studny by také měly být umístěny tak, aby tok podzemní vody směřoval od studny, ze které se voda čerpá, ke studni do které se voda vypouští. Vrtané studny pro tepelná čerpadla mívají hloubku okolo 10-30 metrů. Pro stanovení skutečného topného faktoru, je nutné započítat i spotřebu čerpadla vodního zdroje.

Využití podzemní vody vyžaduje celoročně vydatný pramen, který se v praxi málokdy vyskytne poblíž vytápěného objektu. Pokud chceme provést vrt pro čerpání podzemní vody, je nutné provést odborný hydrogeologický průzkum. Na jeho základě vodoprávní úřad vydá povolení k provedení vrtu a povolení k čerpání a vypouštění podzemních vod. Úřad pochopitelně vydat povolení nemusí, pokud je například v ohrožení zdroj pitné vody. Za vodu se neplatí, pokud se voda čerpá pro účely ochlazení v tepelném čerpadle a je následně vrácena do země. Zdroj vody je třeba ověřit dlouhodobou čerpací zkouškou. Tato zkouška se provádí pomocí vhodného čerpadla, které vodu čerpá ze studny asi jeden měsíc. Průtok vody se nastaví kohoutem tak, aby odpovídal požadavkům na výkon tepelného čerpadla. Nutný je také chemický rozbor, který zkontroluje čistotu a vhodné složení vody. Aby bylo možné vodu využívat, nesmí být příliš mineralizovaná, aby nezpůsobovala zanášení výměníku. Čistota vody a přítomnost pevných částic má vliv na životnost tepelného čerpadla. Proto se v primárním okruhu před vstupem vody do tepelného čerpadla instaluje filtr, který musí být pravidelně čištěn. Tepelné čerpadlo musí být chráněno proti omezení nebo přerušení dodávky zdrojové vody, jinak by došlo k okamžitému zamrznutí vody ve výparníku a k jeho možnému poškození. Z tohoto důvodu se do primárního okruhu instalují průtokoměry, které v případě poklesu průtoku odstaví kompresor tepelného čerpadla.



Obrázek č. 8: Schéma TČ voda/voda s odběrem tepla z podzemní vody [9], upraveno autorem

• Shrnutí výhod a nevýhod TČ voda/voda – podzemní voda:

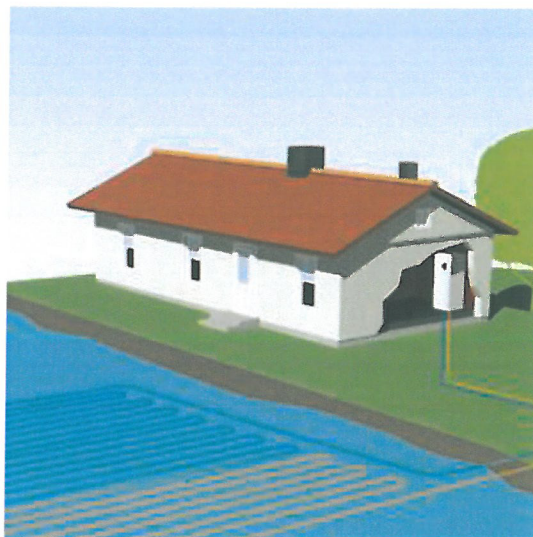
- + - Nejvyšší možná dosažitelná teplota u přírodního nízkopotenciálního zdroje
- TČ dosahují nejvyšších topných faktorů ze všech typů
- Nejvyrovnanější výkon v průběhu celého roku

- - Možné pouze v lokalitách s velkým zdrojem podzemní vody
- Náklady na spotřebu energie pro čerpání
- Nutnost kontroly požadavků na chemické složení a čistotu vody
- Vyšší náklady na servis z důvodu nutných kontrol a údržby (čištění filtrů a výměníků)
- Administrativa spojená s prováděním vrtu a nakládáním s vodami

3.2.2 POVRCHOVÁ VODA

Využití povrchové vody je další variantou tepelného čerpadla voda/voda. Povrchová voda se ale pro využití v tepelném čerpadle příliš nehodí a nepoužívá, jelikož její teplota je poměrně nízká. Často zamrzá a obvykle je znečištěná. Na dno rybníka, řeky nebo jiné vodní plochy se umístí kolektor s nemrznoucí a ekologicky nezávadnou směsí. Jedná se tedy o nepřímý odběr tepla, kdy je primární okruh uzavřený a není závislý na čistotě vody. Výměníky se vyrábějí většinou z tvrdých plastových hadic o průměru 25-30 mm a tloušťce stěny 3 mm. K uložení kolektoru na dno vodního toku musí souhlasit správce toku, respektive majitel rybníka. Další faktem je, že jen málo domů leží v bezprostřední vzdálenosti rybníka nebo vodoteče a s uložením potrubí přes cizí pozemky nemusí jejich majitelé souhlasit. Při poklesu teploty vody pod 4 °C se může na výměníku začít tvořit led, který zhorší jeho účinnost. Řešením této situace by byla větší plocha kolektoru.

V některých případech je možné vodu čerpat potrubím přímo k tepelnému čerpadlu a ochlazenou ji vypouštět zpět do řeky. Jedná se tedy o přímý odběr tepla, kdy oběh vody musí, podobně jako při využití vody podzemní, zajišťovat vhodné čerpadlo. Problémem zde může být znečištění vody, poplatky za její odběr správcem toku nebo i zamrzání hladiny. Z výše uvedených informací nakonec vyplývá, že jde spíše o teoretickou možnost a v praxi se s využitím povrchové vody setkáme pouze výjimečně.



Obrázek č. 9: Schéma TČ voda/voda s nepřímým odběrem tepla z povrchové vody [9]

• Shrnutí výhod a nevýhod TČ voda/voda – povrchová voda:



- Bezhlučné a bezúdržbové řešení v případě kolektoru
- Relativně nízké investiční náklady



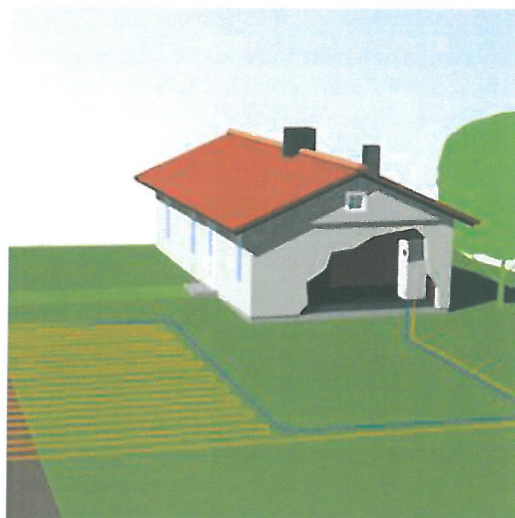
- Vhodné pouze pro objekty ležící v těsné blízkosti vodní plochy
- Nízká teplota a časté znečištění povrchové vody
- Nutnost získání povolení od správce toku/majitele rybníka
- Požadavky vodohospodářů a ekologů, aby ochlazení stojaté vody neohrožovalo živočichy

3.3 TEPELNÉ ČERPADLO ZEMĚ/VODA

Tepelné čerpadlo země/voda je dalším neméně zajímavým způsobem vytápění. Tento typ tepelného čerpadla odebírá teplo z povrchové vrstvy zemského povrchu nebo z jeho hloubky pomocí plastových výměníků, takzvaných kolektorů. O možnosti použití kolektorů jsem se již zmínila v předchozí kapitole, která popisuje využití povrchové vody jako zdroj nízkopotenciálního tepla. Primární okruh tepelného čerpadla je v tomto případě uzavřený a naplněný nemrznoucí směsí neboli solankou. Solanka by měla být ekologicky nezávadná látka. Neměla by být ani příliš drahá, jelikož objem této směsi v primárním okruhu je okolo 250-400 litrů. Pro účely tepelných čerpadel se obvykle používají vodní roztoky monopropylenglykolu nebo monoetylenglykolu. Aby docházelo k přestupu tepla, musí teplota směsi dosahovat podnulových teplot. Výhodou uzavřeného primárního okruhu je nízký potřebný výkon oběhového čerpadla a stálá čistota směsi. Tím pádem mizí starosti se zanášením výměníků a filtrů. Teplo se rovněž předává do topné vody.

3.3.1 PLOŠNÝ KOLEKTOR

U tohoto typu kolektoru je zdrojem tepla povrchová vrstva země. Půda se ochlazuje tepelným výměníkem z polyethylenového potrubí, v němž proudí nemrznoucí směs. Plošný kolektor se umísťuje v blízkosti objektu v hloubce 1-1,5 m, ale v dostatečné vzdálenosti od základů, aby nedocházelo k jejich promrznutí. Trubky plošného kolektoru se pokládají na souvisle odkrytou plochu s minimální roztečí 0,6 m. Doporučuje se však rozteč až 1 m. Vnější průměr plastových trubek bývá 32-40 mm se silou stěny asi 3 mm. Délka okruhu nemá přesahovat 200 metrů a všechny okruhy by měly být stejně dlouhé. Jednotlivé okruhy je nutné vhodným způsobem spojit. K tomuto účelu slouží rozdělovače. Doporučuje se vést všechny hadice do objektu a teprve tam je pomocí rozdělovače spojit, aby bylo možné jejich snadné plnění solankou a odvzdušnění. Celek před zakrytím připomíná smyčky podlahového vytápění v domě. Teplota v zemině během roku kolísá podle průměrné venkovní teploty. Vlivem toho se topný faktor během roku mírně mění. Pro využití tepla je rozhodující energie slunečního záření a energie přestupem tepla ze vzduchu. Po topné sezóně tyto zdroje vychlazenou půdu regenerují. Plocha pro plošný kolektor musí být dostatečně velká. Obvykle se uvádí až trojnásobek plochy vytápěné. Při výběru plochy je důležité si uvědomit a počítat s tím, že nad kolektorem a ani v jeho blízkosti nebude možná jakákoliv výstavba, která potřebuje základy. Půda v oblasti kolektoru bude totiž silně promrzat. Rovněž je nutno posoudit kvalitu zeminy. Komplikace mohou nastat v místech, kde je zemina s velkými kameny, skála či naopak písek. Dále se nedoporučuje nad kolektorem pěstovat vyšší stromy, které by svými kořeny mohly poškodit kolektor. Jedná se o poměrně rozšířený systém, který vyžaduje nižší pořizovací náklady než například další varianta tepelného čerpadla země/voda s hlubinnými vrty.



Obrázek č. 10: Schéma TČ země/voda s plošným kolektorem [9]

3.3.2 VÝKOPOVÝ KOLEKTOR

Existuje i jiná varianta instalace, kdy zdrojem tepla je půdní vrstva. Tento typ kolektoru se nazývá slinky. Roztažením svinutého kola polyetylenové hadice vzniknou smyčky potrubí, které je v místech křížení vhodné svazovat. Jedno kolo plastové hadice má délku 200 m. Slinky se ukládají vodorovně na dno výkopu širokého asi 1 m, do hloubky kolem 1,5 m. V tomto případě se jedná o provedení H, tedy horizontální. Druhou variantou je svislé uložení slinky do úzkého výkopu okolo 0,4 m. Hloubka uložení musí být větší, aby byly vrcholy slinek v hloubce asi 1,5 m. Tomuto provedení se říká provedení V, tedy vertikální. Výkopy se potom zahrnou zeminou. Výkopové rýhy by měly být dlouhé maximálně 20 metrů a vzdálenost mezi nimi by měla být alespoň 5 metrů. Větší plocha a více smyček se projeví tak, že teplota solanky bude v zimě vyšší, stejně jako výkon a topný faktor tepelného čerpadla. Slinky zabírají na pozemku méně místa než plošné půdní kolektory, ale obtížněji se odvzdušňují.



Obrázek č. 11: Provedení zemního kolektoru typu „slinky H“ [11]

• Shrnutí výhod a nevýhod TČ země/voda – povrchová vrstva půdy:



- Nižší investiční náklady než u varianty s hlubinnými vrty
- Dobrý topný faktor
- Bezhluchné a bezúdržbové řešení
- Dlouhá životnost TČ i kolektoru



- Potřeba dostatečně velké plochy pozemku
- Rozsáhlé zemní práce
- Zemina musí umožňovat provedení výkopů do potřebné hloubky
- Kolísání teploty zeminy, mírně se měnící topný faktor v průběhu roku

3.3.3 SVISLÉ VRTY

Tepelné čerpadlo se svislými vrty odebírá teplo z hloubky pod povrchem země. S rostoucí hloubkou pod povrchem roste i teplota hornin. V našich podmínkách se teplota v hloubce 100 m pohybuje okolo 10 °C. Pro posouzení vhodnosti lokality pro provedení vrtů je důležitým parametrem tepelná vodivost hornin. Teplo je z podloží čerpáno pomocí plastového výměníku, který je vložený do hlubokého vrtu. Výměník tvoří opět polyethylenová hadice obvykle o vnějším průměru 32-40 mm a silou stěny 3 mm. Hloubka vrtu se pohybuje od 50-150 metrů v závislosti na požadovaném výkonu a geologické situaci. Průměr vrtu je okolo 150 mm. Pokud je za potřebí vyšší výkon, lze zhotovit více vrtů. Vrty by však měly být od sebe vzdáleny minimálně 10 m, aby se vzájemně neovlivňovaly. Uvádí se, že tepelné čerpadlo o výkonu 10 kW vyžaduje přibližně 140 metrů vrtů. Obecně je lepší zvolit spíše jeden hlubší vrt než dva kratší.

Ihned po odvrtání se do vrtu zasune kolektor s proudící solankou, který je tvořen dvěma nebo čtyřmi hadicemi navařenými do speciální hlavice. Po vložení kolektoru se vrt musí utěsnit speciální tepelně vodivou směsí pomocí vhodné technologie, například jílocementem. Takto se zajistí dokonalý přenos tepla a kolektor už nelze vytáhnout. Přívodní hadice se vedou v nezamrzlé hloubce do objektu k tepelnému čerpadlu. Propojení hadic pomocí rozvaděče se doporučuje až v objektu z důvodu snadného plnění nemrznoucí směsí a odvzdušnění. Vrtání včetně vložení kolektorů obvykle provádí jedna specializovaná firma, která by také měla připravit potřebnou dokumentaci pro stavební povolení pro vrty. Vrty se umísťují v okolí vytápěného objektu nebo je možné je zhotovit i před zahájením stavby objektu přímo tam, kde bude stát tepelné čerpadlo. Vrty lze snadněji provádět v oblastech s tvrdým podložím. Zkušené firmy vybavené moderní technikou, mohou provádět vrtné práce i v těsné blízkosti budov bez jejich poškození. Tepelné čerpadlo s hlubinnými vrty má velmi dobrý topný faktor, který se během roku téměř nemění. Je to dáno tím, že celoročně čerpá teplo o poměrně vysoké a stálé teplotě. Výhodou tohoto řešení jsou malé nároky na prostor a to, že při správném návrhu je tento zdroj tepla schopen fungovat jako monovalentní. Tedy je schopen být jediným zdrojem, který pokryje celoročně spotřebu tepla.



Obrázek č. 12: Schéma TČ země/voda se svislým vrtem [9]

• Shrnutí výhod a nevýhod TČ země/voda – svislé vrty:

- + - Vysoký topný faktor a stabilní výkon
- Malé nároky na prostor
- Bezhluché a bezúdržbové řešení
- Dlouhá životnost TČ i kolektoru
- Využití vrtu pro chlazení objektu

- - Vysoké investiční náklady na pořízení vrtů
- Nutnost vyřízení stavebního povolení pro vrty
- Poddimenzované vrty (krátké) mohou zamrznout a nelze z nich po dlouhou dobu regenerace čerpat teplo
- Kolektory ve vrtech jsou po utěsnění prakticky neopravitelné
- Existuje riziko nechtěné kontaminace spodních vod či narušení hydrogeologických poměrů

4. CHLAZENÍ TEPELNÝM ČERPADLEM

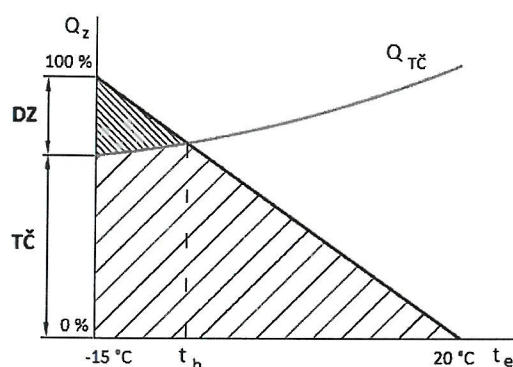
Jak už jsme si řekli, tepelné čerpadlo je v principu chladicí zařízení. Je tedy možné ho zapojit tak, aby v zimě topilo a v létě chladilo. Chlazení pracuje na základě dvou různých principů. První variantou je pasivní chlazení, které je možné použít v případě, že je pro vytápění nainstalováno tepelné čerpadlo země/voda. Země odebírá pomocí tepelného výměníku teplo z topného okruhu a odvádí ho ven. V tomto případě se k ochlazení využívá přirozená teplota okolního prostředí a teplo získané z chlazení je možné ukládat do půdního kolektoru nebo zemních vrtů pro pozdější využití. Tepelné čerpadlo není aktivní a spotřeba energie na chlazení se redukuje pouze na pohon oběhových čerpadel primárního a sekundárního okruhu TČ. V současné době se jedná o nejefektivnější způsob chlazení. U druhé varianty chlazení se způsob funkce tepelného čerpadla jednoduše obrátí. V takzvaném reverzním chodu se prohodí funkce výparníku a kondenzátoru. Tento druh chlazení nazýváme aktivní a nejčastěji se v tomto případě využívá tepelných čerpadel typu vzduch/voda, popřípadě vzduch/vzduch. Teplo je odváděno venkovní jednotkou do okolního prostoru a zvyšuje se tak teplota v okolí domu. Provozně i investičně je varianta aktivního chlazení nákladnější, jelikož je v provozu i kompresor tepelného čerpadla.

Obecně lze ale říci, že tepelným čerpadlem se dá chladit pouze za předpokladu, že je k tomu uzpůsobena otopná soustava. Tepelná čerpadla, která během topné sezóny ohřívají vodu pro systém ústředního topení, lze využít pro chlazení jen velmi omezeně. Pro chlazení se například hodí plošné systémy, tzn. chlazení podlahou, stěnou nebo stropem, případně jejich kombinací. Důležité je v tomto případě regulaci zajistit, aby plošné systémy pracovaly s teplotami nad rosným bodem a na jejich povrchu nedocházelo ke kondenzaci vzdušné vlhkosti. Nejlepšího chladicího efektu se ale dosahuje ve spojení s nástěnnými nebo podstropními jednotkami, takzvanými fan-coily. Tento systém je však složitější a nákladnější. Jednotkou proudí chladicí voda a pomocí ventilátoru se vhání proud chladného vzduchu do prostoru. Nezbytné je malé odpadní potrubí, které odvádí z fan-coilu zkondenzovanou vzdušnou vlhkost. Chladicí okruh fan-coilů je velmi podobný klasickému radiátorovému okruhu, kde je potřeba ke každé jednotce natáhnout potrubí, ve kterém bude proudit chladicí voda a okruh opatřit samostatným oběhovým čerpadlem. Ideální je pracovat s požadavkem na chlazení již ve fázi návrhu a přizpůsobit tomu jak tepelné čerpadlo, tak i rozvody a otopnou soustavu. [12] [13]

5. APLIKACE TČ V ŘEŠENÉM OBJEKTU Z PROJEKTOVÉ ČÁSTI BP

V projektové části mé bakalářské práce jsem navrhovala vytápění administrativní budovy pomocí plynového kondenzačního kotle. Jedná se o teplovodní dvoutrubkovou soustavu s nuceným oběhem, která je řešena jako varianta vertikálního rozvodu. Teplotní spád byl zvolen 70/55 °C. Ve většině místností byla navržena desková otopná tělesa, popřípadě byly navrženy podlahové konvektory. Veškeré podrobnosti tohoto návrhu jsou uvedeny v technické zprávě a ve výkresové dokumentaci.

Administrativní budova se třemi nadzemními a jedním podzemním podlažím se nachází v Praze, kde počítáme s venkovní výpočtovou teplotou -12 °C. Dnů, kdy teplota klesne pod -12 °C, je v roce poměrně málo a potřeba výkonu pro vytápění se během roku mění. Dimenzovat čerpadlo pro maximální výkon by bylo neekonomické, protože čím víc energie dům spotřebovává, tím větší a dražší musí být tepelné čerpadlo i zdroj. Objekt je celkově zateplen a jeho celková tepelná ztráta byla spočítána na 58,56 kW. V tomto případě je nejvhodnější dimenzovat tepelné čerpadlo pro paralelně bivalentní provoz. Tepelné čerpadlo bych dimenzovala na výkon, který odpovídá 70-80% tepelné ztráty. Při nedostatečném výkonu tepelného čerpadla v nejchladnějším období roku by byl systém doplněn takzvaným dodatkovým zdrojem tepla. Například elektrickou topnou patronou nebo elektrokotlem. Tento zdroj také slouží jako záloha v případě výpadku tepelného čerpadla. U správně navržených systémů dodatkový zdroj dodává pouze 5-10% celkové roční spotřeby tepla.




Obrázek č. 13: Diagram paralelně bivalentního provozu [14]

Na tomto diagramu je patrný průsečík křivky tepelné ztráty objektu a topného výkonu tepelného čerpadla. Tento průsečík, ve kterém již není tepelné čerpadlo schopno plně pokrýt tepelnou ztrátu objektu, se nazývá bod bivalence. Na horizontální ose venkovní teploty vzduchu je označena teplota bivalence t_b , při které se připíná dodatkový zdroj tepla. [14]

Aby tepelné čerpadlo pracovalo co nejefektivněji, měla by být výstupní teplota topné vody co nejnižší. Většina tepelných čerpadel dodává do tepelné soustavy vodu o maximální teplotě 55 °C. Někteří výrobci nabízejí i tepelná čerpadla schopná dodávat topnou vodu o teplotě 65 °C, ovšem za cenu zhoršení topného faktoru. Nejlépe tedy tepelné čerpadlo spolupracuje s takzvaným nízkoteplotním vytápěcím systémem. Tím je například podlahové vytápění, které pracuje v nízkém teplotním spádu, obvykle 40/35 °C. Podlahové vytápění se podle mého názoru do objektu administrativní budovy nehodí, proto bych zachovala teplovodní dvoutrubkovou soustavu vertikálního rozvodu, ale snížila bych teplotní spád na 55/45 °C. Změna teplotního spádu soustavy způsobí zvětšení navrhovaných velikostí otopných těles i větší světlost trubek. V daném objektu by tato změna neměla mít výrazný vliv na využití vnitřního prostoru.

Výkon tepelné soustavy, a tím i zdroje tepla, samozřejmě závisí na vnější teplotě. Není nutné, aby tepelná soustava měla celoročně konstantní tepelný spád. Během roku může být spád nižší, což snižuje ztráty zdroje a ztráty v rozvodech. Na tomto principu pracuje takzvaná ekvitermní regulace, kdy je teplota vody regulována v závislosti na venkovní teplotě. Při nižší venkovní teplotě je požadována vyšší teplota dodávané topné vody, aby došlo k rovnováze mezi dodaným teplem a tepelnými ztrátami místnosti. Pro danou místnost lze stanovit soustavu tzv. ekvitermních křivek, které popisují vzájemnou závislost teploty topné vody, místnosti a venkovní teploty. Pro místnost s vnitřní výpočtovou teplotou 20 °C a uvažovaným teplotním spádem 55/45 °C lze z ekvitermní křivky vyčíst, že pokud je teplota bivalence rovna -5 °C, teplota přívodu topné vody je 48,7 °C. Dnes je již ekvitermní regulace standartní součástí většiny tepelných systémů. [16] Regulace tepelného čerpadla obvykle vyžaduje konstantní průtok kondenzátorem. Jsou-li radiátory osazeny termostatickými ventily nebo je použita jiná regulace snižující průtok tělesy, je nutné do systému zařadit menší akumulární nádrž. Ta umožní konstantní průtok topné vody z tepelného čerpadla do nádrže. Tělesa si pak z nádrže odebírají vodu v množství podle potřeby. Akumulární nádrž je vhodná i proto, že tepelnému čerpadlu nesvědčí časté vypínání a zapínání. Tímto se zkracuje životnost kompresoru. [1]

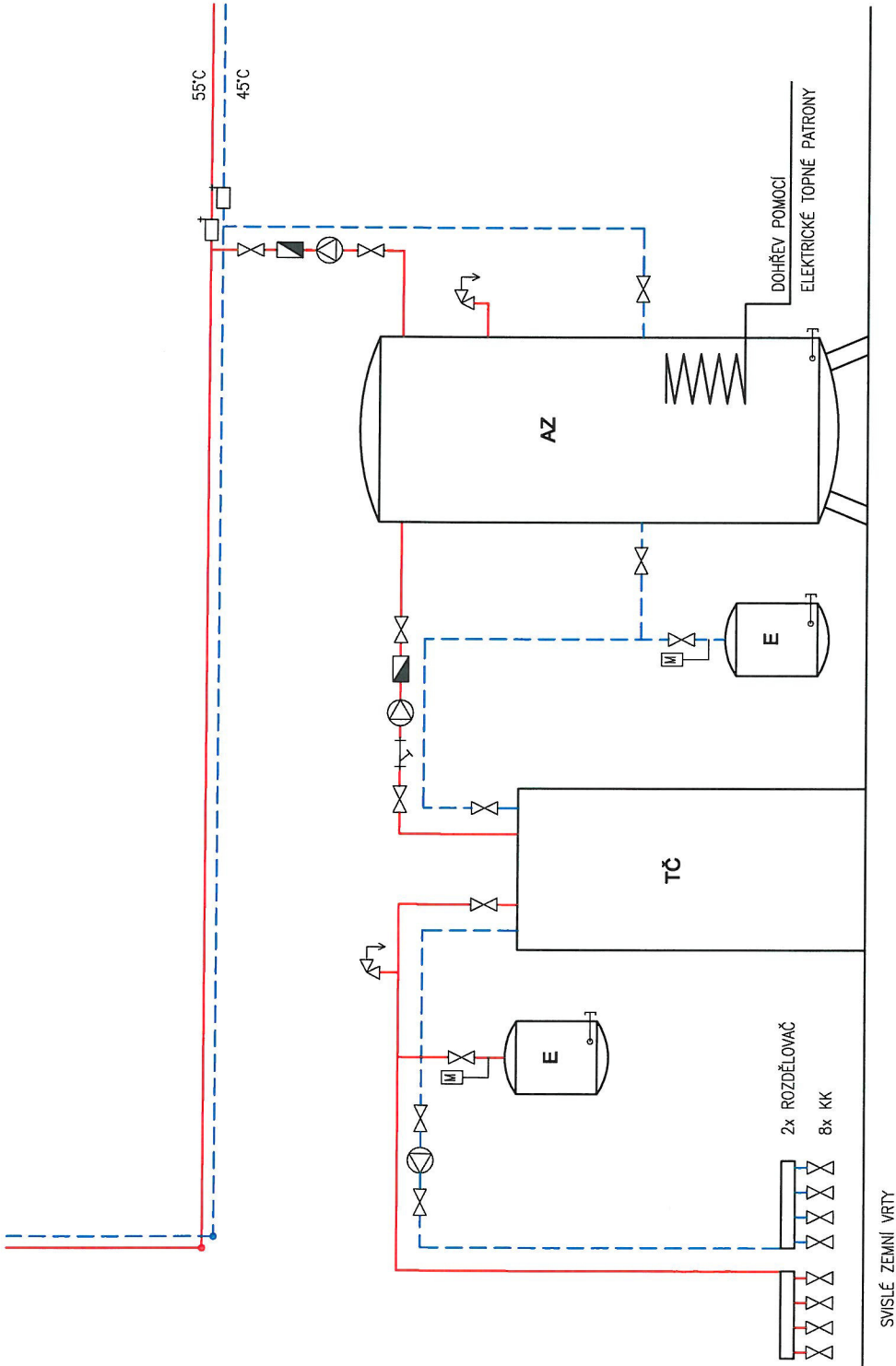
Administrativní budova neleží v blízkosti vodní plochy ani velkého zdroje podzemní vody. Tím pádem varianty tepelného čerpadla voda/voda nejsou v tomto případě využitelné. Návrh tepelného čerpadla využívající odpadní vzduch není v tomto případě možný, jelikož jsem v objektu počítala s přirozeným větráním. Jedním z možných řešení by bylo použití tepelného čerpadla vzduch/voda, které odebírá teplo z venkovního vzduchu. Jelikož je tepelná ztráta objektu relativně velká, bylo by za potřebí například 2 tepelných čerpadel zapojených kaskádně. Venkovní jednotky by mohly být umístěny na střeše. Vhodnějším řešením by ale podle mého názoru bylo použití tepelného čerpadla země/voda. U objektu není dostatečně velká plocha pozemku pro půdní kolektor. Zvolila bych proto variantu tepelného čerpadla země/voda se svislými vrtly. Při dimenzování tepelného čerpadla na 80% tepelné ztráty potřebujeme výkon okolo 47 kW. Vyhovujícím tepelným čerpadlem by mohl být například typ GEO G248 od společnosti IVT s topným faktorem okolo 4. Počet, hloubka a minimální rozteče vrtů jsou vždy vypočítány hydrogeologem pro konkrétní případ na základě geologického průzkumu. Pro pouhý odhad počtu a délky vrtů jsem použila tabulku *Dimenzování primárních okruhů pro tepelná čerpadla IVT GREENLINE* z projekčních podkladů uveřejněných na stránkách výrobce.

 IVT TEPelnÁ ČERPADLA			Dimenzování primárních okruhů pro tepelná čerpadla IVT Greenline											
			Vrty (m)						Kolektory (m plochy)					
TZ	Spotřeba energie	Čerpadlo IVT	Radiátory			Podlahovka			Radiátory			Podlahovka		
			Hormina			Hormina			Zemina			Zemina		
kW	kWh		Vlhká	Normální	Suchá	Vlhká	Normální	Suchá	Vlhká	Normální	Suchá	Vlhká	Normální	Suchá
5-9	21 100	IVT Greenline 6 HE/PLUS	72	94	156	79	102	170	201	265	342	218	288	382
9-11	24 900	IVT Greenline 7 HE/PLUS	87	113	188	94	121	202	242	320	427	260	357	476
11-13	29 200	IVT Greenline 9 HE/PLUS	103	133	221	111	143	239	284	393	524	307	445	593
13-15	33 000	IVT Greenline 11 HE/PLUS	121	156	260	129	175	291	335	483	644	357	546	727
15-21	44 900	IVT Greenline 14 HE/PLUS	161	208	346	172	225	376	445	643	857	476	704	939
21-25	52 500	IVT Greenline 17 HE/PLUS	185	239	399	198	260	433	513	740	987	549	812	1082

Výše uvedené návrhy primárních okruhů jsou pouze orientační. Pro přesný návrh kontaktujte firmu Tepelná čerpadla IVT s.r.o., 272 191 405, ivt@ivtcentrum.cz, www.cerpadla-ivt.cz

Obrázek č. 14: Orientační hodnoty návrhu primárních okruhů [15]

Za předpokladu vrtů, radiátorů a normální horniny z tabulky vyplývá, že pro požadovaný výkon 47 kW by bylo nutné zhotovit 4 vrty hluboké okolo 140 metrů. Vrty musí být provedeny ve vzdálenosti 2-3 metrů od stavby. Minimální vzájemná rozteč sousedních vrtů je 10 metrů. Teoretické umístění vrtů je zakresleno ve výkresu situace.

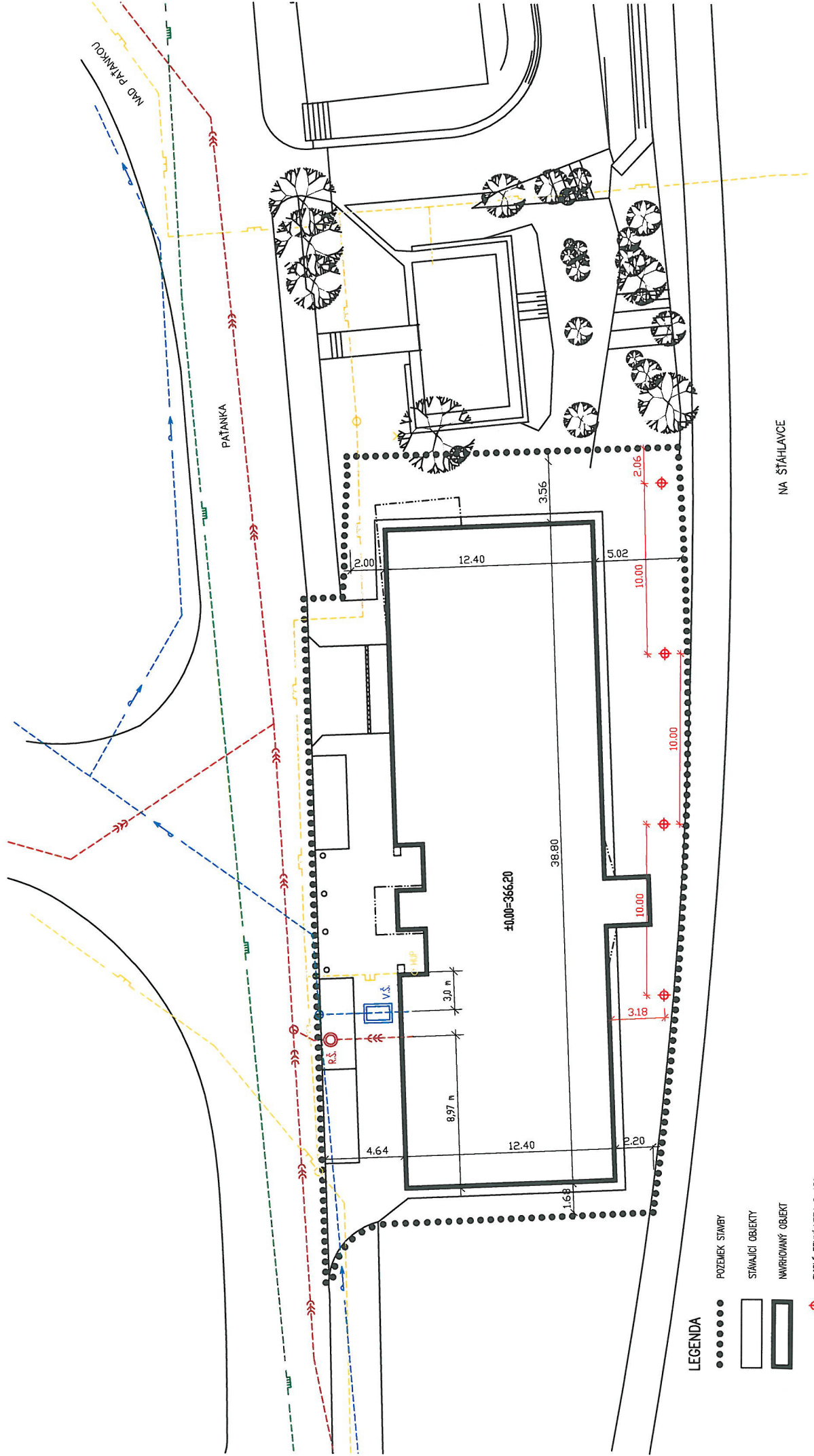


LEGENDA:

- ⊗ OBĚHOVÉ ČERPADLO
- ⊗ UZAVÍRACÍ KULOVÝ KOHOUT
- ⊢ VYPOUŠTĚCÍ KOHOUT
- ↻ POJISTNÝ VENTIL
- ⊠ ODVZDUŠŇOVACÍ VENTIL
- ⊢ FILTR ZÁVITOVÝ
- ◼ ZPĚTNÁ KLAPKA
- ⊠ MANOMETR

- TČ TEPELNÉ ČERPADLO ZEMĚ-VODA
- AZ AKUMULAČNÍ ZÁSOBNÍK
- E EXPANZNÍ NÁDOBA

Zpracoval: Eliška Štissová	Vypracoval/ovlád: Ing. Roman Musil, Ph.D.	Školní rok: 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT
Projekt: Bakalářské práce (125BAPC)	Datum: 5/2017		
Název úlohy: Vytápění administrativní budovy	Měřič: /		
Název výřezu: Schéma zapojení tepelného čerpadla	Číslo výřezu: 5.1		



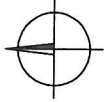
NA ŠTĀHLAVCE

LEGENDA

- POZEMEK STĀBY
- ▭ STĀVĀJÍCÍ OBJEKTY
- ▭ NĀVRHOVANÝ OBJEKT
- ⊕ SVISLÉ ZEMNÍ VRTY, D=150mm

- STĀVĀJÍCÍ INŽ. SĚŤ
- KANĀLIZACE
- VODOVOD
- VTL PLYNOVOD
- NTL PLYNOVOD

Zpracoval:	Etiska Štüssová	Vedoucí ověření:	Ing. Roman Musil, Ph.D.	Šestičíslo:	2016/2017
Projevitel:	Bokaldřská práce (1258APC)	Fakulta stavební ČVUT			
Název úlohy:	Vytápění administrativní budovy				
Název výřezu:	SITUACE – rozmístění svislých vrtů				
Datum:	5/2017	Mřížka:	1:500		
Cílová výřezová:	5.2				



6. ZÁVĚR

Tepelná čerpadla patří mezi alternativní zdroje energie využívající nízkopotenciální zdroje tepla ze svého okolí. Mezi hlavní zdroje tepla řadíme vzduch, vodu a zemi. Odebrané teplo z okolního prostředí je cíleně využíváno pro potřeby vytápění a ohřevu teplé užitkové vody. Další využití tepelného čerpadla je pro chlazení objektu. Tepelná čerpadla můžeme dělit podle zdroje z něhož teplo odebírají a podle způsobu, jakým ho předávají dále. Každá z variant má své výhody a nevýhody a vhodnost jejich využití je spjata s konkrétními podmínkami.

Z důvodu stále většího zájmu o tepelná čerpadla jsou v úvodní části práce přiblíženy základní charakteristiky a důvody pořizování tepelných čerpadel. Dále je ve stručnosti shrnuta historie tepelných čerpadel a popsán jejich princip fungování. Třetí kapitola je věnována popisu jednotlivých druhů tepelných čerpadel a zhodnocení jejich výhod a nevýhod. Nejuniverzálnějším řešením je tepelné čerpadlo vzduch/voda. Získávání energie z venkovního vzduchu je totiž možné v každých podmínkách. Tato varianta tepelného čerpadla je nejspíše nejjednodušší a nejlevnější variantou. Nejčastěji jsou využívána v rodinných domech s nižší tepelnou ztrátou. Pro větší výkony se častěji instalují tepelná čerpadla země/voda. Tato varianta tepelného čerpadla je nejnákladnější, ale vyniká stálostí teplotního zdroje a vysokým stabilním topným faktorem. Tepelná čerpadla typu voda/voda se vyskytují v menším množství, jelikož jsou podmíněna existencí vhodného vodního zdroje. Pokud ale podmínky umožňují jejich užití, dosahují velice vysokých topných faktorů nesrovnatelných s ostatními zdroji.

Cílem poslední kapitoly bylo posouzení, jaký typ tepelného čerpadla by se nejvíce hodil pro objekt z mé projektové části bakalářské práce. V projektové části bylo navrženo vytápění administrativní budovy pomocí plynového kondenzačního kotle. Po zhodnocení všech získaných informací o tepelných čerpadlech jsem se nakonec rozhodla pro využití varianty tepelného čerpadla země/voda se svislými vrtly. Jednalo by se o bivalentní systém provozu, kdy je tepelné čerpadlo dimenzováno pouze na 70-80% tepelné ztráty a při nedostatečném výkonu by byl připojen dodatečný zdroj, například elektrická topná patrona. Návrh hloubky a roztečí vrtů ale záleží na geologickém průzkumu, který by musel být proveden. Je tedy možné, že by pozemek nakonec nemusel být svou velikostí dostačující. Proto je zmíněna i druhá varianta, kdy by se pro vytápění použila například dvě tepelná čerpadla vzduch/voda zapojena kaskádně, aby se dosáhlo požadovaného výkonu.

Pro shrnutí lze říci. Typ tepelného čerpadla by měl být vždy vybírán s ohledem na konkrétní podmínky. Správný návrh, projekt a výpočty jsou nutné pro správné fungování otopné soustavy. Jedná se o ekologicky čistý provoz, který neprodukuje žádné emise. Tepelné čerpadlo je zařízení, které po úvodním nastavení funguje zcela samo. Pořizovací náklady jsou celkem vysokou investicí v řádech stovek tisíců korun. Jelikož ale ceny energií stoupají, lze díky tepelnému čerpadlu ušetřit 50 až 70% nákladů na vytápění oproti plynovému nebo elektrickému kotli.

7. SEZNAM LITERATURY A PODKLADŮ

- [1] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. Vydání 1. Brno: ERA, 2005, 68 s. ISBN: 80-7366-031-8
- [2] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo*. Vydání 1. Kroměříž: vydáno vlastním nákladem, 2003, 312 s. ISBN: 80-239-0275-X
- [3] TINTĚRA, Ladislav. *Tepelná čerpadla*. Vydání 1. Praha: ARCH, 2003, 121s. ISBN: 80-86165-61-2
- [4] Regulus. *Proč tepelná čerpadla* [online] ©2017 [cit. 2017-05-01]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/tepelna-cerpadla-regulus#tepelna-cerpadla-hlavni-duvody>
- [5] Czechklima. *Z historie tepelných čerpadel* [online] ©2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <https://www.czechklima.cz/novinky/z-historie-tepelnych-cerpadel>
- [6] ASB-portal.cz. *Historie a vývoj tepelných čerpadel v ČR a EU* [online] ©2009 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/tzb/vytapeni/historie-avyvoj-tepelnych-cerpadel-vcr-aeu>
- [7] Zefin. *Jak funguje tepelné čerpadlo?* [online] ©2017 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: http://www.zefin.cz/cs/slovnicek/tepelna-cerpadla/jak-funguje-tepelne-cerpadlo-_s609x7276.html
- [8] TZB-info. *Tepelná čerpadla* [online] ©2017 [cit. 2017-05-04]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla>
- [9] IVT. *Typy tepelných čerpadel* [online] ©2017 [cit. 2017-05-05]. Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/typy-tepelnych-cerpadel>
- [10] TZB-info. *Klimatizační jednotka jako levné tepelné čerpadlo vzduch-voda* [online] ©2005 [cit. 2017-05-07]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/2596-klimatizacni-jednotka-jako-levne-tepelne-cerpadlo-vzduch-voda>
- [11] Home.tiscali.cz. *Reference* [online] ©2017 [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: http://home.tiscali.cz/cz254539/obr/cerpadlo_10.jpg
- [12] TZB-info. *Modifikace stávajících systémů s tepelnými čerpadly potřebné pro provoz chlazení* [online] ©2015 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13170-modifikace-stavajicich-systemu-s-tepelnymi-cerpadly-potrebne-pro-provoz-chlazení>
- [13] Úsporné vytápění s.r.o. *Jak na chlazení domu tepelným čerpadlem* [online] ©2014 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.uspornevytapani.cz/chlazení-tepelnym-cerpadlem/>
- [14] TZB-info. *Postup při návrhu tepel. čerpadel* [online] ©2015 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12401-postup-pri-navrhu-tepelnych-cerpadel>
- [15] IVT. *Projekční podklady GREENLINE HE - Tabulka primárních okruhů* [online] ©2010 [cit. 2017-05-13]. Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/greenline-he-nejprodavanejsi-model?email=ivt@veskom.cz&hid=911147768>
- [16] TZB-info. *Ekvitermní křivky* [online] ©2017 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/50-ekvitermni-krivky>