



# 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

Jaroslav Chlud

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2021



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Jaroslav Chlud**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.**  
Akademický rok: 2021/22

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 bude zaměřena na posouzení systému vytápění využívajícího tepelné čerpadlo. Systém bude doplněn o prvek akumulace tepelné energie. 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 a potřeby akumulace.

### Cíle bakalářské práce:

1. Zpracovat stručnou rešerši o tepelných čerpadlech a využitelných nízkoteplotních zdrojích tepelné energie.
2. Pro konkrétní objekt realizovat návrh tepelného čerpadla a napojení do stávajícího systému.
3. Navržený systém zhodnotit z hlediska energetických toků a základních ekonomických parametrů.

### Seznam doporučené literatury:

PAVELEK, M., Termomechanika. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 9788021443006.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

.....

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

.....

doc. Ing. Jaroslav  
Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Tématem závěrečné bakalářské práce je vytápění tepelným čerpadlem. Cílem práce je návrh systému s využitím technologie tepelného čerpadla v rodinném domě a následné ekonomické a energetické posouzení navržené soustavy. Dále je tato práce zaměřena na řešení problematiky tepelných čerpadel a využitelných nízkopotenciálních zdrojů tepla. Pro odhad tepelné ztráty je použita obálková metoda. Výpočet tepelné ztráty a potřeby tepla je usnadněn použitím kalkulačního nástroje z internetového zdroje. Návrh zásobníkového ohřívače vody je vypočten pomocí normy. Provozní náklady a návratnost jsou vypočteny jednoduchými vzorci. Výsledkem práce je realizovaný návrh tepelného čerpadla, čerpající teplo ze země, a napojení zařízení do stávajícího systému, což odpovídá zadání práce. Je dosaženo zmenšení celkové potřeby tepla, a tedy energetické náročnosti v důsledku úsporných opatření. Tento systém může přinést užitek díky úspoře provozních nákladů na vytápění a ohřev teplé užitkové vody. Krátká doba návratnosti poukazuje na to, že investice do vybraného tepelného čerpadla se vyplatí. Tato práce může sloužit jako podklad pro skutečnou realizaci návrhu tepelného čerpadla.

### **Klíčová slova**

Tepelné čerpadlo, nízkoteplotní zdroje, vytápění, ohřev teplé užitkové vody, tepelná ztráta, potřeba tepla, ekonomické hodnocení, energetické hodnocení, návratnost, rodinný dům

## **ABSTRACT**

The topic of the final bachelor thesis is heat pump heating. The aim of the thesis is to design a system using heat pump technology in a family house and economic and energy assessment of the designed system. This thesis focuses on research about heat pumps and usable low-potential heat sources. The envelope method is used to estimate the heat loss. The calculation of heat loss and heat demand is facilitated by using a calculation tool from a web source. The design of the storage water heater is calculated using the standard. Operating costs and payback are calculated by simple formulas. As a result of the work, the design of heat pump, drawing heat from the ground, and the connection of the device to the existing system is implemented, which corresponds to the assignment of the work. A reduction in the total heat demand and therefore energy consumption due to energy saving measures is achieved. The system can benefit by saving operational costs for heating and hot water. The short payback period shows that the investment in the selected heat pump is worthwhile. This work can serve as a basis for the real implementation of the heat pump design.

### **Key words**

Heat pump, low-temperature sources, heating, domestic hot water heating, heat loss, heat demand, economic evaluation, energy evaluation, payback, family house

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

CHLUD, Jaroslav. *Tepelné čerpadlo pro rodinný dům* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/136991>. 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

.....  
Podpis



## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za odborné vedení závěrečné práce, skvělou domluvu a cenné připomínky a rady, které mi v průběhu zpracování díla poskytl. Rád bych také srdečně poděkoval své rodině, přítelkyni Dianě a blízkým přátelům za podporu při studiu, které si velmi vážím.

## OBSAH

ÚVOD .....	12
1 Představení tepelného čerpadla .....	13
1.1 Historie .....	13
1.2 Princip činnosti TČ.....	14
1.2.1 TČ s kompresorem.....	14
1.2.2 Pracovní cyklus.....	15
1.3 Absorpční TČ .....	16
1.4 Efektivita TČ .....	17
1.4.1 Topný faktor .....	17
1.4.2 Sezonní topný faktor (SCOP) .....	18
1.4.3 Štítkování a ekodesign.....	18
1.5 Základní komponenty TČ.....	19
1.5.1 Kompresory .....	19
1.5.2 Expanzní ventil .....	22
1.5.3 Výměníky tepla.....	23
1.6 Chladiva.....	25
1.7 Režimy TČ .....	27
1.7.1 Monovalentní provoz.....	27
1.7.2 Bivalentní provoz.....	27
2 Zdroje nízkopotenciálního tepla.....	29
2.1 Energie ze země.....	29
2.1.1 Horizontální plošné kolektory .....	29
2.1.2 Vertikální plošné kolektory .....	30
2.1.3 Geotermální svislé vrty .....	30
2.1.4 Energetické piloty .....	31
2.2 Energie z vody .....	31
2.2.1 Podzemní voda.....	31
2.2.2 Tekoucí a stojatá povrchová voda .....	32
2.3 Energie ze vzduchu .....	33
3 Návrh TČ.....	34
3.1 Popis objektu .....	34
3.2 Výpočet tepelných ztrát objektu.....	35
3.3 Potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV .....	42
3.3.1 Potřeba energie pro vytápění .....	42
3.3.2 Potřeba energie pro ohřev TUV.....	43
3.3.3 Celková roční potřeba energie pro vytápění a ohřev TUV .....	43
3.4 Výběr TČ.....	44
3.5 Napojení TČ .....	46
3.6 Zásobník na ohřev TUV a akumulční nádrž.....	47

---

3.6.1	Návrh zásobníku na TUV.....	47
4	Zhodnocení systému TČ.....	50
4.1	Investiční náklady .....	50
4.2	Možnost dotace .....	50
4.3	Roční potřeba tepla .....	51
4.4	Distribuční sazby .....	51
4.5	Roční náklady na energie.....	52
4.6	Návratnost.....	53
	ZÁVĚR.....	54
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	57
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	63

## **ÚVOD**

Požadovaná výměna starých kotlů, růst cen energií a omezení podpory plynových kotlů. Důsledkem těchto faktorů je rostoucí poptávka po tepelných čerpadlech. Hledání alternativního, úsporného a ekologického zdroje tepla je momentálně aktuálním tématem pro nespočet domácností žijících nejen v rodinných domech. Pořízení tepelného čerpadla se nabízí jako řešení požadavku nízkooenergetické náročnosti novostaveb. Koupě se může vyplatit také pro starší budovy po rekonstrukci.

Díky tepelnému čerpadlu, čerpající energii z prostředí, lze snížit roční provozní náklady za vytápění. Předpokladem je dobře zateplený dům s nízkou potřebou tepla. Překážkou jsou vysoké vstupní náklady. Tepelné čerpadlo nemusí být proto vhodné pro každý objekt. Cílem této závěrečné práce je zhodnocení navrženého systému vytápění v rodinném domě využívající tepelné čerpadlo. Technologie tepelného čerpadla je stručně shrnuta v první kapitole. Ve druhé kapitole jsou popsány využitelné nízkopotenciální zdroje tepla. Návrh tepelného čerpadla pro rodinný dům je uveden v kapitole třetí. Poslední čtvrtá kapitola pojednává o finančním a energetickém posouzení navrženého systému.

Hledání finančních úspor v oblasti vytápění a otázka výběru nového efektivního zdroje energie pro vybraný rodinný dům jsou zároveň motivací k sepsání této práce. Porozuměním problematice o tepelných čerpadlech lze také pomoci lidem uvažujícím o investici do tepelného čerpadla.

## 1 Představení tepelného čerpadla

Tato kapitola je věnována základním informacím o tepelných čerpadlech (TČ). Nejprve je popsán historický vývoj TČ. Podle způsobu pohonu jsou TČ dělena na TČ s kompresorem, absorpční TČ a hybridní TČ (kombinace dvou předchozích TČ). Na TČ s kompresorem je vysvětlen princip činnosti TČ a pracovní cyklus TČ. Poté je uvedena efektivita činnosti TČ, dále následují komponenty TČ, druhy chladiv a nakonec jsou zmíněny režimy provozu TČ.

### 1.1 Historie

Historie TČ byla započata v období průmyslové revoluce v 18. století. Zpočátku nebylo úmyslem vyvinout novou technologii vytápění, ale najít způsob, jak uchovat potraviny co nejdéle čerstvé. Průkopníkem se stal skotský profesor William Cullen. V roce 1748 sestrojil umělé chlazení pracující s diethyletherem (též etherem). Čerpadlo vytvářelo podtlak v uzavřené nádobě, látka se odpařovala a pohlcovala teplo z okolí [1]. O několik let později získal Jacob Perkins patent na parní kompresní cyklus, který využil ve svém chladicím zařízení.[2]

Zpočátku byla pracovní látka (chladivo) tvořena etherem, čpavkem, oxidem siřičitým nebo uhlovodíky. Použití chladiv však nejprve nefungovalo uspokojivě. Vyznačovalo se vysokou toxicitou a hořlavostí [3].

V roce 1824 byl zveřejněn článek „Úvahy o hybné síle ohně a strojích vyvolávajících tuto sílu“ [4]. Autorem byl S.N.L. Carnot, jehož dílo se později stalo klíčovým pro stroje sloužící k vytápění. Poznatky Sadiho Carnota zpracoval roku 1852 irsko-skotský inženýr William Thompson (lord Kelvin). Tato dvojice vědců dala vzniknout principu technologie TČ. První systém TČ postavil Peter von Rittinger v Rakousku kolem roku 1856, který zkoumal způsob vysoušení solí z důlních vod. Princip pak aplikoval v praxi [5].

V následujících desetiletích bylo provedeno odborníky mnoho výzkumů a vývoj chladicích zařízení položil dobré základy pro výrobu TČ. V první polovině 20. století postupoval vývoj tepelných čerpadel v mnoha zemích paralelně. V roce 1912 byl v Curychu instalován první systém TČ se zdrojem vody. Technologie TČ se zdrojem vzduchu byla vynalezena v roce 1924 a první TČ tohoto typu bylo sestaveno a testováno ve Skotsku v roce 1927 [5].

S myšlenkou TČ využívajícího zemního zdroje přišel americký vynálezce Robert C. Webber. Stalo se tak roku 1948, když zjistil, že jeho mraznička produkuje horkou vodu. Instaloval měděné trubky plněné freony do země a kondenzací freonu nechal uvolňovat teplo ve sklepě [6].

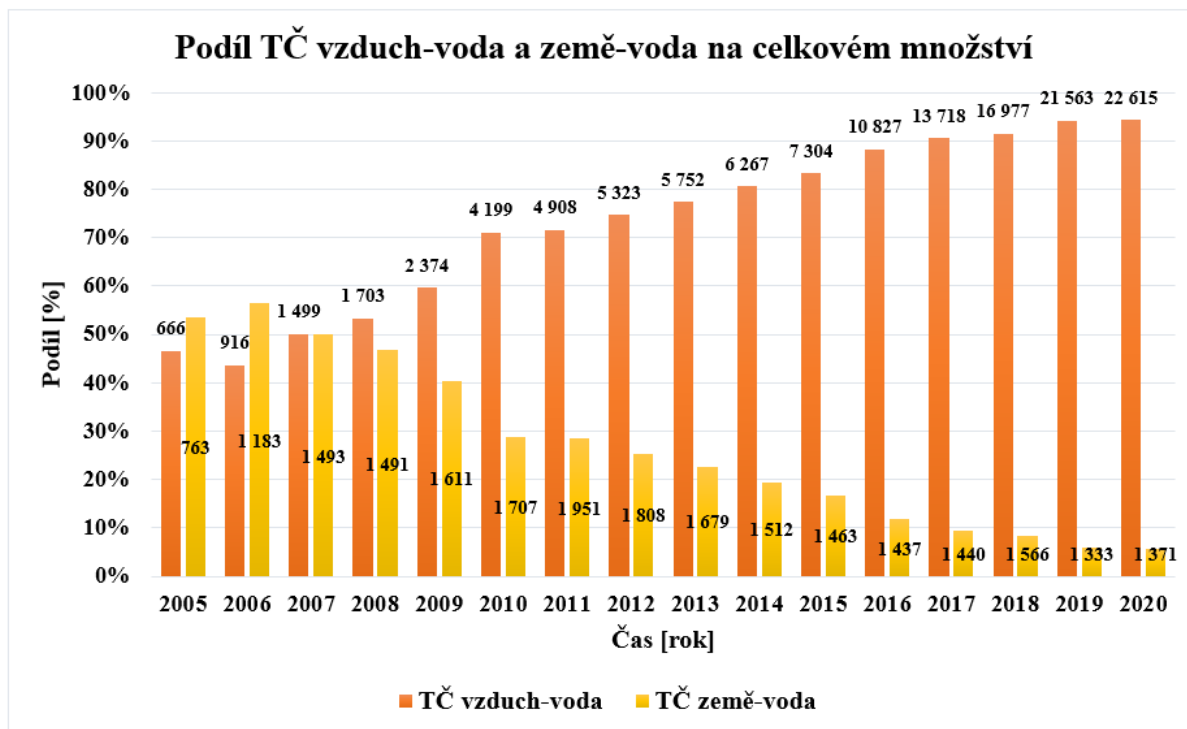
K širšímu využití systémů TČ pomohla po roce 1932 výroba chemicky stálých, nejedovatých a bezpečných chladiv na základě chlorovaných uhlovodíků, mezi něž patří např. dichlordifluormethan (obchodní název Freon R12). Negativní efekt chloru na ozónovou vrstvu byl objeven až v 80. letech 20. století, kdy bylo od těchto látek upuštěno [4].

V průběhu minulého století byl zájem o alternativní systémy vytápění pozitivně ovlivněn nedostatkem pohonných hmot a vysokými cenami energií v důsledku světových válek, velké hospodářské krize a později také ropné krize [5].

Po ropné krizi rostla produkce TČ exponenciálně, zejména ve Švédsku, Velké Británii či ve Francii. Výzkum a vývoj byl v různých zemích zintenzivněn, což vedlo k rozsáhlejšímu využití a rozvoji technologie TČ. Francie, Japonsko a Švédsko byly zaměřeny na výrobu malých TČ do domácností. Německo a Velká Británie věnovaly pozornost užití velkých TČ v systémech rekuperace tepla velkých komerčních a veřejných budov [5].

První TČ v Československu byla instalována v 50. letech 20. století. Několik TČ, která byla použita např. na vodní elektrárně Trenčín, bylo vynalezeno firmou Frigera Kolín. Zájem

o alternativní vytápění byl potlačen socialistickým hospodářstvím a levnou výrobou tepla z uhlí. Do konce 80. let 20. století bylo osazeno jen 100 ks TČ. Rozmach nastal po roce 1990, kdy se spustila možnost podnikat soukromě. Vznikli první tuzemští výrobci a dovozní firmy zajistili odběr TČ od zahraničních výrobců. Progres byl podpořen nejrůznějšími dotacemi na využití TČ a speciálními sazbami elektřiny. V posledních letech převažuje v ČR podíl TČ vzduch-voda a počet jejich instalací dosahuje 20 tisíc za rok (viz Obrázek 1.1) [7].



Obrázek 1.1 Vývoj podílů tepelných čerpadel v ČR od roku 2005 (upraveno) [7].

## 1.2 Princip činnosti TČ

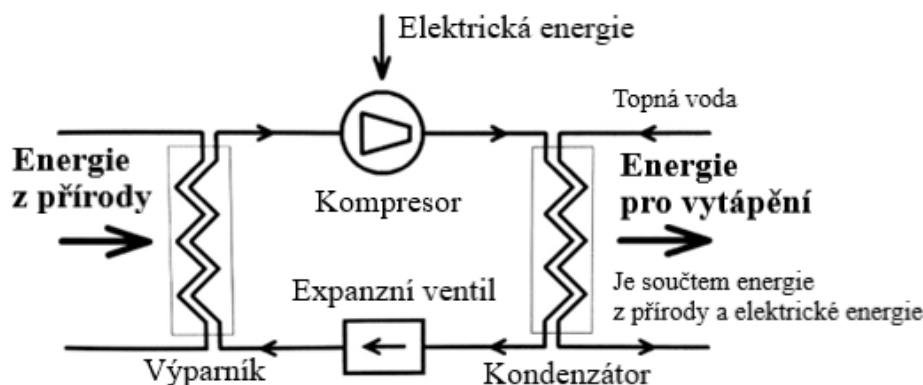
Princip TČ je historicky spjat se základní myšlenkou chladničky. Proces se odehrává neustále periodicky a pracovní látka obíhá v uzavřeném okruhu. Pro svou funkci využívá fyzikální děje kompresi a expanzi tekutin, a dále skupenské přeměny látek vypařování a kondenzaci [8], [9].

### 1.2.1 TČ s kompresorem

TČ je zařízení, které je určeno pro vytápění objektů, ale také k získání teplé užitkové vody (TUV) a ohřevu bazénů i v kombinaci se slunečními kolektory. Pro funkci TČ je zapotřebí primárního a sekundárního zdroje energie. Jedná se o nízkoteplotní zdroj tepla a o energii pro pohon TČ, v tomto případě elektrická energie pro kompresor. Pomocí změny tlaku umožňuje TČ přenášet tepelnou energii. Jde o technickou aplikaci prvního a druhého termodynamického zákona (TZ). První TZ popisuje zákon zachování energie, čili množství energie se v uzavřeném systému nemění. Druhý TZ vypovídá o přirozeném směru toku přírodních jevů. K tepelné přeměně dochází samovolně z tělesa s vyšší teplotou na těleso s teplotou nižší [8], [9].

Z termostatického expanzního ventilu (TEV) vstupuje médium do nízkotlaké části systému a proudí do výměníku tepla (výparníku). Chladivo má nižší teplotu než je teplota okolí, odebírá teplo okolnímu prostředí (vzduch, voda, nemrzoucí směs, denaturovaný líh) a zároveň

se odpařuje. Dále je ohřátý plyn nasáván kompresorem. V kompresoru se stlačením plyn zahřeje, přesouvá se do vysokotlaké části oběhu a společně se získaným teplem z přírody nese dodanou energii z elektromotoru kompresoru ve formě tepla do kondenzátoru (srážníku). V kondenzátoru chladivo zkapalní a předá užitečné teplo topné (tepelné) soustavě. Ze srážníku vede ochlazená kapalina do TEV. Zde se médium opět za vysokého tlaku jehlou TEV vstříkne do výparníku, čímž se tlak za ventilem snižuje. Obrázek 1.2 znázorňuje schéma funkce TČ [4], [10].



Obrázek 1.2 Obecné principiální schéma TČ s kompresorem [4].

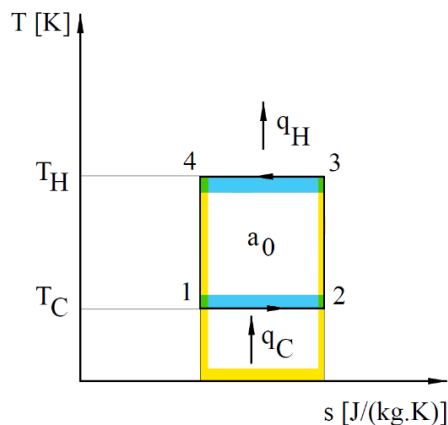
Na obrázku lze vidět tři okruhy TČ, jimiž je prouděním teplotnosného média zprostředkována tepelná energie. Primární okruh (zleva) přivádí nízkopotenciální energii z přírody do výparníku. Chladivový okruh (uprostřed) zhodnocuje a přenáší nízkopotenciální teplo na vyšší teplotní hladinu. Sekundární strana (zprava) zajišťuje přísun tepla ve vytápěných místnostech a pro ohřev TUV.

### 1.2.2 Pracovní cyklus

Pracovní cyklus TČ, hnaného tepelného stroje, který spotřebovává mechanickou práci, lze jednoduše popsat ideálním obráceným (nepřímým) Carnotovým cyklem (viz Obrázek 1.3). Carnotův cyklus je modelován také pro tepelné stroje generující práci (tepelné motory). Oběh, pracující s ideálním plynem, sestává ze čtyř vratných termodynamických dějů, konkrétně ze dvou izotermických, kdy dochází k dokonalé výměně tepla mezi ideálními výměníky tepla a pracovní látkou, a dvou adiabatických dějů, při kterých je změněn stav pracovní látky soustavy. Vratný děj je charakterizován rovnovážnými stavy, které lze popsat stavovou rovnicí. Podmínkou činnosti cyklu jsou dva výměníky tepla se stálými a navzájem různými teplotami. Práce cyklu se spotřebovává, proto proces v T-s diagramu probíhá proti směru pohybu hodinových ručiček [11].

Děje Carnotova cyklu se mohou odehrát za následujících podmínek:

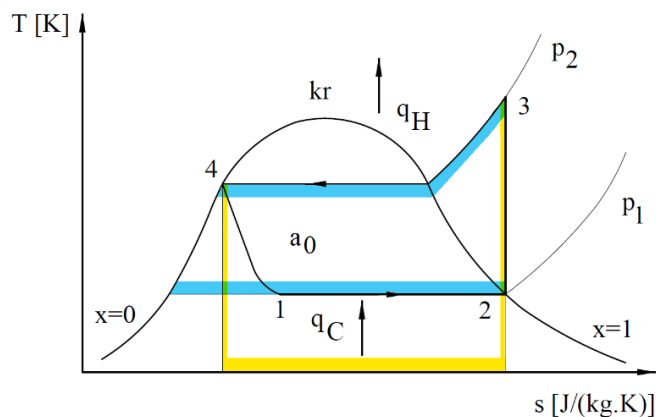
- |     |  |
|-----|--|
| 1-2 | izotermická expanze s přívodem měrného tepla $q_C$ při teplotě $T_C$ . |
| 2-3 | adiabatická komprese.  |
| 3-4 | izotermická komprese s odvodem měrného tepla $q_H$ při teplotě $T_H$ . |
| 4-1 | adiabatická expanze.   |



Obrázek 1.3 Obrácený Carnotův ideální cyklus v  $T$ - $s$  diagramu (upraveno) [11].

V praxi však Carnotův cyklus není možné realizovat, ale je vkládáno úsilí na zdokonalování tepelných strojů, čemuž se říká carnotizace. Skutečný oběh se přibližuje teoretickému Rankine-Clausiovu cyklu (viz Obrázek 1.4) [11].

Chladivo ve stavu mokré páry 1 ve výparníku se dodaným teplem  $Q_C$  za teploty  $T_C$  izobaricko-izotermicky (za konstantního tlaku a teploty) odpařuje na sytou páru (stav 2). Sytá pára je následně nasávána kompresorem a stlačena izoentropicky (adiabaticky vratně) na stav přehřáté páry 3 o teplotě  $T_H$ . Přehřátá pára vstupuje do kondenzátoru, mění se izobaricko-izotermicky na sytou páru (stav 4) a získané teplo  $Q_H$  se předává topnému systému. Chladivo pak škrcením izoentropicky (tlak je snížen nevratně, entalpie je konstantní) expanduje na mokrou páru a proces se opakuje [11].



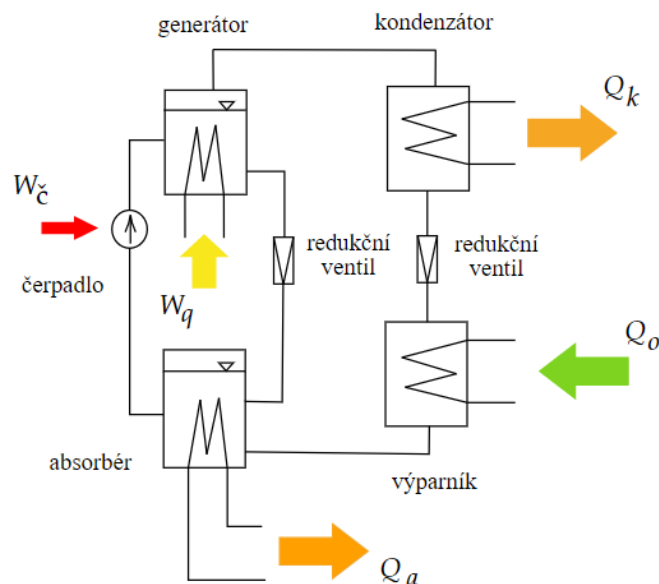
Obrázek 1.4 Obrácený teoretický Rankineův-Clausiovův cyklus v  $T$ - $s$  diagramu (upraveno) [11].

### 1.3 Absorpční TČ

Činnost absorpčního TČ je založena na principu absorpčního chladicího zařízení. Adsorpční TČ není zatím komerčně využíváno z důvodu nízké účinnosti a vysoké ceny, a proto je popsán pouze princip absorpčního TČ. Pracovní směs (absorbent a chladivo) je složena nejčastěji z látek v kombinaci voda-čpavek nebo bromid lithný-voda. Dodané teplo  $W_Q$  v podobě horkých



odpadních par a energie pro pohon čerpadla jsou hnací energií procesu. Účinnost TČ se zvyšuje s rostoucí teplotou hnací energie [12].



Obrázek 1.5 Schéma absorpčního TČ (upraveno) [12].

Směs vody a čpavku je unášena pod vysokým tlakem do vypuzovače (také generátoru, desorbéru), kde jsou díky destilaci pomocí dodané energie uvolňovány čpavkové páry z vody. Horké páry čpavku předávají v kondenzátoru teplo do topné soustavy a přechází do kapalného stavu. Přes redukční ventil je chladivo dávkováno do výparníku, kde odebírá teplo z okolního prostředí, mění se na páru a je nasáváno absorbér, kde je odevzdáno absorpční teplo v důsledku pohlcení par absorbentem (vodou). Z vypuzovače proudí ochuzený absorbent, kterým je kapalná směs vody s nižší koncentrací čpavku, z generátoru do absorbér přes redukční ventil. Směs je průchodem absorbér ochlazena, dochází k absorpci a bohatá kapalná směs je opět vedena pomocí čerpadla do generátoru ve vysokotlaké části okruhu. K vytápění lze kromě tepla z kondenzátoru využít i teplo opouštějící absorbér. Spotřeba energie oproti TČ s kompresorem je však příliš vysoká pro širší využití [12].

## 1.4 Efektivita TČ

Při výběru TČ je důležitým parametrem jeho účinnost, které jsou věnovány následující podkapitoly. Efektivitu zařízení je třeba hodnotit i po stránce emisní produkce, čímž se zabývá ekodesign v podkapitole štítkování a ekodesign.

### 1.4.1 Topný faktor

Topný faktor (TF) posuzuje hospodárnost TČ. Je označován  $\varepsilon$ , ale také jako COP (z angl. Coefficient of Performance). Toto bezrozměrné číslo je definováno vztahem [10]:

$$\varepsilon = \text{COP} = \frac{|Q_H|}{|A_0|} = \frac{|Q_H|}{|Q_H| - Q_C} = \frac{T_H}{T_H - T_C} \quad (1)$$

kde:

$\varepsilon$ , COP	Topný faktor [–],
$Q_C$	Teplo dodané systému z okolního prostředí [J],
$Q_H$	Teplo získané k vytápění [J],
$T_C$	Vstupní teplota (zdroje) [K],
$T_H$	Výstupní teplota [K],
$A_0$	Práce dodaná cyklu pohonem TČ [J].

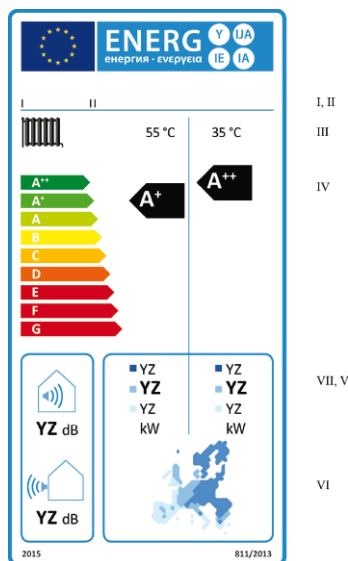
TF je měřen za laboratorních podmínek podle normy ČSN EN 14511 [13]. Simulace zahrnuje několik opakování cyklu odtávání výparníku. Kromě elektrického příkonu kompresoru je uvažován i elektrický příkon pro odtávání výparníku, překonání tlakových ztrát výměníků, vyhřívání kompresoru atd. V závislosti na typu zdroje TČ je systém zkoušen pro různé množství teplot, největší počet je prováděn u TČ odebírajícího teplo ze vzduchu. Efektivnějším vyjádřením účinnosti tepelných čerpadel je sezonní topný faktor, který zohledňuje roční provoz TČ v závislosti na změně teplotních podmínek a výkonu [14].

#### 1.4.2 Sezonní topný faktor (SCOP)

SCOP (Seasonal coefficient of performance) stanovuje energetickou náročnost TČ a udává poměr potřeby tepla pro vytápění a spotřebu energie TČ za topné období. Provozní a klimatické podmínky jsou standardizovány normou ČSN EN 14825 [15]. Pro sezonní topný faktor je nutno zjistit bod bivalence (hodnota topného výkonu a topného faktoru, viz kapitola 1.7) za pomoci návrhové tepelné ztráty konkrétního objektu, která následně ovlivňuje velikost dohřevu záložním zdrojem. Výpočet probíhá v otopném období, které je rozděleno na teplotní intervaly. Do výpočtu je nutné zahrnout spotřebu jednotky v aktivním chodu, v pohotovostním režimu, tepelné ztráty objektu, spotřebu přídatného zdroje při nízkých teplotách apod. Pomocí parametru SCOP lze srovnat chování TČ během topné sezóny za daných podmínek, SCOP však nevypovídá o účinnosti a úspornosti systému TČ v konkrétní instalaci [16].

#### 1.4.3 Štítkování a ekodesign

Pomocí SCOP jsou TČ rozdělovány štítkem (viz Obrázek 1.6) do kategorií energetické účinnosti A+++ až G podle Nařízení Komise 811/2013 [17]. Tím je prokazována účinnost ohřevu vody a sezonní energetická účinnost  $\eta_s$  [%] vytápění. Nařízení rozeznává TČ k vytápění a kombinovaná TČ, která jsou užívána i pro ohřev TUV. TČ v režimu vytápění jsou dále rozdělována na nízkoteplotní a běžná. Nejnižší hodnota sezonní energetické účinnosti vytápění pro běžná TČ je 100 %. Na nízkoteplotní TČ jsou kladeny vyšší požadavky, sezonní energetická účinnost vytápění musí dosahovat alespoň 115 %, jelikož jednotka nemusí nedokázat zajistit ohřev vody na stanovenou teplotu. Štítky kombinovaných TČ uvádějí informace v obou režimech. Ekodesign, souhrn emisních požadavků k provozu technologií zdrojů energie, je hodnocen také z hlediska maximální hladiny akustického výkonu  $L_{WA}$  [dB] na základě jmenovitého tepelného výkonu  $P$  [kW] [18].



Obrázek 1.6 Energetický štítek běžného TČ pro vytápění. Vysvětlivky: I. Název výrobce. II. Označení modelu TČ. III. Funkce vytápění. IV. Třída sezonní energetické účinnosti. V. Jmenovitý tepelný výkon. VI. Orientační teplotní zóny Evropy. VII. Hladina akustického výkonu [18].

Štítkování zaručuje minimální požadavky pro použití TČ z hlediska energetické třídy a hladiny akustického výkonu. Odpovědnost za dodržení předepsaných nařízení nese výrobce a dovozce výrobků. Jejich nedodržením hrozí zákaz uvedení technologií na trh. Kontrolu pravdivosti jsou prováděny státními organizacemi [18].

## 1.5 Základní komponenty TČ

Hlavními prvky TČ jsou kompresor, expanzní ventil a výměníky tepla – výparník a kondenzátor. Jednotlivé části jsou popsány v podkapitolách níže.

### 1.5.1 Kompresory

Kompresory jsou zařízení pro stlačování chladiva. Dělí se na objemové a rychlostní (turbokompresory). Teplo z výparníku je pomocí kompresoru převáděno na vyšší teplotní hladinu. Kromě komprese chladiva dochází zároveň k zahřátí plynu, ten je pak veden do kondenzátoru, kde zkapalní a předá teplo topné vodě. Sací tlak se v závislosti na druhu chladiva a pracovních podmínkách pohybuje mezi 0,1–0,5 MPa. Na výtlaku jsou hodnoty zhruba 0,5–2,5 MPa. Kompresor je často opatřen přetlakovými ventily, které slouží jako ochranné prvky proti nárůstu tlaku. Teploty par na vstupu dosahují (–20 až +10) °C. Na výstupu dosahují páry chladiva teplot (60 až 100) °C [4].

Charakteristickou veličinou kompresoru je kompresní poměr, vyjádřen podílem výtlakového a sacího tlaku. Dalším faktorem je sací výkon, definován poměrem objemu nasávaných par a tlaku v sacím hrdle. Je udáván v [m<sup>3</sup>/hod] přečerpaného plynu. Podmínkou je dostatečný výkon kompresoru, aby došlo ke zkapalnění média v kondenzátoru. Na trhu jsou kompresory k dispozici obvykle v hermetickém (nepropustném), polohermetickém a otevřeném provedení [4].

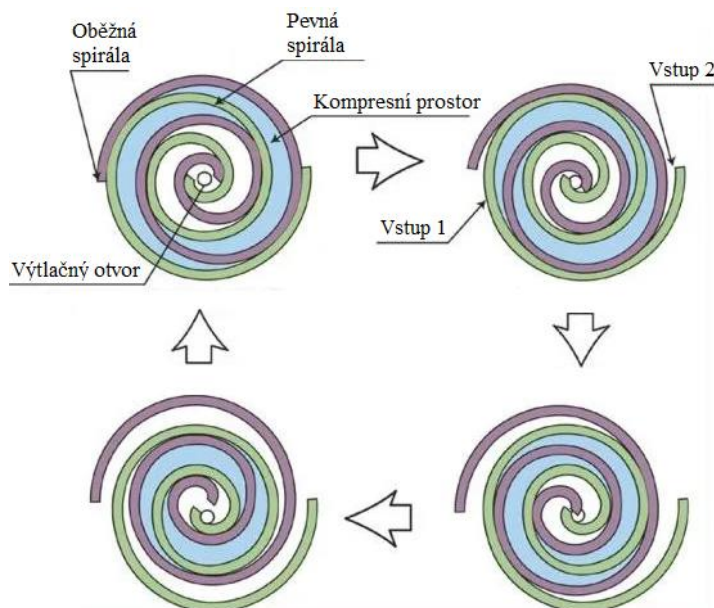
- **Hermetické** – Elektromotor a kompresor je uzavřen ve společné ocelové nádobě. V případě závady je oprava obtížná a drahá, obvyklým řešením je výměna celé jednotky za novou. Sestava je chlazená procházejícím médiem.
- **Polohermetické** – Uzavřen a chlazen podobně jako hermetické provedení, avšak obsahuje demontovatelná víka pro údržbu kompresoru i elektromotoru.

- **Otevřené** – Pohon a kompresor jsou umístěny zvlášť. Z toho vyplývá možnost výběru zdroje energie. Tento typ se vyznačuje snadnou dostupností pro údržbu. Problémem může být únik chladiva skrz těsnění [19].

Na kompresor je kladeno několik požadavků, mezi které patří nízká pořizovací cena a spotřeba energie, optimální rozsah pracovních teplot a tlaků a provozní spolehlivost [20].

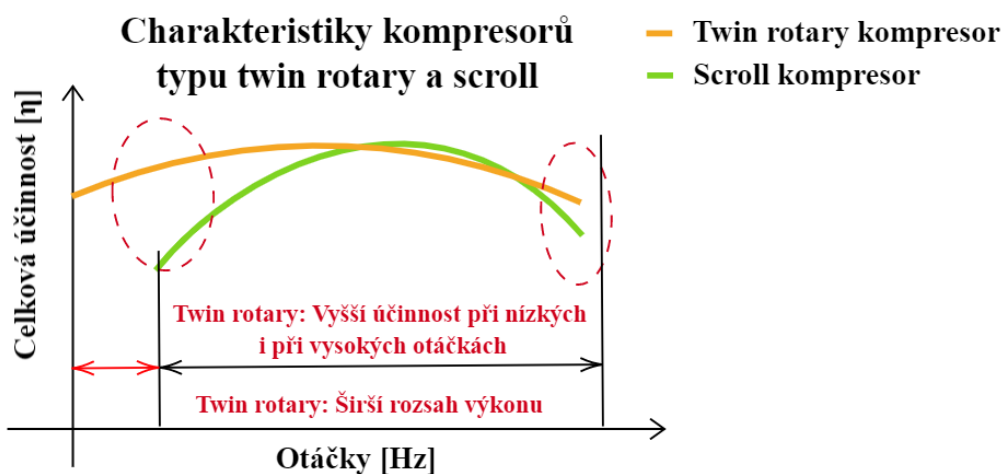
Následně jsou uvedeny nejčastěji používané druhy objemových kompresorů. Pro vytápění domácností převažuje hermetické provedení.

- **Pístový kompresor** funguje podobně jako spalovací motor automobilu. V první fázi probíhá sání otevřením sacího ventilu kompresoru. Pohybem pístu směrem k dolní úvrati vstupuje objem chladiva z výparníku do pracovního prostoru kompresoru. Pohyb pístu provádí kliková hřídel hnaná elektromotorem. V další fázi komprese píst stlačuje chladivo do horní úvrati. Výtlačný ventil je otevřen po nárůstu tlaku a zahřáté chladivo ve fázi výtlačku proudí do kondenzátoru. Snahou výrobců je zmenšovat tzv. škodlivý prostor mezi horní polohou pístu a tělem kompresoru, kde část chladiva při výtlačku zůstává. Pístové kompresory se vyrábí jako jednoválcové až osmiválcové a jsou užitečné pro systémy s přerušovaným chodem. Na druhou stranu pístové kompresory jsou mírně hlučnější a systém TČ má nižší topný faktor [21].
- **Spirálový kompresor (SCROLL)** je v dnešní době součástí většiny TČ pro domácnosti. Oproti pístovým kompresorům dosahují scroll kompresory vyšších topných faktorů v zapojení s TČ a až dvojnásobné životnosti [22]. Kompresory scroll nemají vratný chod a zpravidla nelze měnit smysl otáčení motoru. Hlavní částí kompresoru jsou dvě spirály, které jsou vloženy do sebe a vzájemně pootočené o 180°. Oběžná spirála excentricky rotuje a odvaluje se po pevné spirále. Sání se nachází na obvodu pevné spirály. Pracovní prostor se pohybuje a stlačuje směrem k výtlačné trubici ve středu pevné spirály (viz Obrázek 1.7). Díky vhodné konstrukci vzniká hned několik pracovních prostorů, které jsou zároveň stlačovány. Hermetický kompresor se chladí parami proudícího chladiva. K výhodám patří absence klikového mechanismu a převodu mezi motorem a rotorem, z čehož vyplývá menší počet pohyblivých částí a tichý provoz kompresoru. Kompresory typu scroll jsou bezmazné. Správný chod kompresoru může být narušen nasátím kapalného chladiva nebo vysokou výtlačnou teplotou. Nevýhodou je vyšší cena a provoz pouze za konstantních otáček. Novými generacemi jsou kompresory EVI (Economized Vapor Injection) scroll, které lépe využívají par chladiva a Digital scroll, které umožňují regulovat výkon [23], [24].



Obrázek 1.7 Cyklus spirálového kompresoru [25].

- **Dvojitý rotační kompresor (twin rotary)**, přesněji řečeno dvoustupňový rotační vačkový kompresor, nachází využití u TČ s potřebou výkonové regulace. Vhodný je například pro TČ vzduch-voda, kdy teplota topné vody kolísá v závislosti na teplotě venkovního vzduchu. Hlavní část kompresoru je tvořena dvěma vačkovými rotory, které obíhají excentricky ve dvou oválných komorách. Pracovní prostor, kde se stlačuje chladivo, je oddělen lamelou, která se díky pružině nepřetržitě dotýká rotoru, čímž je zajištěn neustálý kontakt vačky se stěnou komory. Vačky jsou v protilehlých polohách umístěny na jedné hřídeli. Sání se nachází na stěně obvodu komory, výtlačná trubice na obvodu v rovině osy hřídele. Kromě možnosti regulace výkonu je twin rotary kompresor charakteristický menšími rozměry, nízkou potřebou mazání a větší účinností při nízkých otáčkách oproti scroll kompresoru (viz Obrázek 1.8). Nevýhodou je životnost kompresoru v důsledku většího množství pohyblivých součástí [23], [26].



Obrázek 1.8 Srovnání účinnosti kompresoru spirálového a vačkového typu při měnících se otáčkách (upraveno) [22].

- **Šroubový kompresor** je vhodný pro nepřerušovaný běh. Uplatňuje se zejména ve velkých firmách a průmyslových výrobcích. Chladivo je stlačováno mezi zuby odvalujících se šroubovitých rotorů a skříní kompresoru. Rotory jsou vyráběny s velkým stoupáním a nesymetrickým profilem. Šroubové kompresory běžně dosahují vysokých otáček, údržba není náročná a kompresory jsou opatřeny frekvenčním měničem pro řízení výkonnosti. Ta může být ovlivněna i délkou rotorů. Kompresory jsou děleny na bezolejové a olejové, dále podle počtu stupňů a profilu zubů. Použití šroubových kompresorů se neobejde bez hluku, zařízení jsou poměrně drahá a nevýhodou je také stálý tlakový poměr [24], [27].

## Pohon kompresorů TČ

K provozu TČ je nutno přivést určité množství energie ve formě mechanické nebo tepelné energie. V současnosti je nejrozšířenějším způsobem použití elektromotoru. Běžně užívaným typem jsou třífázové synchronní elektromotory (EC z angl. Electronically commutated nebo BLDC z angl. Brushless Direct Current). Elektromotor je výhodný hned z několika hledisek, jako jsou vysoká životnost, spolehlivost, konstrukční jednoduchost a rozšířená výroba, z čehož plyne i poměrně nízká cena. Přínosem je bezúdržbový provoz. Elektromotor se snadno spouští a není třeba dalšího příslušenství. Na vnější straně elektromotoru nejsou žádné pohyblivé součásti, a tím je zaručena i bezpečnost provozu elektromotoru. Na trhu jsou elektromotory k dispozici s hermetickým provedením a chlazením parami chladiva [20], [22].

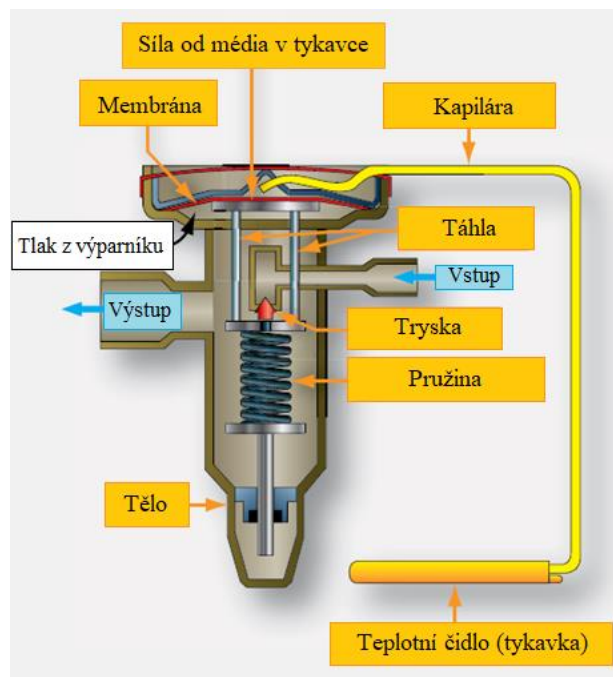
Kromě elektromotoru, užívaného nejčastěji pro domácnosti, je na výběr také pohon plynovým spalovacím motorem apod. Tento systém pak efektivně využívá odpadní teplo z motoru, dokáže dodávat teplo i chlad a především snižuje náklady na vytápění. Obecně provoz spalovacího motoru však s sebou nese komplikace. Je třeba provádět údržbu motoru výměnou a doplňováním oleje. Dle provedení motoru je riziko úniku části využitelné energie ve formě ztrátového tepla, tedy tepla z válců a těla kompresoru do okolí. Dalším rizikem je špatné těsnění hřídele nebo ztráta chladiva. Použití spalovacího motoru může způsobit hluk, vibrace a zanášení výměníku tepla sazemí z výfukových plynů. Životnost kompresoru může být vyšší než životnost spalovacího motoru [4].

### 1.5.2 Expanzní ventil

**Termostatický expanzní ventil** (TEV z angl. Thermostatic Expansion Valve) je součástí systému TČ. V oběhu se nachází mezi kondenzátorem a výparníkem a zajišťuje rozdíl tlaků mezi výměníky tepla. Jeho funkcí je udržet přehřátí chladiva za výparníkem. Jehla TEV reguluje množství přehřátého kapalného chladiva, které je vstříkováno do výparníku. Příliš velká dávka chladiva může poškodit kompresor, část chladiva nebude přeměněna na plynný stav a hrozí nasátí média v kapalném stavu [28], [29].

Objem průtoku chladiva je řízen v závislosti na silách, které působí na membránu. Tlak z výparníku vytváří sílu a spolu se silou od pružiny působí na membránu proti síle vznikající rozpínáním média v tykavce. Výsledná síla je rovna přehřátí chladiva a má vliv na otevírání a zavírání jehly ventilu. Jehla je volena na základě druhu chladiva a výkonu TČ. Pro vyrovnání tlaku ve výparníku existuje vnitřní (viz Obrázek 1.9) a vnější provedení ventilu [4].

Ventil bývá často opatřen funkcí MOP (Maximum Operating Pressure). Jedná se o ochranný prvek proti přetížení pohonu kompresoru. Dosažením určitého tlaku je jehla ventilu uzavřena. Tím je zabráněno dalšímu nárůstu tlaku [4].



Obrázek 1.9 Expanzní ventil s vnitřním vyrovnáním tlaku [28].

**Elektronicky řízený expanzní ventil (EEV z angl. Electronic Expansion Valve)** je inovativním, moderním a současně rozšířeným typem. Zvyšuje provozní spolehlivost a účinnost TČ. Na rozdíl od klasického TEV postrádá EEV membránu a tykavku. Jehla ventilu je ovládána krokovým motorem s permanentním magnetem a cívkami. Teplota sání kompresoru a teplota vypařování chladiva jsou sledovány teplotními čidly. Signály z teplotních čidel jsou zpracovávány elektronickou řídicí jednotkou, která posílá signály do EEV. V závislosti na směru toku proudu dochází ke změně polarity magnetického pole cívky. To vede k otáčení permanentního magnetu, který je spojen se šroubem a otevírá nebo uzavírá jehlu. Nevýhodou je vyšší cena tohoto druhu expanzního ventilu [29].

### 1.5.3 Výměníky tepla

Tepelné výměníky (TV) jsou konstrukční prvky TČ sloužící k přenosu tepla. Pro oběhy TČ jsou používány rekuperační TV, které využívají konvekce (proudění) tekutin pro přenos tepelné energie, aniž by docházelo k fyzickému kontaktu médií [30].

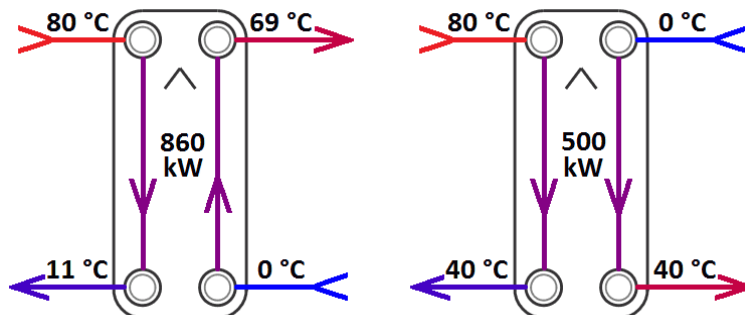
Podle způsobu přenosu tepla jsou mimo rekuperační TV rozlišovány také směšovací a regenerační TV. Vstupující teplejší kapalina do TV vychází studenější a naopak. Ke správné funkci je potřeba teplotní rozdíl (spád) látek podle druhého termodynamického zákona.

Jedním z parametrů TV je množství přenášeného tepla (tepelný výkon). Tepelný výkon závisí na hmotnostním průtoku, měrném teple a teplotním rozdílu. Podle fáze proudění tekutin jsou TV děleny na výparníky, kde se chladivo odpařuje, a na kondenzátory, ve kterých chladivo kondenzuje. Trubice TV jsou pro vyšší účinnost zapojovány do protiproudu (viz Obrázek 1.10) [31].

Kondenzátor zajišťuje přestup tepla do sekundárního okruhu. Chladivo vstupující ve stavu přehřáté páry zde změní své skupenství na kapalné. Výparník je nízkoteplotní TV tepla na primárním okruhu. Úkolem výparníku je zajistit dostatečné množství tepla k vypaření chladiva za dané kondenzační teploty. Podmínkou je snížení teploty varu chladiva expanzním ventilem [32].



Účinnost TV roste s velikostí teplosměnných ploch. Teplo se vyměňuje rychleji, avšak dochází k nárůstu tlakových ztrát, které mohou být kompenzovány větším počtem desek, jež jsou skládány na sebe. Počtem TV lze také navýšit účinnost, pak jsou TV řazeny paralelně. Maximální účinnosti 100 % však dosahuje pouze ideální TV [33].



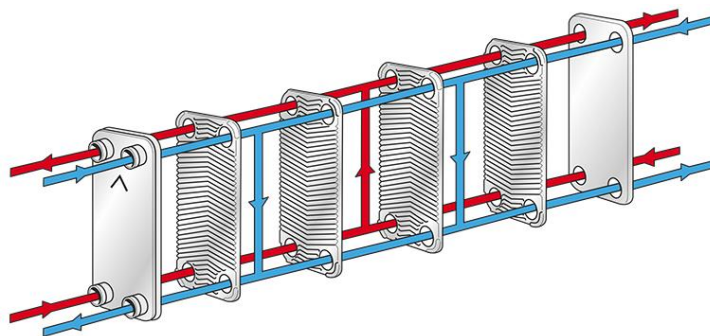
Obrázek 1.10 Účinnost deskového TV při protiproudém (vlevo) a souproudém (vpravo) zapojení [33].

Kanálky na vstupu a výstupu TV mají zpravidla stejné průměry. Doporučenou rychlost proudění chladiva je třeba dodržovat, aby nedocházelo k akumulaci chladiva v některých místech TV. TV jsou nejčastěji zhotoveny z měděných či hliníkových trubek [4].

Provoz TV může být komplikován zamrznutím zkondenzovaného chladiva, jehož důsledkem je snížení účinnosti výměny tepla, ale především poškození TV i TČ celkově. Dalším problémem může být prasknutí TV překročením maximální hodnoty konstrukčního tlaku TV. Tomu lze předejít instalací vysokotlakého presostatu [33].

TV se podle konstrukce rozdělují na dva základní druhy, deskový a trubkový TV. Existuje mnoho jejich modifikací. Jeden bod je také věnován představení ventilátoru.

- **Deskový TV** obsahuje několik nerezových desek s tvarovanými prolisy pro průtok chladiva skládaných na sebe (viz Obrázek 1.11). Podle způsobu spojení jsou děleny na rozebíratelné a nerozebíratelné. Pro TČ jsou používány svařované (pájené) TV. Konstrukce deskového TV pro úlohu výparníku zahrnuje distributor (rozdělovač) chladiva pro rovnoměrnou výměnu tepla. Mezi výhody pájených TV patří odolnost vůči vysokým tlakům, velká účinnost a tepelný výkon. Na druhou stranu TV se může snadno ucpat a těžko se čistí. Jelikož deskový TV lze zařadit do systému TČ pouze externě, je vyžadováno použití oběhového čerpadla, a tudíž rostou investiční náklady. Deskové TV lze uplatnit pro TČ voda-voda [4], [34].



Obrázek 1.11 Zobrazení deskového TV ve fázi protiproudu [35].



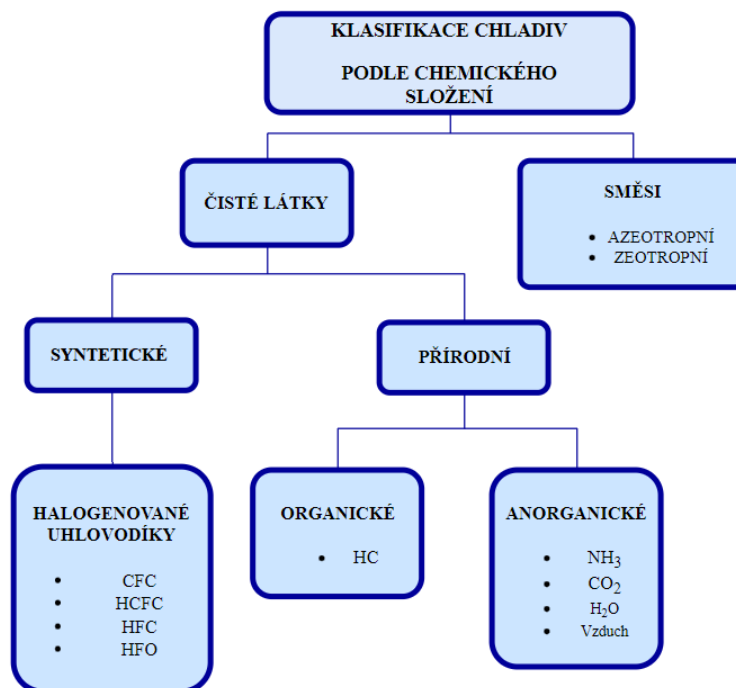
- **Trubkový TV** je sestaven z jedné až několika stočených, žebrovaných trubek. Jedno teplotnosné médium (chladiivo) proudí uvnitř trubek, druhé médium (solanka, voda) obklopuje trubky ze vně. Oproti deskovým TV jsou poměrně levné. Nevýhodou tohoto typu TV je potřeba velké teplosměnné plochy k dosažení jen malého výkonu, z toho vyplývá například uplatnění v malých solárních systémech. Trubkové TV jsou vyráběny v mnoha modifikacích [30], [34].

Jedním z řady jsou trubkové lamelové TV, které jsou instalovány do systémů TČ typu vzduch-voda doplněné o ventilátor. Měděné trubky lamelových TV jsou doplněny lamelami z hliníku. V režimu výparníku je na vstupu opatřen rozdělovačem chladiva. V režimu kondenzátoru není rozdělovač třeba [4].

- **Ventilátory** mají za úkol přivádět dostatečné množství vzduchu k výparníku. Ventilátory jsou součástí TČ typu vzduch-voda. Podle umístění výparníku jsou rozdělovány na axiální (pro venkovní instalaci) a radiální (pro vnitřní instalaci). U ventilátorů je kromě výkonu a účinnosti kladen důraz i na hlučnost. Jsou poháněny třífázovými synchronními elektromotory [36].

## 1.6 Chladiva

Chladivo neboli teplotnosné médium (chladiicí médium) je obecně tekutina, která je schopna opakovaně přijímat a odebírat tepelnou energii a měnit své skupenství. Významnými vlastnostmi chladiv je objemová chladivost (množství tepla, které je ve výparníku přeměněno na sytou páru) a kondenzační teplota. Pracovní látky jsou děleny podle chemického složení a fyzikálních vlastností. Chladiva se vyskytují jako jednosložkové (čisté) sloučeniny nebo směsi sloučenin. Čisté sloučeniny se dále dělí na syntetické halogenované uhlovodíky a přírodní sloučeniny. Chladiva jsou značena velkým písmenem R a dále číselnou kombinací atomů uhlíku, vodíku a fluoru [4].



Obrázek 1.12 Rozdělení chladiv na základě chemického složení[37].

Směsi chladiv jsou dle obrázku 1.11 děleny na azeotropní a zeotropní. Azeotropní sloučeniny jsou stabilní a během fázové přeměny mají složení neměnné. Zeotropní sloučeniny lze snadno oddělit v důsledku tzv. teplotního skluzu, jinak řečeno rozdílu teplot vypařování a kondenzace jednotlivých složek [4].

Momentálně používaná chladiva jsou R-410A, R-407c nebo R-134A. Charakteristickým znakem uvedených chladiv je nízká hodnota ODP, ale také vysoká hodnota GWP (viz níže), což budí zájem o ekologická chladiva, jako jsou oxid uhličitý, čpavek, propan a izobutan [37]. Současná chladiva musí splňovat ekologické, bezpečnostní, technické a hygienické požadavky. Vliv chladiv na ekologii je posuzován několika následujícími parametry.

- **GWP (Global Warming Potencial)** udává potenciál globálního oteplování za období 100 let. Je to násobek, kolikrát více dokáže látka zvýšit teplotu klimatu oproti plynu CO<sub>2</sub> v kilogramech.
- **ODP (Ozone Depleting Potential)** značí relativní škodlivost látky pro ozonovou vrstvu, referenční hodnotou je hodnota chladiva R-11 (freon-11).
- **TEWI (Total Global Warming Impact)** vyjadřuje emise skleníkových plynů, které jsou vyprodukovány chladicím zařízením za dobu jeho životnosti [38].

Dále jsou popsány syntetické halogenové uhlovodíky a přírodní chladiva.

- Skupina **CFC** (chlorfluoruhlovodíky), známá pod názvem tvrdé freony, jsou chemicky stabilní, nehořlavé a netoxické sloučeniny. Ve vyšších vrstvách atmosféry se CFC rozpadá na látky, které poškozují ozonovou vrstvu atmosféry. Jejich používání bylo v minulosti zakázáno. Mají vysoké hodnoty parametrů ODP a GWP. Hlavními zástupci jsou R-11, R-12 a R-113 [37].
- Sloučeniny **HCFC** (hydrochlorfluoruhlovodíky), přezdívané jako měkké freony, vznikly jako náhrada za tvrdé freony. HCFC v kombinaci s vodíkem byly vyráběny méně stabilní pro zabránění vstupu škodlivých látek do vyšších vrstev atmosféry. Byly označeny za skleníkové plyny a vyřazeny z provozu. Typická chladiva této skupiny jsou R-22, R-123 [37].
- Chladiva **HFC** (hydrofluoruhlovodíky) je kategorie sloučenin bez obsahu chloru. V současnosti se řadí mezi používané látky v chladicích a klimatizačních systémech šetrnějších k životnímu prostředí. Patří zde např. R-134A nebo R-410A [37].
- Třída **HFO** (hydrofluorolefiny) značí nenasycené uhlovodíky obsahující dvojnou vazbu. Díky nízkým hodnotám ODP i GWP jsou tato chladiva označována jako perspektivní a ekologická. Zástupcem skupiny je R-1234yf [41].
- **Přírodní chladiva** zahrnují uhlovodíky, čpavek, oxid uhličitý, vodu, vzduch atd. Výhodou jsou jejich nízké hodnoty ODP, GWP, příznivé termodynamické vlastnosti a účinnost v systémech TČ. Kromě chladicích systémů jsou uplatňovány také v TČ pro rodinné domy, ale i v průmyslu. Jedná se např. o R-744 (oxid uhličitý), R-290 (propan) nebo R-718 (voda), které mají velký potenciál k použití i do budoucnosti [37].

Kromě schopnosti chladiv efektivně předávat teplo je kladen důraz na nehořlavost, nedovratnost a stlačitelnost látek. Dalším požadavkem je minimální obsah vlhkosti v chladivu. Nadměrnou přítomností vlhkosti v systému vzniká nebezpečí zamrznutí výparníku, tvorba olejového kalu a koroze, což má za následek poškození nebo vyhoření motoru. Zamrznutí výparníku se odstraňuje obrácením směru (reverzací) chodu chladiva. U chladiv je vyžadován nízký kompresní poměr, velká objemová chladivost a nízký výtlačný tlak [39].

Dle normy ISO 817 [40] byla chladiva zařazena do bezpečnostních tříd (viz Tabulka 1.1) v závislosti na hořlavosti a toxicitě [37].

Tabulka 1.1 Bezpečnostní třídy chladiv [37].

	Nízká toxicita	Vysoká toxicita
Nehořlavé	<b>A1</b> (R-134A, R-410A, R-404A)	<b>B1</b> (R-123)
Mírně hořlavé	<b>A2L</b> (R-32, R-1234yf)	<b>B2L</b> (R-717 – čpavek)
Hořlavé	<b>A2</b> (R-152a)	<b>B2</b> (R-611)
Vysoce hořlavé	<b>A3</b> (R-290 – propan)	<b>B3</b> (R-40)

Skupiny chladiv CFC a HCFC byly v minulosti zdrojem znečišťování ovzduší. Na základě ochrany životního prostředí a snižování emisí skleníkových plynů, které přispívají k oteplování planety, byla vydána nařízení Evropského parlamentu a Rady EU [42], [43]. Nařízení se týkají omezení používání chladiv typu CFC, HCFC a HFC. Naopak je podporován vývoj technologií využívajících přírodních chladiv [44].

Oběh TČ bývá zpravidla doplněn sběračem chladiva, který plní funkci zásobování systému chladivem při servisování, odtávání výparníku nebo při odchylkách hmotnostního průtoku chladiva [44]. Chladivo je v systému unášeno spolu s mazacím olejem za účelem mazání kompresoru. Mezi nejběžnější druhy mazacích olejů patří polyolesterové (POE), polyalfaoleofinové (PAO) a polyalkylenglykolové (PAG) oleje [45].

## 1.7 Režimy TČ

Stejně jako u jiných zařízení není vhodné z ekonomických důvodů dimenzovat TČ na maximální výkon. Teplotní rozmezí, které udává, do jaké míry je vhodné použít pouze jeden zdroj tepla, je nazýváno bodem bivalence. Bod bivalence je určen průsečíkem křivek tepelných ztrát objektu a topného výkonu TČ (viz Obrázek 1.13). Pro vyšší teploty zdroje tepla než je teplota bivalence, vystačí pro vytápění pouze TČ (monovalentní provoz). Pro nižší teploty je nutno zapojit dodatečný zdroj tepla (bivalentní provoz) [46], [47].

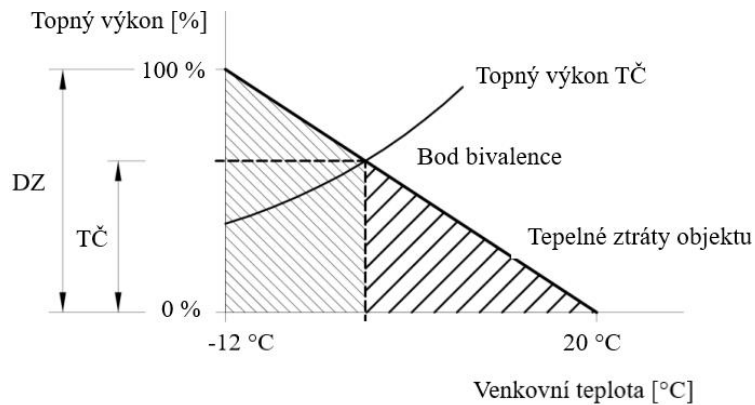
### 1.7.1 Monovalentní provoz

Pro tento režim není vyžadován po celou dobu topné sezony náhradní zdroj tepla. Celková potřeba tepla (tepelné ztráty) je pokryta pouze TČ. Monovalentní provoz je typický pro oběhy TČ typu země-voda či voda-voda [12].

### 1.7.2 Bivalentní provoz

- Při **paralelně-bivalentním provozu** je zajištěn přísun tepla do sekundárního okruhu TČ, které pod teplotou bivalence pracuje současně s bivalentním zdrojem tepla – elektrickým kotlem. Režim má význam u druhu TČ vzduch-voda s instalací podlahového vytápění [46], [12].

- **Alternativně-bivalentní provoz** sestává z TČ a náhradního zdroje tepla, kterým je např. plynový kotel. TČ je dodávána tepelná energie do bodu bivalence, kdy je TČ vyřazeno z provozu a při nižších teplotách topné soustavy je objekt vytápěn pouze dodatečným zdrojem tepla. Provoz je charakteristický pro vysokoteplotní soustavy či pro TČ odebírající teplo z povrchových vod [46], [12].

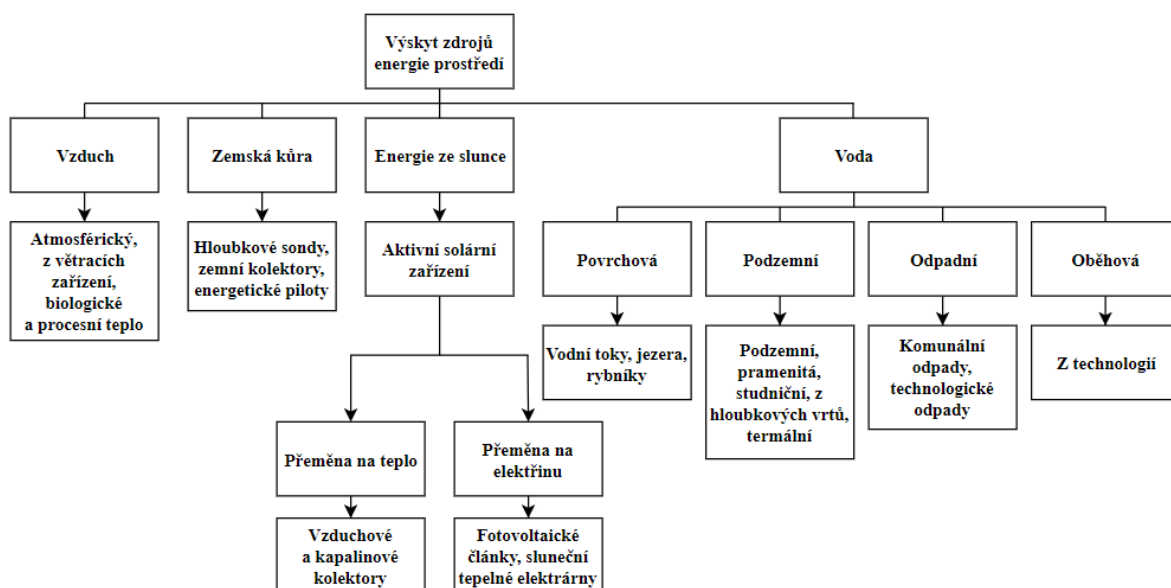


Obrázek 1.13 Alternativně-bivalentní provoz. Zkratka DZ značí teplo dodané doplňkovým zdrojem tepla, Zkratka TČ popisuje teplo dodané tepelným čerpadlem [48].

- **Částečně paralelně-bivalentní provoz** je složen z předchozích dvou režimů. Pomocný zdroj je uveden do provozu poklesem teploty v sekundárním okruhu. Doplňkový zdroj funguje zároveň s TČ. Při teplotním minimu je TČ vypnuto a celá potřeba tepla je zajišťována elektrokotlem [46], [12].

## 2 Zdroje nízkopotenciálního tepla

Ve druhé kapitole jsou představeny jednotlivé typy nízkoteplotních zdrojů (NTZ) tepelné energie. NTZ tepla jsou takové obnovitelné zdroje energie, jejichž prostřednictvím je dosaženo nízkých teplot vody pro vytápění v rozmezí (35 až 55) °C. Výběr NTZ závisí na lokálních podmínkách daného objektu. Druh TČ souvisí s typem NTZ. Druhy TČ jsou označovány zkratkou sestávající ze dvou slov. První slovo vypovídá o původu NTZ, druhé slovo o druhu nosného média, které předává teplo do otopného systému. Nejrozšířenějšími typy TČ jsou kombinace vzduch-voda, země-voda, voda-voda a vzduch-vzduch [49]. Z důvodu rozsahu práce nejsou popsány všechny typy NTZ tepla.



Obrázek 2.1 Přehled nízkopotenciálních zdrojů tepla [50].

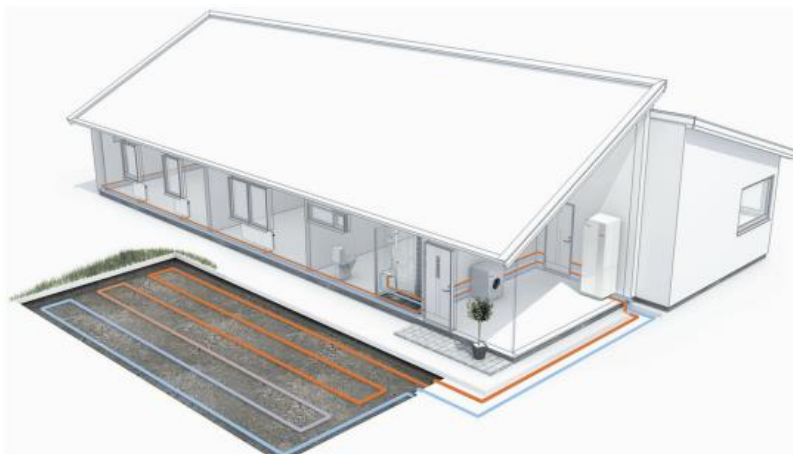
### 2.1 Energie ze země

Teplo z půdy má velký potenciál. Nabízí se možnost využít zemní kolektory, hlubkové sondy či energetické piloty.

#### 2.1.1 Horizontální plošné kolektory

První možností, jak využít tepla z půdy, je pomocí vodorovných plošných kolektorů (viz obrázek 2.2). Akumulovaná energie ve vrstvě zeminy je přenášena do plastových hadic plněných nemrznoucí směsí (solankou), které předávají teplo chladivovému okruhu a dále topné soustavě. Solanka proudí v uzavřeném okruhu a je poháněna oběhovým čerpadlem. Solankou může být směs vody s polyethylenglykolem nebo alkoholem. Hadice jsou systematicky uloženy ve vrstvě písku v hloubce zhruba 2 metrů, k tomu jsou třeba výkopové práce, což je finančně nejnáročnější položka tohoto typu TČ. Pro efektivní odběr tepla je třeba zajistit asi tříkrát větší odběrovou plochu než je plocha vytápěná [4]. Z tohoto důvodu vyplývá požadavek na dostatečný prostor pro uskutečnění instalace. Také je třeba vzít na vědomí polohu místa a tepelné vlastnosti půdy pro položení hadic. Dalším požadavkem je zajistit kvalitní materiály a montáž, jelikož následná oprava systému může být neproveditelná. Odměnou za precizní práci je stálý odběr tepla, čistota teponosného média, kterým není zanášen TV a dlouhá životnost systému

v řádu desítek let. Na druhou stranu umístění hadic do půdy může další využitelnost pozemku částečně znemožnit [10].



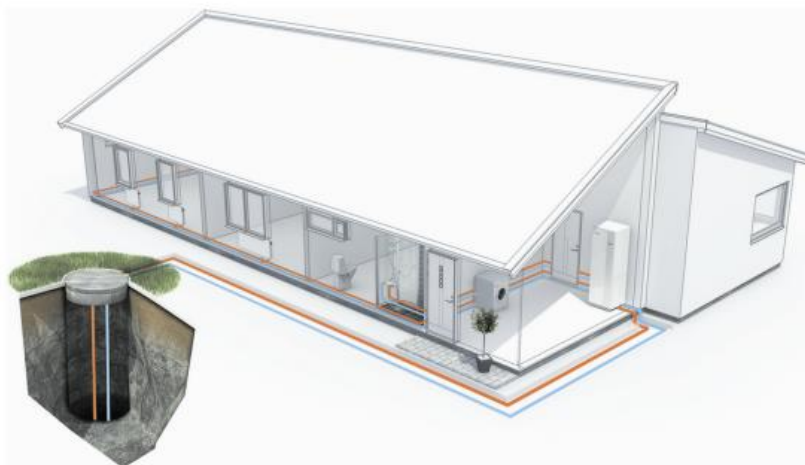
Obrázek 2.2 TČ země-voda využívající vodorovné plošné kolektory [39].

### 2.1.2 Vertikální plošné kolektory

Tato varianta může být alternativou k horizontálnímu plošnému kolektoru, provedení je vesměs velmi podobné. Hadice jsou umístěny v úzkém dlouhém výkopu a stočeny do smyček. Klade menší náročnost na prostor pozemku. Opět je důležité posoudit tepelnou vodivost zeminy. Čerpání tepla z půdy zaručuje stabilitu systému TČ země-voda, země-vzduch [4], [10].

### 2.1.3 Geotermální svislé vrty

Jinou možností využití tepla ze zemského masivu je zavedení hlubinného vrtu (viz Obrázek 2.3). Ve srovnání s plošnými sběrači je velikost potřebná pro vrt a realizaci podstatně menší. Vrtná souprava vyhloubí dle místních podmínek jeden či více vrtů s hloubkou běžně kolem 150 m a průměrem asi 1,5 m. V případě více vrtů je stanovena vzdálenost mezi jednotlivými vrty. Vyhloubení vrtu včetně položení hadic provádí specializovaná firma za souhlasu a povolení od stavebního úřadu [4], [39].



Obrázek 2.3 TČ země-voda, odběr tepla geotermální sondou [39].

Do vrtu je zavedena zemní sonda, tedy svazek plastových hadic, spolu s injekčním potrubím. Zavedení hadic je usnadněno závěsným závažím na konci sondy. Okolní prostor hadic ve vrtu je za vysokého tlaku vytěsněn tamponážní směsí (bentonit a cement) pro kvalitní přenos tepla a vysokou účinnost systému. S rostoucí hloubkou vrtu roste kromě teploty i tlak, proto jsou zemní sondy konstruovány na vysokou odolnost vůči velkým tlakům. TČ s geotermálním vrtem jako zdrojem užitečné energie často nepotřebuje doplňkový zdroj tepla pro pokrytí celkových tepelných ztrát objektu. Je také zaručen stabilní příjem tepla, který nezávisí na vnějších povětrnostních podmínkách. To je vykoupeno vyššími pořizovacími náklady technologie. Jako u plošných kolektorů je i zde kladen důraz na kvalitně odvedenou montáž a použité materiály. Poddimenzování vrtu může vést k zamrznutí vrtu, a také k nižší účinnosti TČ [4], [39].

#### 2.1.4 Energetické piloty

Vhodnou volbou pro vytápění a chlazení budov může být čerpání tepla prostřednictvím jejich základů, nacházejících se na nezpevněných podložích s výskytem podzemní vody. Tento způsob je realizovatelný pouze u novostaveb, často u výškových budov s hlubokými základy. Potrubí s kolující nemrznoucí směsí je zabudováno v ocelové armatuře betonových pilotů [10], [39].

### 2.2 Energie z vody

Zdrojem tepla z vody může být dle obrázku 2.1 například teplo z technologických procesů, vodních toků nebo podzemních vod.

#### 2.2.1 Podzemní voda

Podzemní voda je odebírána z jedné – čerpací studny a po odevzdání tepla ve výparníku je voda vypouštěna do druhé – vsakovací studny (viz Obrázek 2.4). Jedná se o otevřený primární okruh, na vstupu je instalováno ponorné čerpadlo a filtr proti zanášení výparníku.



Obrázek 2.4 TČ voda-voda, odběr tepla z podzemní vody [39].

Před realizací je proto odebrán vzorek vody a podroben chemickému rozboru. Čistota vody a její chemické složení ovlivňuje životnost TČ. Vsakovací studna musí být umístěna v dosta-

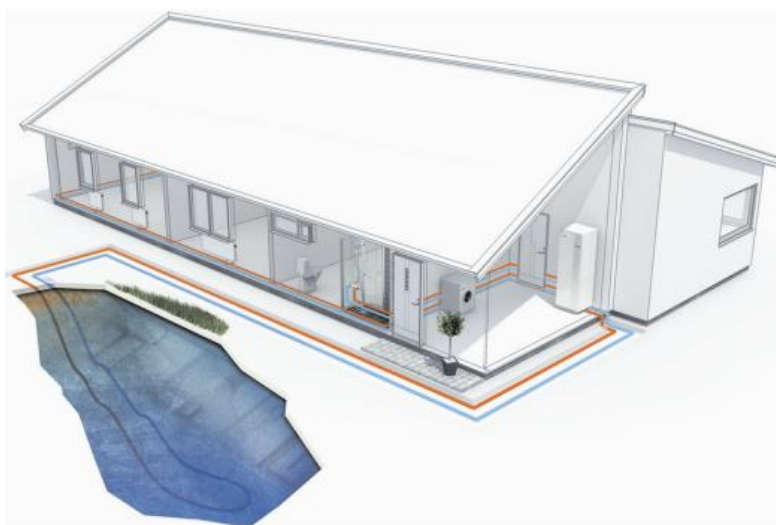


tečné vzdálenosti od studny zdrojové a v takovém směru proudění podzemních vod, aby nedocházelo k navracení ochlazené vody zpět do studny čerpací. Hlavním požadavkem je stálý dostatek vody ve studni v blízkosti lokace budovy. K ověření vydatnosti zdroje je prováděna čerpací zkouška a vsakovací zkouška, kterými je zaručena vydatnost zdroje vody a pohlcení vody půdou. Nedostatečný proud vody může způsobit zamrznutí vody ve výparníku a následně poškodit výparník. Jako opatření je k detekci objemového průtoku vody používán hlídač průtoku, jehož úkolem je vypnout kompresor TČ v případě rizika snížení toku. Zamrznutí vody může být i důsledkem velkého ochlazení vody ve výparníku, to je sledováno teplotními čidly [47].

Teplota podzemní vody se pohybuje kolem 10 °C po celý rok, proto jsou systémy TČ voda-voda poměrně účinné a lukrativní. Nicméně v ČR nejsou příliš vhodné podmínky pro jejich realizaci. Stavba studny a využití podzemní vody je spojeno s legislativními opatřeními, které je třeba dodržet [10], [47].

## 2.2.2 Tekoucí a stojatá povrchová voda

Tekoucí vodu lze čerpat dvěma způsoby. Odběr vody je prováděn přímo z řeky, potoku či rybníku ponorným čerpadlem na principu dvou studní nebo jsou umístěny kolektory na dně vodního zdroje (viz Obrázek 2.5) s uzavřenou primární stranou a nemrznoucí směsí, jak bylo zmíněno u systémů země-voda. Přímý odběr není vhodný z důvodu kolísání průtoku, zanášení filtrů nečistotami z vody a poklesu teploty v zimním období, z čehož opět vyplývá zamrznutí výparníku. Nepřímý odběr tekoucí vody díky uzavřené primární straně neklade nároky na kvalitu protékající vody. Pro obě varianty je nutno získat souhlas s využíváním vodního zdroje od správce povodí [4], [10].



Obrázek 2.5 TČ voda-voda, odběr tepla z povrchové vody[39].

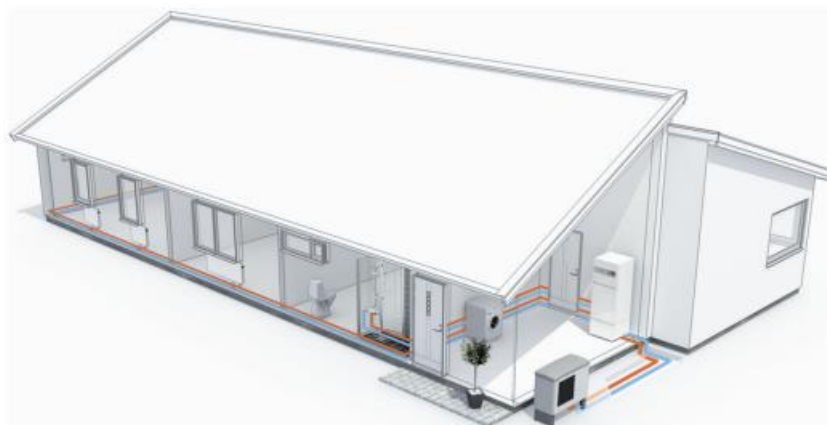
Teplo ze stojaté vody lze odebírat nepřímo. Kolektory jsou uloženy na dno vodního zdroje. Účinnost TČ pak závisí na konkrétních podmínkách, tj. hloubka rybníku, velikost plochy sběračů atd. I v tomto případě je nutno vyřešit administrativní úkony [4].



## 2.3 Energie ze vzduchu

Jak již bylo uvedeno na obrázku 1.1, systémy TČ vzduch-voda jsou v posledních letech v ČR hojně instalovány. TČ čerpající energii z venkovního vzduchu není dimenzováno k pokrytí celkové potřeby tepla, zpravidla je doplněno pomocným zdrojem tepla, např. elektrokotlem. Na trhu jsou TČ k dispozici s frekvenčním měničem pro řízení výkonu a starší technologií ON/OFF. Jsou vyráběna ve dvou základních verzích – kompaktní (monoblok) a dělená (split).

- Monobloková jednotka (viz Obrázek 2.6) obsahuje hermeticky uzavřený chladivový okruh s již naplněným chladivem uvnitř zařízení. Jednotku lze umístit vně objektu i uvnitř. U vnějšího provedení je zapotřebí vhodně tepelně izolovat potrubí s topnou vodou procházející obvodovou zdí. Vnitřní provedení vyžaduje zabudování sacího a výfukového potrubí skrz obvodovou zeď podle daných zásad [4].
- Varianta split skládající se z venkovní a vnitřní jednotky je spojena tepelně izolovaným potrubím. Kondenzátor je umístěn uvnitř budovy, vnější jednotka obsahuje zbylé prvky a nasává vzduch ventilátorem k výparníku. Existuje však více variací provedení. Skrz obvodovou stěnu proudí chladivo a do okruhu je plněno přímo na místě. Umístění jednotek je omezeno maximální vzdáleností [4].



Obrázek 2.6 TČ vzduch-voda, odběr tepla z venkovního vzduchu [39].

Výhodou těchto systémů je relativně snadná instalace, údržba a zařízení nezabírá příliš mnoho prostoru. Provoz je komplikován kolísáním hodnot teploty a vlhkosti během vytápěcího období. S klesající teplotou totiž klesá topný faktor TČ. Technologie TČ vzduch-voda prošla dlouhým vývojem, a proto moderní TČ mohou spolehlivě fungovat i při teplotách několik stupňů pod bodem mrazu. Poměr cena/výkon je často rozhodujícím parametrem pro volbu pořízení této technologie. Nevýhodou je zamrzání výparníku při nižších teplotách, problém je odstraňován reverzací chodu TČ. Reverzace je doprovázena ztrátou energie. Drobným nedostatkem může být hlučnost ventilátoru a kompresoru, kterou lze vhodným výběrem jednotky na trhu a jejím umístěním vyřešit [10], [39].

### 3 Návrh TČ

Následující kapitola se zabývá návrhovou částí této práce. Na začátku je představen konkrétní objekt pro návrh TČ, dále výpočet tepelné ztráty rodinného domu (RD) a celkové roční potřeby tepla, které jsou nutné pro volbu optimálního TČ. Poté následuje samotný výběr TČ, napojení do topného systému a popis akumulčních zařízení pro teplo a TUV. V závěru kapitoly je navržen zásobník TUV.

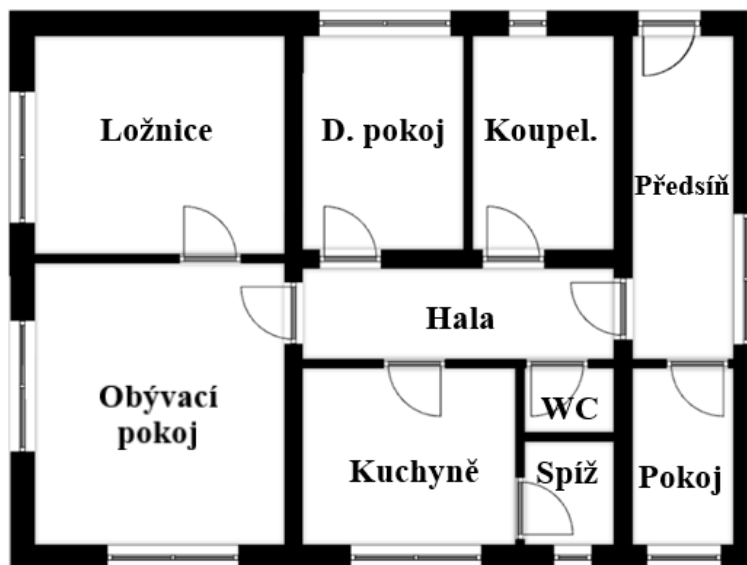
#### 3.1 Popis objektu

V rámci této práce byl vybrán jako předloha RD (viz Obrázek 3.1), který je umístěn ve Zlínském kraji v obci Hvozdná a byl postaven v roce 1968. Součástí RD jsou 2 bytové jednotky, suterén a podkroví. Zastavěná plocha RD činí 108 m<sup>2</sup>. V roce 2010 byl objekt zateplen a bylo využito programu Zelená úsporám pro podporu úspory energie na vytápění. Byly zatepleny obvodové zdi, strop sklepu a strop nejvyššího podlaží. Zároveň byla vyměněna stávající okna za plastová a původní vstupní dveře nahrazeny plastovými. V RD se nachází otopná soustava s radiátory. Větrání objektu je dosud prováděno přirozeným větráním okny, tedy bez řízeného větrání a rekuperace tepla. Dům je vytápěn primárně kotlem ETKA LS na tuhá paliva o výkonu 31 kW. Pro vytápění je k dispozici i záložní zdroj energie – plynový kotel s výkonem 25 kW, který slouží především pro ohřev TUV.



Obrázek 3.1 Vizualizace RD v obci Hvozdná. Pohled z východní strany (zleva) a severní strany (zprava).

Vnější rozměry RD jsou 12,05×8,95 m. Obvodové zdi s tloušťkou 0,4 m byly zatepleny polystyrenem o tloušťce 15 mm. Pro orientaci je na obrázku 3.2 zobrazen půdorys bytové jednotky.



Obrázek 3.2 Půdorys bytové jednotky. Koncepte obou bytových jednotek je shodná.

### 3.2 Výpočet tepelných ztrát objektu

Tepelná ztráta vzniká v důsledku sdílení tepla vzájemným působením jednotlivých látek. Představuje úbytek tepla z interiéru, který je způsoben izolačními vlastnostmi stavební konstrukce a větráním. Charakteristickou veličinou je celkový tepelný tok  $\dot{Q}$  neboli tepelná ztráta s jednotkou watt [W]. Tepelný tok procházející rovinnou stěnou, která se skládá z více vrstev (viz Obrázek 3.3), lze popsat Fourierovým zákonem pro vedení tepla a aplikací Ohmova zákona pro sériové zapojení rezistorů [11].

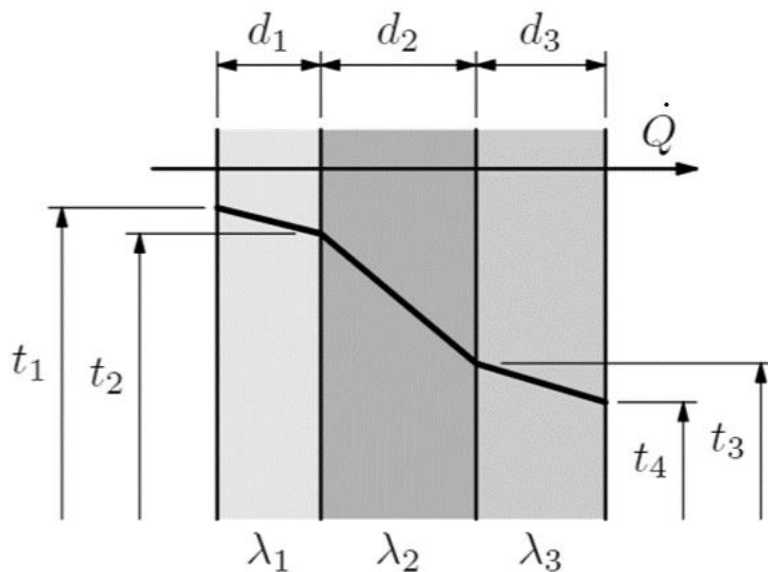
$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_4}{\frac{\delta_1}{\lambda_1 \cdot S} + \frac{\delta_2}{\lambda_2 \cdot S} + \frac{\delta_3}{\lambda_3 \cdot S}} = \frac{T_1 - T_4}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{T_1 - T_4}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (2)$$

kde:

$\dot{Q}$	Tepelný tok [W],
$T_1 - T_4$	Teplotní spád [K],
$\delta_i$	Tloušťka vrstvy [m],
$\lambda_i$	Tepelná vodivost [W/mK],
$S$	Povrch stěny [m <sup>2</sup> ],
$R_i$	Odpor proti vedení tepla [K/W].

Tepelná vodivost  $\lambda$  je konstanta, která popisuje schopnost materiálu předávat teplo. S klesající hodnotou tepelné vodivosti roste odpor proti přenosu tepla a velikost teplotního

spádu. Odpor proti přenosu tepla je definován podílem tloušťky vrstvy ku tepelné vodivosti a povrchu stěny. Tepelný odpor znemožňuje průtok tepla stěnou. Teplotní spád vyjadřuje rozdíl teplot na koncích stěny [11].



Obrázek 3.3 Přenos tepla složenou rovinnou stěnou [51].

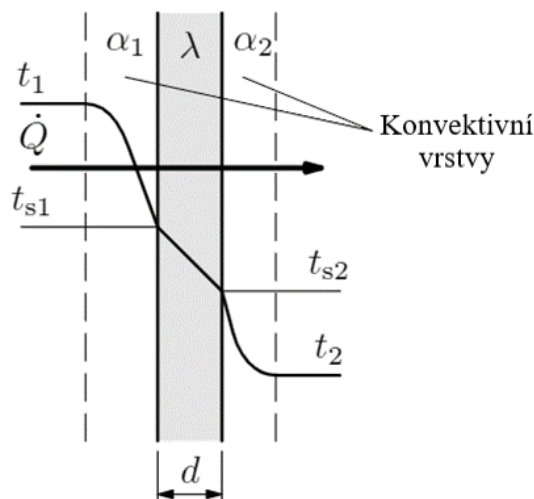
Pro sdílení tepla mezi povrchem a tekutinou je uvažován součinitel přestupu tepla  $\alpha$ . Výchozím vztahem je Newtonův ochlazovací zákon pro tepelný tok. Parametr součinitel přestupu tepla je charakterizován tepelným tokem proudícím z tekutiny do stěny. Následující rovnice vyjadřuje prostup tepla pomocí zákona zachování energie [11].

$$\dot{Q} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot S} + \frac{\delta}{\lambda \cdot S} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot S}} = \frac{T_1 - T_2}{R_1 + R_\lambda + R_2} = \frac{T_1 - T_2}{\sum_{i=1}^n R} \quad (3)$$

kde:

$\dot{Q}$	Tepelný tok [W],
$\alpha_i$	součinitel přestupu tepla [W/m <sup>2</sup> K],
$\lambda_i$	tepelná vodivost [W/mK],
$S$	plocha stěny [m <sup>2</sup> ],
$T_1 - T_2$	rozdíl teplot ochlazované tekutiny [K],
$R_i$	odpor proti vedení tepla [K/W].

Jmenovatel v rovnici (3) lze zapsat jako  $1/kS$ , kde  $k$  je součinitel prostupu tepla. Mimo jiné je parametr  $k$  také označován písmenem  $U$ . Je to převrácená hodnota tepelného odporu [51].



Obrázek 3.4 Vedení a prostup tepla rovinnou stěnou [51].

Původní výpočet tepelných ztrát podle normy ČSN 06 0210 [52] byl nahrazen výpočtem podle aktuálně platné normy ČSN EN 12 831-1 [53]. Tepelná ztráta je složena z tepelné ztráty prostupem tepla a tepelné ztráty větráním. Výpočet je možno provést základní nebo zjednodušenou metodou. Nová norma používá namísto tepelných ztrát pojem tepelný výkon. Tepelný (topný) výkon  $P$  je množství tepelného toku, které je dodáváno tělesu teplotněstabilním médiem. Jde o součet energie ze zdroje a hnací energie.

K určení hodnoty tepelné ztráty RD je pro efektivitu práce vybrán kalkulační nástroj ze zdroje [54]. Kalkulačka využívá obálkovou metodu a výsledná hodnota získaná touto metodou je pouze orientační. Přesný výpočet tepelných ztrát podle normy je podrobnější, časově náročný a není předmětem této práce. Také vzhledem k faktu, že se nejedná o novostavbu a otopná soustava je zachována, je tato metoda pro návrh TČ dostačující.

Nejprve jsou stanoveny okrajové podmínky zohledňující lokalitu RD. Po zadání regionu jsou hodnoty parametrů přednastaveny, konkrétně pro Zlín jsou uvedeny v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1 Klimatologické údaje pro lokalitu Zlín [54].

Venkovní návrhová teplota v zimním období $t_e$	-15 °C
Délka otopného období $d$	216 dní
Průměrná venkovní teplota v otopném období $t_{es}$	3,6 °C

Dále je pro výpočet tepelných ztrát nutno zadat charakteristiku objektu (viz Tabulka 3.2). Představení parametrů a jejich volba je popsána níže.

Tabulka 3.2 Charakteristika objektu [54].

Převažující vnitřní teplota v otopném období $t_{is}$	20 °C (zvoleno)
Objem budovy $V$	611 m <sup>3</sup> (zvoleno)
Celková plocha $A$	709 m <sup>2</sup>
Celková podlahová plocha $A_c$	183 m <sup>2</sup> (zvoleno)
Objemový faktor tvaru budovy $A/V$	1,16 m <sup>-1</sup>
Trvalý tepelný zisk $H_+$	760 W (zvoleno)
Solární tepelné zisky $H_{S+}$	1 650 kWh/rok

Se zvyšováním vnitřní teploty roste spotřeba energie. Pro běžnou teplotu interiéru v otopném období  $t_{is}$  vyhovuje 20 °C. Pro objem budovy  $V$  je započten vnější objem vytápěné zóny budovy vyjma podkroví, sklepu, základu, lodžie, římsy, atiky a garáže. Vytápěnými prostory jsou dvě bytové jednotky vyjma schodiště.

$$V_{budovy} = a_1 \cdot b_1 \cdot c = 12,05 \cdot 8,95 \cdot (2 \cdot 2,55 + 3 \cdot 0,4) = 679 \text{ m}^3 \quad (4)$$

kde:

$V_{budovy}$	Objem budovy [m <sup>3</sup> ],
$a_1$	délka budovy [m],
$b_1$	šířka budovy [m],
$c$	celková výška dvou vytápěných podlaží (součet světlé výšky a tloušťky stropu) [m].

$$V_{schodiště} = a_2 \cdot b_2 \cdot c = 5,4 \cdot 2 \cdot (2 \cdot 2,55 + 3 \cdot 0,4) = 68 \text{ m}^3 \quad (5)$$

kde:

$V_{schodiště}$	Objem schodiště [m <sup>3</sup> ],
$a_2$	délka schodiště včetně tloušťky obvodové zdi [m],
$b_2$	šířka schodiště včetně tloušťky obvodové zdi [m],
$c$	celková výška dvou vytápěných podlaží (součet světlé výšky a tloušťky stropu) [m].

$$V = V_{budovy} - V_{schodiště} = 679 - 68 = 611 \text{ m}^3 \quad (6)$$

Celková plocha  $A$  je sumou vnějších ploch ochlazovaných konstrukcí  $A_i$ , které definují objem budovy. Údaje vychází z tabulky 3.3.

$$A = \sum_{i=1}^n A_i = 290 + 97 + 172 + 97 + 51 + 1,9 = 709 \text{ m}^2 \quad (7)$$

Celková podlahová plocha  $A_C$  je součtem podlahových ploch ohraničených vnitřní stranou obvodových zdí bez nevytápěných oddělených prostor.

$$A_C = 2 \cdot (A_{Ložnice} + A_{Obývací pokoj} + A_{Kuchyně} + A_{Spíž} + A_{WC} + A_{Hala} + A_{Koupelna} + A_{Dětský pokoj}) \quad (8)$$

$$A_C = 2 \cdot (14 + 18 + 8,6 + 3,5 + 1,5 + 7 + 5,7 + 9,4) = 135,4 \text{ m}^2 \quad (9)$$

Objemový faktor tvaru budovy  $A/V$  je podílem celkové plochy  $A$  a objemu budovy  $V$ .

$$\frac{A}{V} = \frac{709}{611} = 1,16 \text{ m}^{-1} \quad (10)$$

Trvalý tepelný zisk  $H_+$  znázorňuje všechny zdroje tepla uvnitř objektu. Např. tepelná produkce lidí, svítidel, spotřebičů, zařízení atd. K výpočtu je použita výchozí hodnota 70 W/os a pro spotřebiče 100 W/byt.

$$H^+ = \text{počet osob} \cdot 70 + \text{počet bytů} \cdot 100 \quad (11)$$

$$H^+ = 8 \cdot 70 + 2 \cdot 100 = 760 \text{ W} \quad (12)$$

Hodnota solárních tepelných zisků  $H_{S+}$  je vypočtena kalkulačkou na základě vyhlášky zjednodušenou formou. Měrná ztráta prostupem tepla  $H_{Ti}$  je spočtena na základě jednotlivých stavebních konstrukcí. Je nutno zadat součinitele prostupu tepla  $U_i$ , tloušťku zateplení  $d$  a vypočítat plochu konstrukcí  $A_i$ . Pro činitele teplotní reprodukce  $b_i$  jsou použity výchozí hodnoty.

Tabulka 3.3 Ochlazované konstrukce objektu / Zateplení, výměna oken [54].

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla před zateplením $U_i$ [W/m <sup>2</sup> K]	Tloušťka zateplení $d$ [mm] / nová okna $U_i$ [W/m <sup>2</sup> K]	Plocha $A_i$ [m <sup>2</sup> ]	Činitel teplotní reprodukce $b_i$ [-]		Měrná ztráta prostupem tepla $H_{Ti}$ [W/K]	
				Před úpravami	Po úpravách	Před úpravami	Po úpravách
Stěna	1,40	150	290	1,00	1,00	406,0	65,0
Podlaha nad sklepem	3,10	150	97	0,65	0,65	195,5	15,5
Střecha	2,20	150	172	1,00	1,00	378,4	40,9
Strop pod půdou	1,40	150	97	0,80	0,95	108,6	20,6
Okna	2,50	1,1	51	1,00	1,00	127,5	56,1
Vstupní dveře	4,70	1,2	1,9	1,00	1,00	8,9	2,3

Součinitel prostupu tepla je volen z nabízených hodnot odpovídající popisu objektu. Například stěna do roku výstavby 1978 má  $U=1,40$  W/m<sup>2</sup>K. Podlaha nad sklepem bez tepelné izolace má  $U=3,10$  W/m<sup>2</sup>K atd. Měrná ztráta prostupem tepla  $H_{Ti}$  [W/K] je vypočítána kalkulačkou dle vzorce:

$$H_{Ti} = A_i \cdot U_i \cdot b_i \quad (13)$$

kde:

$H_{Ti}$	Měrná ztráta prostupem tepla [W/K],
$A_i$	Plocha [m <sup>2</sup> ],
$U_i$	Součinitel prostupu tepla před zateplením [W/m <sup>2</sup> K],
$b_i$	Činitel teplotní reprodukce [-].

Tabulka 3.4 Lineární tepelné mosty [54].

Před zateplením	$\Delta U = 0,10$ W/m <sup>2</sup> K
Po zateplení	$\Delta U = 0,05$ W/m <sup>2</sup> K

Tepelný most je místo, kudy proudí tepelný tok z vnitřního prostředí objektu do venkovního. Jedná se o nežádoucí efekt. Typickým příkladem je špatně navržená konstrukce nebo tepelná izolace. Před zateplením byla zvolena konstrukce s běžnými tepelnými mosty odpovídající hodnotě  $0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Po úpravě byla nastavena konstrukce s mírnými tepelnými mosty a poloviční hodnotou oproti původní.

Tabulka 3.5 Větrání [54].

Intenzita větrání s původními okny	$n_1 = 1 \text{ h}^{-1}$ (pro netěsný objekt)
Intenzita větrání s novými okny	$n_2 = 0,4 \text{ h}^{-1}$ (pro těsnou stavbu)

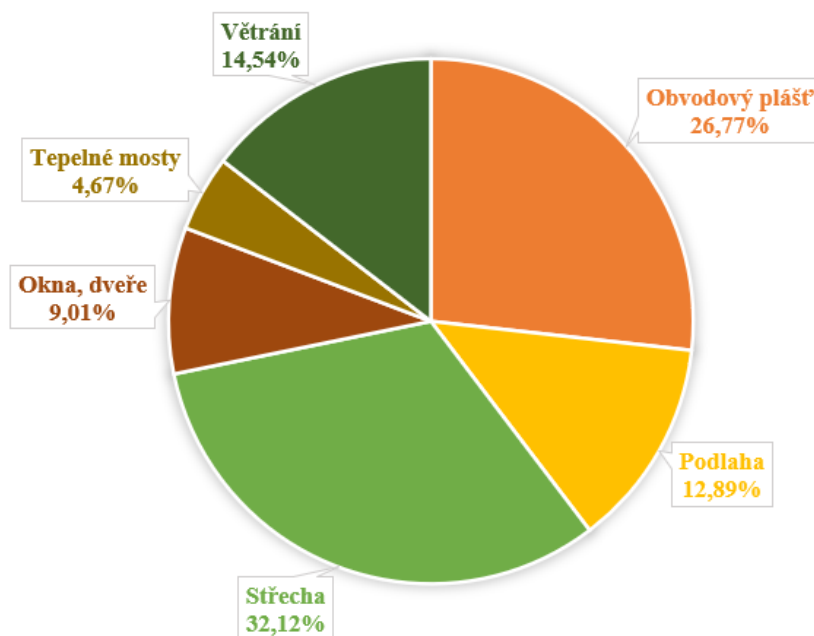
Čísla intenzity větrání vychází z doporučených hodnot kalkulačky. Násobnost výměny vzduchu závisí na podílu počtu přítomných osob v interiéru a objemu vzduchu v budově. Koefficientem je hodnota výměny vzduchu, podle kalkulačky  $25 \text{ m}^3$  vzduchu na osobu za hodinu. Systém rekuperace tepla není v RD přítomen, proto není do výpočtu zahrnut.

Tabulka 3.6 Roční potřeba energie na vytápění [54].

Stav objektu	Měrná potřeba energie [ $\text{kWh/m}^2$ ]
Před zateplením	785,6
Po zateplení	149,2

Měrná potřeba energie na rok činí po zateplení  $149,2 \text{ kWh/m}^2$ . Je dosaženo úspory měrné potřeby tepla na vytápění 81 %.

### Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi před zateplením



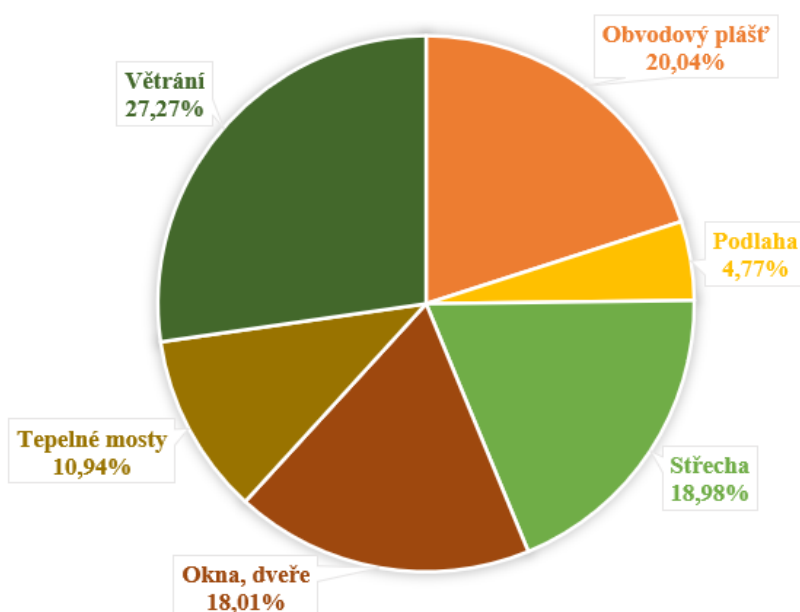
Obrázek 3.5 Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi před zateplením [54].



Tabulka 3.7 Stavebně-technické hodnocení před zateplením [54].

Typ konstrukce	Tepelná ztráta [kW]
Obvodový plášť	14,21
Podlaha	6,84
Střecha	17,05
Okna, dveře	4,78
Tepelné mosty	2,48
Větrání	7,72
Celkem	53,08

Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi  
po zateplení



Obrázek 3.6 Tepelné ztráty jednotlivými konstrukcemi  
po zateplení [54].

Tabulka 3.8 Stavebně-technické hodnocení po zateplení [54].

Typ konstrukce	Tepelná ztráta [kW]
Obvodový plášť	2,27
Podlaha	0,54
Střecha	2,15
Okna, dveře	2,04
Tepelné mosty	1,24
Větrání	3,09
Celkem	11,33

Tepelná ztráta  $Q_C$  po zateplení je rovna hodnotě 11,33 kW.

### 3.3 Potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV

Podle kalkulačky ze zdroje [55] lze zjednodušeně vypočítat celkovou potřebu energie pro vytápění a ohřev TUV na rok. Opět je třeba zadat charakteristiku umístění budovy viz Tabulka 3.1. Zde doplněno o střední denní výpočtovou teplotu v otopném období  $t_{em} = 12$  °C.

#### 3.3.1 Potřeba energie pro vytápění

Vzorec pro výpočet potřeby tepla pro vytápění (14) zahrnuje určení vytápěcích denostupňů  $D$ , opravného součinitele  $\varepsilon$  a účinnosti systému  $\eta$ . Počet denostupňů je součinem délky topného období  $d$  a rozdílu průměrné vnitřní výpočtové teploty  $t_{is}$  a průměrné vnější výpočtové teploty během otopného období  $t_{es}$ .

$$D = d \cdot (t_{is} - t_{es}) \quad (14)$$

$$D = 216 \cdot (20 - 3,6) = 3542 \text{ den} \cdot K \quad (15)$$

Opravný součinitel:

$$\varepsilon = e_i \cdot e_t \cdot e_d \quad (16)$$

kde:

- $e_i$  nesoučasnost tepelné ztráty větráním a tepelné ztráty prostupem [-],
- $e_t$  snížení teploty v místnosti během dne, resp. noci [-],
- $e_d$  zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu [-].

Pro stavby střední s krátkými otopnými přestávkami (např. v noci) lze uvažovat  $\varepsilon = 0,75$ .

Účinnost systému:

$$\eta = \eta_0 \cdot \eta_r \quad (17)$$

kde:

- $\eta$  Účinnost systému [-],
- $\eta_0$  účinnost obsluhy resp. možnosti regulace soustavy [-],
- $\eta_r$  účinnost rozvodu vytápění [-].

Účinnost  $\eta_0$  je zvolena 0,95 pro kotelnu na tuhá paliva bez rozdělení na sekce. Účinnost  $\eta_r$  je volena podle provedení rozvodu vytápění na hodnotu 0,95. Následně je dosazeno do vzorce pro celkovou roční potřebu tepla na vytápění  $Q_{VYT,r}$ .

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_0 \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad (18)$$

$$Q_{VYT,r} = \frac{0,75}{0,95 \cdot 0,95} \cdot \frac{24 \cdot 11,33 \cdot 3542}{(20 - (-15))} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \quad (19)$$

$$Q_{VYT,r} = 82,3 \text{ GJ/rok} \quad (20)$$

Potřeba tepla na vytápění je 82,3 GJ/rok, tj. 22,9 kWh.

### 3.3.2 Potřeba energie pro ohřev TUV

K získání roční potřeby tepla pro ohřev TUV je třeba nejprve znát denní potřebu tepla pro ohřev TUV  $Q_{TUV,d}$ .

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1) \quad (21)$$

kde:

$Q_{TUV,d}$	Potřeba tepla pro ohřev TUV za 1 den [J],
$z$	koeficient energetických ztrát systému pro přípravu teplé vody [-],
$\rho$	měrná hmotnost vody [ $\text{kg/m}^3$ ],
$c$	měrná tepelná kapacita vody [ $\text{J/kgK}$ ],
$V_{2p}$	celková potřeba teplé vody za 1 den [ $\text{m}^3/\text{den}$ ],
$t_2$	teplota ohřáté vody [ $^{\circ}\text{C}$ ],
$t_1$	teplota studené vody [ $^{\circ}\text{C}$ ].

Koeficient  $z$  závisí na kvalitě rozvodů a době cirkulace, pro starší stavby je parametr  $z$  volen v intervalu 1 až 5, pro tento případ je uvažován  $z = 1$ . Celková potřeba TUV na 1 den  $V_{2p}$  je podle zdroje 0,082  $\text{m}^3/\text{os}$  a den, tedy pro 8 osob je  $V_{2p} = 0,656 \text{ m}^3/\text{os}$  a den. Běžná teplota studené vody je 10  $^{\circ}\text{C}$ . Na základě venkovní výpočtové teploty  $t_e$  je teplota ohřáté vody nastavena na 45  $^{\circ}\text{C}$ . Po dosazení je  $Q_{TUV,d}$  rovno:

$$Q_{TUV,d} = (1 + 1) \cdot 1000 \cdot 4186 \cdot 0,656 \cdot (45 - 10) = 192,2 \text{ MJ} \quad (22)$$

Celková roční potřeba tepla pro ohřev TUV  $Q_{TUV,r}$  je dána vzorcem:

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d) \quad (23)$$

kde:

$t_{svl}$	teplota studené vody v létě [ $^{\circ}\text{C}$ ],
$t_{svz}$	teplota studené vody v zimě [ $^{\circ}\text{C}$ ],
$N$	počet pracovních dní soustavy v roce [den].

Pro výše uvedené teploty jsou použity výchozí hodnoty kalkulačky. Počet pracovních dní soustavy  $N$  je 365. Potom lze dosadit do vzorce:

$$Q_{TUV,r} = 192,2 \cdot 216 + 0,8 \cdot 192,2 \cdot \frac{45 - 15}{45 - 5} \cdot (365 - 216) = 58,7 \text{ GJ/rok} \quad (24)$$

Potřeba tepla na ohřev TUV je 58,7 GJ/rok, tj. 16,3 kWh.

### 3.3.3 Celková roční potřeba energie pro vytápění a ohřev TUV

Celková roční potřeba tepla pro vytápění a ohřev TUV  $Q_r$  je dána součtem jednotlivých potřeb tepla.

$$Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} \quad (25)$$

$$Q_r = 82,3 + 58,7 = 141 \text{ GJ/rok} \quad (26)$$

Celková roční potřeba tepla činí 141 GJ/rok, tj. 39,2 MWh/rok. Roční potřeba tepla pro ohřev TUV je 41,6 % z celkové roční potřeby tepla.

### 3.4 Výběr TČ

Pro daný RD je vybráno TČ země-voda využívající geotermální vrt Vitocal 200-G typu BWC 201.A13 od výrobce Viessmann [56].

Tabulka 3.9 Technické údaje TČ Vitocal 200-G, typ BWC 201.A13 [56] za podmínek B0W55 (B – nemrzoucí směs, W – voda) na základě normy ČSN EN 14 511 [13].

Tepelný výkon	11,97	kW
Elektrický příkon	3,86	kW
Sezonní topný faktor SCOP	3,90	–
Hladina akustického výkonu	49,00	dB(A)
Třída energetické účinnosti	A++	–



Obrázek 3.7 Vizualizace zvoleného TČ Vitocal 200-G [56].

Rozhodnutí o optimálním TČ je provedeno na základě několika kritérií [47].

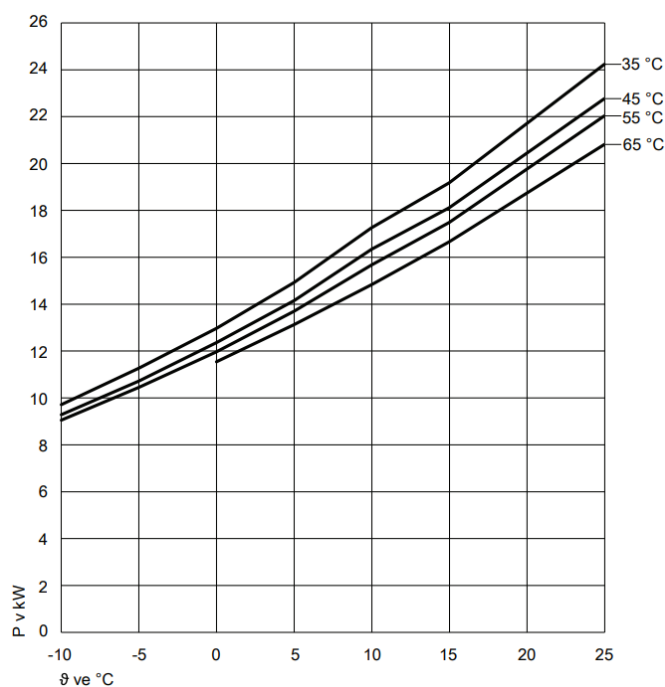
- Velikost tepelné ztráty objektu,
- volba druhu NTZ,
- vhodnost tepelné soustavy,
- spotřeba tepla na vytápění a ohřev TUV,
- režim provozu TČ, příp. volba doplňkového zdroje,
- režim chlazení,
- způsob větrání.

Tepelné ztráty jsou sníženy díky zateplení RD a výměně oken. Odhad tepelných ztrát objektu je proveden v kapitole 3.2. Dále jsou posouzeny NTZ.

TČ voda-voda nelze realizovat z důvodu nedostatku zdroje vody v blízkosti daného objektu. TČ vzduch-voda se vyznačuje poměrně nízkou pořizovací cenou, instalace TČ není příliš náročná. Velký podíl instalací tohoto systému v současnosti v ČR však nemusí být správným ukazatelem a nejlepší volbou pro každou stavbu.

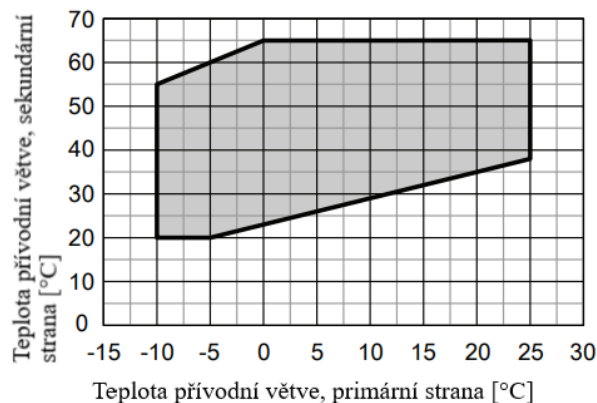
Na pozemku není k dispozici dostatečný prostor pro zavedení plošných kolektorů. Požadavky na prostor realizace hlubinného vrtu jsou poměrně malé. Hloubka vrtu je navrhována na základě místních geologických podmínek. Dle potřeby lze instalovat i více vrtů, maximální hloubka jednoho vrtu může být až 250 m. Dimenzování vrtu je zjednodušeno následující úvahou. Pro získání 1 kW topného výkonu je nutno vystrojit 15 m vrtu [47]. Tudíž TČ o jmenovitém výkonu 12 kW vyžaduje 180 m vrtu. Je nutno provést geologický průzkum a získat stavební povolení. Investiční náklady jsou poměrně vyšší ve srovnání s TČ vzduch-voda. Na druhou stranu provozní náklady jsou menší, nároky na bivalentní zdroj jsou také nízké a jedná se o stabilní zdroj tepla, systém vykazuje lepší účinnost oproti TČ vzduch-voda.

Na obrázku 3.8 je zobrazen tepelný výkon vybraného TČ v závislosti na různých teplotách topné vody v sekundárním okruhu.



Obrázek 3.8 Tepelný výkon při různých teplotách  
přívodní větve sekundárního okruhu [56].

Nízké spotřeby elektřiny a ekonomického provozu s TČ lze dosáhnout nízkou teplotou topné vody. Maximální teplota topné vody, dána výrobcem TČ, je 65 °C, pro daný objekt je zvolena nejvyšší teplota topné vody 50 °C. Oblast použití TČ je k dispozici na obrázku 3.9. Plánovaný teplotní spád otopné soustavy pro stávající systém je 50/40 °C. Tepelný výkon radiátorů je tím snížen, z čehož plyne potřeba zvětšit plochu topných těles a průtok topné vody. Alternativním řešením je předehřev vratné vody z topného systému pomocí doplňkového zdroje tepla [4].



Obrázek 3.9 Meze použití TČ [56].

Stávající kotel na tuhá paliva nesplňuje emisní normu a je nahrazen TČ, které zajišťuje kromě vytápění RD také ohřev TUV a je umístěno do technické místnosti uvnitř budovy. Výpočet potřeby tepla na vytápění a ohřev TUV je uveden v kapitole 3.3. Tepelný výkon je obvykle dimenzován přibližně na 50–70 % tepelných ztrát RD [57]. Pro tento objekt pokryje TČ 100 % tepelných ztrát, z čehož lze uvažovat monovalentní provoz TČ. Doba návratnosti investice je kratší, čím déle TČ pracuje na jmenovitém výkonu.

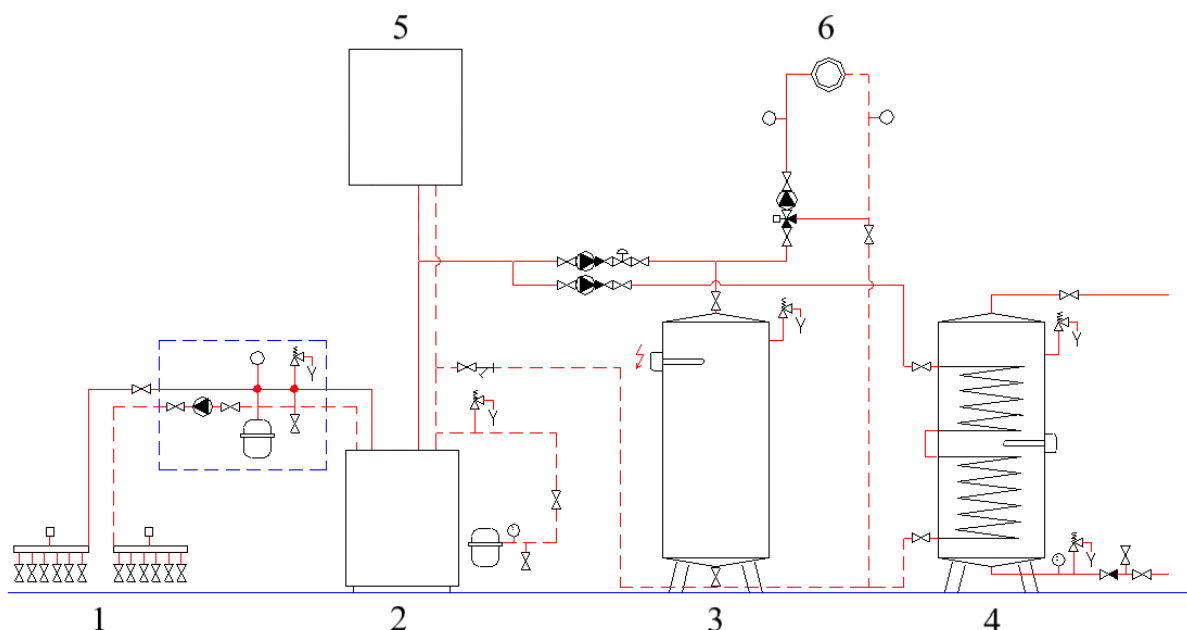
V případě, kdy TČ nezvládne dodávat dostatek energie, je rezerva tepla zajištěna akumulačním zásobníkem (viz kapitola 3.6), případně záložním zdrojem tepla, čímž je stávající plynový kotel. Plynovým kotlem je v případě poruchy TČ pokryta celková tepelná ztráta budovy.

Tepelná soustava s radiátory není vhodná pro chlazení objektu z důvodu kondenzace vlhkosti na rozvodech a povrchu radiátorů. Způsob větrání je uveden v kapitole 3.1.

Životnost TČ závisí převážně na životnosti kompresoru. Příčinou vyřazení kompresoru z provozu je například časté spínání kompresoru. Zde je proto potřeba správně navrhnout výkon TČ a posoudit možnosti akumulace tepla a regulace TČ. Druhou komplikací mohou být neodborně provedené zemní práce. Důležité je použít kvalitní materiál potrubí zemního vrtu. Spolehlivý provoz zemního kolektoru, pokud je tedy správně instalován, může být i několik desítek let [4].

### 3.5 Napojení TČ

Stávající topný systém s radiátory zůstane zachován beze změn. TČ lze zapojit do topného systému různými způsoby. Ohřev TUV a vytápění pomocí TČ je ideálně zajištěno zvláště samostatnými okruhy. Pro navrhovaný systém je vybráno doporučené připojení s hlubinným vrtem ze zdroje [57].



Obrázek 3.10 Navržené zapojení systému TČ s geotermální sondou (upraveno) [57]. Vysvětlivky: 1 – zemní vrty, 2 – TČ, 3 – akumulační zásobník, 4 – zásobník TUV, 5 – plynový kotel, 6 – radiátory.

### 3.6 Zásobník na ohřev TUV a akumulační nádrž

Zásobníkový ohříváč vody neboli bojler je zařízení, které slouží k akumulaci TUV v nádrži. Zajišťuje tak stálou dodávku teplé vody. Jsou vyráběny v několika provedeních. Druhým typem jsou průtokové ohříváče vody. Voda je ohřívána průtokem skrz ohříváč.

Akumulační nádrž pokrývá potřebu tepla v době vysokého tarifu a ohřevu TUV. Podle toho se navrhuje její velikost. Součástí sestavy vybraného TČ je akumulační zásobník Vitocell 100-E, typ SVP o objemu 400 l. Výhodou použití akumulačního zásobníku je obecně snížení počtu spínání TČ, což vede k nárůstu doby životnosti zařízení [47], [39].

#### 3.6.1 Návrh zásobníku na TUV

Objem zásobníku TUV je vypočten na základě normy ČSN 06 0320 [58]. Některé hodnoty parametrů jsou uvedeny v podkapitole 3.3.2.

Výpočtová hodnota potřeby tepla na ohřev TUV  $Q_{2t}$ :

$$Q_{2t} = \frac{c \cdot V_{2P} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} \quad (27)$$

$$Q_{2t} = \frac{4186 \cdot 0,656 \cdot (45 - 10)}{3600} = 26,7 \text{ kWh} \quad (28)$$

Teplu ztracené při ohřevu a distribuci TUV  $Q_{2z}$ :

$$Q_{2z} = Q_{2t} \cdot z \quad (29)$$

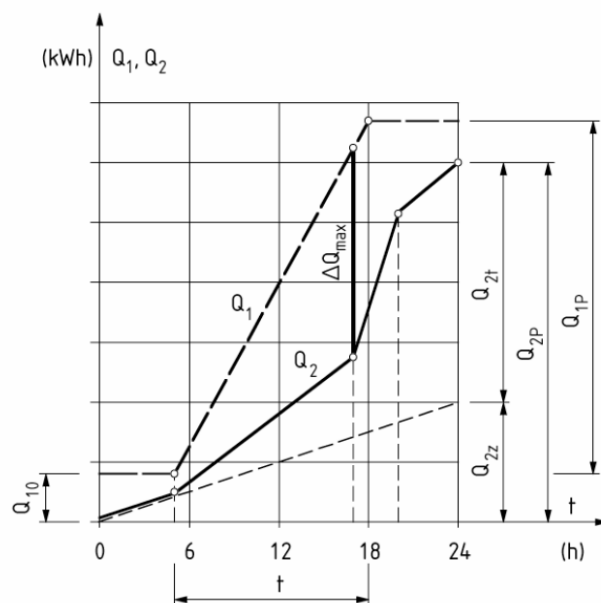
$$Q_{2z} = 26,7 \cdot 1 = 26,7 \text{ kWh} \quad (30)$$

Teplo dodané ohřivačem do TUV  $Q_{2P}$  a  $Q_{1P}$ :

$$Q_{2P} = Q_{2t} + Q_{2z} = Q_{TUV,d} \quad (31)$$

$$Q_{2P} = 26,7 + 26,7 = 53,4 \text{ kWh} \quad (32)$$

$$Q_{1P} = Q_{2P} = 53,4 \text{ kWh} \quad (33)$$



Obrázek 3.11 Křivka dodávky a odběru tepla při ohřevu vody [58].

V průběhu dne se odběr z celkového množství ohřáté TUV mění.

Od 5 do 17 hodin je odebíráno 35 %, potřeba tepla činí:

$$Q_{2t} = 0,35 \cdot 26,7 = 9,4 \text{ kWh} \quad (34)$$

Od 17 do 20 hodin je odebíráno 50 %, potřeba tepla činí:

$$Q_{2t} = 0,50 \cdot 26,7 = 13,3 \text{ kWh} \quad (35)$$

Od počátku ohřevu je pak spotřeba 22,7 kWh.

Od 20 do 24 hodin je odebíráno 15 %, potřeba tepla činí:

$$Q_{2t} = 0,15 \cdot 26,7 = 4 \text{ kWh} \quad (36)$$

Tedy od začátku ohřevu je potřeba tepla 26,7 kWh.



Objem zásobníku je vypočten následujícím vztahem. Hodnota  $\Delta Q_{max}$  největší pořadnice mezi křivkami  $Q_1$  a  $Q_2$  je odečtena z odběrového diagramu (viz Obrázek 3.11) pro tento případ. Měrná tepelná kapacita vody  $c$  je udána v [kWh/m<sup>3</sup>K].

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{c \cdot (t_2 - t_1)} \quad (37)$$

$$V_z = \frac{9,6}{1,163 \cdot (45 - 10)} = 0,24 \text{ m}^3 \quad (38)$$

Vypočtený objem zásobníku TUV je 240 litrů. Při návrhu je však uvažováno s konstantní dodávkou tepla. V porovnání za podmínky využití nízkého tarifu může být navržený objem zásobníku větší. Řešením se nabízí zásobníkový ohřívač teplé vody Vitocell 100-V, typ CVW o objemu 390 litrů, který je součástí sestavy TČ.

Jmenovitý tepelný výkon  $\Phi_{1n}$  pro ohřev TUV:

$$\Phi_{1n} = \left( \frac{Q_1}{t} \right)_{max} \quad (39)$$

$$\Phi_{1n} = \frac{53,4}{24} = 2,2 \text{ kW} \quad (40)$$

kde:

$\Phi_{1n}$	Jmenovitý tepelný výkon pro ohřev TUV [kW],
$Q_1$	Teplo dodané ohřívačem do TUV [kWh],
$t$	Čas [h],
$\left( \frac{Q_1}{t} \right)_{max}$	Maximální sklon křivky dodávky tepla $Q_1$ .

## 4 Zhodnocení systému TČ

V závěrečné kapitole je posouzena ekonomická a energetická stránka navrženého systému využívající TČ. Zhodnocení zahrnuje vstupní pořizovací náklady, dotační programy, roční potřebu tepla, distribuční sazby energií a roční náklady na energie. Kapitola je zakončena posouzením návratnosti investice.

### 4.1 Investiční náklady

Investiční náklady představují vstupní hodnotu ekonomického zhodnocení. V následující tabulce 4.1 je uveden přehled investičních položek TČ a jejich orientačních cen.

Tabulka 4.1 Pořizovací náklady TČ země-voda.

Položka	Cena bez DPH	DPH	Cena s DPH
Hydrogeologický průzkum	10 000 Kč	21 %	12 100 Kč
Úřední povolení	8 000 Kč	21 %	9 680 Kč
Zemní vrt 2×90 m	216 000 Kč	21 %	261 360 Kč
Sestava TČ Vitocal 200-G typu BWC 201.A13	248 740 Kč	21 %	300 975 Kč
Ostatní materiál	15 000 Kč	21 %	18 150 Kč
Elektroinstalace	5 000 Kč	21 %	6 050 Kč
Montáž a uvedení do provozu	10 000 Kč	21 %	12 100 Kč
Celkem	512 740 Kč		620 415 Kč

Pozn.: Cena zemního vrtu je přibližně 1 200 Kč/m.

### 4.2 Možnost dotace

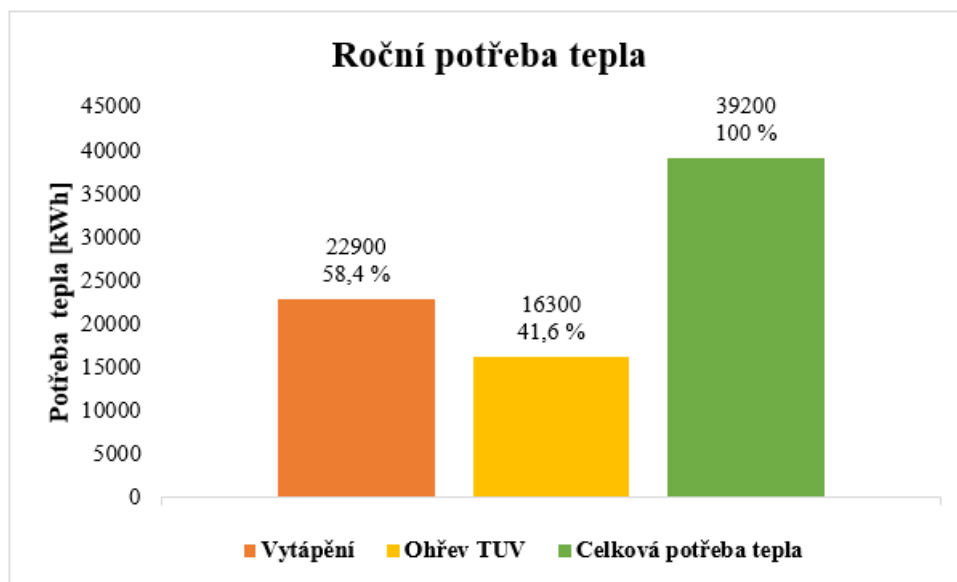
V rámci snižování energetické náročnosti budov a důrazu na využití alternativních zdrojů energie jsou k dispozici státní dotační programy [59] pro podporu domácností v rodinných a bytových domech. Dotační program Kotlíková dotace je určen pro domácnosti s nižšími příjmy, program Nová zelená úsporám pro ostatní domácnosti. Cílem programů je zlepšení kvality ovzduší a úspora za energie. Výše dotace z jednotlivých programů na pořízení TČ s teplovodním systémem vytápění a přípravou teplé vody je uvedena v tabulce 4.2.

Tabulka 4.2 Dotační programy pro pořízení TČ [59].

Kotlíková dotace	180 000 Kč
Nová zelená úsporám	100 000 Kč

### 4.3 Roční potřeba tepla

Díky úsporným energetickým opatřením je snížena celková roční potřeba tepla z původní hodnoty zhruba 71 MWh na konečnou hodnotu 39,2 MWh. Roční potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV po rekonstrukci je zobrazena v grafu na obrázku 4.1.



Obrázek 4.1 Roční potřeba tepla.

### 4.4 Distribuční sazby

V závislosti na odebraném množství elektrické energie a velikosti hlavního jističe je klasifikováno několik distribučních sazeb. Každá distribuční sazba je charakterizována podmínkami uplatnění a je rozdělena na jednotarifní a dvoutarifní. Dvoutarifní sazba operuje s vysokým tarifem (VT) a nízkým tarifem (NT). Rozdíl je v ceně. VT je zpoplatněn vyšší cenou oproti NT. Cena mimo jiné závisí na odběrném místě, v ČR existují tři distribuční území.

*Stávající sazba D 25d:*

- Pro elektrický akumulací spotřebič sloužící k ohřevu vody.
- Platnost NT 8 h denně.

*Nová sazba D 57d:*

- Pro systém vytápění s TČ.
- Platnost NT 20 h denně.

V tabulce 4.3 je uvedeno srovnání cen stávající a nové distribuční sazby energie u vybraného domu.

Tabulka 4.3 Přehled dvoutarifních sazeb a cen distribuce elektřiny [60].

<b>Produkt dodávky elektřiny</b>	<b>Aku</b>	<b>Přímotop</b>
Cena ve VT [Kč/MWh]	3 797	3 900
Cena v NT [Kč/MWh]	2 202	2 968
Stálý měsíční plat [Kč/měs.]	96	96
<b>Distribuční sazba</b>	<b>D 25d</b>	<b>D 57d</b>
Cena za distr. množství el. ve VT [Kč/MWh]	2 165,66	288,67
Cena za distr. množství el. v NT [Kč/MWh]	229,00	229,00
<b>Hodnota hlavního jističe</b>	<b>Měsíční plat za příkon [Kč/měs.]</b>	
3×25 A	183,92	387,20
<b>Ostatní regulované služby a daně</b>		
Daň z elektřiny [Kč/MWh]	34,24	34,24
Cena za systémové služby [Kč/MWh]	137,37	137,37
Cena za činnost operátora trhu [Kč/odběrné místo/měs.]	5,08	5,08
Cena na podporu elektřiny z podporovaných zdrojů energie (POZE) dle jističe [Kč/A/měs.]	14,33	14,33
<b>Celková jednotková cena elektřiny</b>		
Cena ve VT [Kč/MWh]	6 134,25	4 360,11
Cena v NT [Kč/MWh]	2 602,82	3 368,75
Měsíční platba [Kč/měs.]	285,00	488,28
Cena na podporu elektřiny z podporovaných zdrojů energie [Kč/A/měs.]	12 897,00	12 897,00

Pozn.: Ceny jsou uvedeny včetně DPH.

#### 4.5 Roční náklady na energii

Nejprve je porovnán roční provoz TČ a plynového kotle (PK). Výpočet provozních nákladů je proveden za předpokladu chodu jednotlivých zařízení samostatně po celý rok, avšak pro zjednodušení nezahrnuje provoz dalších elektrických spotřebičů nacházejících se v RD. Cena elektrické energie za provoz TČ je uvažována v NT. Pro výpočet jsou dále uvedeny ceny distribuce plynu.

Tabulka 4.4 Přehled cen plynu [61].

<b>Roční spotřeba [MWh/rok]</b>	od 30 do 45
<b>Komoditní cena [Kč/MWh]</b>	3 507,79
<b>Stálý plat [Kč/měs.]</b>	324,28
<b>Daň ze zemního plynu [Kč/MWh]</b>	37,03
<b>Cena za distr. plyn [Kč/MWh]</b>	214,94
<b>Cena za činnost operátora trhu [Kč/MWh]</b>	2,47
<b>Stálý plat za přistavenou kapacitu [Kč/měs.]</b>	242,62
<b>Celková cena [Kč/MWh]</b>	3 725,20
<b>Celkový stálý plat [Kč/měs.]</b>	566,90

Pozn.: Ceny jsou uvedeny včetně DPH.

Provozní náklady za provoz plynového kotle (PK) jsou vypočteny podle vzorce ze zdroje [61]:

$$Cena_{PK} = \text{Roční spotřeba}_{MWh} \cdot Cena_{MWh} + 12 \cdot \text{Celkový stálý plat} \quad (41)$$

$$PK = 39,20 \cdot 3\,725,20 + 12 \cdot 566,90 = 152\,830,6 \text{ Kč} \quad (42)$$

Provozní náklady za provoz TČ jsou vypočteny podle vzorce ze zdroje [60]:

$$Cena_{TČ} = \frac{\text{Roční spotřeba}_{MWh,NT}}{SCOP} \cdot Cena_{MWh,NT} + 12 \cdot \text{měsíční platba} + POZE \quad (43)$$

$$TČ = \frac{39,20}{3,9} \cdot 3\,368,75 + 12 \cdot 488,28 + 12\,897 = 52\,616,6 \text{ Kč} \quad (44)$$

Rozdíl provozních nákladů představuje finanční úsporu 100 214,0 Kč.

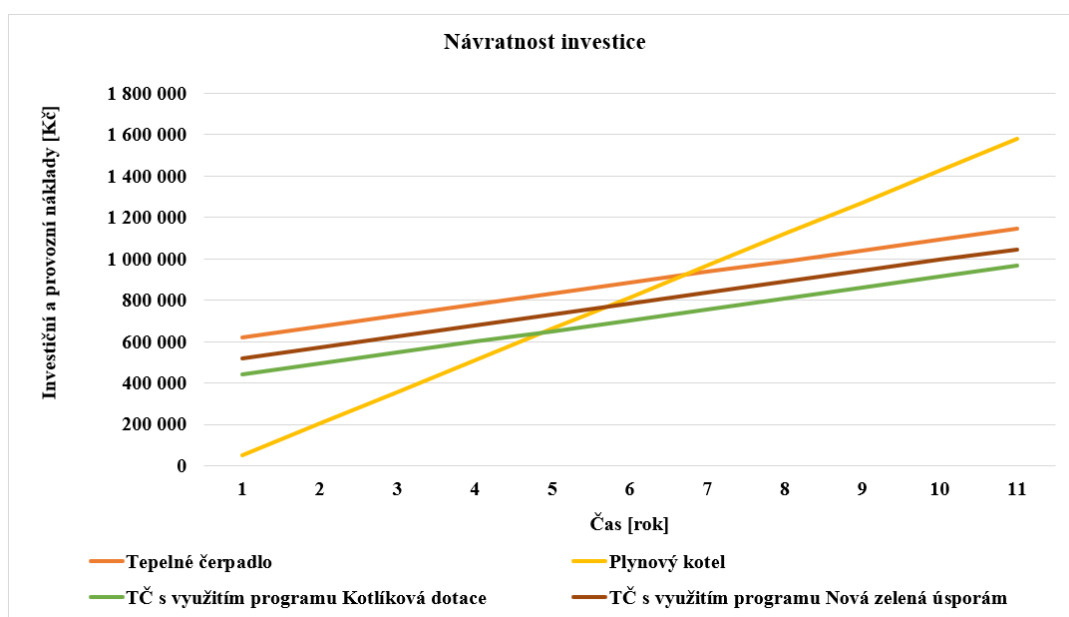
Podle procentuálního zastoupení (viz kapitola 4.3) jsou vypočteny provozní náklady TČ.

Tabulka 4.5 Náklady na vytápění a ohřev TUV.

Náklady na vytápění	30 728,1 Kč
Náklady na ohřev TUV	21 888,5 Kč
Celkové náklady na provoz TČ	52 616,6 Kč

#### 4.6 Návratnost

Prostá návratnost investice do TČ je podíl celkových investičních nákladů a finanční úspory za provoz TČ. Pořizovací náklady konkurenčního plynového kotle jsou 50 000 Kč včetně DPH. Průběh návratnosti investice je vyjádřen v grafu na obrázku 4.2. Pořízení zvoleného TČ se v porovnání s plynovým kotlem vyplatí za 6,7 let. S využitím státního programu Nová zelená úsporám za 5,7 let a s Kotlíkovou dotací již za 4,9 let.



Obrázek 4.2 Návratnost investice.

## ZÁVĚR

Práce je rozvržena do čtyř kapitol, z toho v prvních dvou kapitolách je zpracována rešeršní část na téma technologie tepelného čerpadla a využitelné NTZ tepla. Nejprve je zmíněn historický vývoj TČ a princip činnosti, dále pak je popsána hospodárnost TČ, hlavní prvky, teplonosné médium a možnosti chodu TČ. Poté jsou stručně představeny NTZ, především potenciál zemské půdy, vody a vzduchu, který lze pro TČ využít.

Praktická část je řešena ve třetí a čtvrté kapitole. Úvodem do praktické části je volba a popis konkrétního RD. Součástí návrhu TČ je orientační hodnota tepelné ztráty, která je zjištěna pomocí výpočtové kalkulačky z webového zdroje. Odhad tepelné ztráty je následován výpočtem potřeby tepla na vytápění a ohřev teplé vody. Na základě výpočtů je zvoleno TČ z tuzemského trhu. Dále je navrženo zapojení TČ ke stávajícímu systému a řešení otázky ohřevu teplé vody a potřeby akumulace tepla pomocí akumulární nádrže.

Hlavním záměrem závěrečné práce je zhodnocení navrženého systému s TČ z ekonomického a energetického pohledu. V první řadě jsou uvedeny investiční náklady, na které navazuje přehled dotačních programů. Poté je zrekapitulována roční potřeba tepla. Krátce jsou charakterizovány využití distribuční sazby, jejichž prostřednictvím jsou určeny roční provozní náklady na provoz zdrojů tepla. Posledním bodem je stanovena návratnost investice.

Pro výpočet tepelné ztráty je zvolen postup obálkovou metodou pomocí kalkulačního programu z webového zdroje. Způsob a postup výpočtu je předem nastaven a lze se tak soustředit pouze na výpočet. Tato varianta ale může vnést do výpočtu odchylku od skutečné hodnoty. Druhým způsobem je výpočet tepelné ztráty po jednotlivých místnostech. Výpočet podle aktuální platné normy připouští dva způsoby výpočtu – univerzální a zjednodušenou metodu. Současná norma uvažuje kromě trvalých tepelných zisků, tepelné ztráty prostupem a větráním také zátopový výkon. Stanovení potřebných parametrů je komplikováno neúplnou dokumentací starší budovy o složení použitých stavebních prvků. Přesnějšího vyhodnocení může být dosaženo měřením tepelné ztráty termokamerou. Výpočet celkové potřeby tepla na vytápění a ohřev TUV je uskutečněn opět pomocí kalkulačky z webové stránky, což opět přináší chybu do výpočtu.

Volba TČ je výsledkem průzkumu tuzemského trhu s ohledem na kvalitu zpracování a osvědčené výrobce. TČ země-voda je provozováno v monovalentním režimu. Odběrové špičky energie jsou pokryty akumulacním zásobníkem. Objem akumulacího zásobníku, jež je součástí sestavy TČ, je uvažován jako dostačující. Napojení TČ, které je zobrazeno na technickém náčrtu na obrázku 3.10, je vybráno jako vhodné. Způsobů zapojení je však spousta, pro skutečnou realizaci může být návrh upraven.

Starý kotel na tuhá paliva může být předimenzovaný, radiátorový systém není příliš efektivní. Navzdory tomu lze realizací instalace vybraného TČ pro konkrétní RD dosáhnout účinnějšího provozu oproti stávajícímu systému. Díky provedené rekonstrukci je RD připraven na výměnu zdroje tepla, který může přinést vysoké úspory za vytápění.

Poslední kapitola vede k posouzení návratnosti vybraného TČ a celkového ekonomického zhodnocení. Do investičních nákladů jsou zahrnuty všechny žádoucí položky, celková suma je relativně vysoká. Je zvažována a popsána možnost dotace ze státních programů, předpokladem je splnění podmínek získání dotace. Potřeba tepla na rok je snížena díky energetickému opatření, hodnota je také relativně velká, ale zahrnuje ohřev vody pro 8 osob. Pro výpočet provozních nákladů jsou stručně představeny distribuční sazby. Čerpání energie za nízkého tarifu dokáže snížit celkové náklady na provoz zařízení. Provozní náklady TČ jsou srovnány s provozem plynového kotle. Ve výpočtu je zanedbána potřeba energie na ostatní spotřebiče nacháze-

jící se v domácnosti, provozní náklady jsou o tuto položku sníženy. Vstupní hodnotou do výpočtu ročních provozních nákladů je pouze aktuální cena energie, není uvažováno s růstem a poklesem cen za energie v průběhu roku. Stejný předpoklad je použit pro výpočet návratnosti v porovnání s plynovým kotlem. Vývoj cen nelze předvídat, a proto návratnost investice se může v konečné fázi prodloužit. S růstem cen energií se ale doba návratnosti zkracuje. Výsledkem výpočtu je relativně rychlá návratnost také díky podpoře od státu.

V této práci je zhodnocen systém TČ země-voda pro vybraný objekt. Lepšího výsledku lze dosáhnout provedením tzv. energetického auditu, tedy zhodnocením investičních a provozních nákladů pro různé typy TČ, čímž je možno vybrat optimální TČ pro daný RD. Tento způsob může být poměrně časově náročný. Dalším zdokonalením se nabízí instalace solárních panelů, kterými lze snížit provozní náklady nebo výměna stávajícího topného systému s radiátory za podlahové vytápění (jak již bylo zmíněno výše) s možností chlazení.

I přesto může tato práce posloužit jako podklad pro skutečnou realizaci náhrady stávajícího vytápění zvoleného RD za alternativní, šetrný, ekologický a stabilní zdroj tepla čerpající energii z půdy.





## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Heat Pump Technology: A Brief History. *Klima Therm* [online]. Wimbledon: Klima Therm, 2020 [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: <https://klima-therm.co.uk/news/heat-pump-technology-a-brief-history/>
- [2] The history of the Air Source Heat Pump. *Greener Living* [online]. London: Greener Living, 2022 [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: <https://greenerliving.co.uk/the-history-of-the-air-source-heat-pump/>
- [3] ARORA, Pinklesh, Geetha SESHADRI a Ajay Kumar TYAGI. *Fourth Generation Refrigerant: HFO 1234 yf*. ResearchGate [online]. India: Current Science, 2018 [cit. 2022-03-09]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/328494214\\_Fourth\\_Generation\\_Refrigerant\\_HFO\\_1234\\_yf](https://www.researchgate.net/publication/328494214_Fourth_Generation_Refrigerant_HFO_1234_yf)
- [4] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]*. Přerov: Antonín Žeravík, 2003. ISBN 802390275x.
- [5] The history of heat pump development. *Guangdong Shunde O.S.B. Environmental Technology* [online]. Foshan (Guangdong): O.S.B., © 2018, 06. 10. 2019 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.osbheatpump.com/the-history-of-heat-pump-development--part-1>
- [6] History of Heat Pumps [online]. Melbourne: Automatic Heating, c2022 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.automaticheating.com.au/complete-guide-to-heat-pumps/history-of-heat-pumps/>
- [7] BUFKA, Aleš, Miloslav MODLÍK a Jana VEVERKOVÁ. *Tepelná čerpadla v letech 1981 až 2020; druhy, vývoj, prodeje, výkony, tepelné faktory*. TZB-info [online]. Praha: TZB-info, 2021, 28. 6. 2021 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/19284-tepelna-čerpadla-v-letech-1981-2019-druhy-vyvoj-prodeje-vykony-tepelné-faktory>
- [8] Na jakém principu funguje tepelné čerpadlo [online]. Allendorf: Viessmann [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/tepelné-čerpadlo-princip.html>
- [9] Tepelná čerpadla – základní informace [online]. Praha: Ing. Josef Hodbodř, 2021 [cit. 2022-02-23]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/23093-tepelna-čerpadla-zakladni-informace>
- [10] KARLÍK, Robert. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. Praha: Grada, 2009, 112 s. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [11] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011. ISBN 978-80-214-4300-6.
- [12] VRTEK, Mojmir. Tepelná čerpadla. *Automa* [online]. c2016, 12(4), 64 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: [https://automa.cz/cz/casopis-clanky/tepelna-čerpadla-2012\\_04\\_0\\_9542/](https://automa.cz/cz/casopis-clanky/tepelna-čerpadla-2012_04_0_9542/)

- [13] ČSN EN 14511. *Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla s elektricky poháněnými kompresory pro ohřívání a chlazení prostoru, soubor norem pro zkoušení tepelných čerpadel*. ÚNMZ, 2014.
- [14] MATUŠKA, Tomáš. *Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP*. TZB-info [online]. Buštěhrad: Topinfo, c2001–2022, 14. 9. 2015 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivita-tepelnych-čerpadel-cop-a-scop>
- [15] ČSN EN 14825. *Klimatizátory vzduchu, jednotky pro chlazení kapalin a tepelná čerpadla, s elektricky poháněnými kompresory, pro ohřívání a chlazení prostoru – Zkoušení a hodnocení při podmínkách s částečným zatížením a výpočet sezonní výkonnosti*. Nové Město: ÚNMZ, 2020.
- [16] MATUŠKA, Tomáš. *Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP*. TZB-info [online]. Buštěhrad: Topinfo, c2001–2022, 14. 9. 2015 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivita-tepelnych-čerpadel-cop-a-scop>
- [17] *Nariadení Komise 811/2013 o uvádění spotřeby energie na energetických štítcích ohřivačů pro vytápění vnitřních prostorů, kombinovaných ohřivačů, souprav sestávajících z ohřivače pro vytápění vnitřních prostorů, regulátoru teploty a solárního zařízení a souprav sestávajících z kombinovaného ohřivače, regulátoru teploty a solárního zařízení*. Brusel 2013.
- [18] SEDLÁŘ, Jan. *Štítkování a ekodesign tepelných čerpadel pro vytápění a kombinovaných tepelných čerpadel* [online]. Praha: Topinfo, c2001–2022, 31. 8. 2015 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/13141-stitkovani-a-ekodesign-tepelnych-čerpadel-pro-vytapani-a-kombinovanych-tepelnych-čerpadel>
- [19] Difference between Hermetic, Semi-Hermetic And Open Compressor - Advantages and Disadvantages. *Mecholic* [online]. Mecholic, c2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.mecholic.com/2016/07/difference-between-hermetic-semi-hermetic-open-compressor.html>
- [20] DVOŘÁK, Zdeněk, Luděk KLAZAR a Jiří PETRÁK. *Tepelná čerpadla*. Praha: SNTL, 1987. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:fcfc8090-63d0-11e2-bc24-005056827e51>
- [21] O kompresorech. *HOT – ENERGY* [online]. HOT – ENERGY, c2021 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://hotenergy.cz/tepelna-čerpadla/o-kompresorech/>
- [22] *Nové technologie a aplikace tepelných čerpadel rozšiřující možnosti jejich uplatnění (nejen) v podmínkách ČR. Ministerstvo průmyslu a obchodu, odbor energetické účinnosti a úspor* [online]. Praha: SEVEN Energy, 2014 [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://www.sevenenergy.cz/>
-

- z: [https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595e1fa66875530f33e8a/4589\\_se-ven\\_nove-technologie-a-aplikace-tepelnych-cerpadel-rozsirujici-moznosti-jejich-uplat-neni-nejen-v-podminkach-cr.pdf](https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595e1fa66875530f33e8a/4589_se-ven_nove-technologie-a-aplikace-tepelnych-cerpadel-rozsirujici-moznosti-jejich-uplat-neni-nejen-v-podminkach-cr.pdf)
- [23] DAVID, Petr. Kompresory pro tepelná čerpadla. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2022, 26. 11. 2015 [cit. 2022-03-05]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/tepelná-cerpadla/13498-kompresory-pro-tepelná-cerpadla>
- [24] KOLARČÍK, Kamil, Jaroslav KAMINSKÝ a Mojmír VRTEK. *Kompresory: skriptum pro partnerské střední školy*. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2012.
- [25] HVAC: Heating, Ventilation & Air-Conditioning. *Bright Hub Engineering* [online]. Broadway: Bright Hub, c2021, 2010-02-24 [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://www.brighthubengineering.com/hvac/64884-different-types-of-air-compressors/>
- [26] Klimatizace TOSHIBA RAS-2M14S3AV-E. *CZKlimatizace* [online]. Praha: CZKlimatizace [cit. 2022-03-07]. Dostupné z: <https://www.czklmatizace.cz/produkty/detail/klimatizace-toshiba-ras-2m14s3av-e>
- [27] Jak vybrat kompresor. *Industrien* [online]. Praha: Industrien, c2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.industrien.cz/poradna/jak-vybrat-kompresor/>
- [28] Aircraft Vapor Cycle Air Conditioning System Components. *Aeronautics Guide* [online]. Aeronautics Guide, c2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.aircraftsystemstech.com/p/vapor-cycle-air-conditioning-system.html>
- [29] RAMZY. *Easy Intro to Electronic Expansion Valve*. Linqip [online]. Sunnyvale (California): Linqip, c2022 [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.linqip.com/blog/electronic-expansion-valve/>
- [30] EVANS, Paul. *HVAC Heat Exchangers Explained. The Engineering Mindset* [online]. London: The Engineering Mindset, 15. 09. 2018 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://the-engineeringmindset.com/hvac-heat-exchangers-explained/>
- [31] PLŠEK, Václav. *Teorie přenosu tepla*. E S L [online]. Brno: E S L, 18. 02. 2020 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.esl.cz/blog/teorie-prenosu-tepla>
- [32] Výměník pro tepelné čerpadlo. *Výměníky tepla Ostrava* [online]. Ostrava: VZH Ostrava, 2022 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.vymeniky-tepla.cz/cerpadla/>
- [33] Princip a výkon tepelných výměníků. *Výměníky tepla Ostrava* [online]. Ostrava: VZH Ostrava, 2022 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.vymeniky-tepla.cz/princip/>
- [34] Výměníky tepla. *REGULUS* [online]. Praha: Topinfo, c2015–2022 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.regulus.cz/cz/vymeniky-tepla>
-

- [35] Co- versus counter-current flow. *SWEP International* [online]. Landskrona: SWEP International, c2019 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.swep.net/refrigerant-handbook/1.-basic-heat-transfer/as2/>
- [36] Ventilátory pro tepelná čerpadla vzduch-voda. *ASB CZ* [online]. Praha: Jaga Media, 2020 [cit. 2022-03-16]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/tepelna-cerpadla/ventilatory-pro-tepelna-cerpadla-vzduch-voda>
- [37] Refrigeration Classification, Properties, And Selection. *DualTemp Clauger* [online]. Chicago: DTC ENGINEERS, 2020 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://dualtempclauger.com/refrigeration-classification-properties-and-selection/>
- [38] SEDLÁŘ, Jan. Chladiva – definice, historie. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, c2001 – 2022, 28. 12. 2015 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/13626-chladiva-uvod-definice-historie>
- [39] HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. *Elektrotepelná technika*. Ministerstvo průmyslu a obchodu, odbor energetické účinnosti a úspor [online]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/odborne-vzdelavani/publikace/71118>
- [40] AS/NZS ISO 817:2016. *Refrigerants - Designation and safety classification*. Sydney: Standards Australia Limited/Standards New Zealand, 2016.
- [41] ARORA, Pinklesh, Ajay Kumar TYAGI a Geetha SESHADRI. *Fourth Generation Refrigerant: HFO 1234 yf*. ResearchGate [online]. Delhi: ResearchGate, c2008 - 2022, October 2018 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/328494214\\_Fourth\\_Generation\\_Refrigerant\\_HFO\\_1234\\_yf](https://www.researchgate.net/publication/328494214_Fourth_Generation_Refrigerant_HFO_1234_yf)
- [42] *Nářízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 517/2014 o fluorovaných skleníkových plynech a o zrušení nařízení č. 842/2006*. Brusel, 2014.
- [43] *Nářízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1005/2009 o látkách, které poškozují ozonovou vrstvu*. Brusel, 2009.
- [44] TOMLEIN, Peter. *Co je třeba vědět o chladivech*. ASB-portal [online]. Bratislava: Jaga Media, 2022, 8. září 2015 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/vetrani-a-klimatizace/co-je-treba-vedet-o-chladivech>
- [45] Druhy mazacích olejů pro chladicí kompresory. *Schiessl* [online]. Praha: Schiessl, 2009 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://www.schiessl.cz/stranka-chladiva-a-prislusenstvi-881>
- [46] ZLATAREVA, Veneta. *Tepelná čerpadla*. Ministerstvo průmyslu a obchodu, odbor energetické účinnosti a úspor [online]. Praha: Česká energetická agentura, 2001 [cit. 2022-03-23]. Dostupné z: <https://www.mpo-efekt.cz/cz/odborne-vzdelavani/publikace/953>
-

- [47] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Tepelná čerpadla*. Praha: EkoWATT, 2009. ISBN 978-80-87333-02-0.
- [48] KRAINER, Robert. Postup při návrhu tepelných čerpadel. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, 2015 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/12401-postup-pri-navrhu-tepelnych-čerpadel>
- [49] TINTĚRA, Ladislav. *Tepelná čerpadla*. Praha: ARCH, 2003. ISBN 80-861-6561-2.
- [50] PETRÁŠ, Dušan. *Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie*. Bratislava: Jaga, 2008. Vytápění. ISBN 978-80-8076-069-4.
- [51] VOLF, Ivo, Miroslava JAREŠOVÁ a Miroslav OUHRABKA. Přenos tepla. *DocPlayer* [online]. c2022 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/12793313-Literatura-obsah-prenos-tepla-studijni-text-pro-resitele-fo-a-ostatni-zajemce-o-fyziku-ivo-volf-miroslava-jaresova-miroslav-ouhrabka.html>
- [52] ČSN 06 0210. *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Praha: ÚNMZ, 1994.
- [53] ČSN EN 12831-1. *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. Praha: ÚNMZ, 2018.
- [54] REINBERK, Zdeněk, Roman ŠUBRT a Lucie ZELENÁ. On-line kalkulačka úspor a dotací Zelená úsporám. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2022 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/128-on-line-kalkulacka-uspor-a-dotaci-zelena-usporam>
- [55] REINBERK, Zdeněk. Výpočet potřeby tepla pro vytápění, větrání a přípravu teplé vody. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2022 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-vypocet-potreby-tepla-pro-vytapani-vetrani-a-pripravu-teple-vody>
- [56] Vitocal 200-G, 300-G, 222-G, 333-G. In: *Viessmann* [online]. Allendorf: Viessmann, c2022 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/obytne-budovy/tepelna-čerpadla/tepelna-čerpadla-zemevoda/vitocal-200g.html>
- [57] MATUŠKA, Tomáš, Jan SCHWARZER a Bořivoj ŠOUREK. Tepelná čerpadla – teorie a schémata. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2022, 31. 10. 2005 [cit. 2022-04-21]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-čerpadla/2820-tepelna-čerpadla-teorie-a-schemata-i>
- [58] ČSN 06 0320. *Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody – Navrhování a projektování*. Praha: ÚNMZ, 2006.
- [59] Rodinné domy. *Nová zelená úsporám* [online]. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 2021 [cit. 2022-05-03]. Dostupné z: <https://novazelenausporam.cz/rodinne-domy/>
-

- [60] Ceník ElektřinaTrend KVĚTEN: Ceník KVĚTEN dodávky elektřiny E.ON Energie, a.s. pro zákazníky kategorie D – Domácnosti. In: *E.ON Energie* [online]. České Budějovice: E.ON Energie, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/domacnosti/zakaznicka-pece/ceniky/>
- [61] Ceník Standard plyn: Ceník prodejních cen dodávky zemního plynu pro maloodběratele a domácnosti s měřením typu C1. In: *E.ON Energie* [online]. České Budějovice: E.ON Energie, 2022 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: <https://www.eon.cz/domacnosti/zakaznicka-pece/ceniky/>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
<i>A</i>	Air
<i>B</i>	Brine
<i>BLDC</i>	Brushless Direct Current
<i>COP</i>	Coefficient of Performance
<i>DPH</i>	Daň z přidané hodnoty
<i>DZ</i>	Teplo dodané doplňkovým zdrojem
<i>EC</i>	Electronically Commutated
<i>EEV</i>	Electronic Expansion Valve
<i>EVI</i>	Economized Vapor Injection
<i>GWP</i>	Global Warming Potencial
<i>kr</i>	Kritický bod
<i>měs</i>	Měsíc
<i>MOP</i>	Maximum Operating Pressure
<i>NT</i>	Nízký tarif
<i>NTZ</i>	Nízkoteplotní zdroj
<i>ODP</i>	Ozone Depleting Potencial
<i>OFF</i>	Vypnuto
<i>ON</i>	Zapnuto
<i>PAG</i>	Polyalkylenglykolové
<i>PAO</i>	Polyalfaoleofinové
<i>PK</i>	Plynový kotel
<i>POE</i>	Polyolesterové
<i>POZE</i>	Podporované obnovitelné zdroje energie
<i>R</i>	Refrigerant
<i>RD</i>	Rodinný dům
<i>SCOP</i>	Sezonní topný faktor
<i>TČ</i>	Tepelné čerpadlo
<i>TEV</i>	Termostatický expanzní ventil
<i>TEWI</i>	Total Global Warming Impact
<i>TF</i>	Topný faktor
<i>TUV</i>	Teplá užitková voda
<i>TV</i>	Tepelný výměník ,výměník tepla
<i>TZ</i>	Termodynamický zákon
<i>VT</i>	Vysoký tarif
<i>W</i>	Water

Symbol	Veličina	Jednotka
$\alpha_i$	Součinitel přestupu tepla	$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$
$\delta_i$	Tloušťka vrstvy	$m$
$\varepsilon$	Topný faktor	—
$\varepsilon$	Opravný součinitel	—
$\eta_0$	Účinnost obsluhy, resp. možnost regulace soustavy	—
$\eta$	Účinnost systému	—
$\eta_r$	Účinnost rozvodu vytápění	—
$\eta_s$	Sezonní energetická účinnost	%
$\lambda_i$	Tepelná vodivost	$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
$\rho$	Měrná hmotnost vody	$kg \cdot m^{-3}$
$\Phi$	Tepelná ztráta	$kW$
$\Phi_{1n}$	Jmenovitý tepelný výkon	$kW$
$A_0$	Práce cyklu dodaná pohonem TČ	$J$
$a_0$	Měrná práce cyklu dodaná pohonem TČ	$J \cdot kg^{-1}$
$A$	Celková plocha	$m^2$
$A_c$	Celková podlahová plocha	$m^2$
$A/V$	Objemový faktor tvaru budovy	$m^{-1}$
$a_1$	Délka budovy	$m$
$a_2$	Délka schodiště včetně tloušťky obvodové zdi	$m$
$A_i$	Plocha místnosti	$m^2$
$b_1$	Šířka budovy	$m$
$b_2$	Šířka schodiště včetně tloušťky obvodové zdi	$m$
$b_i$	Činitel teplotní reprodukce	—
$COP$	Topný faktor	—
$c$	Měrná tepelná kapacita vody	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
$c$	Celková výška dvou vytápěných podlaží	$m$
$D$	Počet denostupňů	$den \cdot K$
$d$	Počet dní v roce	$den$
$d$	Tloušťka zateplení	$mm$
$e_i$	Nesoučasnost tepelné ztráty větráním a tepelné ztráty prostupem	—
$e_t$	Snížení teploty během dne, resp. noci	—
$e_d$	Zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu	—
$H^+$	Trvalý tepelný zisk	$W$
$H_s^+$	Solární tepelný zisk	$kWh \cdot rok^{-1}$



$H_{Ti}$	Měrná ztráta prostupem tepla	$W \cdot K^{-1}$
$k$	Součinitel prostupu tepla	$W \cdot K^{-1}$
$L_{WA}$	Hladina akustického výkonu	$dB$
$N$	Počet pracovních dní soustavy v roce	$den$
$n_1$	Intenzita větrání s původními okny	$h^{-1}$
$n_2$	Intenzita větrání s novými okny	$h^{-1}$
$P$	Jmenovitý tepelný výkon	$kW$
$p_1$	Tlak	$kPa$
$p_2$	Tlak	$kPa$
$\dot{Q}$	Tepelný tok	$W$
$Q_a$	Absorpční teplo	$J$
$Q_C$	Teplo dodané systému z okolního prostředí	$J$
$Q_H$	Teplo získané k vytápění	$J$
$Q_K$	Teplo získané z kondenzátoru	$J$
$\Delta Q_{max}$	Hodnota největší pořadnice mezi křivkami $Q_1$ a $Q_2$	$J$
$Q_r$	Celková roční potřeba tepla na vytápění a ohřev TUV	$J \cdot rok^{-1}$
$Q_{TUV,r}$	Celková roční potřeba tepla pro ohřev TUV	$J \cdot rok^{-1}$
$Q_{TUV,d}$	Celková denní potřeba tepla pro ohřev TUV	$J$
$Q_{VYT,r}$	Celková roční potřeba tepla na vytápění	$J \cdot rok^{-1}$
$Q_1$	Křivka dodávky tepla do teplé vody	$kWh$
$Q_2$	Křivka odběru tepla teplé vody	$kWh$
$Q_{10}$	Teplo z předchozí periody	$kWh$
$Q_{1P}$	Teplo dodané ohřivačem do TUV	$kWh$
$Q_{2P}$	Teplo dodané ohřivačem do TUV	$kWh$
$Q_{2t}$	Výpočtová hodnota potřeby tepla na ohřev TUV	$kWh$
$Q_{2z}$	Teplo ztracené při ohřevu a distribuci TUV	$kWh$
$Q_O$	Dodané teplo z okolního prostředí	$J$
$q_C$	Měrné teplo odebrané z okolního prostředí	$J \cdot kg^{-1}$
$q_H$	Měrné teplo získané k vytápění	$J \cdot kg^{-1}$
$R_i$	Odpor proti vedení tepla	$K \cdot W^{-1}$
$S$	Plocha stěny	$m^2$
$s$	Měrná entropie	$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$
$T$	Termodynamická teplota	$K$
$T_C$	Teplota vstupní (zdroje)	$K$
$T_H$	Teplota výstupní	$K$
$T_1 - T_4$	Teplotní spád	$K$
$T_1 - T_2$	Rozdíl teplot ochlazované tekutiny	$K$
$t$	Čas	$h$
$t_1$	Teplota studené vody	$^{\circ}C$

---

$t_2$	Teplota ohřáté vody	$^{\circ}\text{C}$
$t_e$	Venkovní návrhová teplota v zimním období	$^{\circ}\text{C}$
$t_{em}$	Střední denní výpočtová teplota v otopném období	$^{\circ}\text{C}$
$t_{es}$	Průměrná vnější výpočtová teplota během otopného období	$^{\circ}\text{C}$
$t_{is}$	Průměrná vnitřní výpočtová teplota	$^{\circ}\text{C}$
$t_{s1}$	Teplota na povrchu stěny	$^{\circ}\text{C}$
$t_{s2}$	Teplota na povrchu stěny	$^{\circ}\text{C}$
$t_{svl}$	Teplota studené vody v létě	$^{\circ}\text{C}$
$t_{svz}$	Teplota studené vody v zimě	$^{\circ}\text{C}$
$U$	Součinitel prostupu tepla	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
$\Delta U$	Lineární tepelné mosty	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
$U_i$	Součinitel prostupu tepla před zateplením	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$
$V$	Objem budovy	$\text{m}^3$
$V_{2P}$	Celková potřeba teplé vody za 1 den	$\text{m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$
$V_z$	Objem zásobníku	$\text{m}^3$
$W_q$	Teplo dodané plynovým hořákem, vodní párou	$\text{J}$
$W_{\check{c}}$	Práce dodaná čerpadlem	$\text{J}$
$x$	Suchost páry	—
$z$	Koeficient energetických ztrát systému pro přípravu TUV	—

---