



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

TEPELNÉ ČERPADLO PRO RODINNÝ DŮM

HEAT PUMP FOR A FAMILY HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Lang

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Martin Lang**
Studijní program: Základy strojního inženýrství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Tepelné čerpadlo pro rodinný dům

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na posouzení systému vytápění využívajícího tepelné čerpadlo. Práce bude obsahovat představení technologie tepelných čerpadel. Pro zvolený objekt bude navržen konkrétní systém vytápění využívající TČ. Navržený systém bude hodnocen z hlediska energetických toků, technického a ekonomického.

Cíle bakalářské práce:

1. Rešeršním způsobem popsat funkci tepelného čerpadla, uvést typy čerpadel, hlavní komponenty.
2. Uvést využitelné nízkoteplotní zdroje tepla.
3. Zpracovat vlastní návrh tepelného čerpadla pro zvolený objekt.
4. Provést technicko–ekonomické posouzení navržené instalace TČ a porovnání s vytápěním dřevem a zemním plynem.

Seznam doporučené literatury:

PAVELEK, Milan. Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 192 s., ISBN 978-80-214-4300-6.

SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. Tepelná čerpadla. Praha: EkoWATT, 2009, 71 s. : il., mapy. ISBN 978-80-87333-02-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce rešeršním způsobem popisuje funkci a typy tepelných čerpadel. Zabývá se také nízkopotenciálními zdroji tepla, jejich výhodami a specifiky. Na základě těchto informací je poté voleno konkrétní tepelné čerpadlo. Následně je provedeno technickoekonomické zhodnocení s vytápěním kotlem na tuhá paliva a plynovým kotlem.

Klíčová slova

Tepelné čerpadlo, tepelná ztráta, potřeba tepla, ohřev teplé užitkové vody

ABSTRACT

This bachelor thesis describes the function and types of heat pumps. It also deals with low-potential heat sources, their advantages, and specifics. Based on this information, a specific heat pump is selected. Subsequently, a technical-economic evaluation is carried out with heating by a solid fuel boiler and a gas boiler.

Key words

Heat pump, heat loss, heat demand, hot supply water heating

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LANG, Martin. *Tepelné čerpadlo pro rodinný dům* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149594>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Pospíšil.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Tepelné čerpadlo pro rodinný dům vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za trpělivost a užitečné rady.

Obsah

ÚVOD.....	11
Tepelná čerpadla.....	12
1 Kompresorové Tepelné čerpadlo.....	14
1.1 Pracovní cyklus TČ.....	14
1.2 Hlavní komponenty.....	14
1.2.1 Chladivo (chladící medium).....	14
1.2.2 Kompresor.....	15
1.2.3 Expanzní ventil.....	17
1.2.4 Kondenzátor.....	19
1.2.5 Další komponenty používané v TČ.....	20
2 Nízkopotencionální zdroje tepla.....	22
2.1 TČ vzduch-voda.....	22
2.1.1 Monoblok.....	22
2.1.2 Split.....	23
2.2 TČ země-voda.....	23
2.2.1 Plošné kolektory (horizontální).....	24
2.2.2 Hlubkové vrty (vertikální).....	24
2.3 Voda-voda.....	25
2.3.1 Podzemní voda.....	25
2.3.2 Povrchová voda.....	25
3 Návrh tepelného čerpadla.....	27
3.1 Výpočet tepelných ztrát.....	27
3.1.1 Snížení tepelných ztrát výměnou oken.....	27
3.1.2 Snížení tepelných ztrát zateplením domu.....	28
3.1.3 Snížení tepelných ztrát zateplením střechy.....	28
3.1.4 Celkové snížení tepelných ztrát.....	28
3.2 Volba typu tepelného čerpadla.....	29
3.3 Volba tepelného čerpadla.....	29
3.4 Akumulační nádrž teplé vody.....	30
3.4.1 Výběr akumulční nádrže.....	30
3.4.2 Ekonomické shrnutí.....	31
4 Technicko-ekonomické zhodnocení.....	32
4.1 Roční potřeba tepla.....	32
4.2 Ekonomické zhodnocení.....	33
4.2.1 Vytápění dřevem.....	33
4.2.2 Vytápění plynovým kotlem.....	34
4.2.3 Současná otopná sestava.....	34
4.2.4 Vytápění tepelným čerpadlem.....	34
4.3 Návratnost a zhodnocení.....	34
5 Závěr.....	36
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	37

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	42
SEZNAM OBRÁZKŮ	43
SEZNAM TABULEK.....	44

ÚVOD

Energetická krize, nárůst ceny elektrické energie mnohdy na násobky cen z předešlých let a nejisté dodávky fosilních paliv (především ropa a zemní plyn) nutí mnoho domácností k hledání úspor na nákladech spojených s vytápěním domu, a tak snížit jeho energetickou náročnost. Ke snížení nákladů na vytápění je vhodné použití tepelného čerpadla (TČ), která čerpá energii z okolního prostředí a za pomoci menšího množství elektrické energie, vytápí již zmiňovaný rodinný dům.

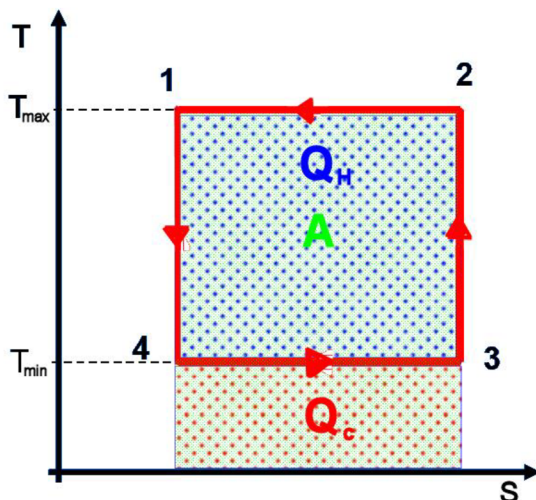
Tato možnost se hojně využívá u novostaveb, které disponují dobrou izolací, která dále snižuje energetickou náročnost domácnosti, lze ji však využít i u starších staveb. Nevýhodou jsou poměrně vysoké náklady na pořízení a montáž. Výhodou TČ je také jeho ekologický provoz. Při chodu TČ se spotřebovává elektrická energie, avšak nevzniká žádná odpadní látka znečišťující ovzduší, což se o kotli na dřevo či plyn říct nedá. Pro mnoho lidí může být benefitem TČ pohodlí, které jeho provoz nabízí.

Cílem této závěrečné práce je popsat základní funkci a rozlišit jednotlivé druhy TČ. Pomocí rešerše zmapovat druhy nízkopotencionálního tepla využívaného TČ. Z takto získaných informací zvolit vhodné provedení TČ pro konkrétní rodinný dům. Toto řešení srovnat z ekonomického hlediska, s vytápěním kotlem na dřevo a zemním plynem. Do vyhodnocení zahrnout také technickou náročnost instalace jednotlivých možností.

Hlavní motivací pro napsání této bakalářské práce je otázka vyplatí-li se pořízení TČ pro náš rodinný dům a pokud ano, jaká bude návratnost, oproti stávajícímu kotli na dřevo.

Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo je zařízení založené na obráceném Carnotově cyklu: Obrázek 1 ten spotřebovává hnací energii pro produkci tepelné energie. [1] Nizkopotencionální energii o nízké teplotě, čerpá energii do stavu o vyšší teplotě a potenciálu. [2] Jednotlivé druhy tepelných čerpadel se rozlišují konstrukcí, zdrojem energie pohánějící tepelné čerpadlo a způsobem získávání nizkopotencionálního tepla.

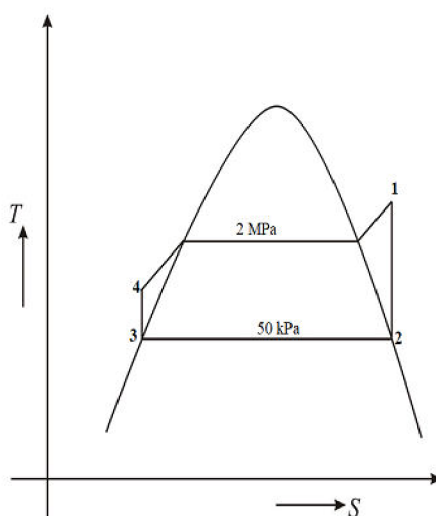


Obrázek 1: T-s diagram obráceného Carnotova cyklu [3]

Hlavním kritériem posuzovaným při výběru TČ je topný faktor ε_t , značený také jako COP (coefficient of performance). Je to bezrozměrné číslo, které reprezentuje poměr mezi dodaným teplem Q_H a spotřebovanou prací A_0 . U TČ obvykle 4 a více [2].

$$\varepsilon_t = \frac{|Q_H|}{|A_0|} = \frac{|Q_H|}{|Q_H| - |Q_C|} \quad (1)$$

Carnotův cyklus je však pouze ideálním případem, skutečný cyklus TČ se velice podobá Rankin-Clausiovu cyklu, který pracuje s parami chladiva.



Obrázek 2: T-s diagram obráceného Rankin-Clausiova cyklu [4]

Typy tepelných čerpadel

Rozdíl mezi těmito typy spočívá v metodách, jak nízkopotencionální teplo dopravit do vysokopotencionálního stavu. Pokud se bere v úvahu pouze TČ pro rodinné domy, nabízí se nám výběr několika možností.

Absorpční TČ

Tento druh čerpadla nespotřebovává elektrickou energii, zdroj tepla může být tvořen např. zemním plynem, solární teplou vodou nebo geotermální teplou vodou. Nejčastěji je využíván zemní plyn pro rozšířenost a snadné i ekonomicky výhodné uvedení do provozu. [5] V oběhu tohoto typu čerpadla se nachází dvě látky. Princip předávání tepelné energie probíhá pomocí absorpce látky, absorbátu (převážně amoniaku), do látky, se kterou se mísí, tj. absorbéru, v případě amoniaku se jakožto absorbér používá voda. [6]

Kompresorové TČ

Jedná se o nejrozšířenější a nejčastěji používané provedení. Schéma zapojení včetně teoretického cyklu v T-s diagramu se neliší od kompresorového chladicího zařízení. Rozdílem mezi TČ a chladničkou je žádaný efekt. Cílem u TČ je předat vysokopotencionální teplo Q_H získané z chladiva v kondenzátoru (srážníku) ohřivané látce, nejčastěji vodě. Aby byl tento jev možný, kompresoru je nutné dodat práci a do výparníku dodat nízkopotencionální teplo Q_C chladivu, a to ze vzduchu, vody nebo půdy. [2]

TČ se solárními kolektory

Toto provedení kombinuje TČ vzduch-voda se solárními kolektory, oba prvky jsou napřímo propojeny a sdílí stejné chladivo. Solární panel, který transformuje sluneční svit na teplo a zároveň je používán jako výparník, funguje tedy i při nepříznivém počasí. Nevýhodou je, že tento typ není dostačující na ohřev vody zároveň s vytápěním. Vysoká pořizovací cena a náročná montáž souvisí s malým využíváním tohoto typu. [7]

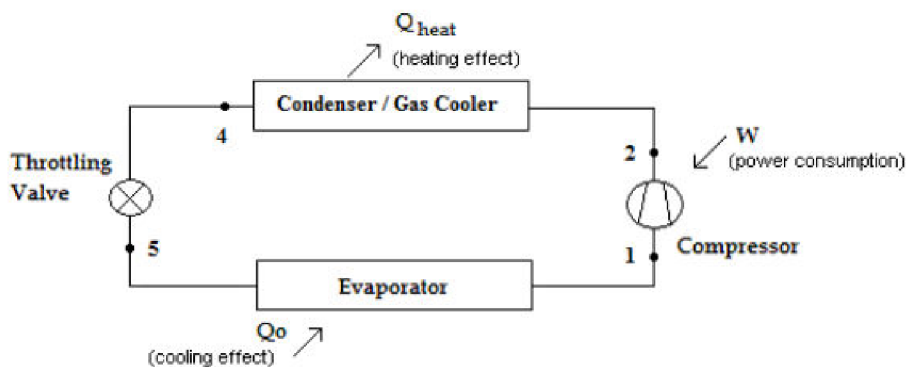
1 Kompressorové Tepelné čerpadlo

Na tomto typu bude vysvětlen princip fungování jednoho cyklu, a budou popsány jednotlivé komponenty zařízení.

1.1 Pracovní cyklus TČ

Chladivo v plynném stavu je vedeno do kompresoru, zde dochází ke zvýšení tlaku a teploty chladiva. Stlačené chladivo o teplotě vyšší než teplota vody, následně využívaná pro vytápění, se dostává do kondenzátoru. Druhý zákon termodynamiky (2. TDZ) říká, že se energie může samovolně šířit pouze z vyšší koncentrace energie do nižší, tedy z místa o vyšší teplotě do místa s teplotou nižší. V kondenzátoru probíhá právě tento jev. Chladivo kondenzuje a předává své latentní teplo vodě, jejíž teplota vzroste.

Chladivo z kondenzátoru odchází v kapalném stavu stále o vysokém tlaku, ke snížení tlaku dochází v expanzním ventilu (EV). Tlak chladiva poklesne a jeho teplota varu je nyní nižší než teplota okolí. Jinými slovy chladivo bude měnit své skupenství z kapalného na plynné. Tato změna se odehrává ve výparníku. Chladivo o nižší teplotě, tedy okolnímu prostředí, odebírá teplo, které v sobě akumuluje. Plynné chladivo s akumulovanou energií a nízkém tlaku, je přivedeno do kompresoru a celý cyklus se opakuje. [2, 8]



Obrázek 1.1: Diagram cyklu tepelného čerpadla [9]

1.2 Hlavní komponenty

1.2.1 Chladivo (chladící médium)

Většinou se nenachází mezi rozhodující parametry při výběru TČ, více pozornosti věnujeme topnému faktoru nebo ceně. Je to termodynamické médium, které hraje stěžejní roli při výměně tepla u chladících zařízení i TČ. Chladivo vstřebává energii z okolí za nízkého tlaku a teploty, následně je schopné tuto energii uvolnit během kondenzace za vyššího tlaku a teploty.

Chladivo by mělo splňovat několik hlavních parametrů. Mělo by být nezávadné pro životní prostředí a také pro člověka. Důležitá vlastnost a podstata funkce jsou dobré termodynamické vlastnosti. Dále by látky použité jako chladivo neměly být žíravé. Ideální chladivo má všechny tyto vlastnosti, tato skutečnost se zatím v praxi jeví jako nereálná. Prakticky používaná chladiva se snaží těmito kritériím co nejvíce přiblížit. [10]

Trendem posledních let bylo využití především směsí fluorovaných uhlovodíků (HFC) typicky R134a, kvůli zátěži na životní prostředí se od nich upouští a přechází se na tzv. chladiva čtvrté generace, jimiž jsou hydrofluoroolefiny (HFO). [11]

Zavedený způsob, jak hodnotit chladiva a jejich dopad na životní prostředí je potenciál globálního oteplování GWP, z anglického Global warming potencial. Tato zavedená jednotka

je definována jako násobek množství energie schopné být uschováno v 1 tuně plynu, v porovnání s 1 tunou plynu CO₂. Období, se kterým se většinou kalkuluje, je sto let. [12]

1.2.2 Kompresor

Stlačuje plyny a páry především vzduchu a chladiv, na tento úkon spotřebovává práci. Kompresory často nacházejí uplatnění v cyklech tepelných strojů, dochází v nich k termodynamickým dějům, jako jsou různé typy komprese a expanze.

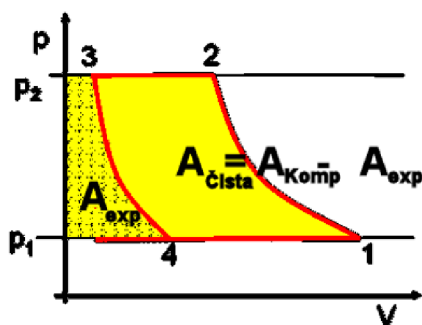
Dvě hlavní skupiny kompresorů jsou objemové a rychlostní. Objemové kompresory se dále dělí na pístové, membránové, šroubové a s rotačním pístem nebo deskou. Rychlostní kompresory rozdělujeme na rotační lopatkové kompresory (turbokompresory), proudové kompresory a další. [2]

Následně jsou podrobněji popsány typy kompresorů používané v TČ.

Pístový kompresor

Píst, upevněný přes ojnici ke klikové hřídeli, ve válci stlačuje plyn chladiva. Ventily jsou samočinné a otevírají se pouze rozdílem tlaků mezi potrubím a komorou válce. Mohou mít osazeny pružinami, které pomáhají se zavíráním ventilů. Princip činnosti pístového kompresoru bude vysvětlen na ideálním jednostupňovém kompresoru.

Plyn je nasáván při nízkém tlaku p_1 s otevřeným sacím ventilem (děj 4-1). Po sání dojde k uzavření sacího ventilu a nastává komprese na vyšší tlak p_2 (děj 1-2), tímto tlakem je otevřen výtlačný ventil a plyn je tlačěn do potrubí mimo kompresor (děj 2-3). Cyklus je uzavřen otevřením sacího ventilu a poklesem tlaku na p_1 (děj 3-4).



Obrázek 1.2: p - V diagram pístového kompresu [8]

Není možné zkonstruovat kompresor bez škodlivého prostoru, což je objem mezi hlavou válce a pístem v horní úvrati, čím větší je tento škodlivý objem, tím menší je účinnost kompresoru. Jelikož při sání nejprve expanduje plyn ve válci a až poté plyn otevřeným sacím ventilem. Zmenšuje se sací zdvih a kompresor nenasaje takové množství plynu jako v ideálním případě. Práce potřebná pro kompresy je tedy zmenšena o práci spotřebovanou na škodlivý objem plynu, který je stlačován. [2, 8]

Pro tepelná čerpadla se používají v uzavřeném provedení, motor a kompresor společně v jedné nádobě. Pokud je kompresor oddělen od motoru, jedná se o tzv. otevřené provedení.

Výhodou TČ s pístovým kompresorem je nízká cena, avšak nevýhod je mnoho, nižší topný faktor, vibrace a s nimi spojená hlučnost. Vysoký počet pohyblivých částí zapříčiňuje také nižší životnost oproti ostatním typům. [13]

Rotační kompresor

Excentricky umístěný válcový píst se pohybuje po obvodu komory rovněž válcového tvaru. Sací a výtlačná část je rozdělena pomocí přepážky. Přítlak je zajištěn pomocí pružiny. Tyto kompresory mají podobné vlastnosti jako předešlý typ. Jejich cena je nižší, je však vykoupena menším topným faktorem, životností i účinností čerpadla. [13]



Obrázek 1.3: Rotační kompresor s válcovým pístem [13]

Dvojitý rotační kompresor

Použitím dvou válcových pístů nad sebou, excentricky umístěných naproti sobě, dochází ke snížení vibrací a s tím spojeného opotřebování na minimum. Dalším benefitem tohoto uspořádání je jednodušší mazání stroje, jelikož je komora kompresoru umístěna pod elektromotorem. Moderní rotační kompresory jsou kompaktnější a mají vyšší topný faktor než kompresory Scroll, jsou také velice tiché. Regulací otáček motoru, pomocí frekvenčního měniče, lze také plynule měnit výkon kompresoru. [14]

Scroll kompresor

Původ tohoto provedení se datuje na počátek 20. století. V pracovním prostoru se nachází dvě spirály vložené do sebe. Jedna obíhá excentricky okolo nepohyblivě upevněné druhé spirály. Plyn je nasáván na okrajích spirál a je stlačován směrem do středu, přičemž mediu roste tlak i teplota. Ze středu vede výtlačná trubka odvádějící stlačené medium dále.

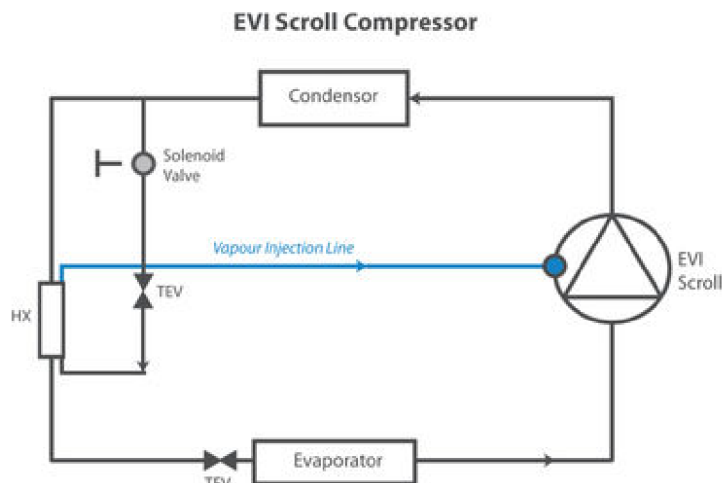
Spirály jsou konstantně mazány, mazivo zabraňuje uniku stlačovaného media. Pro provoz tohoto kompresoru jsou zásadní neměnné otáčky, při nízkých otáčkách dochází k nedostatečnému mazání a opotřebení, které vede ke snížení životnosti stroje. [10]

Tento typ byl v průběhu let několikrát modifikován k optimálnímu a tichému chodu, nízkým nákladům na údržbu, vyšší efektivitě, při snižování spotřeby elektrické energie.

EVI Scroll Kompresor

Zkratka EVI neboli economic vapor injection, je používána pro kompresory Scroll, do kterých je vstříkována část chladiva, které je v kapalně podobě odebíráno za kondenzátorem, tato část chladiva prochází přes expanzní ventil, ve kterém dojde ke snížení tlaku, chladivo je tedy odpařeno a ochlazeno. Takto upravené chladivo prochází přes tepelný výměník, kde mu zbylé kapalně chladivo odevzdá energii. Dojde tedy k podchlazení kapalně části, s čímž jsou spojeny následné benefity, a to sice zvýšení kapacity až o 50 %, nadále můžeme pozorovat i zvýšení efektivity až o 20 %.

Páry vstříkované do kompresoru udržují stálou teplotu výtlačku. Prodlužují životnost kompresoru tím, že zajišťují chlazení. Nevýhodou je větší mechanické opotřebení při vstříkávání chladiva i vyšší příkon potřebný pro pohon tohoto kompresoru. Energetická účinnost však i přes to zůstává vyšší než u obyčejného Scroll kompresoru. [13, 16]



Obrázek 1.4: Schéma funkce TČ používající EVI Scroll kompresor [17]

Digital Scroll kompresor

Tato konfigurace je schopna upravovat množství vytlačovaného chladiva pomocí počítače. Respektive signálu ovládající elektromagnetický ventil, ten je periodicky (20 s) otevírán a zavírán v intervalech potřebných k dosažení procentuálního výkonu kompresoru, intervaly, kdy je ventil otevřen a kompresor pracuje nebo naopak uzavřen a ke kompresi nedochází, se budou lišit s aktuální potřebou chlazení či vytápění.

Mechanismem umožňujícím regulaci výtlaku je axiálně pohyblivá pevná spirála. Pohyb této spirály je zajištěn pomocí rozdílů tlaků, ovládaný zmiňovaným elektromagnetickým ventilem. Hlavními výhodami jsou zejména velice přesná regulace teploty v řádech desetin stupňů a také nižší opotřebení součástí, v neposlední řadě pak odstranění opakovaného spouštění motoru kompresoru. Nevýhodou je energetická efektivita, která klesá z důvodu stále se točícího motoru, ale výtlak probíhá pouze při přitlačení spirál k sobě. [17, 18] [19]

1.2.3 Expanzní ventil

Funkcí expanzního ventilu je snížení tlaku kapalného chladiva, než vstoupí do výparníku. Dále rozděluje systém TČ na vysokotlakou a nízkotlakou část. Dále mění průtok v závislosti na okamžitém výkonu TČ.

Hlavními dvěma typy, které jsou v současnosti používány, jsou termostatické expanzivní ventily (TXV) a elektronicky řízené expanzní ventily (EXV). Typů existuje více, avšak tyto převažují, nyní bude popsána jejich konstrukce, způsob fungování a také jejich výhody či omezení. [20, 21]

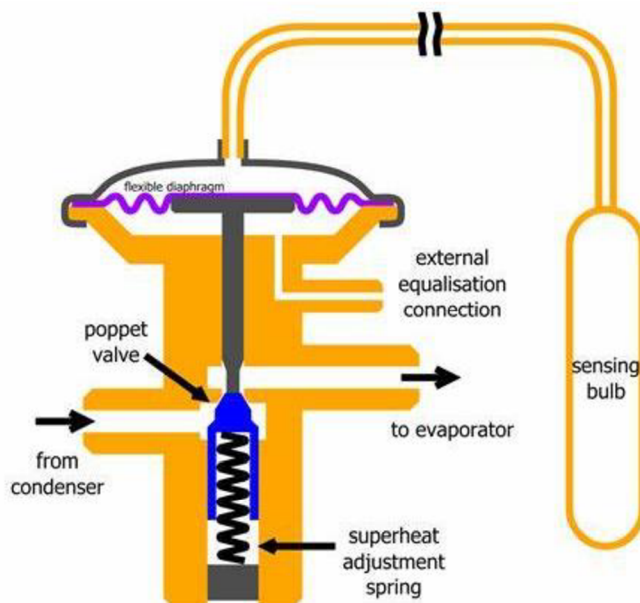
Termostatický expanzní ventil

Termostatický ventil funguje na základě rozdílných tlaků a teplot. Hlavními komponenty TXV jsou: tělo ventilu se vstupním a výstupním otvorem, kapilární trubice, která je z jedné strany spojena se snímací baňkou a z druhé strany k vrchní části ventilu. Zde se nachází pružná membrána, na kterou navazuje jehla vedoucí tělem ventilu až k čepu, který slouží jako uzavírací člen ventilu, pružina zprostředkovává správné uzavírání ventilu.

Jelikož funkce TXV je nejen snížení tlaku chladiva ale také regulace teploty par za výparníkem, potřebuje ovládací mechanismus, ten se sestává ze snímací baňky kapilární trubice a pružné membrány, v prostoru těchto komponent je umístěno chladivo. Snímací baňka je umístěna na výstupní potrubí výparníku, pokud v potrubí za výparníkem proudí přehřáté vypařené chladivo, tak se díky vysoké teplotě zvýší také tlak v baňce a bude tedy působit na membránu, která se prohne a posune jehlu, a ta bude na čep působit větším tlakem než pružina.

Tím dojde k otevření ventilu a proudění chladiva. Důsledkem je proudění většího množství chladiva přes výparník. Větší objem chladiva již není schopen dosáhnout stejné teploty. Nižší teplota má za důsledek pokles tlaku na membránu, což způsobí přivření nebo úplné uzavření expanzního ventilu. Dochází tedy k regulaci průtoku a také TXV funguje jako ochrana kompresoru proti kapalnému chladivu, které by ho mohlo poškodit či vyřadit z provozu.

Přehřátí par za výparníkem je možné dále regulovat pomocí šroubu, utažením se stlačí pružina a bude působit větším tlakem na čep. Tlak na membránu potřebný pro otevření ventilu tedy také vzroste. Teplota za výparníkem tedy vzroste též.



Obrázek 1.5: Termostatický expanzní ventil [22]

Mezi nevýhody tohoto provedení lze brát složité nastavení pro správný a ekonomický chod TČ. Více pohyblivých částí, které jsou součástí hlavního okruhu chladiva, s tím spojená možnost úniku chladiva díky netěsnosti. Z ekologického hlediska toto provedení sráží také potřeba dalšího chladiva vyplňující část ventilu nad membránou. Toto zařízení je levnější a nepotřebuje ke svému provozu další elektroniku a senzory. [23, 24]

Elektricky ovládaný expanzní ventil

Nejpoužívanější technologie posledních let. Použitím elektronické řídicí jednotky, která na základě informací ze senzoru tlaku a teploty, vyhodnocuje přehřátí chladivové páry. Z takto získaných dat posílá signál do krokového motoru, který je součástí expanzního ventilu. Stator je tvořen kruhově situovanými cívkami, do kterých proudí elektrický proud a indukuje elektromagnetické pole. Jako rotor je použit permanentní magnet, který je připojen na hřídel se závitem, procházející maticí zabudovanou v těle ventilu. Na konci hřídele je umístěn čep s hrotem, který uzavírá ventil. Pomocí elektrických signálů vysílaných do statoru, lze vzniklým elektromagnetickým polem otáčet rotorem, respektive čepem, a tak nastavovat přesný průtok chladiva.

Tento systém je velice přesný a responzivní. Stator a elektronická část krokového motoru je umístěna mimo expanzní ventil, pro jeho výměnu není potřeba zásahu do chladicího oběhu, nehrozí tak únik chladiva. Výhodou konstrukce je minimum pohyblivých částí, což výrazně prodlužuje životnost a velice kompaktní provedení, proti TXV.

Jelikož je systém ovládan řídicí jednotkou, která dostává signály od snímače tlaku a také teploty, pořizovací náklady jsou vyšší než u TXV. Avšak EXV dosahují lepších výsledků při

provozu TČ, díky rychlejší adaptaci expanzního ventilu na potřeby TČ, šetří tak energii potřebnou pro provoz kompresoru a zvyšuje topný faktor. [25, 26]

1.2.4 Kondenzátor

Kondenzátor je tepelný výměník, ve kterém probíhá výměna tepla mezi přehřátými parami chladiva a topnou vodou nebo okolním v systému vytápění domu či komerčních prostor. Páry chladiva mění skupenství a jsou podchlazeny. Většina tepla předávaná vodě je ze změny skupenství, jedním z parametrů pro výpočet kondenzátoru je kondenzační teplota. [27] Pro kondenzátor je obvyklejší provedení chladivo-voda. Nejpoužívanější výměník je deskový, ten je tvořen vrstvením nerezových desek na sebe, které jsou pájeny k sobě pomocí mědi. Toto uspořádání vytvoří kanálky pro chladivo a vodu. Počet desek je závislý na potřebách TČ. Ve kterých dochází k přenosu tepla. Desky jsou tvarovány pro optimální přenos tepla, většinou šípový design, kde vrcholový uhel šípu určuje výkon výparníku. Nespornou výhodou je minimální nutná údržba. Dále mají oproti jiným typům vysoký koeficient přenosu tepla, mohou být tedy kompaktnější a učenější. Nevýhodou jsou tlakové ztráty ve výměníku, které je třeba kompenzovat vyšším výkonem dodávaným čerpadlu pro cirkulaci kapalin. [28]

Dalším poměrně používaným typem tepelného výměníku používaného v TČ, je hliníkový výměník s mikro kanálky inspirovaný oblastí automotive.

Odlišné jsou výměníky pro předávání tepla mezi dvěma medii s velmi odlišným koeficientem prostupu tepla, například vzduchu a chladiva, kdy vzduch má výrazně nižší koeficient, používají se tzv. Tube – finn výměníky viz Obrázek 1.6. Jedná se o měděné trubice malého průměru, na které jsou pro zvětšení plochy umístěny plechy, které mohou být pro další zlepšení přenosových vlastností zvlněny nebo perforovány. Trubicemi proudí chladivo, kterému je odebíráno teplo, to ohřívá vzduch. Pro zvýšení výkonu je vzduch výměníkem hnán pomocí ventilátoru. Existují i další typy. Které však u TČ nejsou tak hojně využívány. [29]



Obrázek 1.6: Tube-finn tepelný výměník [30]



Obrázek 1.7: Deskový tepelný výměník [31]

1.2.5 Výparník

Je konstrukčně velmi podobný kondenzátoru. Funkcí je opět transfer tepla, nyní však nízkoteplotní chladivo, které prošlo přes expanzní ventil přijímá teplo z okolí, ať už vzduchu, vody, či odpadní vody s lehce vyšší teplotou. Výparná teplota se obvykle pohybuje okolo 0 °C, záleží však na podmínkách a nastavení. Pro menší instalace je možné použití klasického deskového výměníku, u větších výkonů, kde je potřeba více desek ve výměníku, je zapotřebí systému pro rovnoměrnou distribuci chladiva, v opačném případě by chladivo proudilo pouze nejbližšími deskami a docházelo neoptimálnímu fungování výparníku, začalo by docházet k namrzání a také by se nemuselo veškeré chladivo odpařit. Neodpařené chladivo by se mohlo dostat do kompresoru, což by mohlo vést k jeho zničení. [27]

Nejčastěji používané výparníky jsou konstrukčně stejné jako kondenzátory, jedná se o stejné tepelné výměníky.

1.2.6 Další komponenty používané v TČ

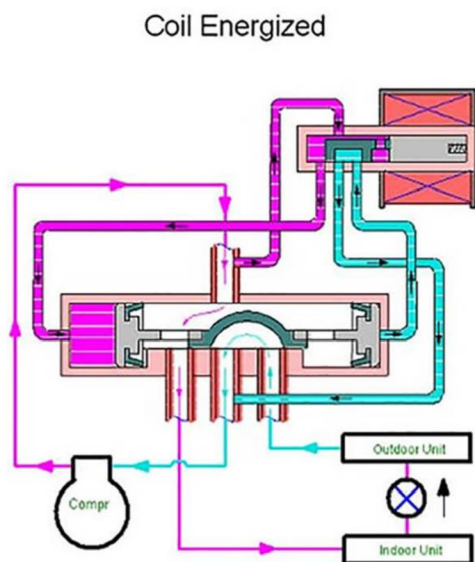
Tyto komponenty nejsou nezbytně nutné pro fungování TČ. Jejich použití však může zlepšovat funkci výkonu TČ. Pomáhají k regulaci a řízení, a dále také napomáhají k bezproblémovému chodu a prodloužení životnosti tepelného čerpadla. Některé tyto komponenty mohou zlepšovat také údržbu TČ a případné opravy.

Čtyřcestný ventil

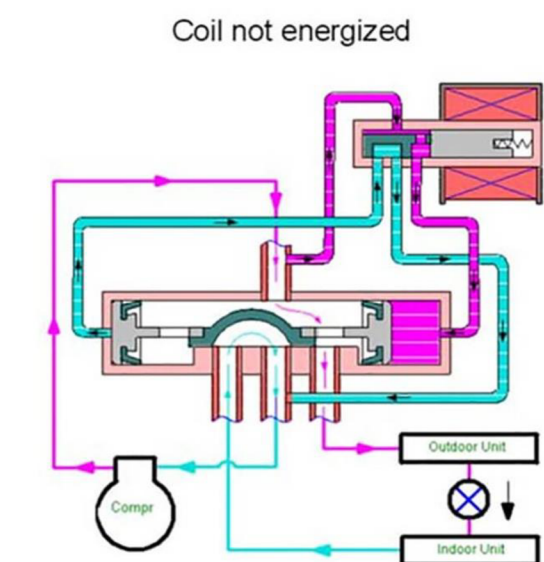
Obrací směr proudění chladiva v okruhu, a tím přepíná mezi chlazením a vytápěním. Tohoto stavu je také možné využívat při odmrazování výparníku.

Ventil má čtyři vstupy, jeden, do kterého vždy proudí vysokotlaké chladivo na jedné straně a tři na straně druhé, kdy zpravidla prostřední vstup bývá sání nízkotlakého chladiva.

Vstupy po bocích od prostředního, mohou být podle nastavení čtyřcestného ventilu, jak na straně sání, tedy nízkotlaké části okruhu, tak na vysokotlaké straně okruhu, obvykle za kompresorem. Na vysokotlakém i nízkotlakém vstupu jsou umístěny kapilární trubice, dále jsou také na obou stranách ventilu, vedou k solenoidovému ventilu, který v závislosti na aktuální poloze určuje, zda bude tepelné čerpadlo chladit nebo topit. Na obrázku Obrázek 1.8 je solenoidový ventil zapnutý a vysokotlaké chladivo se dostává kapilárou do levé části FWV a vnitřní část je tlačena doprava, vysokotlaké chladivo se tedy dostává do vnitřní jednotky, v tomto případě fungující jako kondenzátor, venkovní jednotka má funkci výparníku. Přívod z venkovní jednotky je pomocí vnitřního členu ventilu spojen se sáním. Při odpojení solenoidového ventilu dojde k posunutí čepu viz Obrázek 1.9. Nyní je vysokotlaké chladivo vedeno do pravé části ventilu a vnitřní člen je posunut doprava. Následkem toho dojde k reverzaci TČ do chladicího modu. Vysokotlaké chladivo je vedeno do venkovní jednotky. Z vnitřní je pak vrací přes ventil do sání, jak je znázorněno na obrázku Obrázek 1.9. V tomto případě je vnější jednotka kondenzátor a vnitřní výparník. [32, 33]



Obrázek 1.8: čtyřcestný ventil v topném režimu [32]



Obrázek 1.9: čtyřcestný ventil v chladicím režimu [32]

Filtrdehydrátory

Toto zařízení zbavuje systém nečistot, které se zachytí v sítku, může se jednat o rez či nečistoty zanesené do systému při montáži. Dále pomocí molekulárního síta zbavuje chladivo a celý okruh vlhkosti, ta je nežádoucí, protože s chladivem může tvořit kyseliny, které zkracují životnost TČ. Pro systém, který je reverzibilní je nutné použít tzv. bi-flow filtrdehydrátory, které umožňují zachytávání nečistot oběma směry, bez toho, aniž by při reverzaci unikly nečistoty zpět do okruhu. [34, 35]

Presostaty

Tlakový spínač, který je možné nastavit na konkrétní tlakové rozmezí, v případě jeho překročení, dojde k odpojení kompresoru. Možné dělení konstrukčně stejných presostatů vyplívá z nastaveného rozsahu tlaků na sací a výtlačné.

Překročí-li tlak mezní hodnotu (obvykle 2,5MPa) dojde k vypnutí kompresoru. Při snížení výparné teploty zapříčiněné, například nefunkčním ventilátorem nebo zastavením cirkulace vody při poruše oběhového čerpadla, dojde k odpojení čerpadla. Stejný jev nastává i při uniku chladiva.

Průhledítko

Plní kontrolní funkci, umožňuje nahlédnutí na tok a čistotu chladiva, dále průhledítka obsahují ciferník s barevnou stupnicí, okolo stupnice je nanášena chemikálie měnící barvu v závislosti na výskytu vlhkosti v chladivovém okruhu. [36]



Obrázek 1.10: Průhledítko [37]

Sběrač chladiva

Jednoduché zařízení na skladování kapalného chladiva, dalším využitím je odlučování bublin ze systému, což je nezbytné pro správný chod TČ. Do horní části vstupuje kapalně chladivo obsahující bublinky, ode dna, kde je již pouze kapalina se chladivo odebírá. [38]

Elektromagnetický ventil

Bývá umístěn před TEX a zamezuje přívodu chladiva do kompresoru při jeho odstavení. [39]

2 Nízkopotencionální zdroje tepla

Za nízkopotenciální energie je označována energie s nízkou teplotní hladinou, která je získávána ze vzduchu, vody nebo země. Nadále lze využít i odpadní tepelnou energii ze vzduchotechniky, popřípadě spalin.[40, 41]

V této kapitole budou popsány možné způsoby získávání této energie, nadále budou popsány výhody konkrétních provedení spolu s jejich úskalími.

2.1 TČ vzduch-voda

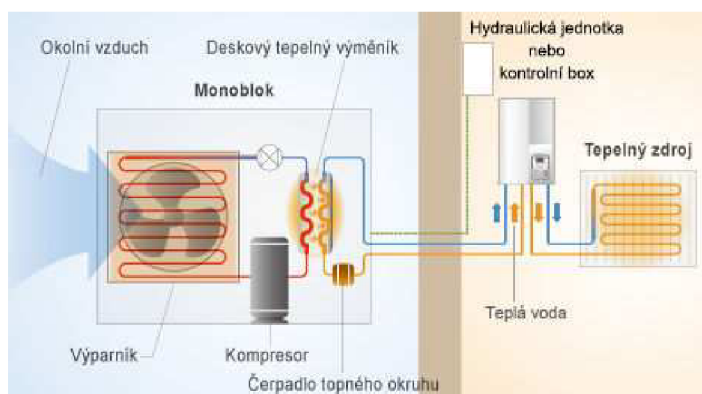
Tento typ čerpadla využívá jako zdroj tepla okolní vzduch, který je většinou vhnán či nasáván pomocí ventilátoru do prostoru výparníku. Tento typ je v ČR nejrozšířenější. Provoz tohoto TČ se dá dále dělit na dvě hlavní provedení.

Mezi výhody tohoto provedení patří jednoduchá a rychlá instalace v porovnání s ostatními typy TČ. Dále je také možné využívat TČ v letním období jako chlazení. Nesporná výhoda je také malá zástavbová plocha, jelikož není potřeba velkého pozemku.

TČ typu vzduch-voda je vyšší spotřeba el. energie v porovnání s typem země voda. S nižší teplotou venkovního vzduchu klesá účinnost TČ, protože je zvětšuje teplotní rozdíl mezi teplotou topné vody a teplotou chladiva. Provoz tohoto typu je tedy omezen mrazem okolo hodnoty $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Není tedy vhodný pro horské oblasti. V České republice je však omezení minimální. [42, 43]

2.1.1 Monoblok

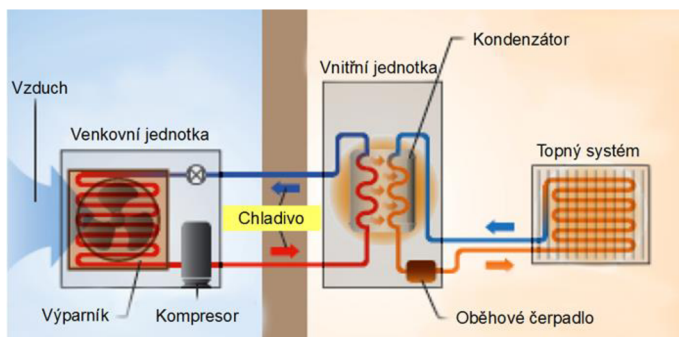
Tento typ má všechny komponenty TČ ve venkovní části, z níž je trubkami vedená již topná voda. Výhodou je menší množství chladiva proudící v systému, který je zároveň kompaktnější. Výhodou je také jednodušší instalace, kdy není zapotřebí manipulace s chladivem, to je do chladicího okruhu plněno již při výrobě. [43]



Obrázek 2.1: TČ vzduch–voda typ monoblok [44]

2.1.2 Split

Podobně jako provedení monoblok, je rovněž většina chladicího okruhu umístěna ve vnější části TČ, až na kondenzátor, ten je umístěn ve vnitřní části. Vzniká zde potřeba chladicí okruh uzavřít a naplnit chladivem až při instalaci, kterou musí provádět autorizovaná osoba, či společnost. [45]



Obrázek 2.2: TČ vzduch–voda typ split [46]

2.2 TČ země–voda

Tato metoda usiluje o co nejefektivnější využití geotermální energii naší Země. Efektivita, a tedy i COP těchto TČ je vyšší, než u TČ vzduch–voda. Nevýhody jsou vyšší náklady na pořízení spojené s potřebou zemních prací, tyto faktory zapříčiňují, že tento typ není příliš hojně využíván.

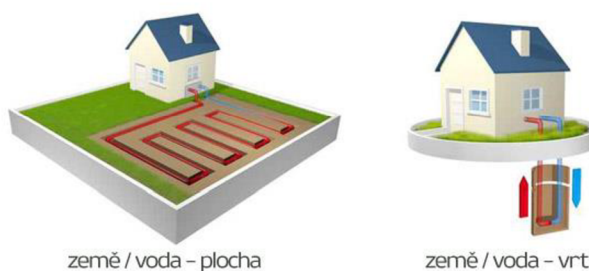
Existují tři hlavní typy se spoustou specifik, avšak rozdělovány jsou podle umístění kolektorů, na horizontální (povrchové) a vertikální (hloubkové vrty), třetí možností je kombinace předešlých dvou možností tzv. horizontálně vertikální. [47]

Hlavními charakteristikami určujícími, zda jde o dobře volené řešení, celkovou účinnost a v poslední řadě rozměrové vlastnosti kolektoru jsou:

- Tepelná vodivost podloží (závisí na složení zeminy a také na vlhkosti)
- Hustota
- Specifické teplo
- Tepelná kapacita

Podle hloubky pod povrchem je podloží rozděleno na tři zóny:

1. Povrchová zóna, která většinou dosahuje hloubky přibližně 1 metru. Teplota zeminy je v krátkých časových intervalech ovlivňována změnou počasí a teploty.
2. Mělká zóna navazující na povrchovou zónu sahající od 1 m do 8 m v případě suchých lehkých zemin, u vlhkých těžkých zemin dosahuje až 20 m. Zde je teplota zeminy téměř stabilní. Teplota přibližně odpovídá průměrné roční teplotě vzduchu. Výkyvy teploty zeminy souvisí především na ročních obdobích.
3. Hluboká zóna se vyznačuje hloubkou vyšší než 8 m až 20 m. Teplota je konstantní a s rostoucí hloubkou roste rychlostí přibližně 1 K/30 m. [48, 49]



Obrázek 2.3: TČ země–voda [50]

2.2.1 Plošné kolektory (horizontální)

Kolektor je tvořen plastovými hadicemi o průměru 20–40 mm uspořádanými různým způsobem do uzavřené smyčky, následně vedené do TČ. Tento okruh se umísťuje do země v hloubce 0,8 až 1,5 m. V potaz by měla být vzata hloubka promrzání a také sezónní podíl sněhové pokrývky. Pro toto provedení je zapotřebí velkého nezastavěného prostoru, kde bude potrubí uloženo.

Délka potrubí se odvíjí od potřebného výkonu TČ a také od složení půdy a její specifické tepelné energii, kterou je možné zemině odebrat.

Kolektory je možné rozdělit také podle počtu použitých trubek, při použití pouze jedné trubky je zástavba největší. Použitím více trubek, většinou 2 nebo 4 zakopaných ve větší hloubce, než uváděných 1,5 m pro jednu trubku, může snížit potřebnou plochu, celková délka trubek je však větší, aby nedocházelo k termální interferenci mezi trubkami, nacházejícími se vedle sebe v jednom výkopu. Plošně nejvýhodnější se ukazuje být spirálový způsob uložení. Obr. 12 kdy je spirála z trubek malého průměru položena do výkopu. Je možné položení více takových spirál vedle sebe v dostatečných rozestupech, alespoň 1,2 m od sebe. Délka trubky jedné spirály může být až 200 m.

Výhodou je nižší cena instalace, oproti vertikálním vrtům. [47, 48]



Obrázek 2.4: spirálový kolektor pro TČ země voda [51]

2.2.2 Hloubkové vrty (vertikální)

Nejpoužívanější kolektor pro typ země – voda. Tepelný výměník je tvořen dvěma polyethylenovými trubkami, většinou o průměru 25–40 mm, které jsou tepelně spojovány. Spojovací díl je tvaru U a trubky tedy vytváří uzavřený okruh.

Běžné hloubky vrtů o průměru 100 až 200 mm bývají 60–90 metrů, mohou být kratší v důsledku nevhodného složení půdy. V jiných případech, mohou dosahovat i 150 m, zde je zapotřebí dbát zvýšené opatrnosti. Výhodou hloubkových vrtů, je malá zástavbová plocha, kolektor odjímá energii z celoročně velmi tepelně stabilního zdroje. Ve srovnání s horizontálními kolektory, dochází k úspoře trubek. Dosahují také nejvyšších COP ze všech zmíněných typů. Před začátkem vrtání by měla být provedena geologická analýza k určení podzemních vrstev a přesné kapacity kolektoru. Vrtání a samotná montáž musí být provedena licencovanou firmou.

Kolektory se mohou dále rozdělovat podle uspořádání. Dvěma hlavními typy jsou již zmiňované U – trubky, tato kompozice může zahrnovat až desítky vrtů v závislosti na požadovaném výkonu, kde v každém vrtu bude umístěna jedna U-trubka. V Evropě se hojně využívají souosé trubky, buďto jako dvě trubky o rozdílných průměrech umístěných do sebe, nebo v komplexnějších provedeních. Po umístění kolektorů se vrty opět zasypou speciálním materiálem (maltou), aby se zamezilo případné kontaminaci podzemní vody. [47, 49]

2.3 Voda-voda

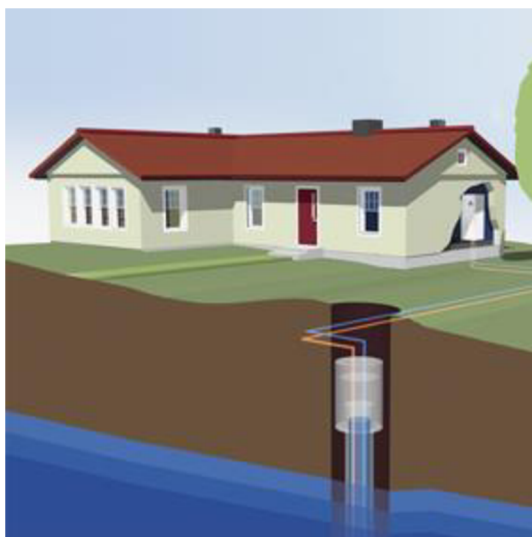
Jedná se o další druh TČ, který je často zařazován pod geotermální TČ, protože kolektory získávají energii z planety Země. Teplo je získáváno z vody. Existuje více druhů vodních mas, ze kterých je možné energii získávat. Mezi využívané vodní masy patří podzemní voda v podobě termálních pramenů nebo studen, druhou možností jsou kolektory umístěné do povrchových vod, jako jsou jezera, řeky, či oceán. [42]

2.3.1 Podzemní voda

Podzemní voda je velice dobrým zdrojem nízkopotencionálního tepla, teplota je pod povrchem velmi ustálená, může docházet ke kolísání způsobené klimatem a ročními obdobími. Náklady, na zhotovení studny nebo více studen, jsou ve srovnání s hloubkovými vrty levnější, a to z důvodu dostupnější techniky a firem zhotovujících tyto práce. Tento systém je složitější na údržbu, neošetřené vody mohou způsobovat korozi systému.

Tepelné čerpadlo získává z vody energii, která je předávána chladivu v tepelném výměníku. Voda dále odchází ze systému pryč do jiné či stejné studny. Jedná se tedy o takzvaný otevřený okruh. Existují tři možné způsoby, jak provést zapojení potrubní instalace k omezení koroze a taky předejití uniku chladiva. Široce používaný systém pracuje s centrálním výměníkem voda-voda, umístěným mezi otevřeným okruhem, kterým protéká spodní voda a uzavřeným okruhem s vodou, následně je tento uzavřený okruh spojen s tepelnými čerpadly. Druhou možností je napojení otevřeného okruhu přímo na tepelné čerpadlo, instalace je levnější a jednodušší. Není potřeba druhý tepelný výměník a také je jednodušší instalace potrubí. Nevýhodou je však možnost většího opotřebení částí čerpadla, díky korozi a snížení životnosti čerpadla a ventilů. Převážně používané pro menší instalace. Třetí možností je provoz jednoho centrálního tepelného čerpadla, které dále vytápí objekt konvenčními metodami.

Tento typ TČ je vhodný především pro větší objekty, kde je údržba jednodušší. Nevýhodou mohou být environmentální regulace které, zamezují výstavbě. Výskyt spodní vody je také limitujícím faktorem při výstavbě TČ. [47, 48]



Obrázek 2.5: Studna podzemí vody [52]

2.3.2 Povrchová voda

Jedná se o principiálně podobnou technologii jako u kolektorů pro pozemní vodu. V povrchových vodách, jako jsou jezera, řeky a jiné větší masy vody, mohou být umístěny kolektory. Systémy mohou být, jak s otevřeným oběhem, tak s uzavřeným, jelikož jsou povrchové vody poměrně odlišné od podzemních, tak jsou možné i speciální aplikace.

U systému s uzavřeným okruhem je TČ připojeno k potrubí, kterým protéká nemrznoucí kapalina. Čerpadlo cirkuluje tuto kapalinu přes cívku, která je ponořena pod vodou, a je vyrobena z polyethylenu o vysoké hustotě a je chráněna proti degradaci UV zářením. Obvyklý průměr trubky bývá 25 mm nebo 30 mm. V místech, kde hrozí poškození vnějšími vlivy např. lodí je možné použít trubky o větší tloušťce stěny. Mohou být použity i jiné typy plastů nebo měď. Cívky jsou většinou umístovány do paralelních zapojení k minimalizování tlakových ztrát. Druhou možností provedení kolektoru je platový tepelný výměník, vyrobený z nerezové oceli či titanu. Hlavní výhodou je menší zástavbová plocha.

Vodní kolektory s uzavřeným okruhem jsou v porovnání se zemními kolektory levnější. Systém je velice spolehlivý bez větších nároků na údržbu a provoz. K výstavbě je potřeba povolení. Nevýhodou může být také poškození kolektorů ve veřejných jezerech či řekách. V případě, že vodní masa není dostatečně velká a hluboká, může docházet ke kolísání teploty vody v průběhu roku, což může nepříznivě ovlivňovat funkčnost a COP TČ.

Systémy s otevřeným okruhem (open loop) jsou podobné jako u vodních studní. Voda je čerpaná přes tepelný výměník, který je napojen na uzavřený okruh, ten je dále připojen k TČ. Lze provozovat také přímé zapojení, kterého je využito hlavně u menších objektů. [47–49]

3 Návrh tepelného čerpadla

Návrh tepelného čerpadla, je uvažován pro třípodlažní rodinný dům, s podlahovou zástavbou 108 m² (9x12 m). Objekt se nachází na Vysočině v blízkosti Jihlavy. Současný způsob vytápění je kombinace kotle na tuhá paliva pro vytápění a plynového kotle na ohřev TUV. Při výpočtu není uvažován prostup tepla západní stranou objektu, jelikož navazuje na sousední objekt.

Při návrhu TČ je třeba brát v potaz mnoho faktorů. Mezi nejdůležitější faktory patří tepelné ztráty objektu. Tyto ztráty objektu mohou být u novějších staveb zahrnuty již v projektové dokumentaci daného objektu, tyto ztráty počítá projektant nebo energetický specialista. Pokud tepelné ztráty nejsou v projektu uvedeny, je možné je pomocí měření zjistit, toto měření provádí specialista. Dále je možné tepelné ztráty určit pomocí výpočtu, který je poměrně složitý a vychází z normy ČSN EN 12831, která nahradila stále v praxi využívanou normu ČSN 06 0210.

Pro orientační výpočet lze využít softwarové online kalkulačky tzb-info.cz [53], do kterých je třeba zadat co nejpřesnější data, jako například plochy zdí, oken a dveří, celkový objem objektu následně koeficienty prostupu tepla zdí, oken a dveří, v neposlední řadě také způsob větrání. Všechny tyto informace by se měly nacházet ve stavební dokumentaci, koeficienty prostupu tepla lze zjistit také u výrobce daného prvku. Objem objektu lze dopočítat z rozměru budovy.

Velkou roli při výpočtu tepelných ztrát hraje také rok stavby. Jelikož se materiály, z kterých se domy staví neustále mění, a je také dbán větší důraz na odpovídající zateplení budovy, které dokáže snížit tepelnou ztrátu až o třetinu, v souvislosti právě s tepelnými úsporami, potažmo s úsporami za vytápění.

3.1 Výpočet tepelných ztrát

Tepelné ztráty vypočtené společností PROTECH s.r.o. v roce 1999 činí $Q_{\text{proj}}=18552$ W, tento údaj nebude odpovídat aktuálním ztrátám, jelikož v průběhu let došlo k zateplení budovy a výměně oken. Dále došlo také k zateplení střechy. Snížení tepelných ztrát těmito úpravami je nutné vypočítat a odečíst od projektem stanovených tepelných ztrát, jelikož mohou být tyto úspory poměrně významné.

3.1.1 Snížení tepelných ztrát výměnou oken

V letošním roce proběhla výměna oken ve zmiňovaném objektu, původní dřevěná okna, která byla zdvojená, mají podle normy součinitel prostupu tepla $k = 2,4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ [54], nová okna jsou ztrojená a dle hodnot udávaných výrobcem, je součinitel prostupu tepla výrazně nižší a to $k = 0,67 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ [55]. V projektu je uveden výpis oken v budově, jejich plocha činí 33,62 m². Po dosazení těchto hodnot do online kalkulačky, dostaneme hodnoty tepelných ztrát před a po výměně oken, rozdíl těchto hodnot je hodnota, o kterou bude snížena tepelná ztráta objektu. Tato hodnota je $Q_0=3157$ W.

Tabulka 1: Úspora tepelné ztráty výměnou oken

	teplota v místnosti	plocha oken	součinitel prostupu tepla	tepelná ztráta
	t [°C]	S [m ²]	k [$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$]	Q [W]
stará okna	20	33,32	2,4	4121
nová okna			0,67	946

3.1.2 Snížení tepelných ztrát zateplením domu

V průběhu let došlo k zateplení severní a východní strany domu, toto zateplení bude mít kladný vliv na snížení tepelných ztrát objektu. Z projektové dokumentace vyplývá, že zdvo obvodových zdí je porotherm 44. Potřebné informace nutné pro výpočet součinitelů prostupu tepla a následně tepelných ztrát jsou uvedeny viz Tabulka 2. Z výpočtů vyplývá, že tepelné ztráty jsou sníženy u severní zdi o 134 W a u východní o 235 W viz Tabulka 2. Celková úspora tedy činí $Q_z=369$ W.

Tabulka 2: Úspora tepelné ztráty zateplením

		šířka polystyrenu	šířka zdi	teplota v místnosti	plocha	součinitel prostupu tepla	tepelná ztráta
		š [m]	d [m]	t [°C]	S [m]	$U [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Q [W]
severní strana	bez zateplení	-	0,44	20	29,63	0,29	344
	zateplení	0,08				0,18	210
východní strana	bez zateplení	-			0,29	544	
	zateplení	0,1			0,17	235	

3.1.3 Snížení tepelných ztrát zateplením střechy

Při výstavbě podkrovní, které bylo již zaneseno v projektu, bylo dodatečně zateplena střecha. Původní zateplení bylo doplněno o izolaci z minerální vaty tloušťky 10 cm. Všechny hodnoty potřebné pro výpočet pomocí online kalkulací jsou uvedeny viz Tabulka 3. V případě střechy se jedná o úsporu $Q_s=2497$ W.

Tabulka 3: Úspora tepelné ztráty zateplením střechy

		šířka izolační vaty	šířka střešních tašek	teplota v místnosti	plocha střechy	součinitel prostupu tepla	tepelná ztráta
		š [m]	b [m]	t [°C]	S [m]	$U [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$	Q [W]
zateplení	původní	0,05	0,03	20	144	0,7	3858
	Nové	0,15				0,26	1361

3.1.4 Celkové snížení tepelných ztrát

Pro určení přibližné současné tepelné ztráty je třeba odečíst výše vypočítaná úspora ztrát od projektem stanovené tepelné ztráty domu. Tímto získáme stávající tepelnou ztrátu, která bude stěžejní pro další postup, co se týče volby tepelného čerpadla.

$$Q_{vypoč} = Q_{proj} - Q_o - Q_z - Q_s \quad (2)$$

$$Q_{vypoč} = 18552 - 3157 - 369 - 2497 \quad (3)$$

$$Q_{vypoč} = 12529 \text{ W}$$

Po zhodnocení je možné konstatovat, že zateplení střechy spolu s výměnou oken, hrálo hlavní roli při snižování tepelných ztrát a také s potřebou tepla.

3.2 Volba typu tepelného čerpadla

Co se týče pohonu čerpadla, kompresorové TČ je jasnou volbou, jak z hlediska rozšířenosti a spolehlivosti, tak z hlediska ekonomického. Touto volbou je nám umožněno vybírat z široké nabídky několika firem, kompresorová tepelná čerpadla, tvoří 95 % všech čerpadel na českém trhu.

Při volbě nízopotenciálního tepla, nevyhovují tepelná čerpadla voda–voda, jelikož se u navrhovaného objektu nevyskytuje větší masa vody, není tedy možné využít povrchových vodních kolektorů, které by navíc neodpovídali potřebným výkonem a byli neekonomické. Použití studny jakožto zdroje nízopotenciálního tepla, není možné použít vzhledem k absenci spodní vody na pozemku objektu.

TČ země–voda, při použití horizontálních plošných kolektorů není vhodné, z hlediska potřeby velkých stavebních úprav a zničení stávající zahrady. Dalším faktorem, který je v neprospěch tohoto provedení, je nedostatek volné zástavbové plochy.

Tepelná čerpadla, která připadají v úvahu jsou tedy TČ vzduch–voda a TČ země–voda s hloubkovými vrty. Zde však vyvstává otázka, zda zhruba o 30 % nižší spotřeba el. energie, vyrovná vyšší náklady na pořízení spojené s potřebnými zemními pracemi v případě hloubkových vrtů. Nebo TČ vzduch–voda, bude mít lepší návratnost.

Pro volený objekt, se jako nejlepší možná volba jeví kompresorové tepelné čerpadlo vzduch–voda. Rozhodujícími faktory jsou jednoduchá montáž a instalace. Nízká pořizovací cena a rozšířenost tohoto typu TČ. Další výhodou jsou do budoucna plánované solární panely, které by nadále snižovali spotřebu elektrické energie ze sítě.

3.3 Volba tepelného čerpadla

Hlavní parametry pro volbu tepelného čerpadla byli stanoveny výše. TČ bylo vybráno z kategorie o tepelném výkonu 16 kW, jelikož jsou tepelné ztráty 12,5 kW a v zimě by kategorie 12 kW nemusela dostatečně pokrývat potřebám výroby TUV a otopné vody. Dále je třeba zvolit konkrétní produkt a výrobce, zde bude hlavním kritériem volby COP a také cena TČ, cílem bude vybalancovat tyto parametry.

Zvolené TČ je NIBE F2120-16 + SMO 40, jedná se splitové TČ, které je určeno pro tepelné ztráty do 17 kW. Vyhovuje tedy tepelným ztrátám objektu a zároveň není třeba se obávat, že při mrazech nebude dostatečně výkonné. V letních měsících je možné použít tepelné čerpadlo na ohřev bazénu, jelikož je to jedna z vlastností, kterou tento typ nabízí. Jedním z hlavních parametrů je velmi vysoké COP i pro teplotu 55 °C (SCOP dle EN 14825 při teplotě 55 °C =3,9), což je důležité zejména z toho hlediska, že rodinný dům je vytápěn pomocí radiátorů, kde je potřebná vyšší teplota pro optimální vytápění než u podlahového topení. Nibe deklaruje maximální výtlačnou teplotu kompresoru 65 °C. Další věcí hovořící ve prospěch tohoto čerpadla je funkčnost až do teplot -25 °C, poloha rodinného domu je na Vysočině, kde bývá chladněji. Toto tepelné čerpadlo nabízí i možnost chlazení, což se stávající klimatickou situací může hrát v budoucnu poměrně velkou roli. Společnost zaručuje montáž nastavení a servis. Cena tepelného čerpadla je 330 050 Kč. [56]

Při využití dotace Nová zelená úsporám je možné získat slevu až 100 000 Kč [57], náklady na pořízení by se tedy snížily na 230 050 Kč.



Obrázek 3.1: Tepelné čerpadlo NIBE F2120-16 [56]

3.4 Akumulační nádrž teplé vody

Akumulační nádrže představují způsob, jak dále snížit energetickou náročnost domu, nakládání s teplou vodou je ekonomičtější, a je také možný ohřev teplé užitkové vody (TUV). Akumulační nádrže existují ve dvou hlavních provedeních v závislosti na možnosti ohřevu TUV. Prvním typem jsou akumulční nádrže bez ohřevu TUV. Toto provedení pouze ukládá přebytečné teplo ze zdroje, není však schopno ohřívat TUV. Druhý typ umožňuje i ohřev TUV přímo v akumulční nádrži, při ohřevu kotlem na tuhá paliva není potřeba dalšího dohřevu. V případě tepelných čerpadel, či fotovoltaických systému nemusí TUV dosahovat požadované teploty, je tedy nutné dohřívát vody jiným zařízením, většinou elektrickým.

Akumulační nádrž funguje jako úschovna teplé užitkové vody, a to především pro vytápění objektu, dále je využívána pro potřebu v domácnosti, teplá tekoucí voda pro umývání a vaření. Je součástí topného okruhu. Akumulační nádrž schraňuje naakumulované teplo z tepelného zdroje, může se jednat i o více zdrojů. Toto teplo je možné následně dodat objektu, např. v případě, kdy kotel či tepelné čerpadlo není v provozu. Jedná se tedy o rovnoměrné zásobení objektu teplem.

Výhodou akumulční nádrže je mimo ekonomického hlediska i pohodlí zejména v případě kotlů na tuhá paliva, kotel může pracovat v stále v optimálních podmínkách pro hoření, přebytečný tepelný výkon se akumuluje v nádrži. Akumulační nádrž navíc dokáže vytápět objekt i v noci, kdy již do kotle není přikládáno, nedochází tak k prochlazení budovy a nadále se minimalizují náklady spojené s vytápěním. V případě fotovoltaických elektráren je možné přes den vyrobenou el. energií ohřívat vodu v akumulční nádrži a následně ji využívat. Tepelná čerpadla profitují z nižší teploty vratné vody a tím zlepšují účinnost systému. [58]

Výběr velikosti akumulční nádrže závisí na tom, zda bude sloužit pouze o ohřevu topné vody, nebo zda bude navíc ohřívat i TUV.

3.4.1 Výběr akumulční nádrže

Akumulační nádrž pro rodinný dům bude sloužit, jak k akumulaci otopné vody, tak k ohřevu TUV. Pro určení objemu nádrže je nutné stanovit množství TUV dostačující pro denní potřebu osob žijících v domě. Pro tento výpočet se uvádí 50 l teplé vody na osobu. Pro čtyřčlennou rodinu je tedy denní potřeba TUV 200 l. [59]

V případě otopné vody se pro výpočet objemu akumulční nádrže uvádí, že na 1 kW výkonu hlavního tepelného zdroje odpovídá 50 až 80 l (v případě podlahového vytápění) vody. V případě TČ s výkonem 17kW by se tedy jednalo o objem 850 až 1360 l, po přičtení potřeby TUV k této hodnotě. Pro objekt vychází, že je vhodná akumulční nádrž o objemu od 1000 l do 1500 l. [60]

Na trhu existuje celá řada akumulčních nádrží, při výběru konkrétní akumulční nádrže byli brány nádrže od značek Dražice a Atmos, obě firmy nabízejí akumulční nádrž

v konfiguraci 1000/200, což znamená, že nádrž na otopnou vodu pojme 1000 l a je v ní umístěná nádrž na TUV s objemem 200 l. Tato konfigurace se pohybuje v potřebných hodnotách pro daný objekt. Zapojením a rozměry se výrazně neodlišují, o volbě tedy bylo rozhodnuto především podle ceny. Dražice prodávají akumulární nádrž a izolaci odděleně, je tedy potřeba brát v úvahu celkovou částku za obě položky. Akumulační nádrž NADO 1000/200 v1 stojí 24 789 Kč odpovídající izolace stojí 14 212 Kč. [61]

Celková pořizovací cena akumulární nádrže od firmy Dražice je 39 001 Kč, v případě firmy Atmos je akumulární nádrž AN 1000/2 s Nádrží na TUV o objemu 200 l prodávaná již s izolací, cena této akumulární nádrže je 55 300 Kč. Pro objekt bude tedy volena Akumulační nádrž NADO 1000/200 pro úsporu 16 299 Kč. [62]



Obrázek 3.2: Akumulační nádrž NADO 1000/200v1[61]

3.4.2 Ekonomické shrnutí

Pro objekt bylo vybráno TČ NIBE F2120-16 + SMO 40 o ceně 230 050 Kč, k tomuto čerpadlu byla vybrána akumulární nádrž NADO 1000/200 v1 o celkové pořizovací ceně 39 001Kč. Náklady na pořízení těchto dvou komponent otopné soustavy, bez nákladů na instalaci akumulární nádrže, vychází na 269 051 Kč. Instalace a konstrukční úpravy nelze zcela přesně odhadnout, celkové uvažované náklady na pořízení tedy budou povýšeny na 280 000 Kč

4 Technicko-ekonomické zhodnocení

Výhodnost instalace tepelného čerpadla je závislá na porovnání nákladů za pořízení a nákladů za provoz s náklady za provoz ostatních tepelných zdrojů. V tomto případě se bude jednat o kotel na tuhá paliva a také kotel plynový. Tyto tři možnosti se budou lišit cenou za jednotku tepla, aby bylo tedy možné porovnat tyto zdroje tepla, je za potřebí zjistit roční spotřebu tepla pro vytápění a pro ohřev teplé užitkové vody.

4.1 Roční potřeba tepla

Tato hodnota byla stanovena pomocí online kalkulačky z portálu tzb-info.cz, do které byly dosazeny hodnoty zjištěné výše jako tepelné ztráty objektu. Dále byly dosazeny hodnoty jako průměrná teplota během otopného období a velmi důležitá délka otopného období. Tyto hodnoty odpovídají normovaným hodnotám a vychází z norem ČSN 38 3350 Zásobování teplem a ČSN 06 0210 Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění. [63]

Lokalita ([Tabulka](#)) $t_{em} = 12\text{ °C}$ $t_{em} = 13\text{ °C}$ $t_{em} = 15\text{ °C}$?

Město Délka topného období $d = 257$ [dny]

Venkovní výpočtová teplota $t_e = -15$ °C Prům. teplota během otopného období $t_{es} = 3.5$ °C

Vytápění

Tepelná ztráta objektu $Q_C = 12.5$ kW

Průměrná vnitřní výpočtová teplota $t_{is} = 19$ °C ?

Vytápěcí denostupně
 $D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) = 3984$ K.dny

Opravné součinitele a účinnosti systému

$e_i = 0.75$? $\eta_o = 0.95$?

$e_t = 0.90$? $\eta_r = 0.95$?

$e_d = 1.00$?

Opravný součinitel ε ?

$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d = 0.675$

$\varepsilon = 0.675$

$Q_{VTr,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$

$Q_{VTr,r} = (26.3 \text{ MWh/rok})$

Ohřev teplé vody

$t_1 = 10$ °C ? $\rho = 1000$ kg/m³ ?

$t_2 = 55$ °C ? $c = 4186$ J/kgK ?

$V_{2p} = 0.328$ m³/den ?

Koeficient energetických ztrát systému $z = 0.8$?

Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$Q_{TUV,d} = (1+z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 30.9$ kWh

Teplota studené vody v létě $t_{svl} = 15$ °C

Teplota studené vody v zimě $t_{svz} = 5$ °C

Počet pracovních dní soustavy v roce $N = 365$ [dny]

$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$

$Q_{TUV,r} = (36.3 \text{ GJ/rok})$
 $Q_{TUV,r} = (10.1 \text{ MWh/rok})$

Obrázek 4.1: Výpočet celkové potřeby tepla [53]

Takto provedeným výpočtem, vyšly tyto hodnoty, jak je možné vidět viz Roční potřeba tepla na vytápění $Q_{vyt}=94,6$ GJ/rok resp. 26,3 MWh/rok. Roční potřeba tepla na ohřev teplé vody $Q_{TUV}=36,3$ GJ/rok resp. 10,1 MWh/rok. Celková roční potřeba energie je součtem těchto hodnot, tedy $Q_r=130,9$ GJ/rok resp. 36,4 MWh/rok. [53]

$$Q_r = Q_{vyt} + Q_{TUV} \quad (4)$$

$$Q_r = 94,6 + 36,3 = 130,9 \text{ GJ/rok} \quad (5)$$

4.2 Ekonomické zhodnocení

Pro ekonomické zhodnocení je zapotřebí vypočítat roční náklady pro určité typy vytápění. Stávající systém kombinující vytápění kotlem na tuhá paliva a plynovým kotlem na ohřev TUV. Dalším možným systémem je vytápění pouze plynovým kotlem. Třetím možným systémem je vytápění pouze kotlem na tuhá paliva s pořízením akumulární nádrže pro optimalizaci vytápění a ohřev teplé vody. Tyto systémy je potřeba porovnat s náklady na pořízení a provoz tepelného čerpadla, navrženého v kapitole 3. Výpočet se bude lišit podle spotřební komodity (el. energie, plyn, dřevo). Dále také pořizovacími náklady.

4.2.1 Vytápění dřevem

Oproti současné situaci by vytápění bylo pouze kotlem na tuhá paliva s využitím akumulární nádrže volené výše. Zajistilo by se tak nejen vytápění, ale také ohřev teplé vody. V tomto případě by odpadla většina stávajících nákladů za plyn, mimo topnou sezonu by stále bylo zapotřebí využívat na ohřev teplé vody plynový kotel, náklady by se však snížili na 10 %, což je znatelná úspora. Při porovnávání těchto možností je také potřeba vzít v potaz náklady spojené s pořízením a instalací. Ve stávajícím případě se o žádné náklady nejedná, žádné další náklady nejsou třeba také při vytápění pouze plynovým kotlem, jelikož tato technologie je již v objektu používána.

V případě smrkového dřeva s vlhkostí 15 % je tabulková výhřevnost 14,23 MJ/kg. Cena, za kterou bylo dřevo pořízeno činila 600 Kč rovnaný metr (prm), dle tabulky je hmotnost rovnaného metru je 319 kg. [64] Z těchto hodnot jsme již schopni vypočítat kolik metrů dřeva je potřeba. Následně je možné dopočítat roční cenu za vytápění dřevem.

- Výhřevnost jednoho prm:

$$Q_{prm} = q_{smrk} \cdot m_{prm} \quad (6)$$

- Potřebný počet prm:

$$x = \frac{Q_{vyt.}}{Q_{prm}} \quad (7)$$

- Celková roční cena vytápění:

$$C = x \cdot c_{prm} \quad (8)$$

Výhřevnost jednoho rovnaného metru dřeva tedy vychází na $Q_{prm}=4539,37$ MJ, počet rovnaných metrů dřeva je poté podíl celkové potřebné hodnoty tepla a výhřevnosti jednoho prm. Cena je pak určena vynásobením potřebných metrů dřeva jejich cenou. Výsledné hodnoty jsou vyobrazeny v následující tabulce. Je také zapotřebí připočítat náklady na výrobu TUV mimo topnou sezonu, z daňového dokladu za plyn za loňský rok vyplývá, že tato hodnota činila 2,36 MWh, při stávající ceně plynu činí nárůst nákladů 7 140 Kč. Celkové roční náklady činí 24 442 Kč.

Tabulka 4: Náklady na vytápění dřevem

Palivové dřevo smrk	Obsah vody	Výhřevnost	Výhřevnost prm	Potřeba tepla	Celkem prm	cena prm	cena za rok
	%	MJ/kg	MJ/prm	GJ/rok	x[prm]	Kč	Kč
vytápění	15	14,23	4 539,37	94,6	20,8	600	12 504
Vytápění + TUV				130,9	28,8		17 302

4.2.2 Vytápění plynovým kotlem

Při výpočtu je potřeba vzít v potaz cenu plynu, v tomto případě se jedná o částku 3 025 Kč za MWh. Pro výpočet tedy stačí tedy celkovou potřebu tepla pro vytápění a ohřev teplé vody vynásobit cenou. Celkové náklady jsou zobrazeny v tabulce.

Tabulka 5: Náklady na vytápění plynovým kotlem

Plyn	Potřeba tepla	cena	cena za rok
	MWh	Kč/MWh	Kč
TUV	10,1	3025	32 353
vytápění + TUV	36,4		110 110

4.2.3 Současná otopná sestava

Pro výpočet současné situace budou použity hodnoty z předchozích výpočtů. Cena za vytápění pomocí dřeva činí 12 504 Kč. Ohřev TUV, který je zajišťován plynovým kotlem vychází na 32 353 Kč za stávajících cen plynu. Celkové náklady na vytápění vychází na 44 857 Kč.

4.2.4 Vytápění tepelným čerpadlem

Zde je potřeba vypočítat spotřebu elektrické energie. Cena elektrické energie pro objekt činí v současné době 6050 Kč za MWh. Potřeba elektrické energie je určena dělením potřebného tepla součinitelem SCOP, která je stanovena výrobcem a pro 55 °C je stanovena na 3,9 [56]. Takto zjištěná hodnota potřebných MWh je vynásobena cenou jedné MWh. Celkové noční náklady za elektřinu vychází na 56 467 Kč. Navíc je ještě potřeba zohlednit počáteční náklady.

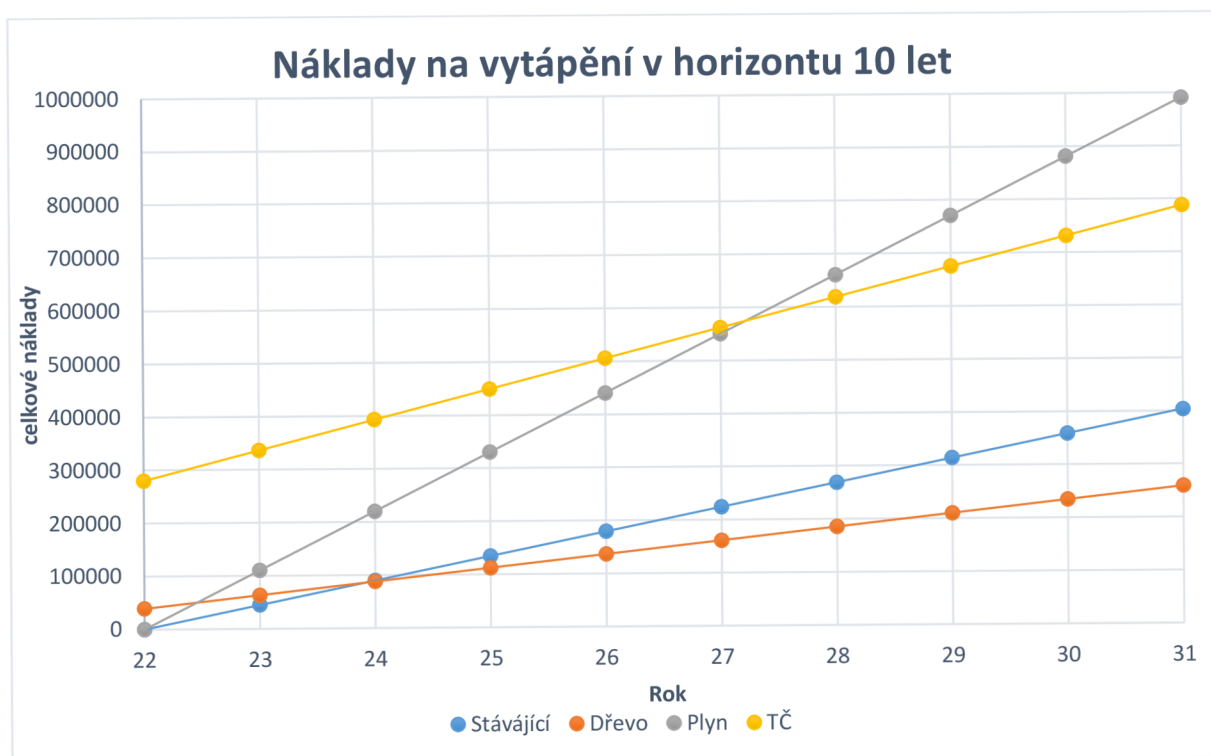
Tabulka 6: Náklady na vytápění tepelným čerpadlem

TČ	Potřeba tepla	topný faktor	Spotřeba el. energie	cena	cena za rok
	MWh	scop	MWh	Kč/MWh	Kč
	36,4	3,9	9,33	6 050	56 467

4.3 Návratnost a zhodnocení

Návratnost je hlavním kritériem zhodnocení. Z grafu, který popisuje prognózu nákladů na deset let. Je patrné, že za stávajících cen energií se TČ pro tento objekt ekonomicky není schopné konkurovat stávající otopné soustavě. Jelikož cena elektřiny je příliš vysoká, jediná alternativa, která vychází ekonomicky ještě hůře, je vytápění pouze plynovým kotlem, v tomto případě je návratnost TČ přibližně 6 let, stávající styl vytápění ekonomicky méně náročný a pořízení TČ by tedy bylo ekonomicky nevýhodné a kontraproduktivní.

Z grafu však vyplývá, že při pořízení akumulární nádrže a pouhém upravení stávajícího stylu vytápění, je možné dosáhnout poměrně značných úspor. V horizontu deseti let se jedná o více jak 120 000 Kč, s tím, že počáteční náklady na pořízení akumulární nádrže se vrátí již za dva roky.



Obrázek 4.2: Graf predikce nákladů za vytápění

5 Závěr

Bakalářská práce popisuje návrh tepelného čerpadla pro rodinný dům. První polovina práce je zaměřena na rešeršní popis tepelného čerpadla. V první kapitole byly popsány typy tepelných čerpadel spolu s jejich specifiky a funkcí, nadále byly popsány hlavní části tepelného čerpadla, jejich druhy a možnosti použití, spolu s výhodami a nevýhodami.

V druhé kapitole byla popsána problematika nízkopotencionálních zdrojů tepla. Zejména na rozdíly v instalaci, náročnost na údržbu a také efektivita jednotlivých zdrojů.

Třetí kapitola popisuje objekt, pro který je tepelné čerpadlo navrženo. Pro návrh bylo nutné vypočítat novou tepelnou ztrátu objektu, která činí $Q_{\text{vypoč}}=12\,529\text{ W}$. Za pomoci této hodnoty bylo vybráno odpovídající tepelné čerpadlo NIBE F2120-16 + SMO 40. Ke zlepšení výkonosti a ohřevu teplé užitkové vody byla také vybrána odpovídající akumulční nádrž s vnitřní nádrží na TUV NADO 1000/200 v1. Celková pořizovací cena s instalací byla stanovena na 280 000 Kč.

Poslední kapitola hodnotí ekonomickou výhodnost TČ ve srovnání se stávajícím vytápěním, dále pak s vytápěním pouze kotlem na tuhá paliva a plynovým kotlem. Pro toto srovnání bylo nutné zjistit celkovou roční potřebu tepla $Q_r=130,9\text{ GJ/rok}$ resp. $36,4\text{ MWh/rok}$, která se sestává z potřeby tepla pro vytápění a potřeby tepla pro ohřev TUV. Cena za vytápění dřevem byla stanovena na základě výhřevnosti rovného metru smrkového dřeva a ceny za takový metr. V případě plynu a elektřiny byla cena za vytápění stanovena na základě ceny jedné MWh příslušné komodity. K takto stanoveným nákladům byly připočteny počáteční náklady na pořízení. Z obrázku Obrázek 4.2 je patrné, že současná topná soustava je ekonomicky výhodnější a tepelné čerpadlo se tedy z ekonomického hlediska nevyplatí, vyplatilo by se pouze v porovnání s vytápěním plynovým kotlem, kde by k návratnosti došlo zhruba za 6 let. Další možností, kdy by se TČ mohlo stát ekonomicky výhodnějším, je pokles ceny elektrické energie.

Tepelné čerpadlo tedy není v současné situaci pro zvolený objekt vhodné. Alternativa, pro stávající způsob vytápění je pořízení akumulční nádrže, toto provedení by vedlo k dalším úsporám.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SARBU, Ioan a Calin SEBARCHIEVICI. General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings. *Energy and Buildings* [online]. 2014, **70**, 441–454 [vid. 2023-02-26]. ISSN 0378-7788. Dostupné z: doi:10.1016/j.enbuild.2013.11.068
- [2] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [3] KLIMEŠ, Lubomír. 6TT-Klimeš-09-Cykly. In: [online]. B.m. 19. únor 2023 [vid. 2023-02-26]. Dostupné z: <https://docs.google.com/presentation/d/1FyjkA7kwckZexHW2DBgOC9ZIo5clvAam4NEnywRg5Jk>
- [4] A simple Rankine cycle operates between the pressures of 50 kPa and 2 MPa. Both the turbine and the pump can be considered isentropic. The inlet to the pump is a saturated liquid, and the exit of the. *homework.study.com* [online]. [vid. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://homework.study.com/explanation/a-simple-rankine-cycle-operates-between-the-pressures-of-50-kpa-and-2-mpa-both-the-turbine-and-the-pump-can-be-considered-isentropic-the-inlet-to-the-pump-is-a-saturated-liquid-and-the-exit-of-the.html>
- [5] *Absorpční tepelná čerpadla | glykemie* [online]. [vid. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.ceskenapady.cz/absorpni-tepelna-cerpadla-cnp-1038-6935-0q-glykemie.html>
- [6] [HTTPS://WWW.FACEBOOK.COM/TZBINFO](https://www.facebook.com/tzbinfo). Sorpční chladičí zařízení a tepelná čerpadla. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/7712-sorpni-chladici-zarizeni>
- [7] Solar assisted heat pumps. *Energy Saving Trust* [online]. [vid. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://energysavingtrust.org.uk/advice/solar-assisted-heat-pumps/>
- [8] KLIMEŠ, Lubomír. 6TT-Klimeš-12-Kompresory. In: [online]. B.m. 27. únor 2023 [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: https://docs.google.com/presentation/d/1foTV38Z85hbJ6PBCTI5QWv_cwnh3fN7-yDVUsaXWgzY
- [9] *Heat Pump Cycle Diagram - Diagram Resource Gallery* [online]. [vid. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://revepinphdi.blogspot.com/2019/03/heat-pump-cycle-diagram.html>
- [10] ADMIN. Jaká chladičí se používají v tepelných čerpadlech? *Entalpia Europe* [online]. 17. listopad 2021 [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://entalpiaeuropa.eu/cs/jaka-chladičí-se-pouzivaji-v-tepelnych-cerpadlech/>
- [11] Chladičí tepelného čerpadla. *Schlieger* [online]. [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.schlieger.cz/slovník/chladičí-tepelneho-cerpadla/>
- [12] US EPA, OAR. *Understanding Global Warming Potentials* [online]. 12. leden 2016 [vid. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- [13] *O kompresorech - HOT - ENERGY* [online]. [vid. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://hotenergy.cz/tepelná-cerpadla/o-kompresorech/>
- [14] *LG Twin Inverter Rotary Compressor for Heat pump Dryer* [online]. 2018 [vid. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=VGGrB6iVkyY>
- [15] *Kompresor - srdce tepelného čerpadla | Tepelná čerpadla AC Heating* [online]. [vid. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://www.ac-heating.cz/kompresor-srdce-tepelneho-cerpadla/>
- [16] *Scroll compressors for HVAC systems | Emerson DE* [online]. [vid. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://climate.emerson.com/en-de/products/heating-and-air-conditioning/commercial-scroll-compressors>

- [17] Kompresory pro tepelná čerpadla. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13498-kompresory-pro-tepelna-cerpadla>
- [18] *Technology and basics - Toshiba Klima* [online]. [vid. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.toshiba-aircondition.com/en/technology-and-basics.html>
- [19] *refrigeration-controlling-digital-scroll-technical-information-en-gb-4214506.pdf* [online]. [vid. 2023-03-01]. Dostupné z: <https://climate.emerson.com/documents/refrigeration-controlling-digital-scroll-technical-information-en-gb-4214506.pdf>
- [20] *VENTILY EXPANZNÍ | Díly pro tepelná čerpadla ELTEX electronic* [online]. [vid. 2023-02-18]. Dostupné z: <http://eshop.eltex-km.cz/VENTILY-EXPANZNI>
- [21] WORKBOOK, Author Electrical. What is Expansion Valve? Explanation, Function & Types. *ElectricalWorkbook* [online]. 29. červenec 2021 [vid. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://electricalworkbook.com/expansion-valve/>
- [22] *Katup Ekspansi Termostatik: 27 Fakta Penting -* [online]. [vid. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://id.lambdageeks.com/thermostatic-expansion-valve-concepts-and-2-faqs/>
- [23] HANSON, Matt. The Thermal Expansion Valve (TXV) Explained. *United CoolAir* [online]. 3. červenec 2019 [vid. 2023-02-19]. Dostupné z: <https://unitedcoolair.com/thermal-expansion-valve-txv/>
- [24] *What's inside a Thermal Expansion Valve TXV - how it works hvac* [online]. 2018 [vid. 2023-02-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=HqH1MSWakgo>
- [25] *Electronic Expansion Valve - How it works ETS 5M HVAC* [online]. 2021 [vid. 2023-02-19]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=LqUEIMl6bBM>
- [26] INSTRUCTOR, MEP Academy. How Electronic Expansion Valves Work. *MEP Academy* [online]. 29. leden 2022 [vid. 2023-02-19]. Dostupné z: <https://mepacademy.com/how-electronic-expansion-valves-work/>
- [27] *Výměník pro tepelné čerpadlo [který vybrat?]* [online]. [vid. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.vymeniky-tepla.cz/cerpadla/>
- [28] *All About Plate Heat Exchangers - What You Need To Know* [online]. [vid. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/articles/process-equipment/plate-heat-exchangers/>
- [29] PENNINGTON, Matt. Heat Exchanger Design Handbook [online]. nedatováno [vid. 2023-04-05]. Dostupné z: https://www.academia.edu/4715789/Heat_Exchange_Design_Handbook
- [30] Finned Tube Heat Exchanger. *indiamart.com* [online]. [vid. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/finned-tube-heat-exchanger-16072449030.html>
- [31] RVS Warmtewisselaar, 10 rijen, 22 kW. *MultiStrobe* [online]. [vid. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.multistrobe.nl/a-26413882/warmtewisselaars/rvs-warmtewisselaar-10-rijen-22-kw/>
- [32] *Components for heat pumps – part 5: four-way reversing valves* [online]. [vid. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.danfoss.com/en/service-and-support/case-stories/dcs/components-for-heat-pumps-part-5-four-way-reversing-valves/>
- [33] STAFF, Editorial. What is a 4-way Solenoid Valve ? | Instrumentation Tools. *Inst Tools* [online]. 29. červenec 2017 [vid. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://instrumentationtools.com/4-way-solenoid-valve/>
- [34] *A guide to understanding filter-drier functions and types | ACHR News* [online]. [vid. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.achrnews.com/articles/83354-a-guide-to-understanding-filter-drier-functions-and-types>

- [35] *Filter driers* [online]. [vid. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.danfoss.com/en/products/dcs/filter-driers-and-strainers/filter-driers/>
- [36] *PRŮHLEDÍTKA | Díly pro tepelná čerpadla ELTEX electronic* [online]. [vid. 2023-04-11]. Dostupné z: <http://eshop.eltex-km.cz/PRUHLEDITKA-70225>
- [37] *Průhledítko CASTEL letovací 3940/M10* [online]. [vid. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.esinop.cz/pruhleditko-10mm-castel-3940m10>
- [38] *SBĚRAČE CHLADIVA | Díly pro tepelná čerpadla ELTEX electronic* [online]. [vid. 2023-04-11]. Dostupné z: <http://eshop.eltex-km.cz/SBERACE-CHLADIVA>
- [39] [HTTP://WEBOVY-SERVIS.CZ](http://webovy-servis.cz), Webový servis-. Bola. *Bola* [online]. [vid. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.bola.cz/elektromagneticke-ventily>
- [40] *DOMOSTYL | Jak fungují tepelná čerpadla* [online]. [vid. 2023-03-17]. Dostupné z: https://www.domostyl.cz/catalog/?section=hp&page=popis_tepelna-cerpadla
- [41] *Co je to nízkopotenciální energie? – Thermia* [online]. [vid. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://czech.thermia.com/nizkopotencialni-energie/co-je-to-nizkopotencialni-energie/>
- [42] *Typy tepelných čerpadel – Tepelka.cz* [online]. [vid. 2023-03-17]. Dostupné z: <https://www.tepelka.cz/typy-tepelnych-cerpadel.php>
- [43] *The 9 Types of Heat Pumps - ProQuest* [online]. [vid. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://www.proquest.com/docview/2778533718?pq-origsite=primo>
- [44] *Waterstage™ (Vzduch voda): TYP MONOBLOK Kompaktní série - FUJITSU GENERAL CZ* [online]. [vid. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.fujitsu-general.com/cz/products/atw/monobloc-compact/index.html>
- [45] *ATLAS* [online]. [vid. 2023-04-06]. Dostupné z: <https://www.vipsgas.cz/atlas.html>
- [46] *MAGIS COMBO PLUS* [online]. [vid. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.vipsgas.cz/magis-combo-plus.html>
- [47] OCHSNER, Karl. *Geothermal heat pumps: a guide for planning and installing*. London ; Sterling, VA: Earthscan, 2008. ISBN 978-1-84407-406-8.
- [48] SARBU, Ioan a Calin SEBARCHIEVICI. *Ground-source heat pumps: fundamentals, experiments and applications*. London: Academic Press, an imprint of Elsevier, 2016. ISBN 978-0-12-804220-5.
- [49] KAVANAUGH, Stephen P. a Kevin D. RAFFERTY. *Geothermal heating and cooling: design of ground-source heat pump systems*. Atlanta: ASHRAE, 2014. ISBN 978-1-936504-85-5.
- [50] *Typy tepelných čerpadel. Která jsou nejvhodnější?* [online]. [vid. 2023-04-06]. Dostupné z: <http://stavebnictvi-rodinne-domy.weos.cz/typy-tepelnych-cerpadel.html>
- [51] *What is a Ground Source Heat Recovery System? Earthworks Wilts Ltd* [online]. [vid. 2023-04-11]. Dostupné z: https://yellowbelly.typepad.com/wiltshire_earthworks/what-is-a-ground-source-heat-recovery-system.html
- [52] *IVT, Tepelné čerpadlá. Tepelná čerpadla voda/voda (studny) - Tepelná čerpadla IVT. Tepelné čerpadlá IVT* [online]. [vid. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.ivt.sk/sk/tepelne-cerpadlo-voda-voda>
- [53] [HTTPS://WWW.FACEBOOK.COM/TZBINFO](https://www.facebook.com/tzbinfo). *Výpočet potřeby tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody. TZB-info* [online]. [vid. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-vetrani-a-pripravu-teple-vody>
- [54] [HTTPS://WWW.FACEBOOK.COM/TZBINFO](https://www.facebook.com/tzbinfo). *Součinitel prostupu tepla a součinitel spárové průvzdušnosti oken a dveří dle ČSN 73 0540-3 (1994). TZB-info* [online]. [vid. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/32->

- soucinitel-prostupu-tepla-a-soucinitel-sparove-pruvzdušnosti-okna-a-dveri-dle-csn-73-0540
- [55] Plastová okna IQ 8000. *plastikov.cz* [online]. [vid. 2023-05-20]. Dostupné z: <http://www.plastikov.cz/plastova-okna-iq-8000/>
- [56] F2120 - tepelné čerpadlo typu vzduch-voda | NIBE [online]. [vid. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.nibe.eu/cz/cs/produkty/tepelna-cerpadla/tepelna-cerpadla-vzduch-voda/f2120>
- [57] Dotace na tepelná čerpadla a další produkty | NIBE [online]. [vid. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.nibe.eu/cz/cs/vyber-tepelneho-cerpadla/dotace>
- [58] TOMÁŠ. Jak vybrat akumulční nádrž. *Jaktovybrat.cz* [online]. 12. září 2022 [vid. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.jaktovybrat.cz/jak-vybrat-akumulacni-nadrz/>
- [59] [HTTPS://WWW.FACEBOOK.COM/TZBINFO](https://www.facebook.com/tzbinfo). Potřeba vody a tepla pro přípravu teplé vody. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/6839-potreba-vody-a-tepla-pro-pripravu-teple-vody>
- [60] Výpočet velikosti akumulční nádrže [online]. [vid. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://akumulacni-nadrz.cz/vypocet-velikosti.php>
- [61] R.O, PROFI-UNION, spol s. Dražice NADO 1000/200 v1. *PROFI-UNION, spol. s r.o.* [online]. [vid. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.topenilevne.cz/drazice-nado-1000-200-v1-p10531/>
- [62] VYTÁPĚNÍ, CENTRUM. Atmos akumul. nádrž 1000l s plovoucím bojlerem 200l pro ohřev TUV s izolací typ DZ - CENTRUM VYTÁPĚNÍ. *centrumvytapani.cz* [online]. 6. květen 2023 [vid. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.centrumvytapani.cz/atmos-akumul--nadrz-1000l-s-plovoucim-bojlerem-200l-pro-ohrev-tuv-s-izolaci-typ-dz/>
- [63] [HTTPS://WWW.FACEBOOK.COM/TZBINFO](https://www.facebook.com/tzbinfo). Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/25-venkovni-vypoctove-teploty-a-otopna-obdobi-dle-lokalit>
- [64] [HTTPS://WWW.FACEBOOK.COM/TZBINFO](https://www.facebook.com/tzbinfo). Výchřevnosti a měrné jednotky palivového dřeva. *TZB-info* [online]. [vid. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/12-vyhrevnosti-a-merne-jednotky-palivoveho-dreva>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Veličina	Jednotka
A_0	Práce	J
b	Šířka střešní krytiny	m
c_{prm}	Cena jednoho rovnaného metru dřeva	Kč · m ⁻¹
C	Roční náklady na vytápění dřevem	Kč
d	Šířka obvodového zdiva	K
ε_t	Topný faktor	W · m ⁻² · K ⁻¹
k	Součinitel prostupu tepla	W
m_{prm}	Hmotnost rovnaného metru smrkového dřeva	kg
prm	Rovnaná metr	m ³
Q_C	Spotřebované teplo	J
Q_H	Dodané teplo	J
Q_o	Úspora tepelné ztráty – výměna oken	W
Q_{pmr}	Výhřevnost rovnaného metru smrkového dřeva	MJ
Q_{proj}	Tepelná ztráta stanovená projektem	W
Q_r	Roční potřeba tepla – celková	MWh
Q_s	Úspora tepelné ztráty – zateplení střechy	W
q_{smrk}	Výhřevnost smrkového dřeva	MJ · kg ⁻¹
Q_{TUV}	Roční potřeba tepla – ohřev TUV	MWh
$Q_{vypoč}$	Tepelná ztráta vypočtená	W
Q_{vyt}	Roční potřeba tepla – vytápění	MWh
Q_z	Úspora tepelné ztráty – zateplení	W
S	plocha	m ²
\check{s}	Šířka polystyrenu	m
t	Teplota	°C
Zkratka	Význam	
2.TDZ	Druhý termodynamický zákon	
CO ₂	Oxid uhličitý	
COP	Coefficient of performance	
EV	Expanzní ventil	
EVI	Economic vapour injection	
EXV	Electronic expansion valve	
GWP	Global warming potencial	
HFC	Fluorované uhlovodíky	
HFO	hydrofluoroolefiny	
SCOP	Seasonal coefficient of performance	
TČ	Tepelné čerpadlo	
TUV	Teplá užitková voda	
TXV	Termostatický expanzní ventil	

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: T-s diagram obráceného Carnotova cyklu [3].....	12
Obrázek 2:T-s diagram obráceného Rankin-Clausiova cyklu [4].....	12
Obrázek 1.1:Diagram cyklu tepelného čerpadla [9]	14
Obrázek 1.2: p-V diagram pístového kompresu [8].....	15
Obrázek 1.3:Rotační kompresor s válcovým pístem[13].....	16
Obrázek 1.4: Schéma funkce TČ používající EVI Scroll kompresor [17].....	17
Obrázek 1.5:Termostatický expanzní ventil[22].....	18
Obrázek 1.6:Tube-finn tepelný výměník [30].....	19
Obrázek 1.7: Deskový tepelný výměník [31].....	19
Obrázek 1.8: čtyřcestný ventil v topném režimu [32].....	20
Obrázek 1.9: čtyřcestný ventil v chladícím režimu [32].....	20
Obrázek 1.10: Průhledítka[37].....	21
Obrázek 2.1:TČ vzduch–voda typ monoblok [44].....	22
Obrázek 2.2:TČ vzduch–voda typ split[46]	23
Obrázek 2.3:TČ země–voda[50]	23
Obrázek 2.4:spirálový kolektor pro TČ země voda [51]	24
Obrázek 2.5: Studna podzemí vody [52].....	25
Obrázek 3.1: Tepelné čerpadlo NIBE F2120-16[56].....	30
Obrázek 3.2: Akumulační nádrž NADO 1000/200v1[59]	31
Obrázek 4.1: Výpočet celkové potřeby tepla [53]	32
Obrázek 4.2:Graf predikce nákladů za vytápění	35

SEZNAM TABULEK

- Tabulka 1: Úspora tepelné ztráty výměnou oken
- Tabulka 2: Úspora tepelné ztráty zateplením
- Tabulka 3: Úspora tepelné ztráty zateplením střechy
- Tabulka 4: Náklady na vytápění dřevem
- Tabulka 5: Náklady na vytápění plynovým kotlem
- Tabulka 6: Náklady na vytápění tepelným čerpadlem