



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

SYSTÉM DLOUHODOBÉ AKUMULACE ZE SOLÁRNÍCH KOLEKTORŮ A NÁSLEDNÉ VYUŽITÍ TEPLA

THE LONG-TERM ACCUMULATION OF SOLAR COLLECTORS AND THE SUBSEQUENT USE OF
THE HEAT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JIŘÍ LITERA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PETR KRACÍK

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Litera

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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:

Systém dlouhodobé akumulace ze solárních kolektorů a následné využití tepla

v anglickém jazyce:

The long-term accumulation of solar collectors and the subsequent use of the heat

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Systém ukládá teplo v letních měsících ze solárních kolektorů do nádoby o velkém objemu. Toto teplo je následně v zimním období využíváno v tepelném čerpadle.

Cíle bakalářské práce:

- popište základní typy solárních kolektorů a tepelných čerpadel
- popište základní možnosti akumulace tepla
- proveďte základní návrh systému s dlouhodobou akumulací tepla ze solárních kolektorů a jejich následné využití v TČ

Seznam odborné literatury:

Chyský, J.- Hemzal, K. a kol.: Větrání a klimatizace. Technický průvodce sv.31. BOLIT - B press, Brno 1993

Cihelka, J.: Solární tepelná technika, SNTL 1996

Žeravík, A. Stavíme tepelné čerpadlo, ELTEX 2003

Cenek, M. Obnovitelné zdroje energie. FCC PUBLIC 2001

firční literatura

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Petr Kracík

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 10.10.2014



J. Pospíšil

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

J. Katolický

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je návrh a zhodnocení systému dlouhodobé akumulace ze solárních kolektorů a následného využití tepla. V teoretické části jsou popsány základní principy využití sluneční energie, uvedeny jednotlivé typy solárních kolektorů, tepelných čerpadel a vyhodnoceny možnosti akumulace tepla. V praktické části je navržen systém dlouhodobé akumulace tepla pro vytápění rodinného domu po částečné rekonstrukci ve dvou variantách, akumulace do vody a do šterku.

Sluneční energie je zachycována solárními kolektory a akumulována do zásobníku pro dlouhodobou akumulaci. V systému je zapojené tepelné čerpadlo voda/voda nebo země/voda, které vybíjí zásobník na nižší teplotu a zvyšuje tím teplotní diferenci systému. Obě varianty vyžadují velký objem pro jímání tepla včetně velké plochy solárních kolektorů. Vzhledem k vysoké pořizovací ceně a nárokům na prostor se systém v praxi ukazuje jako nereálný. Z tohoto důvodu je v závěrečné části práce proveden alternativní návrh vytápění rodinného domu tepelným čerpadlem (případně napojeným na solární kolektory).

Výsledkem práce je zjištění, že systém dlouhodobé akumulace není vhodný pro vytápění a ohřev TUV rodinných domů, ale nachází využití v místech s dostatkem prostoru pro akumulaci, jako jsou například velkokapacitní zásobníky nebo zatopené doly. Stávající rodinné domy (částečně zateplené s kotlem na zemní plyn) lze vytápět pomocí tepelného čerpadla, jehož návratnost se pohybuje mezi 14 a 25 lety, a přispívat tak k trvale udržitelnému rozvoji a ke snížení potřeby neobnovitelné primární energie.

ABSTRACT

The aim of the thesis is the design and evaluation of the long-term accumulation of solar collectors and the subsequent use of the heat. The basic principles of the use of solar energy are introduced in the theoretical part as well as the list of available heat pumps, solar collectors moreover options for the accumulation of heat are evaluated. In the practical part the system of a long-term heat accumulation for a partially restored family house is designed, where accumulation into water or gravel are the two presented options.

Solar energy is collected by solar collectors and accumulated in the long term storage. The system involves water to water or ground to water heat pump that reduces the temperature of the reservoir in order to increase the temperature difference of the system. Both options require a large volume of heat collecting, including large surface of solar collectors. Because of the high cost and spatial requirements the system shows to be hardly realistic in practice. For this reason an alternative solution of a family house heating system more suitable from the economic point of view is described.

As a result it was proved that system of the long-term accumulation is not an appropriate solution for heating system of family houses and it is used in places with enough space for the accumulation such as high capacity trays or flooded mines. For existing family houses (partly insulated and with a heat source such as natural gas) the usage of the heat pump eventually supported by solar collectors appears as the most sensible solution. Such solution shows a return of investment from 14 to 25 years, and contributes to sustainable development and to reduction of non-renewable primary energy.

KLÍČOVÁ SLOVA

solární kolektor, tepelné čerpadlo, dlouhodobá akumulace, vytápění, TUV

KEY WORDS

solar collector, heat pump, long-term accumulation, heating, hot water

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LITERA, J. *Systém dlouhodobé akumulace ze solárních kolektorů a následné využití tepla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 45 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Kracík.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *System dlouhodobé akumulace a následné využití tepla* vypracoval samostatně pod vedením vedoucího práce. Vycházel jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a literárních zdrojů uvedených v mé práci.

V Brně, dne

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Petru Kracíkovi za odborné vedení, cenné rady a věnovaný čas při tvorbě bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině, která mi vytvořila zázemí po celou dobu mého studia.

Děkuji.

OBSAH

ÚVOD.....	15
1 VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE	16
1.1 Slunce a energie	16
1.2 Intenzita slunečního záření	16
1.3 Solární kolektory.....	16
1.3.1 Ploché solární kolektory.....	16
1.3.2 Trubicové solární kolektory	17
1.3.3 Koncentrační solární kolektory	17
1.4 Ceny vybraných solárních kolektorů na českém trhu	17
1.5 Solární systémy.....	18
1.6 Systém dlouhodobé akumulace tepla.....	18
2 TEPELNÉ ČERPADLO.....	20
2.1 Princip TČ.....	20
2.2 Topný faktor TČ (COP).....	20
2.3 Základní druhy TČ.....	20
2.3.1 TČ země/voda	20
2.3.2 TČ vzduch/voda	21
2.3.3 TČ voda/voda	21
2.3.4 TČ vzduch/vzduch.....	21
2.4 Bivalentní provoz TČ.....	21
2.5 TČ Chameleon AKU S napojené na solární kolektory.....	22
3 AKUMULACE TEPLA	23
3.1 Způsoby akumulace tepla	23
3.1.1 Akumulace citelného tepla.....	23
3.1.2 Akumulace latentního tepla.....	23
3.2 Vodní zásobníky pro dlouhodobou akumulaci tepla	23
3.3 Využití akumulace důlních vod	24
4 PARAMETRY OBJEKTU.....	26
4.1 Popis RD.....	26
4.2 Energetická náročnost RD	26
4.3 Maximální tepelná ztráta RD.....	26
4.4 Spotřeba tepla pro vytápění RD.....	27
4.5 Spotřeba tepla pro ohřev TUV v RD	27

5 NÁVRH SYSTÉMU DLOUHODOBÉ AKUMULACE TEPLA PRO RD.....	28
5.1 Prostor pro dlouhodobou akumulaci tepla.....	28
5.2 Velikost plochy solárních kolektorů.....	29
5.3 Kontrola solárních kolektorů z hlediska zimního provozu	30
5.4 Návrh TČ.....	31
5.4 Sestavení tepelné bilance zdrojů tepla RD	31
5.5 Návratnost systému dlouhodobé akumulace tepla pro RD	32
5.5 Zhodnocení systému dlouhodobé akumulace tepla pro RD.....	33
6 ALTERNATIVNÍ MOŽNOSTI VYTÁPĚNÍ RD.....	34
6.1 TČ IVT AIR SPLIT 11.....	34
6.2 TČ Chameleon AKU S + kolektory TS400	35
ZÁVĚR	37
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	38
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	40
SEZNAM TABULEK.....	40
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	40
SEZNAM PŘÍLOH.....	40

ÚVOD

Jednou z globálních priorit v současnosti, ale hlavně v blízkém a střednědobém horizontu je zajištění dostatečných zdrojů energie pro chod ekonomik jednotlivých zemí. Cílem je tzv. udržitelný rozvoj, jehož součástí je i šetření primárními zdroji energie a využití zdrojů alternativních. Trendem současné doby nejen v ČR je revitalizace bytového fondu (RD, panelové domy) a náhrada stávajících vytápěcích systémů novými tak, aby při předpokládaném kontinuálním nárůstu cen energií (elektřina, zemní plyn, ropa) byli uživatelé schopni tyto náklady pokrýt za současného snížení celkové energetické náročnosti objektů.

Tato bakalářská práce se zabývá systémem dlouhodobé akumulace tepla. Energie slunečního záření je zachycena solárními kolektory v období jejího přebytku a uchována pro využití v období jejího nedostatku. V teoretické části jsou zhodnoceny a popsány základní typy solárních kolektorů, tepelných čerpadel a uvedeny základní možnosti akumulace tepla. V praktické části je proveden návrh systému dlouhodobé akumulace pro RD ve dvou variantách (akumulace do vody, akumulace do štěrku) včetně ekonomického vyhodnocení. Jako modelový příklad vytápěného objektu systémem dlouhodobé akumulace tepla byl vybrán konkrétní, částečně revitalizovaný řadový RD v Českých Budějovicích.

1 VYUŽITÍ SLUNEČNÍ ENERGIE

1.1 Slunce a energie

Slunce je pro Zemi nejbližší hvězdou a je od ní vzdáleno asi 156 milionů kilometrů. Z hlediska velikosti hvězd, které se nacházejí v naší galaxii, ale patří mezi ty menší. Na Slunci probíhá termojaderná syntéza. Jedná se o víceúrovňový proces, ve kterém je vodík spálen na hélium. Do reakce vstupuje okolo $594 \cdot 10^{19}$ kg/s vodíku, přičemž vzniká $560 \cdot 10^{19}$ kg/s hélia a rozdíl těchto hmot je vyzářen do prostoru v podobě energie ($E = mc^2$). Výkon Slunce je odhadován na $3,86 \cdot 10^{26}$ W a z tohoto obrovského množství energie dopadá na Zemi pouze malá část. Průměrná intenzita slunečního záření na okraji stratosféry je tedy zhruba 1350 W/m^2 (tzv. solární konstanta). [1]

Pro funkci Slunce je rozhodující momentální poměr atomů vodíku (cca 72%) a hélia (cca 28%), který má vliv na délku jeho života. Slunce je staré asi 5 miliard pozemských let a je předpokládáno, že termojaderná reakce na Slunci bude probíhat ještě minimálně stejnou dobu. Proto lze z hlediska délky lidského života považovat Slunce za významný obnovitelný zdroj energie na Zemi. [1]

1.2 Intenzita slunečního záření

Slunce září jako dokonale černé těleso. Sluneční záření dopadající na plochu pod vrstvou atmosféry je složeno ze záření přímého a difúzního. Přímé záření není při průchodu odraženo, pohlceno ani vyzářeno a dopadá k zemskému povrchu přímo. Oproti tomu difúzní záření přichází na zemský povrch z jiných směrů vlivem odrazu o částičky prachu a látek obsažených v atmosféře. [2]

Celková intenzita slunečního záření je tedy ve skutečnosti menší než výše zmíněná solární konstanta. Její velikost je ovlivněna také znečištěním atmosféry. [1] Na horách nebo na venkově bude intenzita slunečního záření výrazně vyšší než v průmyslově znečištěných oblastech a pro ekonomické využití sluneční energie je tedy vhodné uvažovat místo s čistým ovzduším.

V České republice se průměrná roční intenzita slunečního záření pohybuje kolem 620 W/m^2 a ve zcela výjimečných případech bylo krátkodobě naměřeno až 1000 W/m^2 . [1] Slunce na našem území svítí zhruba 1400 až 1700 hodin ročně. [3]

1.3 Solární kolektory

Solární kolektory jsou nejdůležitějším prvkem solárních systémů. Hlavní funkční částí všech kolektorů je absorpční plocha, která zachycuje energii slunečního záření dopadajícího na kolektor a předává ji následně teplotonosné látce. [4]

Podle teplotonosné látky jsou solární kolektory rozdělovány na kapalinové a vzduchové. Kapalinové kolektory se v České republice využívají u většiny solárních systémů. Zatímco vzduchové kolektory se používají pouze zřídka, a to pro předehřev čerstvého vzduchu pro větrání nebo oběhového vzduchu pro cirkulační vytápění. Podle konstrukce jsou solární kolektory rozdělovány na ploché, trubicové a koncentrační. [5]

1.3.1 Ploché solární kolektory

U plochých solárních kolektorů je absorpční plocha stejně velká jako čelní plocha, kterou prochází paprsky slunečního záření.

Plochý nekrytý kolektor – jedná se většinou o plastovou rohož bez zasklení, která má vysoké tepelné ztráty závislé na venkovních podmínkách. Tento druh kolektoru je proto určen pro sezónní ohřev bazénové vody při nízké teplotní úrovni. [5]

Plochý neselektivní kolektor – zasklený deskový kolektor s kovovým absorberem, který má neselektivní povlak (např. matný černý pohlcující nátěr). Neselektivní povlak se vyznačuje velkou absorpční schopností, ale také velkou emisní schopností, která způsobuje

vysoké tepelné ztráty vlivem sálání absorbéru do okolí. Z tohoto důvodu mohou být neselektivní kolektory využity pouze pro sezónní přehřev vody při nízké teplotní úrovni a na trhu se momentálně téměř nevyskytují. [4, 5]

Ploché selektivní kolektor – zasklený deskový kolektor s kovovým absorbérem, který má spektrálně selektivní povlak (malá emisní schopnost). Kolektor je na boční a zadní straně kolektorové skříňe tepelně izolován, takže jsou výrazně omezeny tepelné ztráty sáláním absorbéru. Ploché selektivní kolektory jsou využívány pro solární ohřev vody a pro celoroční vytápění. Tvoří většinu zasklených solárních kolektorů na trhu. [5]

1.3.2 Trubicové solární kolektory

Trubicový kolektor je složen z dvou souosých skleněných trubic, mezi kterými je vakuum. Tím je zajištěna ideální tepelná izolace. Absorbér se nachází na vnější straně vnitřní skleněné trubice. Díky válcovému absorbéru kolektor vystavuje stejně velkou plochu dopadajícímu slunečnímu záření ráno, v poledne i večer. Je také schopen efektivně získávat teplo z nepřímého difúzního slunečního záření. Trubicové kolektory jsou proto využívány pro přitápění, ohřev vody a také pro celoroční ohřev bazénové vody. [6]

1.3.3 Koncentrační solární kolektory

Koncentrační kolektor využívá zrcadla, čočky nebo další optické prvky k usměrnění a soustředění přímého slunečního záření do ohniska absorbéru. Plocha absorbéru je výrazně menší než čelní plocha kolektoru. Pro účinné využití koncentračních kolektorů je nutný dostatek energie přímého slunečního záření během roku. [5]

1.4 Ceny vybraných solárních kolektorů na českém trhu

Tab. 1 Ceny vybraných solárních kolektorů na českém trhu

Ploché selektivní kolektory					
Kolektor	Dodavatel	Plocha (m ²)	absorpční plocha (m ²)	Cena (Kč bez DPH)	Cena za m ² absorpční plochy (Kč bez DPH/m ²)
KPS 11+ [7]	Regulus	2,49	2,31	12 500	5 411
KPC 1+ [7]	Regulus	2,09	1,92	9 340	4 865
Suntime 2.1 [8]	Propuls	2,01	1,83	11 490	6 279
Suntime 1.2 [8]	Propuls	2,01	1,83	12 490	6 825
SB 25 + H [9]	BAXI	2,51	2,35	18 230	7 757
SB 20 + H [9]	BAXI	2,01	1,88	15 060	8 011
Vakuové trubicové kolektory					
Kolektor	Dodavatel	Plocha (m ²)	absorpční plocha (m ²)	Cena (Kč bez DPH)	Cena za m ² absorpční plochy (Kč bez DPH/m ²)
KTU10 [7]	Regulus	1,81	0,81	12 300	15 185
KTU15 [7]	Regulus	2,66	1,22	16 990	13 926
SVB 26 [9]	BAXI	2,57	2,36	31 390	13 301
KSR 10 [10]	Hewalex	1,82	1,01	10 330	10 228

1.5 Solární systémy

Aktivní solární systémy slouží nejčastěji k ohřevu užitkové vody v domácnostech. Ve zvláštních případech mohou solární systémy také vytápět objekty, ale za předpokladu, že je zachycená sluneční energie v letních měsících dlouhodobě akumulována a následně využívána v otopném období. [4]

Energie získaná solárními kolektory je předávána teplonosné kapalině v okruhu kolektorů a je dále odváděna přímo ke spotřebičům nebo do zásobníku tepla (akumulátoru). Zde je tato energie uchována po dobu, kdy je její přívod omezen nebo zcela přerušen (při velké oblačnosti, v noci). U většiny solárních systémů se teplo nejčastěji akumuluje ve vodě. [4]

Teplonosná kapalina předává teplo vodě v zásobníku pomocí povrchového výměníku a jedná se o tzv. uzavřený kolektorový okruh. Pokud je teplonosnou kapalinou voda, může se přímo mísit s vodou v zásobníku a kolektorový okruh se nazývá otevřený (tento systém je využíván jen u jednoduchých zařízení pro ohřev vody – přímý ohřev bazénu). [4]

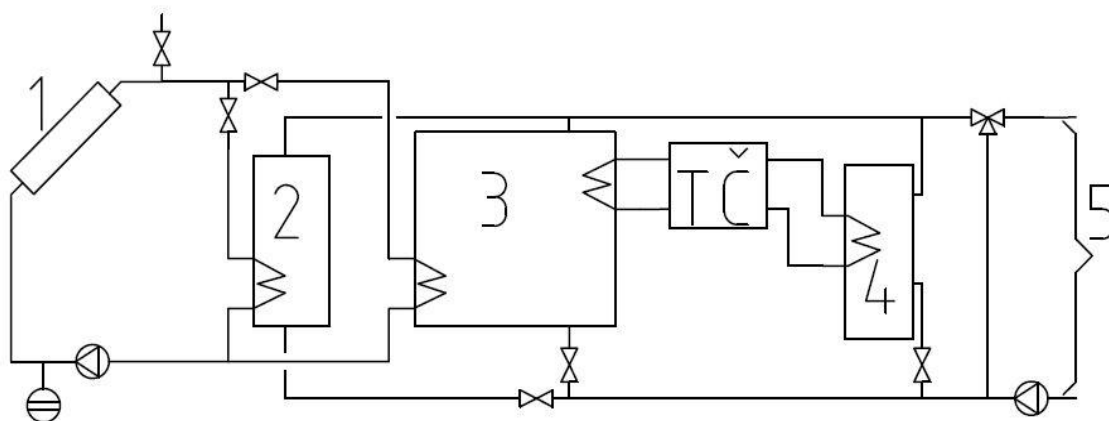
Teplonosná kapalina cirkuluje v kolektorovém okruhu přirozeně (způsobeno rozdílem hustot při rozdílu teplot) nebo nuceně (rozváděna oběhovým čerpadlem). První způsob je možný pouze v případě, kdy jsou zásobník s výměníkem tepla umístěny výše než solární kolektory. Nejčastěji se ale solární kolektory umísťují do nejvyššího místa celého okruhu (na střechu) a cirkulaci zajišťuje oběhové čerpadlo. [4]

Nejvyšší teplota teplonosné kapaliny, na kterou se navrhují solární systémy, bývá cca 110°C. Tato teplota je nižší než bod varu teplonosné kapaliny a proto musí být kolektorový okruh zajištěn proti náhlému stoupení tlaku expanzní nádobou. Solární systémy se obvykle provozují při tlaku cca 3,0 - 4,0 bary a jsou složeny z komponent dovolujících tlak až 1,0 MPa. [4]

Solární systémy jsou rozdělovány podle celkové koncepce na systémy jednoduché a systémy kombinované. U jednoduchých systémů představují jediný zdroj tepla sluneční kolektory a využívají se v případě sezónního odběru tepla, kdy je dostatek slunečního záření. Pro pokrytí potřeby tepla v době, kdy je sluneční energie nedostatek, musí být solární systém doplněn o další zdroj tepla (plynový kotel, kotel na tuhá paliva, elektrická topná spirála, tepelné čerpadlo a podobně). [4]

1.6 Systém dlouhodobé akumulace tepla

Vytápění objektů solárními kolektory lze v našich klimatických podmínkách uskutečnit pomocí systému dlouhodobé akumulace tepla. Energie slunečního záření zachycená kolektory v letním období je akumulována do zásobníku pro dlouhodobou akumulaci tepla a následně využívána k vytápění v zimě. Zařízení může být jednoduché (viz odstavec výše), ale toto řešení vyžaduje mimořádně velký objem zásobníku, a proto se do systému zapojuje tepelné čerpadlo. Při akumulaci tepla do vody, kdy je teplotní diference $\Delta t = 70 - 30 = 40^\circ\text{C}$, je roven objem zásobníku až polovině vytápěného prostoru. Pomocí tepelného čerpadla lze zásobník vybit i na nižší teplotu (u vody až na 5°C), což má za následek zvětšení teplotní diference ($\Delta t = 65^\circ\text{C}$) a zmenšení objemu zásobníku až o 39%. Tepelné čerpadlo je v provozu pouze na konci otopného období (únor, březen, duben) a energie nutná k jeho pohonu je ve srovnání s celkovou tepelnou bilancí zanedbatelná. [4] Schéma systému dlouhodobé akumulace tepla je zobrazeno na obrázku 1.



Obr. 1 Schéma systému dlouhodobé akumulace tepla

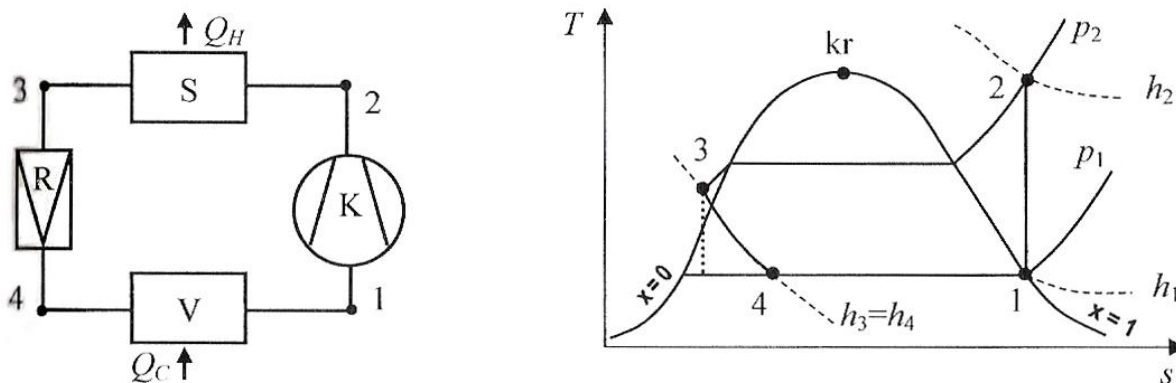
1 – solární kolektory, 2 – pomocný zásobník pro krátkodobou akumulaci tepla, 3 – hlavní zásobník pro dlouhodobou akumulaci tepla, 4 – zásobník tepla v okruhu TČ, 5 – otopná soustava

2 TEPELNÉ ČERPADLO

2.1 Princip TČ

Tepelné čerpadlo je zařízení, které je schopné využít energii o nízké teplotě získanou z nízkopotenciálních zdrojů a přečerpat jí na mnohem hodnotnější vysokopotenciální energii o vyšší teplotě. [11] Pracuje na podobném principu jako chladnička, jde v podstatě o chladicí zařízení, které není primárně určeno k ochlazení, ale k produkci tepla. Chladnička výměníkem tepla na své zadní straně hřeje a zbavuje se tím tepla, které odebrala z nižší hladiny (prostor o teplotě +5 až +10 °C uvnitř chladničky) a převedla jej na vyšší hladinu (na povrch výměníku o teplotě cca 30°C). Tepelné čerpadlo neochlazuje potraviny, ale jiný zdroj tepla (vzduch v okolí domu, podzemní vodu, půdu na zahradě). [1]

Kompresorové tepelné čerpadlo pracuje podle teoretického cyklu v T-s diagramu (obr. 2). Páry chladiva (pracovní látka) o stavu 1 (stav syté páry) jsou v kompresoru K izoentropicky stlačovány na stav 2 (stav přehřáté páry o vyšší teplotě). Tato pára následně vstupuje do srážníku S (kondenzátoru), kde je chladivu izobaricky odváděno teplo Q_H do okolního prostředí. Za srážníkem přechází pracovní látka na stav 3 a to ideálně v oblasti kapaliny (teplota okolního prostředí musí být mírně nižší než teplota T_3). Chladivo je poté škrceno v redukčním ventilu R na tlak p_1 (izoentalpicky), ochlazeno a přechází do stavu 4 (stav mokré páry). Tato pára poté vstupuje do výparníku V, kde dochází k vypařování, chladiva v důsledku přenosu tepla Q_C z ochlazované látky (o vyšší teplotě než je teplota za výparníkem). Tím je cyklus uzavřen a páry jsou znovu nasávány kompresorem. [11]



Obr. 2 Princip TČ [11]

2.2 Topný faktor TČ (COP)

Topný faktor je bezrozměrná veličina. Je vyjádřen číslem, které udává poměr tepelného výkonu k příkonu kompresoru. Velikost topného faktoru závisí na vstupní teplotě ochlazovaného média a požadované výstupní teplotě. V praxi se topný faktor tepelného čerpadla označuje COP a pohybuje se v mezích cca od 3 do 5. Pokud má tedy tepelné čerpadlo za daných podmínek topný faktor 3, znamená to, že je schopné vyprodukovat třikrát více energie, než kolik je jí třeba dodat na pohon kompresoru. [12]

2.3 Základní druhy TČ

2.3.1 TČ země/voda

Zemní kolektory – tepelné čerpadlo získává teplo z plochy zahrady pomocí zemních kolektorů (plastové trubice naplněné nemrznoucí směsí) umístěných pod jejím povrchem. Tepelné čerpadlo se zemním kolektorem odebírá ze země „pod sebou“ asi 2% energie a zbylých 98% odebere ze zeminy „nad sebou“, kde je akumulována energie ze Slunce. Dobře provedený zemní kolektor za rok odebere pro potřeby tepelného čerpadla jen cca 2,5%

z celkové energie, které ze Slunce získá a nemůže se tedy ani v dlouhodobém časovém intervalu energeticky vyčerpat. Tepelné čerpadlo se zemním kolektorem má přibližně stejně náklady jako tepelné čerpadlo odebírající teplo ze vzduchu a jeho spotřeba je cca o 30 % nižší. Tepelná čerpadla se zemními kolektory jsou ideální variantou pro rodinné domy, které mají vhodný a velký pozemek. [13]

Vrty – Tepelné čerpadlo získává teplo z hloubky pod povrchem zahrady. Ve vrtu (o průměru 12 až 16 cm) je uložena plastová sonda, která je naplněna nemrznoucí směsí a slouží k přenosu energie mezi zemí a tepelným čerpadlem. Vrt je hluboký cca 80 až 150 m. Tepelné čerpadlo s vrty se vyznačuje stabilním výkonem, vysokým topným faktorem při extrémně nízkých venkovních teplotách a zároveň je díky vrtu nenáročný na prostor kolem rodinného domu. Jeho nevýhodou je vyšší pořizovací cena z důvodu provádění vrtu specializovanou firmou. [14]

2.3.2 TČ vzduch/voda

Tepelné čerpadlo získává teplo z venkovního vzduchu. Vzduch je přímo nasáván tepelným čerpadlem a získaná energie je použita pro ohřev otopné nebo užitkové vody. Tepelné čerpadlo vzduch/voda je nejčastěji umístěno vně objektu a má nízké provozní náklady ve srovnání s plynovým nebo elektrickým topením. Jeho instalace je velice jednoduchá s minimálními nároky na prostor. Nevýhodou tohoto tepelného čerpadla je snížený výkon a snížená výstupní teplota topné vody při nízkých venkovních teplotách. [15]

2.3.3 TČ voda/voda

Tepelné čerpadlo získává teplo ze spodní nebo z geotermální vody. Ta je nejčastěji čerpána ze studny do výměníku tepelného čerpadla a poté vrácena zpátky do země. Tepelná čerpadla voda/voda dosahují nejvyšších topných faktorů a nacházejí uplatnění v technologických procesech při využití odpadního tepla nebo například vody prosakující skrz hráz přehrady (Instalace tepelného čerpadla na přehradě Josefův Důl v údolí Jizerských hor). Nevýhodou těchto tepelných čerpadel jsou zvýšené náklady na servis z důvodu pravidelné údržby filtrů výměníků tepla. [16]

2.3.4 TČ vzduch/vzduch

Tepelné čerpadlo získává teplo z venkovního vzduchu. Vzduch je nasáván venkovní jednotkou tepelného čerpadla a odebraná energie ohřívá vzduch uvnitř vytápěné místnosti. Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch s jednou vnitřní jednotkou funguje na podobném principu jako krb. Vytápí jednu místnost a teplo se samovolně šíří po celém objektu. Tepelné čerpadlo ohřívá vzduch v místnosti přímo (bez přítomnosti topného systému) a dosahuje proto výrazně vyšších topných faktorů než tepelná čerpadla země/voda a vzduch/voda. Tepelná čerpadla vzduch/vzduch se vyznačují jednoduchou a rychlou instalací, mají nízké investiční náklady a kromě topení mohou posloužit jako klimatizace nebo čističe vzduchu (dokážou díky speciálnímu vestavěnému filtru a ionizátoru vyčistit vzduch v místnosti od alergenů, virů a podobně). Používají se často pro vytápění garáží, zimních zahrad, restaurací nebo jako podpůrné zdroje pro vytápění domů a bytů. [17]

2.4 Bivalentní provoz TČ

Tepelné čerpadlo většinou nelze v praxi dimenzovat na celkové tepelné ztráty vytápěného objektu. Potřeba tepla se během roku mění a není ekonomické navrhovat tepelné čerpadlo na maximální tepelnou ztrátu objektu, protože by byl pohon kompresoru velmi drahý. Proto se tepelné čerpadlo používá v kombinaci s jiným zdrojem tepla, jako je například (elektrokotel nebo kotel na plyn). Tepelné čerpadlo je tedy navrhováno na část maximálního

potřebného výkonu a v nejchladnějších dnech je podpořeno špičkovým zdrojem tepla, který slouží také jako záloha, kdyby došlo k poruše nebo výpadku tepelného čerpadla. [1]

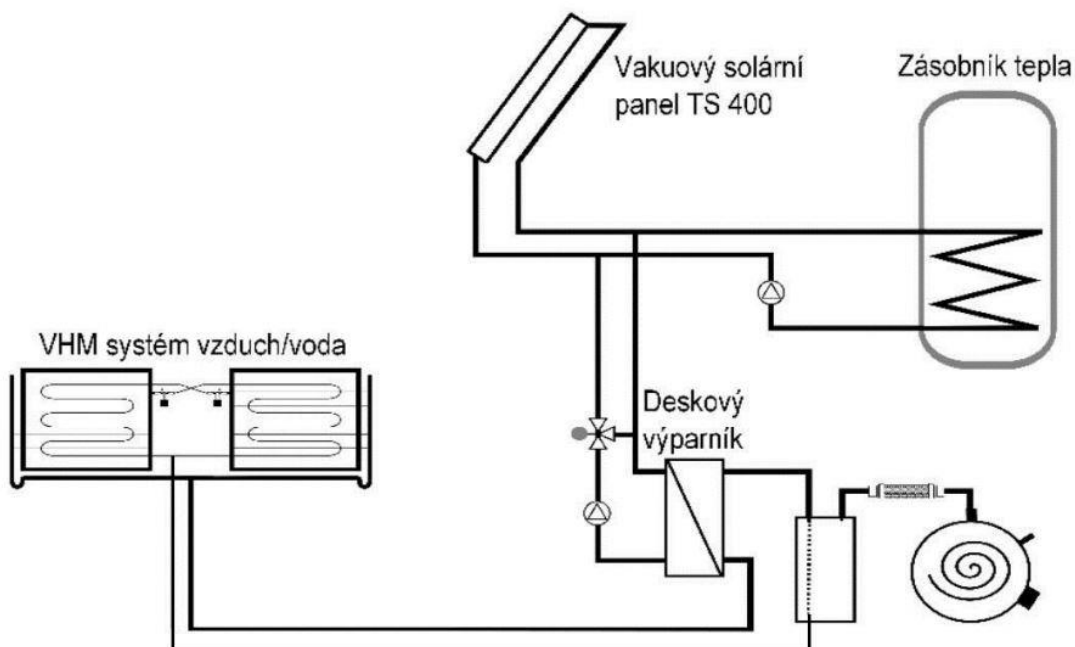
2.5 TČ Chameleon AKU S napojené na solární kolektory

Tepelné čerpadlo Chameleon AKU S od společnosti Tepelná čerpadla MACH s.r.o je přímo napojené na solární vakuové kolektory TS 400 a umožňuje celoročně využívat energii slunečního záření pro vytápění a ohřev TUV. Jedná se o tepelné čerpadlo vzduch/voda s dvojitým výparníkem, které je doplněné o deskový výparník glykol-voda. Tímto spojením tak vzniká tepelné čerpadlo vzduch/voda a zároveň voda/voda. [18]

Systém MACH VHM umí využívat zbytkové teplo pro odtávání výparníku v jednoduchém chladivovém okruhu. Je zde použito dvou výparníků a každý z nich má dva nezávislé chladicí okruhy. Jeden chladivový okruh je určen pro vypařování chladiva a druhý pro odtávání kapalným chladivem. Jde o velmi úsporný systém, který zaručí, že tepelné čerpadlo bude fungovat bez výpadku topného výkonu při odtávání. [18]

Ploché vakuové kolektory TS 400 zajišťují přehřev chladiva přes deskový výparník pro tepelné čerpadlo. To má za následek až pětinasobné zvýšení celoročního využití solárního systému v porovnání s běžným zapojením. Dále se zvýší energetické parametry tepelného čerpadla až o 40% (ustálení topného faktoru). Celý systém je ovládán z jednoho místa z centrální jednotky zvané „Chameleon“. [18]

Systém Chameleon AKU S se vyznačuje minimálními nároky na prostor uvnitř domu (1,2m · 1,5m). Řídicí jednotku „Chameleon“ je možné napojit na centrální dispečink výrobce, čímž je zajištěna lepší analýza chodu tepelného čerpadla při servisu a systém je pod kontrolou 24 hodin denně. Tepelné čerpadlo Chameleon AKU S napojené na solární kolektory je tedy vhodnou volbou pro řešení vytápění a ohřev TUV rodinných domů. [19] Schéma systému Chameleon AKU S je zobrazeno na obrázku 3.



Obr. 3 Schéma zapojení TČ Chameleon AKU S napojeného na solární kolektory TS 400 [18]

3 AKUMULACE TEPLA

3.1 Způsoby akumulace tepla

Akumulace tepla umožňuje uchovat a převést energii z období jejího přebytku do období jejího nedostatku (léto – zima). Je zásadní pro efektivnější využití energie získané z obnovitelných zdrojů. Teplo lze akumulovat prostřednictvím citelného tepla, latentního tepla, jejich kombinace, nebo pomocí termochemických procesů. V této práci budou popsány pouze první dva způsoby.

3.1.1 Akumulace citelného tepla

Akumulace citelného tepla využívá měrnou tepelnou kapacitu a změnu teploty akumulační látky v průběhu nabíjení a vybíjení. Jedná se o nejjednodušší způsob akumulace tepla. Teplota akumulačního média roste v okamžiku, kdy je teplo absorbováno a naopak klesá při jeho uvolňování. Tento proces umožňuje v podstatě neomezený počet nabíjecích a vybíjecích cyklů. Čím větší je měrná tepelná kapacita akumulačního média a jeho objem, tím více tepla je možné akumulovat. V současné době funguje nejvíce akumulačních zařízení právě na tomto principu i přes to, že se nejedná o izotermický děj. Nejčastěji se akumuluje do vody, která má velkou měrnou tepelnou kapacitu (4,2 kJ/kgK) a nízkou pořizovací cenu. V menší míře je používán štěrk nebo jiná pevná látka. Nevýhodou akumulace citelného tepla je zpravidla značný objem akumulační látky a tím i potřeba velkého zásobníku. [20, 21]

3.1.2 Akumulace latentního tepla

Teplo, které je uvolňováno nebo se naopak spotřebovává při změně skupenství látky, se nazývá latentní (skupenské) teplo. Při fázové změně pevná látka – kapalina je tedy možné akumulovat velké množství tepla v případě, že se podaří nalézt akumulační médium, u kterého probíhá fázová přeměna ve vhodném teplotním rozsahu. Fázové změny pevná látka – plyn a kapalina – plyn mají větší latentní teplo než při změně pevná látka – kapalina, ale vyznačují se velkými objemovými změnami. Takový akumulační systém by vyžadoval složité zapouzdření akumulačního média. V praxi se proto ve většině případů pracuje s akumulací při změně fáze pevná látka – kapalina, kde bývají objemové změny do 10%. [21]

Materiály, které se používají pro akumulaci při fázové změně pevná látka – kapalina se nazývají „Phase change materials“ (materiály s fázovou přeměnou) a označují se zkratkou PCM. Nejpoužívanější PCM materiály organického původu jsou parafíny. Komerčně dostupné parafíny jsou získávány destilací ropy a mezi jejich zásadní výhody patří chemická stabilita, kompatibilita s kovovými obaly, nízká objemová změna při změně skupenství, netoxičnost a vysoká životnost. Velkou nevýhodou parafínů je nízká tepelná vodivost a hořlavost. Anorganické PCM (např. hexahydrát chloridu vápenatého $CaCl_2 \cdot 6H_2O$) mají oproti organickým PCM vyšší tepelnou vodivost, jsou levnější a nehořlavé. Mezi jejich nevýhody patří korozivní účinky na kovy a přechlazení při tuhnutí. [21]

Akumulace latentního tepla s využitím změn skupenství představuje systém, který má mnohem větší hustotu akumulovaného tepla vztaheného na jednotku hmotnosti než systém s využitím akumulace citelného tepla. V praktickém hledisku proto může být relativně malé množství akumulačního média použito tam, kde je limitujícím faktorem objem a pracovní teplota akumulátoru. V dnešní době je však většina PCM materiálů součástí výzkumu. [21]

3.2 Vodní zásobníky pro dlouhodobou akumulaci tepla

Vodní zásobníky určené pro dlouhodobou akumulaci tepla jsou v průmyslu využívány až v posledních dvou desetiletích. Ve většině případů jsou tyto zásobníky určeny k zachycování tepla solárními kolektory v létě, aby v zimě zajistily dodávku energie do obsluhovaných objektů. Zásobník by měl mít co nejnižší tepelné ztráty, aby se jeho

pořízení z hlediska finanční stránky vyplatilo. U reálných zásobníků tvoří tepelné ztráty 20 až 50 % z celkové energie dodané solárním systémem. Ceny zásobníku za m^3 klesají s rostoucím objemem. U velkých zásobníků o objemu cca $10\,000\,m^3$ je pořizovací cena zhruba $3000\,Kč/m^3$. Při pořízení „menšího“ zásobníku (cca do $400m^3$) může cena narůstat až k $10\,000\,Kč/m^3$. [22]

Z hlediska tepelných ztrát je kladen důraz na konstrukci zásobníku a na materiál tepelně - izolační vrstvy. Nosná konstrukce bývá většinou vyrobena z oceli, nebo případně z železobetonu. Zásobníky do $300\,m^3$ mohou být dodávány kompletní, větší jsou pak montovány na místě. Izolační materiál zásobníku musí mít malou tepelnou vodivost, která by neměla být závislá na okolních podmínkách (vlhkost, vysoká teplota, proudění vzduchu). V dnešní době se používají izolační materiály na bázi pěnového skla, lehčená kameniva (keramzit), perlit nebo různé stříkané izolace. U nízkoteplotních systémů je možné využít polystyren. [22]

V České republice je využíván zásobník pro dlouhodobou akumulaci tepla například ve Slatiňanech. Byl postavený roku 1996. Jeho objem činí $1080\,m^3$. Akumulovaná energie je získávána z plochy $148\,m^2$ solárních kolektorů a zásobník je vybíjen tepelným čerpadlem (voda/voda) až do teploty vody v zásobníku cca $12^\circ C$. Zásobník je ocelový, smaltovaný. Tepelnou izolaci tvoří tuhé desky z minerálních vláken a kompletní konstrukce je oplášťena trapézovými plechy. Teplo ze zásobníku je dodáváno do areálu chráněných dílen Domova sociálních služeb ve Slatiňanech, kde je vytápěna plocha o rozloze cca $1000\,m^2$. [22]



Obr. 4 Vodní zásobník pro dlouhodobou akumulaci ve Slatiňanech [22]

3.3 Využití akumulace důlních vod

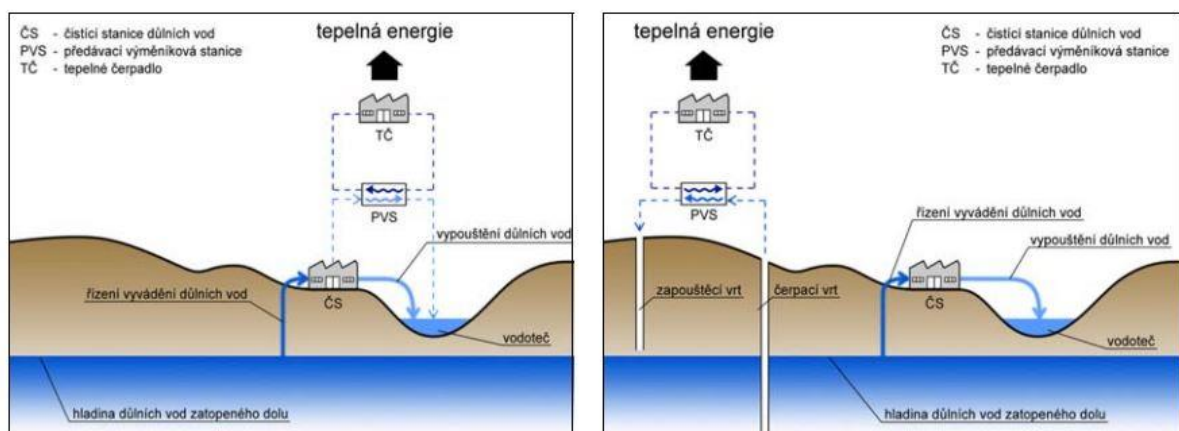
V České republice byla v nedávné době po ukončení hornických prací v podzemí provedena likvidace hlubinných dolů, a to jejich přirozeným zatopením. Objem akumulace důlních vod je dán objemem vyražených důlních děl a objemem vytěžené suroviny ve zlikvidovaném dole. Důlní vody jsou ze zatopených dolů řízeně vyváděny čerpáním nebo jiným způsobem, protože nesmí přesáhnout stanovenou výšku hladiny v podzemí. Tato výška je určena pro každé ložisko, aby důlní vody neohrožily okolní prostředí. [23]

Při technickém využití tepelné energie důlních vod je potřeba brát v úvahu skutečnost, že teplota vody v zatopeném dole není konstantní. V hlubších místech dolu je teplota vody výrazně vyšší než teplota hladinová. Také je limitujícím faktorem, že voda vyváděná z dolu je většinou soustředěna do jednoho místa, které bylo předurčeno morfologií terénu. Dále bývá důlní voda na výtoky často vysoce mineralizovaná, a pokud se jedná o vodu z bývalých uranových dolů, je třeba také počítat s její radioaktivitou. Důlní vody, využívané jako zdroj tepelné energie, mohou být odebírány dvěma technickými způsoby a jejich případné kombinace podle vlastností a podmínek dané lokality. [23]

Řízený odběr důlních vod – systém využívá vod, které se už z podzemí dostaly na povrch (čerpání, gravitační výtok). Na tomto místě je postavena čistící stanice, která zbavuje vodu škodlivých a nežádoucích látek (uran, radium). Nevýhodou tohoto řešení je nižší teplota vody na výtoku a situování místa, které nebývá zpravidla primárně určené jako zdroj tepelné energie (může být velmi daleko od místa potřeby energie). [23]

Odběr samostatným čerpacím systémem – k odběru důlní vody je vybudován samostatný čerpací systém (např. vrt). Výhodou tohoto systému je získání výrazně teplejší důlní vody než v prvním případě a také možnost situování tohoto zdroje energie do oblasti její potřeby. Nevýhodou je, že jsou důlní vody vždy čerpány surové (silná mineralizace, radioaktivita), a proto jsou potřebná další technická opatření. Navíc je nutné vracet vodu do ložiska ve stejném objemu, jako byl objem vyčerpaný, aby nedošlo k narušení hydrologickému systému ložiska. [23]

Z důvodu mineralizace a případně radioaktivity důlních vod, by měla být součástí obou technických řešení předávací výměňková stanice (tepelná energie důlních vod je předávána jinému médiu), díky níž se minimalizuje oběh důlních vod. [23]



Obr. 5 Řízený odběr důlních vod (vlevo), odběr samostatným čerpacím systémem (vpravo) [23]

V České republice byl vypracován projekt pro přípravu TUV v obci Drahonín, která se nachází poblíž zatopeného ložiska Olší (jihovýchodní část Českomoravské vrchoviny). Systém se skládá z čerpacího vrtu, předávací výměňkové stanice (voda/voda), tepelného čerpadla a zapouštěcího vrtu. Důlní voda je čerpána z hloubky 130 m a vracena zpět do podzemí. Maximální množství odebírané vody je projektováno na 96 m³ za hodinu a teplota důlní vody na výtoku se pohybuje mezi 10 a 12°C. Tento systém by měl pokrýt až 70 - 75 % spotřeby tepla na ohřev TUV obyvatelů obce. Využití akumulace důlních vod lze tedy považovat za další alternativní zdroj tepelné energie. [23]

4 PARAMETRY OBJEKTU

4.1 Popis RD

Rodinný řadový dům se nachází v katastru obce České Budějovice, v obytné čtvrti Rožnov. Dům byl postaven v roce 1931. V letech 1985 a 2006 proběhly dvě poměrně rozsáhlé rekonstrukce objektu. Během druhé rekonstrukce byl kompletně změněn půdní prostor na obytnou část a byla přistavěna část objektu s terasou. V objektu jsou kombinovány jak původní stavební materiály (klasická pálená cihla, dřevěné trámové stropy se zásypem, popřípadě klenuté stropy do ocelových nosníků), tak materiály nové, použité hlavně na tepelnou izolaci podkroví. Nicméně fasáda objektu nebyla ani v jedné etapě rekonstrukce zateplena. Některé stavební části (vstupní dveře, okna, apod.) neprošly výměnou a nesplňují požadavky na současný komfort bydlení. Objekt je vytápěn ústředním vytápěním na zemní plyn. Obytné podkroví má navíc další lokální topidlo – krbovou vložku.

Objekt byl zakoupen v květnu 2014 s tím, že během následujících dvou let proběhne dodatečné zateplení objektu na čelních stranách za účelem snížení tepelných ztrát. Vzhledem k poměrně rozsáhlému podsklepení objektu a velké přilehlé zahradě bylo počítáno s možností optimalizace topného zdroje, a to formou využití možnosti dlouhodobé akumulace tepla, respektive s vhodnou kombinací s tepelným čerpadlem.

Současným tepelným zdrojem je plynový kotel Vitopends V100 od společnosti Viessmann (topné zařízení s regulací Vitotronic 100 pro provoz s konstantní teplotou). Kotel i spalinové cesty prochází pravidelnou roční revizí.

4.2 Energetická náročnost RD

Součástí koupě byl i průkaz energetické náročnosti budovy vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č.78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov (součást přílohy).

Budova byla vyhodnocena v kategorii „nehospodárná (E)“, přičemž rozdíl mezi budovou v kategorii „méně úsporná (D)“ je minimální. Lze tedy s jistotou předpokládat, že po výměně některých nevyhovujících oken a dveří a po zateplení se objekt posune do kategorie vyšší. Dosažení kategorie „úsporná (C)“ se už nejeví jako reálné, protože by bylo nutné měnit u oken izolační dvojsklo za trojsklo a pravděpodobně i zvýšit tepelnou izolaci šikmé střechy doplněním izolantu ke stávající tloušťce 20 cm. Při zběžné kontrole termokamerou byla zjištěna místa tepelných mostů, kde část z nich bude po zateplení odstraněna. Úplné odstranění všech tepelných mostů však není z konstrukčního hlediska možné (bylo by nutné konstrukčně změnit zejména terasu objektu). To vše by bylo spojeno s masivním zásahem do konstrukce domu.

4.3 Maximální tepelná ztráta RD

Nejprve je třeba vypočítat maximální tepelnou ztrátu RD prostupem tepla. Je to v podstatě energie, která musí být dodána v nejchladnějším dni, aby v domě byla udržena zvolená pokojová teplota $t_i = 20^\circ\text{C}$. V průkazu energetické náročnosti budovy je uvedena venkovní návrhová teplota v zimním období $t_{emin} = -17^\circ\text{C}$ a měrná tepelná ztráta objektu prostupem tepla $H_T = 346,25 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$. Maximální tepelná ztráta H je potom určena vztahem:

$$H = H_T \cdot (t_i - t_{emin}) = 346,25 \cdot [20 - (-17)] = 12\,811,25 \text{ W} \quad (1)$$

To znamená, že v nejchladnějším návrhovém dni uniká z domu cca 12,8 kW tepla, což odpovídá minimálnímu výkonu zdroje tepla, na který musí být dimenzován.

4.4 Spotřeba tepla pro vytápění RD

Dále je nutné zjistit kolik energie je průměrně potřeba v jednotlivých měsících pro vytápění RD. Otopné období trvá 7 měsíců od října do dubna. Pro určení spotřeby tepla v daném měsíci $Q_{spotř}$ je nutné znát střední měsíční teplotu t_e a průměrný měsíční tepelný výkon tepelného zdroje Q_{pr} . Hodnoty t_e pro každý měsíc jsou zjištěny z internetového satelitního zdroje [24]. Následující ukázkový výpočet je proveden pro měsíc říjen. Veškeré použité veličiny a vypočítané hodnoty pro všechny měsíce jsou zaznamenány v tabulce 2.

- Průměrný měsíční tepelný výkon Q_{pr} [W]

$$Q_{pr} = H_T \cdot (t_i - t_e) = 346,25 \cdot (20 - 11) = 3116,25 \text{ W} \quad (2)$$
 t_i je zvolená pokojová teplota [°C]
 t_e je střední měsíční teplota [°C]
 H_T – měrná tepelná ztráta objektu [$W \cdot K^{-1}$]
- Měsíční spotřeba tepla $Q_{spotř}$ [Wh]

$$Q_{spotř} = 24 \cdot n \cdot Q_{pr} = 24 \cdot 31 \cdot 3116,25 = 2\,318\,490 \text{ Wh} = 2\,318,49 \text{ kWh} \quad (3)$$
 n je počet dnů v měsíci [-]
 Q_{pr} je průměrný měsíční tepelný výkon [W]

Tab. 2 Spotřeba tepla pro vytápění RD

Měsíc	t_e [°C]	$t_i - t_e$ [°C]	n [-]	Q_{pr} [W]	$Q_{spotř}$ [kWh]
Říjen	11	9	31	3 116,25	2 318,49
Listopad	5,7	14,3	30	4 951,38	3 564,99
Prosinec	1,6	18,4	31	6 371,00	4 740,02
Leden	-0,1	20,1	31	6 959,63	5 177,96
Únor	1,1	18,9	28	6 544,13	4 397,65
březen	5,7	14,3	31	4 951,38	3 683,82
Duben	11,4	8,6	30	2 977,75	2 143,98
$\Sigma Q_{spotř} = Q_R$					26 026,92

Celkové roční teplo Q_R potřebné na vytápění RD je určeno jako součet dílčích potřeb tepla v jednotlivých měsících. Z tabulky 2 je patrné, že pro udržení pokojové teploty 20°C v řešeném objektu, je potřeba ročně dodat okolo 26 MWh tepelné energie.

4.5 Spotřeba tepla pro ohřev TUV v RD

Roční spotřeba tepla pro ohřev TUV je uvedena v průkazu energetické náročnosti budovy, která je kalkulována pro potřeby běžné čtyřčlenné rodiny po dobu kalendářního roku. Měrná spotřeba pro ohřev TUV $Q_{Vměr}$ v řešeném domě ročně činí 26 kWh/m² a celková energeticky vztažná plocha domu S_E je 234,52 m². Celková roční spotřeba tepla pro ohřev TUV Q_V je určena z rovnice 4.

$$Q_V = Q_{V,měr} \cdot S_E = 26 \cdot 234,52 = 6097,52 \text{ kWh} \quad (4)$$

Každý rok je potřeba dodat cca 6 MWh tepelné energie pro ohřev TUV, což představuje cca 0,5 MWh měsíčně.

5 NÁVRH SYSTÉMU DLOUHODOBÉ AKUMULACE TEPLA PRO RD

5.1 Prostor pro dlouhodobou akumulaci tepla

Při návrhu systému dlouhodobé akumulace tepla je nejprve nutné vypočítat objem zásobníku (akumulátoru) do kterého budou akumulovány letní přebytky solární energie. Aby systém pokryl celkové roční tepelné ztráty Q_R lze předpokládat, že z jedné třetiny je tato spotřeba tepla kryta energií zachycenou solárními kolektory během otopného období (tzn. bez dlouhodobé akumulace tepla) a zbylé dvě třetiny potřebné energie je nutné zachytit kolektory v létě (od května do září).

Akumulátor se bude nabíjet z teploty $t_1 = 5^\circ\text{C}$ (teplota akumulátoru na začátku května) na teplotu $t_2 = 70^\circ\text{C}$ (teplota akumulátoru před začátkem otopného období). V průběhu nabíjení se bude teplota látky v akumulátoru postupně zvyšovat. Předpokládá se, že teplota látky v akumulátoru rovnoměrně vzroste o 13°C na konci každého měsíce letního období. [4] Teploty látky v akumulátoru v průběhu nabíjení jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 Teplota látky v akumulátoru

Měsíc	Teplota látky na konci měsíce [$^\circ\text{C}$]
květen	18
červen	31
červenec	44
srpen	57
září	70

V návrhu budou zpracovány dvě varianty akumulace tepla, a to akumulace tepla do vody a akumulace tepla do šterku. Potřebný objem akumulátoru pro každou variantu je určen z rovnice 5 a jeho hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4. Ukázkový výpočet je proveden pro akumulaci do vody.

- Objem akumulátoru V [m^3]

$$V = 3600 \cdot \frac{\left(\frac{2}{3}\right) \cdot Q_R}{c \cdot \rho \cdot (t_2 - t_1)} = 3600 \cdot \frac{\left(\frac{2}{3}\right) \cdot 26026,26 \cdot 10^3}{4200 \cdot 988 \cdot (70 - 5)} = 231,59 \text{ m}^3 \quad (5)$$

Q_R je celkové roční teplo potřebné pro vytápění RD [Wh]

c je měrná tepelná kapacita akumulací látky [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

ρ je hustota akumulací látky [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

t_1 je teplota na začátku nabíjení akumulátoru [$^\circ\text{C}$]

t_2 je teplota na konci nabíjení akumulátoru [$^\circ\text{C}$]

Tab. 4 Objem akumulátoru

Akumulační látka	ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	c [$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]	Objem akumulátoru V [m^3]
Voda [4]	988	4200	231,59
Šterk [25]	1650	750	776,56

Pokud bude teplo z letních přebytků akumulováno do vody, je potřeba zásobníku o objemu cca 232 m^3 . V druhé variantě, kde se teplo akumuluje do šterku, je potřeba prostor pro akumulaci cca 777 m^3 .

5.2 Velikost plochy solárních kolektorů

Návrh bude proveden pro solární kolektor KPS 11+ viz kap 1.4, jeho parametry pro výpočet účinnosti jsou uvedeny v tabulce 5. Sklon střechy RD α je 40°C . Střecha je sedlová a orientována na severní a jižní stranu. Na obou stranách střechy jsou arkýře a střešní okna. Hodnoty střední intenzity slunečního záření $I_{stř}$, průměrného měsíčního množství sluneční energie Q_{D40} dopadající na kolektor pod úhlem α za den a střední měsíční teploty v době slunečního svitu t_v pro danou lokalitu byly získány ze satelitního zdroje a z dostupné literatury [4, 24].

Při výpočtu solárních kolektorů pro provoz v otopném období je předpokládán ohřev otopné vody na teplotu $t_a = 65^\circ\text{C}$. Nejprve je třeba zjistit, kolik energie na m^2 solárního kolektoru je možné každý měsíc získat. Velikost minimální plochy solárních kolektorů S pro systém dlouhodobé akumulace tepla je následně určena z rovnice 8. Uvažuje se, že tepelné ztráty zásobníku p pro dlouhodobou akumulaci tepla a potrubního rozvodu tvoří deset procent z celkového akumulovaného tepla. [4] Ukázkový výpočet účinnosti solárního kolektoru a energie zachycené kolektorem je proveden pro měsíc květen. Veškeré ostatní veličiny a vypočtené hodnoty pro všechny měsíce jsou uvedeny v tabulce 6.

Tab. 5 Parametry kolektoru KPS 11+ pro výpočet účinnosti

Kolektor KPS 11+ [26]		
$\eta_0[-]$	$a_1[W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}]$	$a_2[W \cdot K^{-2} \cdot m^{-2}]$
0,79	3,48	0,0056

- Účinnost solárního kolektoru $\eta[-]$

$$\eta = \eta_0 - \frac{a_1 \cdot (t_a - t_v)}{I_{stř}} - \frac{a_2 \cdot (t_a - t_v)^2}{I_{stř}} \quad [-] \quad (6)$$

$$\eta = 0,79 - \frac{3,48 \cdot (18 - 15,8)}{600} - \frac{0,0056 \cdot (18 - 15,8)^2}{600} = 0,777 \quad [-]$$

η_0 je optická účinnost kolektoru [-]

a_1 je lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [$W \cdot K^{-1} \cdot m^{-2}$]

a_2 je kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [$W \cdot K^{-2} \cdot m^{-2}$]

$I_{stř}$ je střední intenzita slunečního záření [$W \cdot m^{-2}$]

t_v je střední měsíční teplota v době slunečního svitu [$^\circ\text{C}$]

t_a je teplota látky v akumulátoru [$^\circ\text{C}$]

- Energie zachycená 1 m^2 plochy solárních kolektorů za měsíc Q_m [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$]

$$Q_m = \eta \cdot n \cdot Q_{D40} \quad [\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (7)$$

$$Q_m = 0,777 \cdot 31 \cdot 5000 = 120465 \text{ Wh} \cdot \text{m}^{-2} = 120,47 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2}$$

η je účinnost kolektoru [-]

n je počet dnů v měsíci [-]

Q_{D40} je průměrné měsíční množství sluneční energie dopadající na kolektor pod úhlem α (40°) za den [$\text{Wh} \cdot \text{m}^{-2}$]

- Plocha solárních kolektorů S [m^2]

$$S = \frac{(1+p) \cdot \frac{2}{3} \cdot Q_R}{\sum_{květen}^{Září} Q_m} = \frac{(1+0,1) \cdot \frac{2}{3} \cdot 26026,26}{467,345} = 40,840 \text{ m}^2 \quad (8)$$

p jsou tepelné ztráty potrubního rozvodu a zásobníku pro dlouhodobou akumulaci tepla [-]

Q_R je celkové roční teplo potřebné pro vytápění RD [kWh]

Q_m je energie zachycená 1 m^2 plochy solárních kolektorů za měsíc [$\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2}$]

- Počet solárních kolektorů KPS 11+ je určen jako podíl plochy solárních kolektorů S a absorpční plochy kolektoru ($2,13m^2$).

$$\frac{S}{2,31} = \frac{40,840}{2,31} = 17,67 \rightarrow 18 \text{ kolektorů} \quad (9)$$

- Celková absorpční plocha kolektorů KPS 11+ $S_{celk}[m^2]$

$$S_{celk} = 18 \cdot 2,31 = 41,58 m^2 \quad (10)$$

- Energie zachycená celkovou plochou solárních kolektorů za měsíc $Q_S[kWh]$

$$Q_S = S_{celk} \cdot Q_m = 41,58 \cdot 120,47 = 5\,008,94 kWh \quad (11)$$

S_{celk} je celková absorpční plocha solárních kolektorů KPS 11+ [m^2]

Q_m je energie zachycená $1m^2$ plochy solárních kolektorů za měsíc [$kWh \cdot m^{-2}$]

Tab. 6 Výpočet solárních kolektorů

Měsíc	t_a [$^{\circ}C$]	t_v [$^{\circ}C$]	$t_a - t_v$ [$^{\circ}C$]	$I_{stř}$ [W/m^2]	η [-]	Q_{D40} [Wh/m^2]	n [-]	Q_m [kWh/m^2]	Q_S [kWh]
leden	65	1,7	63,3	412	0,20	1 220	31	7,60	315,88
únor	65	2,4	62,6	490	0,30	2 240	28	18,86	784,00
březen	65	6,2	58,8	558	0,39	3 720	31	44,81	1 863,30
duben	65	10,7	54,3	580	0,44	5 060	30	66,14	2 750,27
květen	18	15,8	2,2	600	0,78	5 000	31	120,47	5 008,94
červen	31	18,6	12,4	590	0,72	5 050	30	108,38	4 506,58
červenec	44	20,8	23,2	600	0,65	5 110	31	103,03	4 284,09
srpen	57	20,6	36,4	580	0,56	4 850	31	84,02	3 493,41
září	70	17,4	52,6	558	0,43	3 950	30	51,45	2 139,36
říjen	65	12,1	52,9	490	0,38	2 850	31	33,78	1 404,49
listopad	65	6,9	58,1	412	0,25	1 520	30	11,55	480,40
prosinec	65	3,3	61,7	344	0,10	1 170	31	3,77	156,62
ΣQ									27 187,34

Pro akumulaci letních přebytků sluneční energie do zásobníku dlouhodobé akumulace tepla je navržen solární systém, který obsahuje 18 plochých lyrových kolektorů KPS 11+ o celkové absorpční ploše $41,58 m^2$. Tato plocha je vypočtena z podmínky akumulace dvou třetin z celkového ročního tepla Q_R potřebného pro vytápění RD v průběhu letního období. Celková energie získaná solárními kolektory je určena jako součet dílčích energií v jednotlivých měsících. Z tabulky 6 je vidět, že ročně kolektory zachytí přibližně 27 MWh tepelné energie.

5.3 Kontrola solárních kolektorů z hlediska zimního provozu

Dále je třeba zkontrolovat, zda solární kolektory KPS 11+ o navržené ploše $S_{celk} = 41,58 m^2$ vyhovují z hlediska zimního provozu. Předpokládá se, že v otopném období pokryjí jednu třetinu z celkového tepla Q_R (cca 8,7MWh) pro vytápění RD samy, a to bez dlouhodobé akumulace. Celkové teplo získané kolektory v otopném období spočtené z tabulky 6 je cca 7,7 MWh. Kolektory tedy nevyhovují z hlediska zimního provozu. Tzn., aby systém pokryl veškeré tepelné ztráty sám, byla by potřeba ještě větší plocha solárních kolektorů. V tabulce 6 je vidět, že v krajních měsících (leden, prosinec) je účinnost kolektorů velmi malá. Proto je nevhodné zvyšovat plochu solárních kolektorů pro zimní provoz, ale raději zvolit přídatný tepelný zdroj, jako je např. stávající plynový kotel.

5.4 Návrh TČ

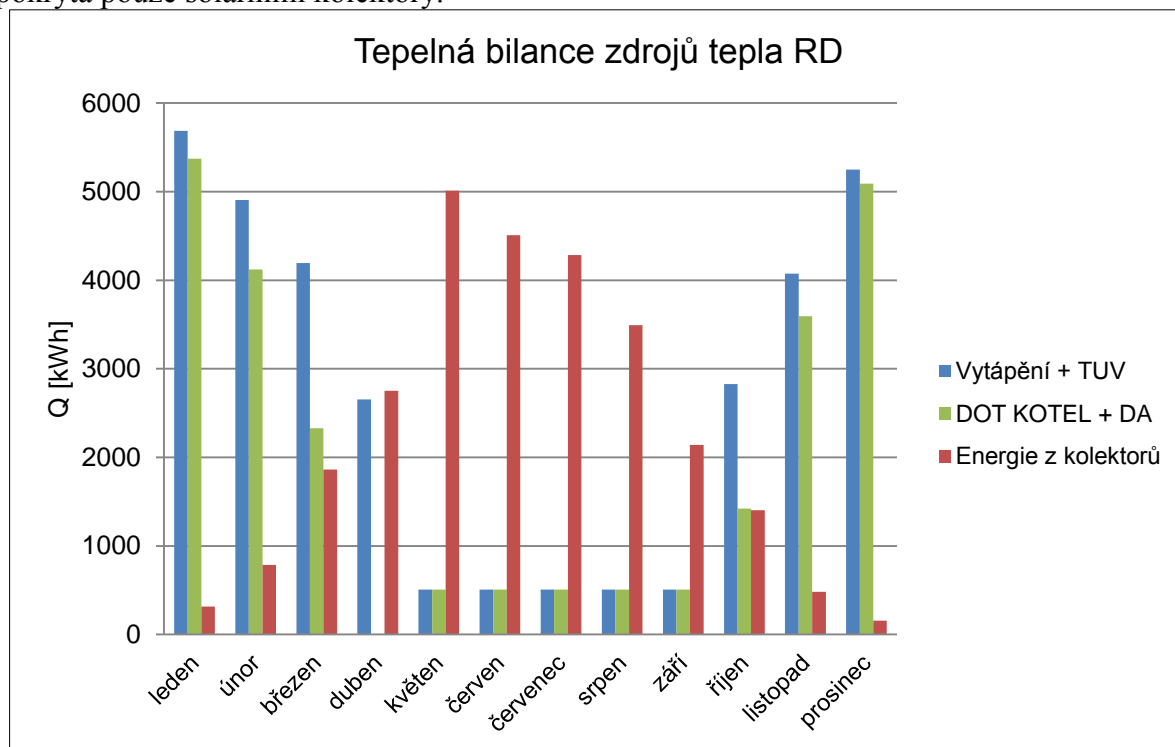
Tepelné čerpadlo v systému dlouhodobé akumulace tepla pro RD je napojené přímo na zásobník pro dlouhodobou akumulaci tepla a umožní jeho vybití na nižší teplotu (viz kapitola 1.6). Ve variantě akumulace tepla do vody bude v systému zapojeno tepelné čerpadlo voda/voda a při akumulaci tepla do šterku tepelné čerpadlo země/voda. Tepelné čerpadlo bude v provozu pouze na konci otopného období, kdy teplo ze zásobníku dlouhodobé akumulace přestane samovolně přecházet do otopného systému. Jeho provoz bude z hlediska celkové energetické bilance zanedbatelný. Tepelné čerpadlo bude navrženo na pokrytí maximální tepelné ztráty RD 12,8 kW (viz kapitola 4.3). Vybraná tepelná čerpadla od společnosti MasterTherm a jejich vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 7.

Tab. 7 Návrh TČ pro systém dlouhodobé akumulace tepla [27]

Aqua Master 30Z-2014 (voda/voda)	
Topný výkon při W10/W35	13,3 kW
COP při W10/W35	5,7
Cena (bez montáže)	153 900 Kč bez DPH
Direct Master 37ZD-2015 (země/voda)	
Topný výkon při E4W35	15,8 kW
COP při E4W35	4,8
Cena (bez montáže)	139 900 Kč bez DPH

5.4 Sestavení tepelné bilance zdrojů tepla RD

Tepelná bilance zdrojů tepla RD je zobrazena na obrázku 6. Obrovské letní přebytky solární energie jsou akumulovány a následně využívány v otopném období. Plynový kotel slouží pro ohřev TUV a také jako podpůrný zdroj v krajních měsících, kdy je solární energie nedostatek a dojde k úplnému vyčerpání tepla (tepelným čerpadlem) ze zásobníku pro dlouhodobou akumulaci. V dubnu je veškerá energie nutná pro vytápění a ohřev TUV pokryta pouze solárními kolektory.



Obr. 6 Tepelná bilance zdrojů tepla RD

5.5 Návržnost systému dlouhodobé akumulace tepla pro RD

Dále je třeba navržený systém přibližně ekonomicky vyhodnotit. V průkazu energetické náročnosti budovy je uvedena roční spotřeba zemního plynu cca 55 MWh a cena za vytápění a ohřev TUV kotlem na zemní plyn se pohybuje okolo 60 000 Kč za rok. Dalších cca 5 000 Kč je třeba ročně zaplatit za údržbu a servis plynového kotle. Výše uvedené náklady jsou vztaženy k ročnímu vyúčtování předchozího uživatele objektu. Při zohlednění aktuální spotřeby zemního plynu od července 2014 do dubna 2015 vychází náklady za vytápění výrazně nižší (předchozí majitel vytápěl na výrazně vyšší teplotní komfort). Přibližné ekonomické vyhodnocení systému dlouhodobé akumulace pro obě varianty (akumulace do vody, akumulace do šterku) je uvedeno v tabulce 8.

Tab. 8 Přibližné ekonomické vyhodnocení systému dlouhodobé akumulace tepla pro RD

Aktuální stav (Kotel Vitopends V100)	
Položky	Odhadovaná cena (Kč s DPH)
Zemní plyn	40 000
Servis a údržba kotle	5 000
Roční poplatek za vytápění a ohřev TUV	45 000
Systém dlouhodobé akumulace tepla do vody (návržnost cca 56 let)	
Položky	Odhadovaná cena (Kč s DPH)
Solární Kolektor KPS 11+ (18 ks)	270 000
TČ Aqua Master 30Z-2014 (voda/voda)	185 000
Nádrž 232 m ³ (cca 5000 Kč/m ³ viz kap 3.2)	1 160 000
Montáže + ostatní komponenty (cca 10-15% z celkové ceny)	200 000
Celková orientační pořizovací cena	1 815 000
Roční poplatek za vytápění a ohřev TUV	13 000
Systém dlouhodobé akumulace tepla do šterku (návržnost cca 46 let)	
Položky	Odhadovaná cena (Kč s DPH)
Solární Kolektor KPS 11+ (18 ks)	270 000
TČ Direct Master 37ZD-2015 (země/voda)	167 000
Šterk 777 m ³ (700 Kč/m ³)	545 000
Práce (hloubení 400 Kč/m ³)	310 000
Deponie zeminy (odvoz do 20 km)	30 000
Montáže + ostatní komponenty (cca 10-15% z celkové ceny)	150 000
Celková orientační pořizovací cena	1 472 000
Roční poplatek za vytápění a ohřev TUV	13 000

Pozn. Ceny jsou pouze orientační a jsou čerpány na základě informací poskytnutých z podkladů pro stanovení stavebních rozpočtů (URS, Callida), z cenové nabídky poskytovatelů tepelných čerpadel a solárních kolektorů. Získání dotace z programu Nová zelená úsporám se jeví jako velmi problematické (bylo by nutné provést výrazné konstrukční úpravy – viz kapitola 4.2)

Systém dlouhodobé akumulace tepla do vody přijde investora zhruba na 1,8 mil. Kč. Systém je schopný pokrýt téměř veškeré tepelné ztráty RD a jelikož je kotel využíván pouze pro ohřev TUV RD a jako podpůrný zdroj pro vytápění RD na konci otopného období, lze předpokládat, že bude potřeba zemního plynu snížena o cca 80% (roční poplatek za stálé platby a za spotřebovaný zemní plyn včetně servisu kotle bude cca 13 000 Kč). Každý rok investor ušetří až 32 000 Kč a návratnost tohoto systému je tedy odhadována na 56 let.

System dlouhodobé akumulace tepla do štěrku přijde investora zhruba na 1,5 mil. Kč. Ušetřené peníze jsou stejné jako v první variantě a návratnost tohoto systému je tedy odhadována na 46 let.

5.5 Zhodnocení systému dlouhodobé akumulace tepla pro RD

System dlouhodobé akumulace tepla navržený pro RD je schopný pokrýt téměř veškeré tepelné ztráty RD během roku. Energie slunečního záření je zachycena kolektory KPS 11+ o absorpční ploše 41,58 m² a následně akumulována dvěma různými způsoby. Tepla lze akumulovat do vodního zásobníku o objemu cca 232 m³ nebo do prostoru vyplněného štěrkem o objemu cca 777 m³. V systému je zapojené tepelné čerpadlo, které slouží k vyčerpání zbytku energie ze zásobníku pro dlouhodobou akumulaci tepla (respektive prostoru vyplněného štěrkem) a je v provozu pouze na konci otopné sezóny. Pro variantu s vodním zásobníkem je zvoleno tepelné čerpadlo Aqua Master 30Z-2014 (voda/voda) a pro variantu s akumulací do štěrku tepelné čerpadlo Direct Master 37ZD-2015 (země/voda). Plynový kotel ohřívá TUV RD a v případě úplného vybití zásobníku pro dlouhodobou akumulaci tepla tepelným čerpadlem slouží jako podpůrný zdroj pro vytápění.

Tento návrh je nutné vidět ve dvou rovinách. V rovině teoretické (výpočtové) a v rovině praktické (ekonomické a realizační). Největším problémem je nedostatek reálného prostoru pro dlouhodobou akumulaci tepla v RD a v jeho okolí (zahrada). Vodní zásobník o objemu 232m³ představuje asi 11 nákladních cisteren. Zahrada RD má rozlohu 360 m² a pokud by se teplo akumulovalo do štěrku, musel by být použit celý prostor zahrady. Při zahrnutí výkopových prací a přihlédnutí k faktu, že je zahrada aktivně využívána, není toto řešení možné. Dalším problémem je střecha RD, která díky své členitosti (sedlová střecha, na obou stranách jsou arkýře a střešní okna) rozhodně není schopná pojmout 41,58 m² solárních kolektorů, takže by solární kolektory musely být umístěny ještě na jiných místech a to už by bylo konstrukčně složitější.

Ani z ekonomického hlediska (viz tabulka 8) se toto řešení nejeví jako příznivé, jelikož vynaložené prostředky na pořízení všech komponent navrženého systému (solární kolektory, tepelné čerpadlo, zásobník pro dlouhodobou akumulaci, atd.) by výrazně překročily finanční možnosti investora a návratnost takto vynaložených finančních prostředků by se posunula mimo sféru reality (návratnost okolo 50 let).

6 ALTERNATIVNÍ MOŽNOSTI VYTÁPĚNÍ RD

6.1 TČ IVT AIR SPLIT 11

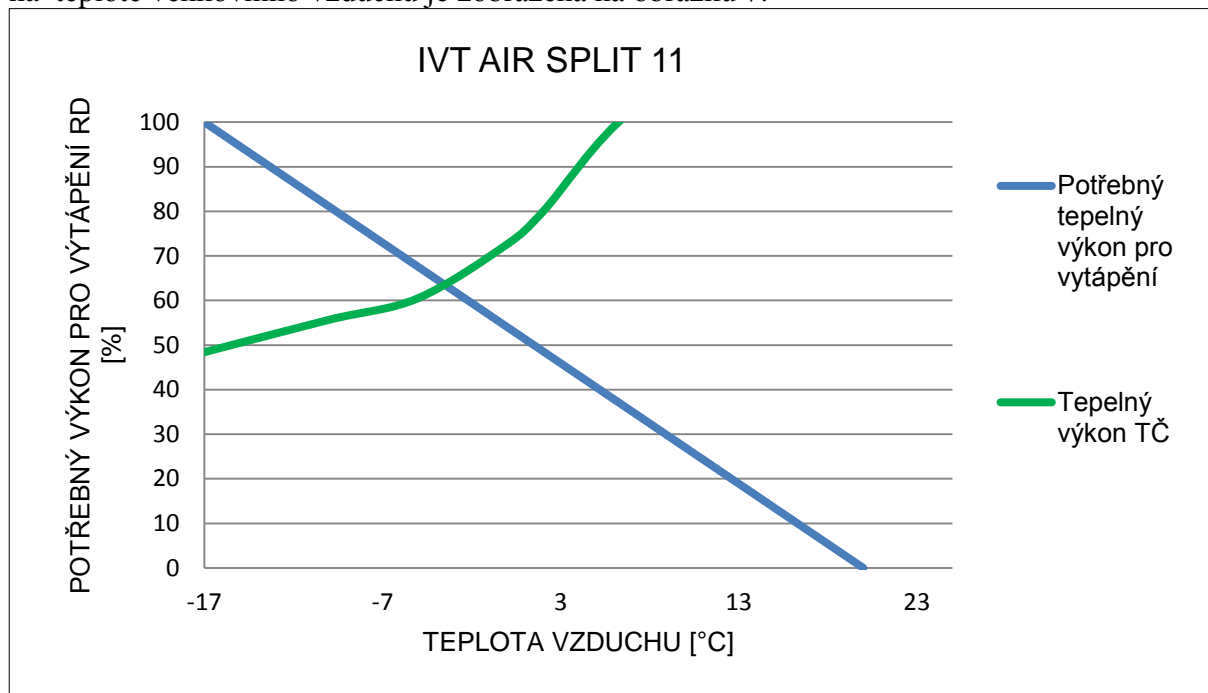
Jako reálná možnost pro řešení vytápění RD se jeví využití tepelného čerpadla na bázi vzduch/voda IVT Air Split 11 od švédské firmy IVT.

Tepelné čerpadlo umožňuje vytápět RD s plynule říditelným výkonem až do 14kW. V létě naopak může posloužit jako klimatizace. V externím zásobníku ohřívá TUV, je schopné řídit dva otopné okruhy zároveň a případně také ohřívát bazénovou vodu. Výhodou tepelného čerpadla IVT Air Split 11 je vnitřní jednotka SplitBox S, která umožňuje připojení stávajícího plynového kotle, což je pro tento RD ideální řešení. [28] Parametry tepelného čerpadla jsou uvedeny v tabulce 9.

Tab. 9 Parametry tepelného čerpadla IVT Air Split 11 [28, 29]

Tepelné čerpadlo IVT AIR Split (vzduch/voda)	
Topný výkon při 7°C/35°C	14 kW
COP při 7°C/35°C	4,24
Topný výkon při 2°C/35°C	9,5 kW
COP při 2°C/35°C	3,2
Požizovací cena TČ včetně jednotky Splitbox S	189 000 Kč bez DPH

Maximální výstupní teplota tepelného čerpadla je 55°C do venkovní teploty vzduchu -5°C (48°C při venkovní teplotě -15°C). [28] Závislost tepla získaného z tepelného čerpadla na teplotě venkovního vzduchu je zobrazena na obrázku 7.



Obr. 7 Závislost tepla získaného z TČ IVT AIR SPLIT na teplotě vzduchu

Modrá křivka v grafu zobrazuje potřebný tepelný výkon [%] pro vytápění RD v závislosti na venkovní teplotě. Sto procent potřebného výkonu představuje maximální tepelnou ztrátu RD $H = 12,8 \text{ kW}$ při návrhové teplotě $t_{emin} = -17^\circ\text{C}$ (viz kapitola 4). Průběh závislosti potřebného tepelného výkonu pro vytápění RD lineárně klesá až na nulovou hodnotu, kdy je venkovní teplota vzduchu rovna požadované pokojové teplotě $t_i = 20^\circ\text{C}$. Průběh závislosti tepelného výkonu TČ na venkovní teplotě vzduchu je určen z dostupných

informací od výrobce a z odborné literatury [11, 28]. Bod, ve kterém se dané křivky protínají, se nazývá bod bivalence tepelného čerpadla. Tzn. do teploty cca -4°C je tepelné čerpadlo schopno vytápět RD samo a v případě, že venkovní teplota vzduchu klesne pod tuto hodnotu, je potřeba podpůrného zdroje, tedy stávajícího plynového kotle. Z grafu je dále patrné, že v nejchladnějších dnech otopného období ($t_{emin} = -17^{\circ}\text{C}$) dodává cca 50% výkonu potřebného pro vytápění RD tepelné čerpadlo a dalších cca 50% poskytuje plynový kotel. Lze tedy předpokládat, že by tepelné čerpadlo mohlo ušetřit ročně kolem poloviny nákladů na vytápění, pokud bude fungovat plynule a nedojde k zamrznutí jeho venkovní jednotky při extrémně nízkých teplotách. Dále je tepelné čerpadlo schopno zajistit ohřev TUV v průběhu léta, takže není potřeba, aby byl v provozu plynový kotel. Náklady na provoz tepelného čerpadla jsou z celkového energetického hlediska zanedbatelné. Ekonomické vyhodnocení návrhu tepelného čerpadla je uvedeno v tabulce 10.

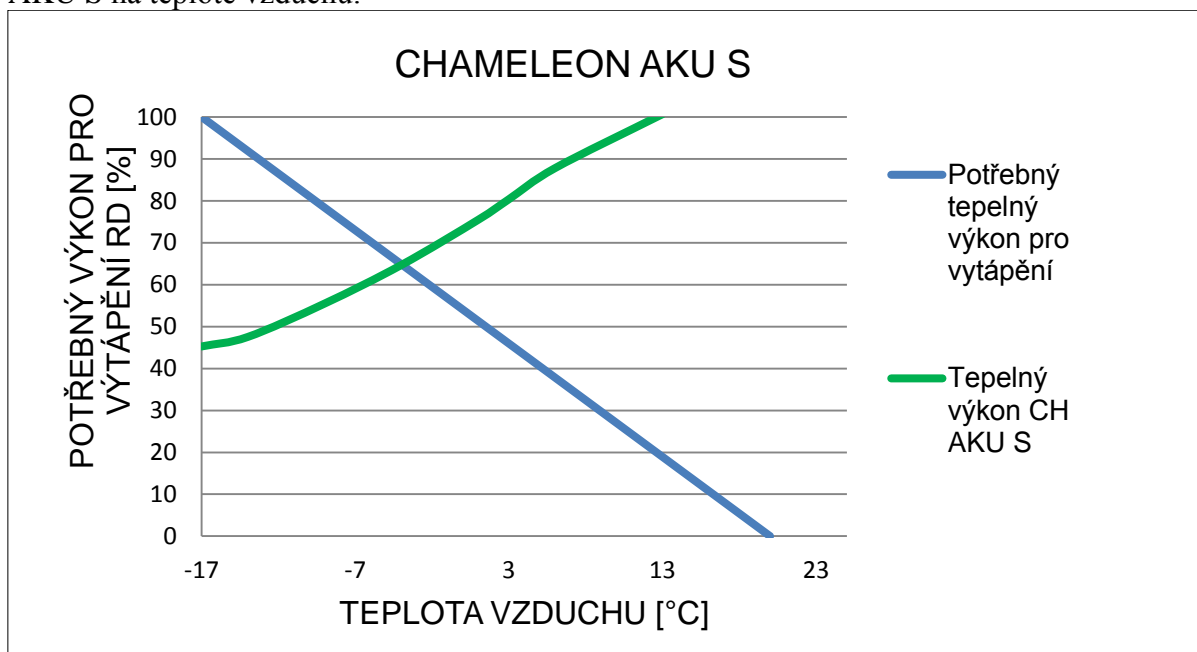
Tab. 10 Ekonomické vyhodnocení tepelného čerpadlo IVT AIR Split 11 (vzduch/voda)

Stávající stav (plynový kotel)	
Roční poplatky za plyn (viz kapitola 5.5)	45 000Kč
Tepelné čerpadlo IVT AIR Split (vzduch/voda) [29]	
Cena včetně montáže a uvedení do provozu	280 000 Kč
Roční poplatky za plyn	25 000 Kč
Návratnost	cca 14 let

Při předpokládaném ušetření 50% ročních nákladů na vytápění RD a ohřevu TUV zaplatí ročně investor 25 tisíc Kč za zemní plyn namísto současných 45 tisíc Kč. Tzn., že se mu vynaložené finanční prostředky na pořízení tepelného čerpadla IVT AIR Split (vzduch/voda) vrátí cca za 14 let.

6.2 TČ Chameleon AKU S + kolektory TS400

Dalším vhodným alternativním řešením vytápění a ohřevu TUV RD je tepelné čerpadlo Chameleon AKU S napojené na solární vakuové kolektory TS400 (viz kap 2.5). Z poskytnutých údajů a technických informací získaných osobní komunikací s výrobcem byla podobně jako v předchozím případě sestavena závislost tepla získaného systémem Chameleon AKU S na teplotě vzduchu.



Obr. 8 Závislost tepla získaného systémem CHAMELEON AKU S na teplotě vzduchu

Výrobce poskytl pouze měření při venkovní teplotě větší než 2°C, při záporných hodnotách byla křivka tepelného výkonu čerpadla aproximována. [18, 31] Lze tedy opět předpokládat, že využitím tohoto tepelného čerpadla ušetří investor ročně cca 50% nákladů na vytápění a ohřev TUV RD (dalších 50% pokryje stávající plynový kotel). Pořizovací cena systému je odhadována výrobcem na 500 tisíc Kč a pro daný RD se investice vrátí cca za 25 let. [30]

Ve srovnání s tepelným čerpadlem IVT Air Split je návratnost systému Chameleon Aku S téměř dvojnásobná. Vyšší pořizovací cena ale zaručí stabilnější systém s výrazně vyšším topným faktorem, ochranou proti zamrznutí a centrálním dispečinkem pro monitoring celé technologie. Protože v tomto návrhu byla všechna data (COP, výkon a podobně) výsledkem měření a obdržena přímo od výrobce, jedná se o přesnější a praxi bližší řešení, než v případě použití tepelného čerpadla od společnosti IVT.

Schéma zapojení systému Chameleon AKU S a informace o jeho výkonu v závislosti na počasí a teplotě vzduchu jsou součástí příloh 4 a 5.

ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo popsat základní typy solárních kolektorů, tepelných čerpadel a dále popsat základní typy akumulace tepla. V praktické části bylo mým úkolem navrhnout systém dlouhodobé akumulace tepla získaného v létě solárními kolektory a využít jej jako zdroj tepla pro vytápění cílového objektu během otopného období. Jak už jsem zmínil v úvodu, vybral jsem si jako modelový příklad řadový, částečně revitalizovaný RD ležící v Českých Budějovicích, jehož současným tepelným zdrojem je plynový kotel.

Systém jsem navrhnul pro akumulaci tepla do vody a pro akumulaci tepla do šterku. Energie slunečního záření je v letním období zachycována solárními kolektory KPS 11+. V prvním případě je tato energie akumulována do vodního zásobníku o objemu 232 m³ a v případě druhém do prostoru vyplněného šterkem o objemu 777 m³. V systému je zapojené tepelné čerpadlo od společnosti MasterTherm (voda/voda při akumulaci do vody, země/voda při akumulaci do šterku), které slouží k úplnému vybití zásobníku (prostoru vyplněného šterkem) na konci otopného období. Tento systém je schopný pokrýt téměř veškeré tepelné ztráty RD a v případě vyčerpání akumulovaného tepla je tepelným zdrojem stávající plynový kotel. Systém dlouhodobé akumulace tepla se pro tento RD ukázal jako nereálný z důvodů příliš vysokých nároků na prostor a vysoké pořizovací ceny (návratnost systému se pohybuje okolo 50 let).

Dlouhodobá akumulace tepla tedy nachází reálné využití na místech s dostatkem prostoru, např. při výše zmíněném vytápěném areálu chráněných dílen Domova sociálních služeb ve Slatiňanech vodním zásobníkem o objemu 1080m³. Jako další možností jejího perspektivního využití je akumulace tepla v důlních vodách (viz kapitola 3.3).

Protože systém dlouhodobé akumulace není vhodným řešením pro uvažovaný RD, provedl jsem v poslední části své práce alternativní návrh v podobě vytápění RD tepelným čerpadlem IVT Air Split 11 (vzduch/voda) nebo tepelným čerpadlem Chameleon AKU S, které je navíc napojené na solární kolektory. Tato tepelná čerpadla jsou teoreticky schopná pokrýt polovinu nákladů pro vytápění RD a ohřev TUV a jejich návratnost je cca 14 a 25 let. Pořízením dražšího z nich je zajištěn stabilnější systém a vyšší komfort při vytápění.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CENEK, Miroslav. *Obnovitelné zdroje energie*. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: FCC Public, 2001, 208 s. : il., tabulky, mapy. ISBN 8090198589.
- [2] ŠKORPÍK, Jiří. Sluneční záření jako zdroj energie, *Transformační technologie*, 2006-09, [last updated 2015-02]. Brno: Jiří Škorpík, [online] pokračující zdroj, ISSN 1804-8293. Dostupné z <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>.
- [3] Energy news. *Energy* [online]. 2009, s. 207-208 [cit. 2015-05-22]. DOI: 10.1016/0360-5442(77)90047-0. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Slunecni-zareni-v-CR.aspx>
- [4] CIHELKA, Jaromír. *Solární tepelná technika*. 1. vyd. Praha: T. Malina, 1994, 203 s. : il. ISBN 8090075959.
- [5] MATUŠKA, Tomáš. *Typy solárních kolektorů* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru>
- [6] REGULUS SPOL. S R.O. *Solární systémy* [online]. 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné také z: http://www.regulus.cz/download/prospekty/cz/solarni-systemy-brozura-a4_cz.pdf
- [7] REGULUS S.R.O. *Regulus* [online]. 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.regulus.cz/cz/solarni-systemy>
- [8] PROPULS SOLAR S.R.O. *Propuls solar* [online]. 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.propuls.cz/>
- [9] BAXI [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.baxi.cz/>
- [10] *123topení* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.123topeni.cz/>
- [11] PAVELEK, Milan. *Termomechanika*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 192 s. : il. ; 30 cm diagramy ([3] složené l.). ISBN 9788021443006.
- [12] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo: [návratnost i za jeden rok]*. 1. vyd. Přerov: Antonín Žeravík, 2003, 311 s. : il. ISBN 802390275X.
- [13] *Tepelná čerpadla země/voda – plocha* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-plocha>
- [14] *Tepelná čerpadla země/voda – vrt* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-zeme-voda-vrt>
- [15] *Tepelná čerpadla vzduch/voda* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-voda>
- [16] *Tepelná čerpadla voda/voda* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-voda-voda>

- [17] *Tepelná čerpadla vzduch/vzduch* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz/cz/tepelna-cerpadla-vzduch-vzduch>
- [18] MACH, Stanislav. TC MACH S.R.O. *Smysluplné využití termického solárního systému s tepelným čerpadlem MACH Chameleon AKU-S* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné také z: <http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz/pdf/clanekAkus.pdf>
- [19] MACH, Stanislav. TC MACH S.R.O. *MACH Chameleon AKU S* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné také z: <http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz/pdf/PLAkus.pdf>
- [20] BECHNÍK, Bronislav. *Akumulace tepelné energie - fyzikální principy* [online]. 2003 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1482-akumulace-tepelne-energie-fyzikalni-principy>
- [21] OSTRÝ, Milan. *Akumulace tepla při změnách skupenství* [online]. 2012 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/akumulace-tepla-pri-zmenach-skupenstvi>
- [22] KNY, Martin. *Vodní zásobníky pro dlouhodobou akumulaci tepla* [online]. 2014 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/akumulace-tepla/11358-vodni-zasobniky-pro-dlouhodobou-akumulaci-tepla>
- [23] MICHÁLEK, Bedřich, Daniel HOLÉCZY, Petr JELÍNEK a Arnošt GRMELA. *Využití tepelné energie důlních vod zatopených hlubinných dolů. Acta Montanistica Slovaca* [online]. 2007, 12(1) [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://actamont.tuke.sk/pdf/2007/s1/14michalekholeczy.pdf>
- [24] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). *European Commission* [online]. 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm>
- [25] *Katalog stavebních materiálů* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné také z: http://www.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000068_katalog.html
- [26] REGULUS S.R.O. *KPS 11+ Technický list* [online]. 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné také z: <http://www.regulus.cz/?download=technicke-listy/cz/kps11-technicky-list-v1.1-cz.pdf>
- [27] MASTHERTHERM. *Tepelná čerpadla katalog* [online]. 2015 [cit. 2015-05-22]. Dostupné také z: http://www.mastertherm.cz/_data/Docs/tepelna-cerpadla-katalog.pdf
- [28] IVT TEPELNÁ ČERPADLA. *IVT přehled sortimentu 2014* [online]. 2014 [cit. 2015-05-22]. Dostupné také z: http://www.cerpadla-ivt.cz/?download=ivt_prehled_sortimentu_2014.pdf
- [29] IVT TEPELNÁ ČERPADLA. *IVT ceník 2014* [online]. 2014 [cit. 2015-05-22]. Dostupné také z: http://www.cerpadla-ivt.cz/?download=ivt_cenik_2014-10.pdf
- [30] MACH, Stanislav. *Žádost o poskytnutí cenových a technických informací o TČ Chameleon AKU S napojeném na solární kolektory* [online]. 16. května 2015 21:56; [cit. 2015-05-25]. Osobní komunikace.

[31] HRÁDEK, Jiří. *Žádost o poskytnutí cenových a technických informací o TČ Chameleon AKU S napojeném na solární kolektory* [online]. 26. května 2015 14:58; [cit. 2015-05-26]. Osobní komunikace.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma systému dlouhodobé akumulace tepla.....	19
Obr. 2 Princip TČ [11]	20
Obr. 3 Schéma zapojení TČ Chameleon AKU S napojeného na solární kolektory TS 400 [18]	22
Obr. 4 Vodní zásobník pro dlouhodobou akumulaci ve Slatiňanech [22]	24
Obr. 5 Řízený odběr důlních vod (vlevo), odběr samostatným čerpacím systémem (vpravo) [23].....	25
Obr. 6 Tepelná bilance zdrojů tepla RD	31
Obr. 7 Závislost tepla získaného z TČ IVT AIR SPLIT na teplotě vzduchu.....	34
Obr. 8 Závislost tepla získaného systémem CHAMELEON AKU S na teplotě vzduchu.....	35

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Ceny vybraných solárních kolektorů na českém trhu	17
Tab. 2 Spotřeba tepla pro vytápění RD.....	27
Tab. 3 Teplota látky v akumulátoru	28
Tab. 4 Objem akumulátoru	28
Tab. 5 Parametry kolektoru KPS 11+ pro výpočet účinnosti	29
Tab. 6 Výpočet solárních kolektorů	30
Tab. 7 Návrh TČ pro systém dlouhodobé akumulace tepla [27]	31
Tab. 8 Přibližné ekonomické vyhodnocení systému dlouhodobé akumulace tepla pro RD....	32
Tab. 9 Parametry tepelného čerpadla IVT Air Split 11 [28, 29].....	34
Tab. 10 Ekonomické vyhodnocení tepelného čerpadla IVT AIR Split 11 (vzduch/voda).....	35

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

TUV – teplá užitková voda
TČ – tepelné čerpadlo
COP – topný faktor
ÚRS – ústav racionalizace ve stavebnictví
RD – rodinný dům

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Průkaz energetické náročnosti budovy část 1	41
Příloha č. 2: Průkaz energetické náročnosti budovy část 2	42
Příloha č. 3: Průkaz energetické náročnosti budovy část 3	43
Příloha č. 4: Měření výkonu TČ CHAMELON AKU S [31]	44
Příloha č. 5: Schéma systému TČ CHAMELON AKU S [30]	45

Energetický štítek obálky budovy

Zakázka: E12 Rožnov

Výpočet podle ČSN 73 0540-2:2011

Stavba: RD Buděšínského 13

Místo: Rožnov

Zadavatel:

Zpracovatel:

Zakázka:

Archiv:

Projektant:

Datum: 13.5.2014

E-mail:

Telefon:

Buděšínského 13, České Budějovice 37007

obytná

Plocha systémové hranice zóny	A	467,1 m ²
Objem zóny	V	697,1 m ³
Faktor tvaru budovy	A/V	0,67 m ⁻¹
Převažující vnitřní teplota v otopném období	Θ _{im}	20 °C
Venkovní návrhová teplota v zimním období	Θ _e	-17 °C
Součinitel typu budovy	e ₁	1,00

Průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy		stávající stav	
- referenční budova - vypočítaná hodnota	U _{em,N,20,vyp}	0,40	0,35 W/(m ² .K)
- referenční budova - upravená podle tab.5	U _{em,N,20}	0,40	0,35 W/(m ² .K)
- požadovaná hodnota	U _{em,N}	0,40	0,35 W/(m ² .K)
- doporučená hodnota	U _{em,N,rec}	0,30	0,26 W/(m ² .K)
Měrná ztráta prostupem tepla	H _T	346,25	337,87 W/K
- vypočítaná hodnota	U _{em}	0,74	0,72 W/(m ² .K)
Klasifikační ukazatel	CI	1,84	2,07

Klasifikační třída	Slovní vyjádření klasifikace	Ukazatel CI (horní meze)	Slovní vyjádření klasifikace	Ukazatel CI (horní meze)
	stávající stav	V1		V2
A	Velmi úsporná	0,50	Velmi úsporná	0,50
B	Úsporná	0,75	Úsporná	0,75
C	Vyhovující	1,00	Vyhovující	1,00
D	Nevyhovující	1,50	Nevyhovující	1,50
E	Nehospodárná	2,00	Nehospodárná	2,00
F	Velmi nehospodárná	2,50	Velmi nehospodárná	2,50
G	Mimořádně nehospodárná	>2,50	Mimořádně nehospodárná	>2,50

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, číslo: **Buděšinského 13**

PSC, místo: **37007, České Budějovice**

Typ budovy: **Rodinný dům**

Plocha obálky budovy: **467,14 m²**

Objemový faktor tvaru *AV*: **0,67 m²/m³**

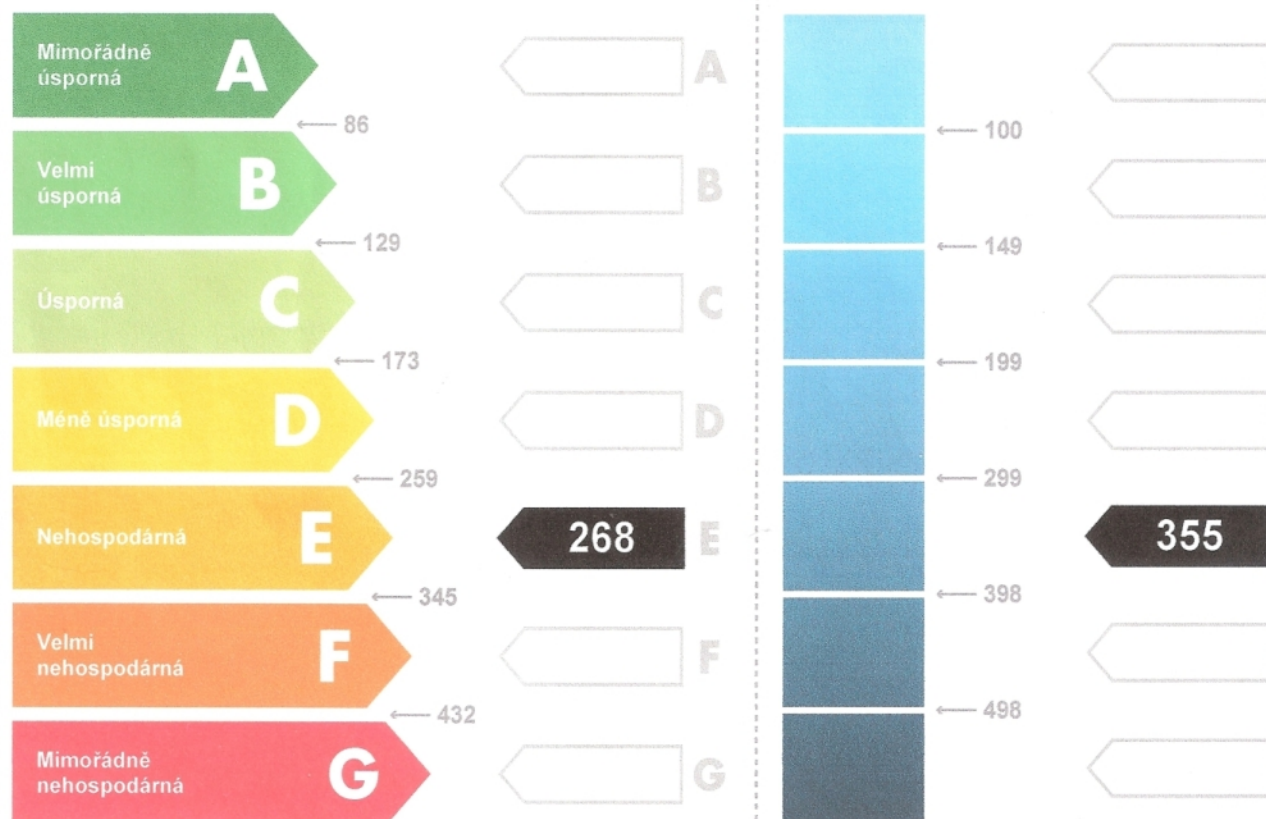
Celková energeticky vztažná plocha: **234,52 m²**

ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

Celková dodaná energie
(Energie na vstupu do budovy)

Neobnovitelná primární energie
(Vliv provozu budovy na životní prostředí)

Měrné hodnoty kWh/(m²·rok)



Hodnoty pro celou budovu
MWh/rok

62,9

83,1

DOPORUČENÁ OPATŘENÍ

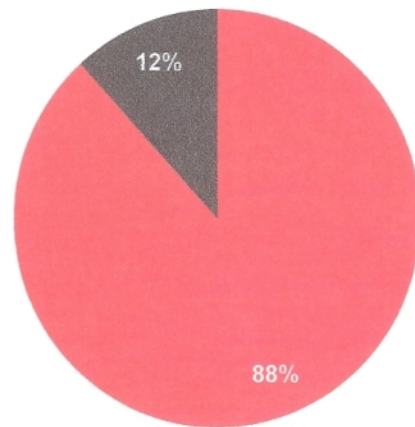
Opatření pro	Stanovena
Vnější stěny:	<input checked="" type="checkbox"/>
Okna a dveře:	<input type="checkbox"/>
Střechu:	<input type="checkbox"/>
Podlahu:	<input type="checkbox"/>
Vytápění:	<input checked="" type="checkbox"/>
Chlazení / klimatizaci:	<input type="checkbox"/>
Větrání:	<input type="checkbox"/>
Přípravu teplé vody:	<input type="checkbox"/>
Osvětlení:	<input type="checkbox"/>
Jiné:	<input type="checkbox"/>

Popis opatření je v protokolu průkazu a vyhodnocení jejich dopadu na energetickou náročnost je znázorněno šipkou

Doporučení

PODÍL ENERGOBÍTOVATELŮ NA DODANÉ ENERGII

Hodnoty pro celou budovu
MWh/rok



■ Zemní plyn - 55,5
■ Elektřina ze sítě - 7,4

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení	
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílčí dodané energie					Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)	
Mimořádně úsporná								
A								
B								
C						26	4	
D								
E		238						
F	0,74							
G								
Mimořádně nevhodná								
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		55,8				6,2	0,9	

Zpracovatel:

Kontakt:

Osvědčení č.:

Vyhotoveno dne:

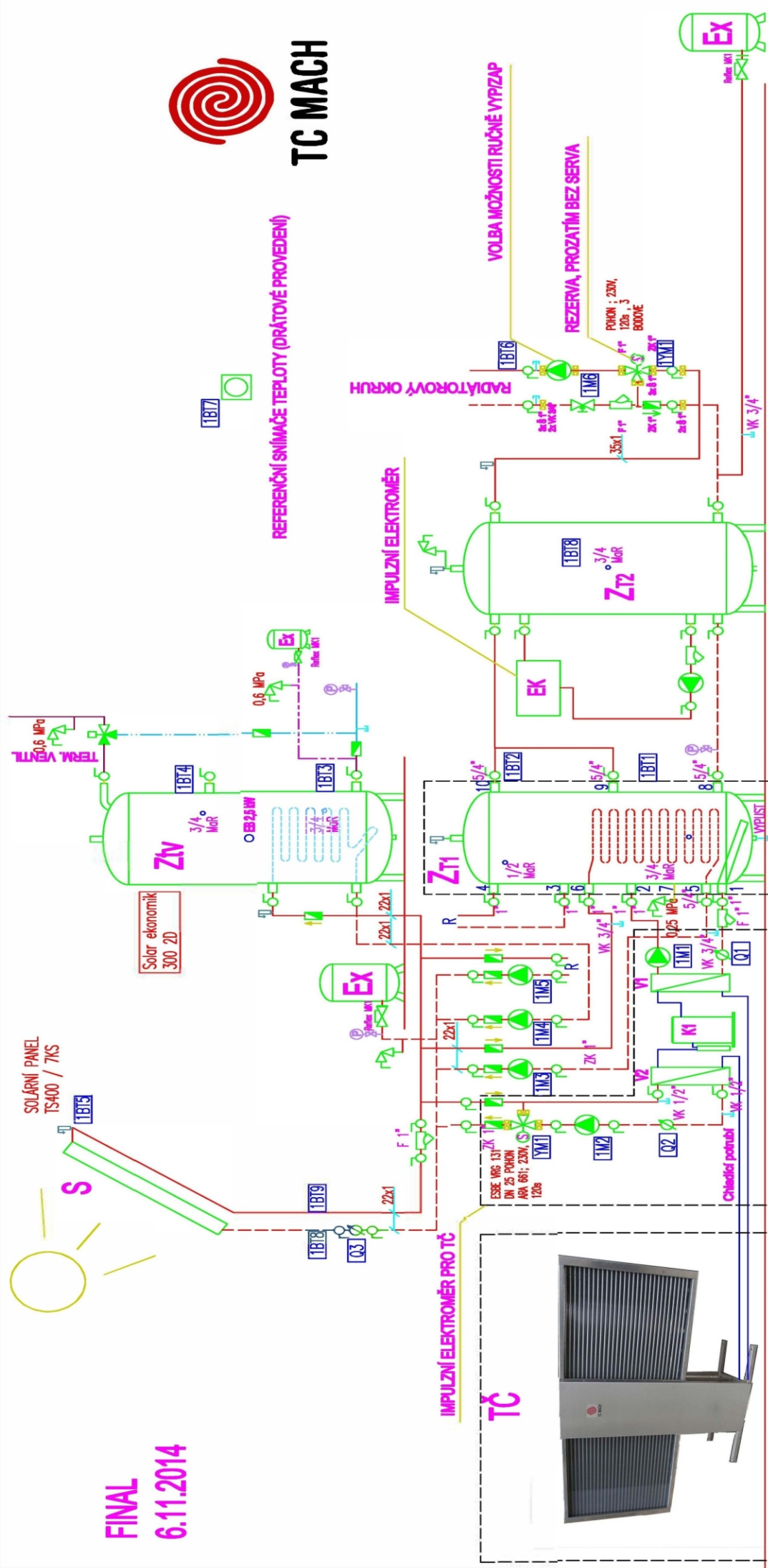
Podpis:

Den 2015		23.2.2015	27.2.2015	11.3.2015	12.3.2015	17.3.2015	27.3.2015	31.3.2015	1.4.2015	2.4.2015	7.4.2015	13.4.2015	14.4.2015	18.4.2015	28.4.2015
Čas (hod)		10:30:00	10:00:00	8:35:00	15:30:00	11:00:00	8:15:00	10:00:00	8:45:00	15:00:00	10:45:00	13:30:00	11:50:00	14:20:00	15:15:00
Počasí		zataženo	zataženo	děšť se sněhem	zataženo	polojasno	děšť	děšť se sněhem	silný vítr	sníh	polojasno	skoro jasno	skoro jasno	polojasno, vítr	oblačno
Venkovní teplota		5°C	5°C	5°C	6°C	11°C	6°C	5°C	3°C	2°C	4°C	15°C	13°C	8°C	7°C
Teplota kolektory		16,1°C	19,1°C	11,1°C	14°C	39°C	17,5°C	16,7°C	11°C	17,8°C	33,3°C	53,9°C	60°C	60°C	32°C
Teplota sání kompresoru SOLAR NE		4,3°C	5°C	3,4°C	-1,1°C	10,6°C	0,29°C	4,24°C	0,2°C	0,9°C	6,97°C	14,1°C	13°C	1,7°C	-1,2°C
Teplota sání kompresoru SOLAR ANO		13°C	13,5°C	9°C	11,3°C	30,03°C	10,6°C	10,8°C	6,72°C	13,4°C	19,3°C	38°C	35,1°C	37,4°C	20,3°C
Teplota AKU nádrže		51°C	49,8°C	41,5°C	49,5°C	49,9°C	40,1°C	46,4°C	48,5°C	49,8°C	49,8°C	39,8°C	46,4°C	48,3°C	43,1°C
Okamžitý výkon TČ SOLAR NE		8,6 kW	8,8 kW	7,8 kW	8,32 kW	10,2 kW	8,63 kW	7,99 kW	8,1 kW	8,8 kW	9,6 kW	11,6 kW	11,1 kW	9,8 kW	8,56 kW
Okamžitý výkon TČ SOLAR ANO		9 kW	10,2 kW	9,37 kW	9,37 kW	13,1 kW	10,3 kW	9,5 kW	10,3 kW	9,62 kW	11,3 kW	13,6 kW	12,9 kW	11,9 kW	11 kW
Okamžitý výkon soláru do TČ		0,18 kW	1,38 kW	0,72 kW	0,66 kW	2,2 kW	0,95 kW	1,33 kW	0,58 kW	0,68 kW	1,39 kW	1,85 kW	4,37 kW	7,7 kW	2,16 kW
CELKEM SOLAR-TČ		55 kWh	109 kWh	211 kWh	224 kWh	261 kWh	350 kWh	386 kWh	392 kWh	405 kWh	448 kWh	482 kWh	493 kWh	507 kWh	529 kWh
Okamžité COP SOLAR NE		3,17	3,28	3,54	3,01	3,28	3,73	3,1	3,16	3,36	3,12	4,14	3,72	3,5	3,47
Okamžité COP SOLAR ANO		3,24	3,57	3,65	3,42	3,87	4	3,65	3,49	3,55	3,43	4,92	4,26	4,09	3,8

FINAL
6.11.2014



REFERENČNÍ SNÍMAČE TEPLoty (DRÁTOVÉ PŘIHOVĚDĚNÍ)



VENKOVNÍ ČÁST TČ - DODÁVKA TC MACH

TČ - CHAMELEON 8,3 AKU S - VENKOVNÍ JEDNOTKA

Zv - ZÁSObNÍK Solar ekonomik 300 2D

Zt1 - ZÁSObNÍK TOPNÉ VODY 750 L

K1 - KOMPRESOR + ODLUČOVAČ KAPALNÉHO CHLADIVA

V1 - DESKOVÝ VÝMĚNÍK - KONDENZÁTOR

V2 - DESKOVÝ VÝMĚNÍK - ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA ZE SOLÁRNÍHO SYSTÉMU

S - SOLÁRNÍ SYSTÉM

EB - TOPNÉ TĚLESO 2,5 kW/230V S VLASNÍM HAVARJÁNÍM TERMOSTATEM

VNITRNÍ ČÁST TČ - DODÁVKA TC MACH AKUMULAČNÍ NÁDRŽ - DODÁVKA TC MACH

1M1 - WILLO YONOS PICO 25/1-6

1M2 - OPTILINE OKO PLUS 25/1-6

1M3 - WILLO RS 25/6

1M4 - WILLO RS 25/6

1M5 - REZERVA - NEOSAZENO

POTRUBÍ TOPNÉ VODY - PŘÍVOD

POTRUBÍ TOPNÉ VODY - ZPĚTĚČKA

SOLÁR CU 22/50M = 3,4m2

DODÁVKA JH SOLAR

1M2 - optimálně oko plus 25/1-6
01,02,03 - SVC15

Krebill		Archiťní	Kopie
Vypracoval		Dotum:	
Investor:		Zakázka	
Město stavby:		Formát:	
Obch			Výř. 1
DOPORUČENÉ SCHEMA TECHNOLOGIE			