



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**VYUŽITÍ TERMICKÝCH PANELŮ PRO ZVÝŠENÍ
ÚČINNOSTI CHLADICÍHO OKRUHU TČ**

UTILIZATION OF THERMAL PANELS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF THE HEAT PUMP COOLING
CIRCUIT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. et Bc. Pavel Lainka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	Bc. et Bc. Pavel Lainka
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Energetické inženýrství
Vedoucí práce:	doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
Akademický rok:	2015/16

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 diplomové práce:

Využití termických panelů pro zvýšení účinnosti chladicího okruhu TČ

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V práci bude řešeno možné spojení solárních-termických panelů s okruhem tepelného čerpadla vzduch - voda. V rámci řešení budou analyzována experimentálně získaná data z praktické realizace, poskytnutá firmou Tepelná čerpadla MACH, s.r.o. Zhodnoceny budou různé způsoby regulace tohoto systému vedoucí k stanovení priorit řídicí logiky s ohledem na minimalizaci energetické náročnosti a provozních nákladů.

Cíle diplomové práce:

1. Stručně představit TČ a solární termické kolektory.
2. Zpracovat popis uvažovaného systému s uvedením technických parametrů jednotlivých komponent.
3. Analyzovat poskytnutá provozní data z reálného systému.
4. Reálně otestovat různé varianty regulace systému a zhodnocení jejich dopadů.
5. Zhodnotit způsoby regulace s ohledem na minimalizaci celoroční energetické náročnosti a provozních nákladů.

Seznam literatury:

Petráš, D.: Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce zhodnocuje zapojení solárních kolektorů s tepelným čerpadlem. V práci je dokázáno smysluplné využití solárních kolektorů ke zvyšování účinnosti chladicího okruhu tepelného čerpadla. Úvod práce uvádí čtenáře do dané problematiky a popisuje základní principy fungování obou hlavních zdrojů energie použitých v systému – tepelného čerpadla a solárního systému. V další části práce jsou analyzována a zhodnocena data, která byla naměřena během provozu systému. Ke zhodnocení bylo použito srovnání naměřeného COP tepelného čerpadla při dvou různých režimech provozu – s pomocí solárního systému a bez pomocí solárního systému.

KLÍČOVÁ SLOVA

tepelné čerpadlo, solární kolektor, solární systém, COP, chladicí okruh tepelného čerpadla

ABSTRACT

This thesis evaluates the connection of solar collectors with heat pump. The work demonstrates meaningful use of solar collector to increase cooling efficiency of the heat pump. Introduction The work introduces the reader to the issue and describes basic principles of the two main sources of energy used in the system - the heat pump and solar system. Next session is dedicated to analysis and evaluation of the data that was measured during system operation. A comparison of measured COP of the heat pump at two different modes of operation was used for the evaluation - with the help of the solar system and without using the solar system.

KEY WORDS

heat pumps, solar collector, solar system, the COP of the heat pump cooling circuit

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LAINKA, P. *Využití termických panelů pro zvýšení účinnosti chladicího okruhu TČ*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 64 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Využití termických panelů pro zvýšení účinnosti chladicího okruhu TČ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu zdrojů.

V Brně, dne 25. 5. 2016

Podpis:.....

Bc. et Bc. Pavel Lainka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při tvorbě diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat firmě Tepelná čerpadla MACH s.r.o., speciálně panu Stanislavu Machovi a Martinovi Patočkovi za poskytnuté rady a odborné konzultace při tvorbě této práce. Další poděkování patří firmě JH SOLAR s.r.o., speciálně panu Jiřímu Hrádkovi za poskytnuté rady a odborné konzultace.

Dále bych rád poděkoval mé rodině, speciálně mé přítelkyni za podporu během psaní této diplomové práce a podporu během celého vysokoškolského studia.

Obsah

ÚVOD	10
1 Tepelná čerpadla, solární termické kolektory	11
1.1 Tepelná čerpadla	11
1.1.1 Princip TČ	11
1.1.2 Typy TČ	13
1.1.3 Komponenty TČ	14
1.1.4 Chladiva TČ	18
1.1.5 Chladicí okruh a cykly TČ	18
1.1.6 Účinnost TČ – COP, SCOP	21
1.1.7 Provoz TČ	23
1.1.8 Patentovaný systém MACH VHM k odtávání výparníku	24
1.2 Solární-termické kolektory	25
1.2.1 Složení a princip solárních kolektorů	26
1.2.2 Rozdělení solárních kolektorů	27
1.2.3 Účinnost solárních kolektorů	30
1.2.4 Typy solárních systémů	31
2 Popis řešeného systému	33
2.1 Popis TČ Chameleon 8,3 AKU-S	33
2.1.1 Chladivo R 507	35
2.2 Popis vakuových solárních kolektorů TS 400	35
2.3 Popis funkce systému	38
2.1.2 Popis zásobníků v systému	40
3 Analýza poskytnutých provozních dat	41
3.1 Analýza práce systému během jednoho dne	41
3.1.1 Jarní den	41
3.1.2 Letní den	44
3.1.3 Podzimní den	45
3.1.4 Zimní den	47
3.2 Analýza práce systému během topné sezóny 2015/2016	49
3.3 Analýza práce systému mimo topnou sezónu	49
4 Reálné otestování variant provozu systému	51
4.1 První měření	51
4.2 Druhé měření	51
4.3 Hodnocení obou měření	52
5 Celkové hodnocení systému	54

Závěr.....	56
Seznam použitých zdrojů.....	58
Seznam použitých zkratek a symbolů	61
Seznam příloh.....	63
Příloha 1 – Technické schéma zapojení.....	64
Příloha 2 – Vnitřní jednotka TČ	65
Příloha 3 – Řídící jednotka TČ, Chameleon	65
Příloha 4 – Fotodokumentace z instalace solárních kolektorů.....	66

ÚVOD

Každá domácnost v dnešní době řeší problematiku vytápění, která by splňovala její vysoké požadavky. Mezi její hlavní požadavky patří bezpochyby pořizovací a provozní náklady, ekologie, nenáročnost obsluhy a životnost daného typu vytápění, která musí v některých případech převyšovat návratnost investic do systému. Využívání alternativních zdrojů energie je v poslední době velkým trendem. To je způsobeno například dotacemi ze strany státu a také plněním některých náročných požadavků jednotlivých domácností. Dalším důvodem k většímu využívání obnovitelných zdrojů energie je celková energetická vize a koncepce České republiky a Evropské unie.

Možností, jak vytápět rodinný dům, je hned několik. Získávání energie z obnovitelných zdrojů představuje perspektivní alternativu vůči vyčerpitelným fosilním palivům. To je způsobeno hlavně jejich ekologií provozu. Ekologie provozu je jeden ze směrů, kterými kráčí nejen Česká republika, ale i další státy Evropské unie. Evropská unie se snaží o celkové snížení znečištění ovzduší.

Při volbě zdroje energie pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody (TUV) je nutné brát v potaz, že každý zdroj má své výhody a nevýhody. Při výběru levnějších zdrojů energie sice ušetříme na pořizovacích nákladech, avšak s provozem je spojena příprava paliva k vytápění a časté přikládání. V dnešní moderní a uspěchané době, kdy si málokdo najde čas sám na sebe, je ztráta času spojená s přikládáním a čištěním kotlů nepřijemná. Proto si rodiny při výběru musí uvědomit, zda investují do dražších zdrojů energie, čímž ušetří svoji práci a čas nebo raději ušetří peníze za cenu svého pohodlí a komfortu. Dalším rozhodujícím faktorem jsou provozní náklady, které bývají důležitým kritériem výběru. Mnoho domácností se však nechá unést nízkými pořizovacími náklady a neověří si, zda jsou údaje, které uvádí dodavatel věrohodné. Při dnešním trendu dotací od státu vzniklo mnoho nových nedůvěryhodných firem, které nabízejí a slibují mnohdy nesplnitelné. Proto je nutné důkladně vybírat dodavatele a brát zřetel na reference a mnohaleté zkušenosti, než se ohlížet na cenu.

Kombinací zdrojů energie pro vytápění lze dosáhnout vyšší efektivity a ekonomie provozu. Mezi časté kombinace patří spojení některého ze zdrojů energie se solárními kolektory. Například spojení kotle na tuhá paliva se solárními kolektory je velmi často se vyskytující systém vytápění. Tato diplomová práce zhodnocuje společné zapojení tepelného čerpadla se solárními kolektory. Nynější způsoby tohoto systému nedisponují požadovanou efektivitou a naopak v některých případech není využit celý potenciál této soustavy (velký potenciál solárních kolektorů). Proto se stále hledají nové způsoby, kombinace a metody, jak dosáhnout co nejvyšší účinnosti systému.

Tato diplomová práce zhodnocuje efektivitu nového typu zapojení solárních termických kolektorů společně s tepelným čerpadlem, přesněji zvyšování účinnosti chladicího okruhu tepelné čerpadla díky podpoře solárních kolektorů. Tento systém je již realizován na některých stavbách v ČR, díky čemuž budou sloužit ke zhodnocení reálná data sbíraná skoro po celý rok během provozu. Dále budou uměle nasimulované a zhodnocené různé situace, které mohou při kombinaci těchto zařízení reálně nastat.

Výsledkem této práce je zhodnocení tohoto systému jak z hlediska energetického, tak z hlediska ekonomického.

1 TEPELNÁ ČERPADLA, SOLÁRNÍ TERMICKÉ KOLEKTORY

Tato úvodní kapitola obsahuje základní popis a problematiku týkající se dvou základních komponent celého systému: tepelného čerpadla a solárních termických kolektorů. Dále obsahuje energetická schémata obou zařízení a popis jejich jednotlivých komponent. Úvodní kapitola uvádí čtenáře do obrazu dané problematiky.

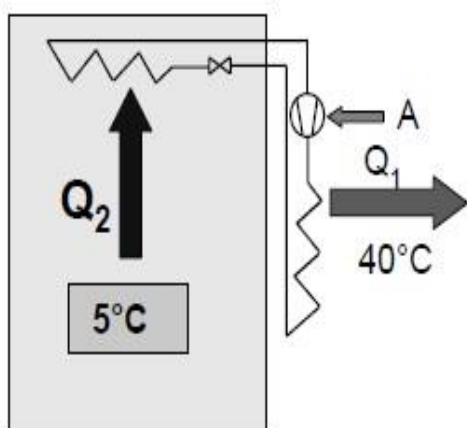
1.1 Tepelná čerpadla

Důvodů pro použití tepelného čerpadla (dále jen „TČ“) k vytápění v domácnostech je hned několik. Jedním z nich jsou výhodné nízké provozní náklady, kdy jsme schopni získat z 1 kW elektrické energie přibližně 2,5 až 3 kW tepelné energie – záleží na účinnosti (topném faktoru) TČ. Další výhodou je ekonomika provozu TČ. Domácnosti s TČ mají nárok na zvýhodněný elektrický tarif – tzv. nízký tarif, který zajišťuje levnější sazbu za elektrickou energii od distributora skoro po celý den (22 hodin). To s sebou nese výhodu nejen snížení nákladů na vytápění, ale i na provoz veškerých spotřebičů v domácnosti. Tato výhoda zajišťuje rychlejší návratnost nákladů na instalaci TČ. Další podstatnou výhodou TČ je jeho komfortnost v obsluze, protože stačí jen nastavit požadované teploty a TČ se o vše ostatní postará a zařídí tepelnou pohodu v domácnosti.

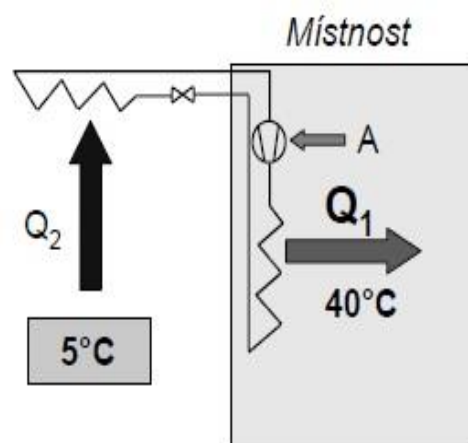
Nevýhodou tohoto způsobu vytápění je však pořizovací cena. I když je tato cena odlehčena státními dotacemi, tak i přesto jsou pořizovací náklady některých typů TČ vysoké. Při instalaci TČ do stávajícího objektu je návratnost investic závislá na rozsahu úprav, které je nutno udělat před instalací TČ (zateplení, úprava topné soustavy, apod.). Další nevýhodou je závislost na elektrické energii a vazba volby typu TČ na danou lokalitu. Je potřeba vzít v potaz veškeré výhody a nevýhody a zhodnotit, zda se vyplatí investovat do dražších zařízení k získávání tepelné energie. [1]

1.1.1 Princip TČ

Princip TČ je stejný jako u chladničky, která teplo odebírá potravinám a předává jej zadní stranou chladničky přímo do místnosti. U tepelného čerpadla je to přesně naopak – teplo se odebírá okolnímu prostředí a předává se do obytné místnosti.



Obrázek 1: Schéma chladničky [3]



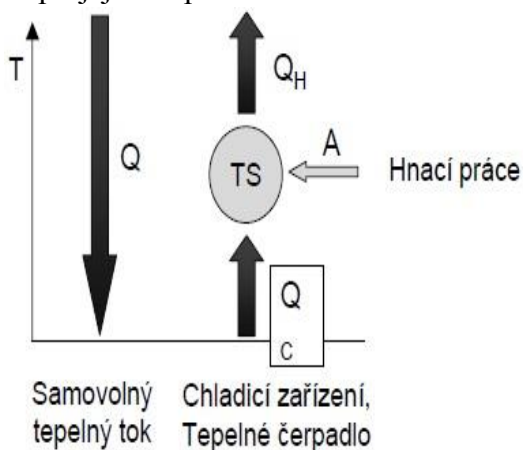
Obrázek 2: Schéma TČ [3]

TČ je zařízení k získávání využitelné tepelné energie získané z nízopotenciálních zdrojů tepla (tepelná energie o nízké teplotě, kterou nelze přímo využít). TČ využívá dvou základních fyzikálních jevů.

Prvním jevem je stlačení (zmenšení objemu) plynu, což má za následek ohřátí plynu.

Druhý jev je druhý termodynamický zákon: teplo v přírodě samovolně přechází z místa o vyšší teplotě do místa o teplotě nižší – těleso teplejší samovolně ohřívá těleso chladnější. V důsledku tohoto jevu je obsaženo v našem okolí velké množství tepla, které je vázáno při nízké teplotě, která znemožňuje jeho přímé využití. Protože má okolí obvykle nízkou teplotu, tak ho nemůžeme použít přímo pro vytápění, ale právě pomocí TČ ano. TČ totiž umožňuje obrácený tok tepla – z chladnějšího tělesa na teplejší. Tento tok ale není samovolný, proto mu musí být dodávána elektrická energie pro pohon některých komponent TČ.

Pointa TČ tedy spočívá v přečerpání nízkopotencionální tepelné energie z okolí na energii s vyšším potenciálem. Tepelná energie se přenáší pomocí pracovní látky – chladiva tak, že při jejím odpařování dochází k odnímání tepla z okolí. K následnému předání získané tepelné energie dochází při kondenzaci této tekutiny – chladiva.

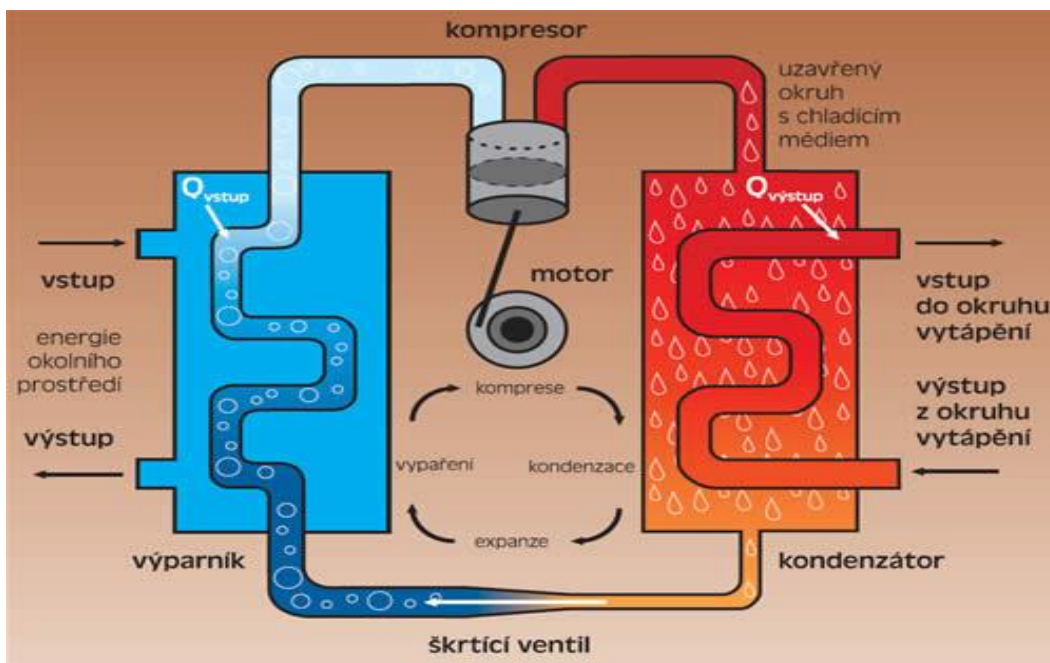


Díky TČ tedy dokážeme odejmout teplo okolnímu prostředí s nízkým potenciálem a převést ho na vyšší teplotní úroveň. Tento proces je zobrazen na obrázku 3, kde lze vidět samovolný tepelný tok – Q (druhý termodynamický zákon) a vedle popis funkce TČ, které přečerpává teplo z nižší teplotní úrovně na vyšší. Dále je naznačena hnací práce (ozn. A), která je nutná pro pohon kompresoru. [2] [3]

Obrázek 3: Popis funkce TČ [3]

K dosažení vysoké efektivity TČ je potřeba realizovat TČ takové, aby jeho množství hnací energie bylo co nejmenší. Nejčastěji se využívá TČ realizované na principu varu a kondenzace pracovní látky – kompresorové TČ.

Jeho hlavní komponenty a děje v něm probíhající lze schematicky vidět na následujícím obrázku 4.



Obrázek 4: Princip kompresorového TČ vzduch-voda [34]

1.1.2 Typy TČ

TČ jsou topná zařízení, která, jak již bylo zmíněno, dokážou využít přírodní teplo s nízkým potenciálem z okolního prostředí. Teplo, které dokáže TČ využít, je obsaženo všude kolem nás – ve vzduchu, zemi nebo vodě. Podle nositele nízko potenciálového tepla a nositele přečerpané energie rozdělujeme TČ podle typu:

- vzduch-voda;
- vzduch-vzduch;
- voda-voda;
- země-voda.

Názvy rozdělení jsou podle následujícího principu: první slovo určuje, odkud získáváme teplo, které chceme použít pro vytápění; druhé slovo určuje, kde se toto získané teplo předává. Jak lze vidět, tak všechny typy TČ předávají okolní teplo do vody (výjimkou je TČ vzduch-vzduch), která pak vyhřívá radiátory, podlahy, bazény nebo jiná zařízení. TČ nemusí čerpat energii jen z okolního prostředí, ale může k tomu použít i odpadní vody nebo vzduch. To s sebou nese výhodu stabilní teploty nízko potenciálního zdroje. [4] [2]

TČ vzduch-voda

Tento typ TČ odebírá teplo z venkovního vzduchu. Vzduch je nasáván do venkovní jednotky, výparníku, který je umístěn mimo vytápěný objekt. Výparník je umístěn venku, aby pak následně ochlazený vzduch vypustil do okolního prostředí. Vnitřní jednotka pak zajišťuje výrobu topné vody a teplé užitkové vody. Problémem u tohoto typu TČ je venkovní teplota nasávaného vzduchu, na které silně závisí výkon TČ. Moderní TČ dokážou spolehlivě pracovat i při velmi nízkých teplotách (až do $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ při přípravě topné vody na $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ – například k podlahovému vytápění).



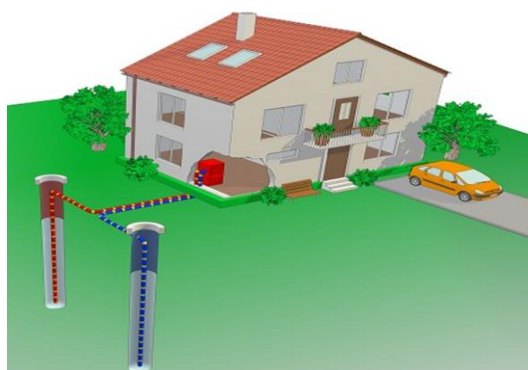
Obrázek 5: TČ vzduch-voda [37]

Výhody: poměr cena/výkon, univerzálnost použití, jednoduchá instalace.

Nevýhody: nižší účinnost při nízkých teplotách okolního vzduchu (tj. v době, kdy potřebujeme co nejvíce tepla na vytápění), hlučnost venkovní jednotky (kvůli ventilátoru ve výparníku). [5]

TČ voda-voda

Pokud je možnost odebírat teplo z vody, nabízí se možnost využití tohoto typu TČ. Důvodem jsou nižší tepelné ztráty, protože je možno předávat teplo ve výměníku z čerpané vody přímo do chladiva. Odpadá tedy dlouhý okruh s nemrznoucím roztokem. Tento systém využívá jako tepelný zdroj povrchovou, podzemní nebo spodní vodu. Nejčastěji se voda odebírá ze studny (tzv. zdrojová studna) a následně prochází výměníkem TČ, kde se z vody odebere teplo. Pak se voda vrací zpět tzv. vsakovací studnou, která musí být umístěna v dostatečné vzdálenosti od



Obrázek 6: TČ voda-voda [37]

zdrojové studny (10 m), aby nedocházelo k prosakování do zdrojové studny. Teplota ve zdrojové studně musí být vysoká do takové míry, aby nedocházelo při jejím ochlazování k jejímu zamrznutí.

Jedná se o neúčinnější typ TČ, protože voda má stálou teplotu a nemají na ni vliv povrchové teplotní výkyvy. Topný faktor se pohybuje okolo hodnoty 6. Pro svůj ustálený chod potřebuje TČ tohoto typu vydatný zdroj přírodní vody. U běžného rodinného domu je potřeba průtok zdrojové vody minimálně 0,5 l/s.

Výhody: vysoký topný faktor, krátká doba návratnosti investice, nižší pořizovací náklady.

Nevýhody: malý počet vhodných lokalit, požadavky na chemické složení vody. [6]

TČ země-voda

Tento typ TČ využívá několik set metrů dlouhé plastové trubky – zemního kolektoru, ve kterém cirkuluje nemrznoucí směs. Využívá se faktu, že od určité hloubky v zemi se teplota země pohybuje kolem stálé teploty 4 °C. Nemrznoucí směs se během průchodu zemním kolektorem ohřívá o několik stupňů. Pak směs, podobně jako u ostatních typů, putuje do výměníku TČ, kde předá získané teplo a ochlazená směs putuje zpět do zemního kolektoru k opětovnému ohřátí.

Další možností TČ země-voda je odebírání zemní energie z horizontálního plošného kolektoru nebo vertikálního vrtu. Podle potřeby se hloubka vrtu volí od 50 – 150 m. Zde je větší výhoda ve stabilní a vyšší teplotě než u plošného kolektoru.

Výhody: stabilní topný výkon, dlouhodobá životnost, úspory až 70 % nákladů, absolutně tichý chod.

Nevýhody: Vyšší investiční náklady (vrt), rozsáhlé zemní práce (zemní kolektor). [7]

TČ vzduch-vzduch

Tento typ TČ pracuje na stejném principu jako TČ vzduch-voda, jen s tím rozdílem, že se získané teplo z okolního vzduchu předává vzduchu uvnitř objektu. Tento typ TČ se moc nevyužívá a objevuje se jen v malých provedeních na stěnách obývaného objektu. Využití tohoto typu TČ se uplatní například na chatě nebo v malém bytě.

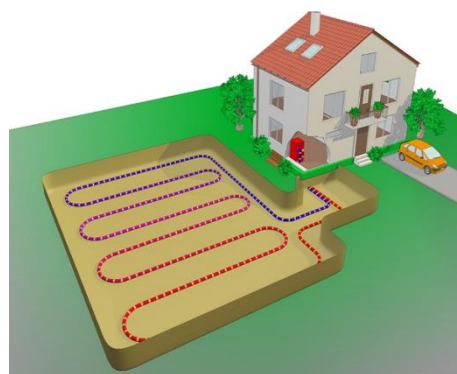
Výhody: jednoduchost, pořizovací náklady.

Nevýhody: výkon TČ klesá s okolní teplotou, vytápí pouze místnost, ve které je TČ umístěno. [2]

1.1.3 Komponenty TČ

Komponent, bez kterých se správná funkce TČ neobjede, je hned několik. Jak lze vidět z obrázku 4, tak mezi hlavní komponenty chladicího okruhu TČ patří:

- výparník;
- kompresor;
- kondenzátor;
- expanzní (škrťací) ventil.



Obrázek 7: TČ země-voda [37]

Výparník

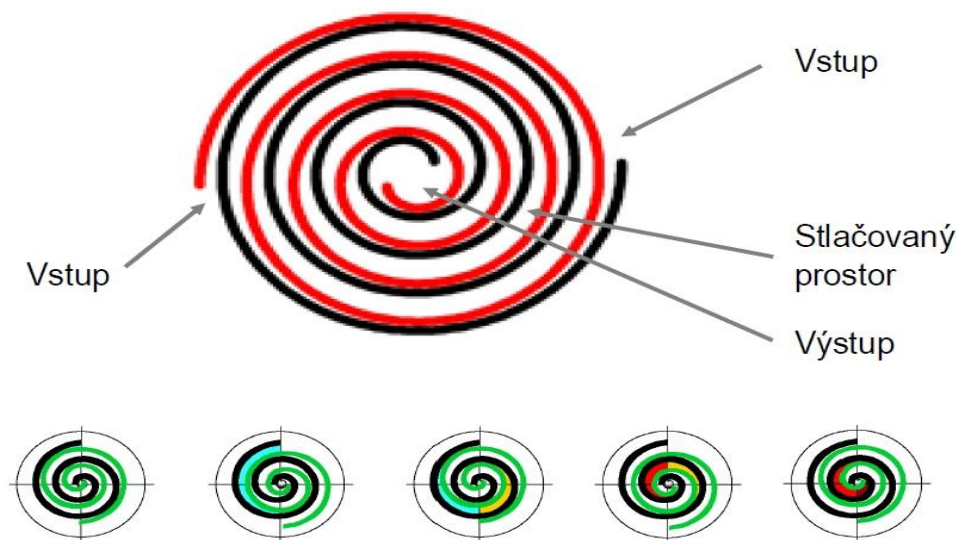
Jedná se o výměník, který zprostředkovává přenos tepla z okolí do chladiva. Do výparníku přichází teplo z vnějšího prostředí (ze země, vody nebo vzduchu) a následně je předáno ve výměníku do chladiva, které se tím zahřívá a vypařuje za nízkého tlaku – stává se z něj přehřátá pára. K výparníku (vzduchovému) se přidává i ventilátor, díky kterému se zvětší množství předané energie a umožní nasát vzduch. Nutno dodat, že mezi médii musí vždy existovat teplotní rozdíl. Ohřáté chladivo v podobě přehřáté páry vystupuje z výparníku a vstupuje do kompresoru. [2] [8]

Kompresor

Hlavní funkcí kompresoru je stlačení (komprese) nasátého chladiva z výparníku na kondenzační tlak, čímž se chladivo zahřeje na vyšší teplotu – stává se z něj přehřátá pára. Ke stlačení chladiva je potřeba práce, která se dodává ve formě elektrické energie do kompresoru.

Nejčastějším typem kompresoru používaným v TČ je rotační spirálový kompresor Scroll. Tento kompresor stlačuje plyn díky dvěma spirálám uvnitř. Chladivo je přiváděné na hranici spojení dvou spirál, z nichž jedna excentricky rotuje a druhá je statická. Místo, kudy proudí chladivo, se postupně zužuje, čímž dochází ke stlačení chladiva a jeho zahřátí při změně tlaku. Sání chladiva je na obvodu a výtlak ve středu spirál.

Kompresor typu Scroll se hojně využívá hlavně kvůli řadě svých výhod, mezi které patří: kontinuální stlačování (bez vratného pohybu), vyšší životnost (díky menšímu množství pohybujících se částí), spolehlivost, menší vibrace, nižší hlučnost, vysoká energetická účinnost a absence sacích a výfukových ventilů. Průběh chladiva kompresorem typu Scroll je podrobně popsán na následujícím obrázku 8. [2] [8]



Obrázek 8: Popis funkce kompresoru typu Scroll [8]

Na obrázku 8 lze vidět princip kompresoru typu Scroll. Černá spirála znázorňuje spirálu statickou a červená spirálu rotující. Dále jsou zde zobrazeny řezy tohoto kompresoru společně s nasátým chladivem a jeho postupným průběhem kompresorem. Zde lze vidět přesný průtok a chování chladiva v různých místech kompresoru. Chladivo, které je nasáváno do kompresoru, nesmí obsahovat vlhkost, protože by mohlo dojít k jeho naleptání na vinutí. To by mělo za následek elektrický zkrat. Proto se před kompresor dává odlučovač kapalného chladiva, který eliminuje vlhkost obsaženou v parách chladiva.

Kondenzátor

Kondenzátor je výměník, ve kterém přechází teplo z chladiva do topné vody. Chladivo kondenzuje (sráží se), čímž ztrácí (předává) své teplo získané ve výparníku do teplotně nosné látky. Teplo je předávané kondenzací chladiva při vysokém tlaku a teplotě. Teplotně nosná látka pak rozvádí získané teplo v otopné soustavě. Kondenzátor musí být konstrukčně navržen tak, aby snesl trvalé kolísání tlaku. Z kondenzátoru jde zkapalněné chladivo do expanzního ventilu. [2]

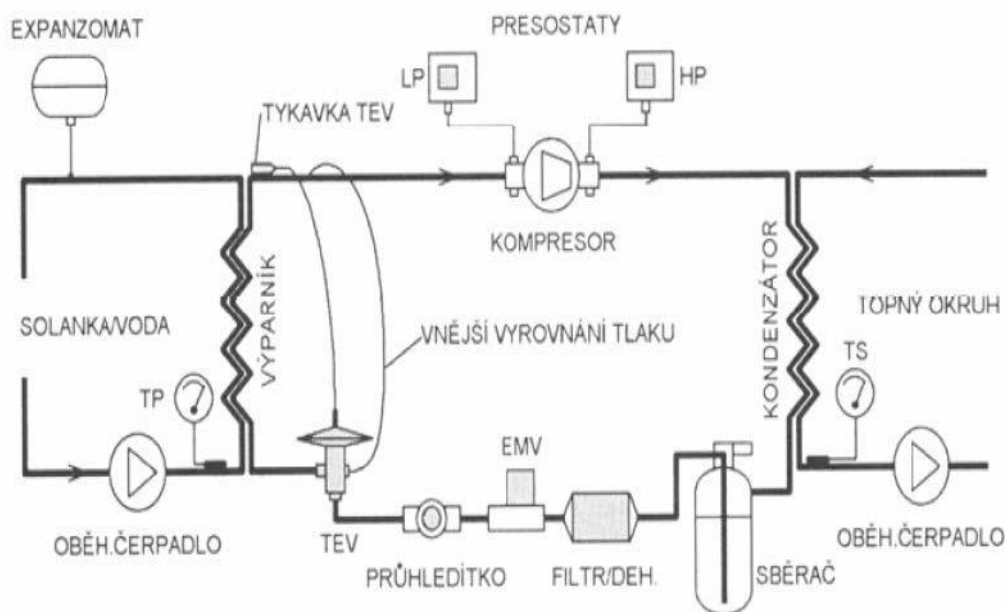
Expanzní (škrťací) ventil

Hlavními funkcemi expanzního ventilu jsou: expanze kapalného chladiva a regulace průtoku chladiva v závislosti na výstupní teplotě z výparníku. Při expanzi je tlak chladiva prudce snížen, čímž se část chladiva odpaří a do výparníku vstupuje jako směs páry a kapaliny. Chladivo vystupující z expanzního ventilu je vstříknuto (rozepnuto) do velkého prostoru a podchlazeno na cca $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Používají se 2 typy: Mechanické a elektronické. Pro TČ, která berou energii ze vzduchu, jsou častěji využívány elektronické expanzní ventily. Důvodem je optimálnější průtok chladiva, čímž se ovlivní i samotný výkon TČ a dále jeho přesnost. Dalším úkolem expanzního ventilu je udržet rozdíl mezi vysokotlakou a nízkotlakou stranou chladicího okruhu. [2] [8]

Všechny hlavní komponenty jsou propojeny potrubím, ve kterém proudí chladivo a tím tvoří chladicí okruh. Do chladicího okruhu se ještě přidávají další komponenty, které zajišťují větší spolehlivost, efektivitu a jsou nezbytné pro správnou funkci TČ. Mezi další nezbytné komponenty chladicího okruhu TČ patří:

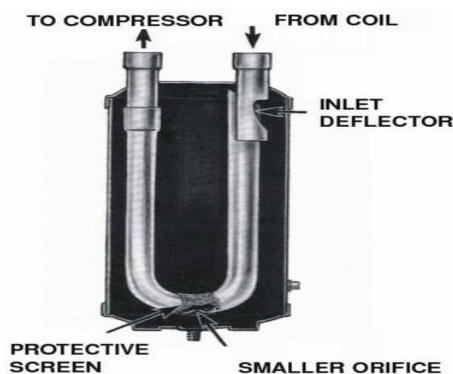
- odlučovač kapalného chladiva;
- sběrač chladiva;
- filtrdehydrátor, filtr, dehydrátor;
- elektromagnetický ventil (EMV);
- průhledítko;
- tlakové spínače (presostaty) a teplotní spínače.



Obrázek 9: Podrobné schéma komponent TČ [3]

Odlučovač kapalného chladiva

Odlučovač je umístěn před kompresorem. Jeho hlavní funkcí je chránit kompresor před nasátím kapalného chladiva, čímž by se kompresor mohl nenávratně poškodit. Kapalně chladivo se do této části chladicího okruhu dostane například kvůli nedostatečnému odpaření chladiva ve výparníku díky reverznímu chodu TČ. Reverzní chod TČ znamená obrácený chod TČ kvůli odtávání (jedná se o jeden ze způsobů odtávání výparníku TČ) nebo použití TČ jako klimatizace.



Obrázek 10: Řez odlučovačem kapalného chladiva a jeho popis [35]

Obrázek 10 znázorňuje řez odlučovačem společně s jeho popisem funkce. Do pravé části vstupuje chladivo z výparníku, které proudí přes tzv. deflektor a pak dále, přes speciálně seříznuté potrubí, až do kompresoru. Deflektor je zařízení k odvrácení toku chladiva. Speciálně seříznuté potrubí změní směr proudícího chladiva smíchaného s olejem tak, aby plynné chladivo proudilo potrubím ke kompresoru, ale kapalně chladivo klesalo dolů společně s olejem. Dále se v odlučovači nachází menší otvor a ochranná stěna. Kapalně chladivo zachycené v odlučovači se časem odpaří a vrátí do chladicího okruhu. Musí být konstruován tak, aby nezvyšoval tlakové ztráty v sacím potrubí. [2]

Sběrač chladiva

Sběrač chladiva v sobě uchovává přebytečné množství chladiva, které se zrovna nevyužívá v chladicím okruhu. Jeho další funkcí je odstranění bublin. Jedná se o oválnou nádobu pro vysoký tlak. Umisťuje se za kondenzátor. Je velice důležitý pro TČ typu vzduch-voda kvůli vysokým rozdílům teplot nasávaného vzduchu. Chladivo se ze sběrače odebírá ze spodní části, ve které je pouze kapalná fáze. Konstrukčně je navrženo tak, aby se do něj vešlo veškeré chladivo z okruhu (cca 5l na 10 kW). [2]

Filtrdehydrátor, filtr, dehydrátor

Tyto součástky se používají ke zbavení se vlhkosti a nečistot v chladicím okruhu. Dehydrátor se používá přímo pro zachycení a odstranění vlhkosti z chladicího okruhu. Filtrdehydrátor se používá pro zachycování nečistot, čištění chladiva, odstraňování vlhkosti a případných kyselin vzniklých z reakcí vody a chladiva. [2]

Elektromagnetický ventil (EMV)

Jeho hlavní funkcí je uzavření přívodu kapalného chladiva při vypnutí kompresoru. Tím se znemožní přívod kapalného chladiva do výparníku případně do kompresoru a zabrání tak jeho poškození. Elektromagnetický ventil umí využít funkci pump-down, která způsobí jeho uzavření dříve, než se uzavře kompresor. Tím, že se sníží tlak ve výparníku, se veškeré chladivo v chladicím okruhu mezi ventilem a kompresorem odpaří. [2]

Průhledítko

Průhledítko kapalného chladiva umožňuje kontrolu kapalného chladiva a indikuje vlhkost v chladicím zařízení. Jeho funkce se naplňuje bez toho, aniž by se musel otevřít chladicí okruh TČ. Pokud proudí v chladicím okruhu TČ málo chladiva, pak lze přes sklíčko pozorovat bublinky chladiva. Bublinky nám říkají, že je potřeba doplnit množství chladiva, aby bylo dosaženo plné efektivity TČ. Jeho další funkcí je indikace vlhkosti díky obsaženým látkám

v průhledítku, které mění svoji barvu v závislosti na hodnotě vlhkosti chladiva. Vlhkost je důležitá kvůli možnému poškození kompresoru TČ. [2]

Tlakové spínače (presostaty) a teplotní spínače

Tlakové spínače (presostaty) plní funkci ochrany zařízení před vysokým či nízkým tlakem chladiva v chladícím okruhu. Vysoký tlak může nastat díky nedostatečnému odvodu tepla vlivem znečištění výměníků. Nízký tlak může nastat únikem chladiva. Často se používají dva presostaty – provozní a havarijní. Teplotní snímače chrání nebo řídí chod TČ na základě měřených teplot. Například chrání kompresor před přehřátím. Díky měření teploty spínač zjistí, že je vysoká teplota u kompresoru, a proto ho odstaví, aby vychladnul (kvůli poškození). [2]

1.1.4 Chladiva TČ

Hlavní funkcí chladiva je odebrat tepelnou energii při nízké teplotě ve výparníku a následně ji předat do kondenzátoru při vysoké teplotě. Chladivo po celou dobu cirkuluje v chladícím okruhu TČ. Dříve se používala chladiva na bázi halogenových uhlovodíků (CFC) – tvrdé freony, později chlorofluorované uhlovodíky (HCFC) – měkké freony a nyní se používají fluorované uhlovodíky a jejich směsi (HFC) – to jsou chladiva bez obsahu chloru, díky čemuž jsou šetrnější k ozónové vrstvě.

Od 1. 1. 2015 platí Nařízení evropského parlamentu a rady (EU) č. 517/2014, které se týká fluorovaných skleníkových plynů. Úkolem tohoto nařízení je chránit životní prostředí, díky snižování těchto látek v ovzduší. Fluorované skleníkové plyny jsou: částečně fluorované uhlovodíky, zcela fluorované uhlovodíky, fluorid sírový a další skleníkové plyny obsahující fluor. Chladiva typu HFC byla vyvinuta jako náhrada za chladiva poškozující ozónovou vrstvu.

Chladiva se hodnotí podle koeficientu GWP (z angl. Global Warming Potential), což znamená potenciál globálního oteplování. Tento koeficient vyjadřuje potenciál skleníkového plynu zvýšit teplotu klimatu v poměru k potenciálu CO₂ (oxidu uhelnatému) zvýšit teplotu klimatu, počítaný jako stoletý potenciál oteplování 1 kg skleníkového plynu v poměru k 1 kg CO₂. Např. 1 kg chladiva R134a (C₂H₃F₃) má stejný potenciál ke zvyšování teploty klimatu, jako 1430 kg CO₂ za sto let.

V současné době patří mezi nejčastěji používaná chladiva v TČ: R410A (GWP = 2088), R407C (GWP = 1774), R404A (GWP = 3922) a R32 (GWP = 675). Každé chladivo má své výhody i nevýhody. Při uvažování stejného výkonu TČ se používání jednotlivých chladiv liší např. ve velikosti kompresoru, v provozních tlacích, v topném faktoru, v ceně, apod. [9]

1.1.5 Chladicí okruh a cykly TČ

Chladicí okruh TČ lze detailněji popsat pomocí pracovních oběhů (cyklů), ze kterých lze lépe pochopit funkci TČ a popsat jednotlivé děje v něm probíhající.

Oběh TČ je uzavřený – stále se opakující. Chladivo během cirkulace v chladícím okruhu TČ mění své skupenství. Ve výparníku se chladivo, vlivem nasáté tepelné energie z okolí, odpaří a v plynném skupenství je nasáváno do kompresoru. Z kompresoru odchází chladivo v plynné fázi při vysoké teplotě do kondenzátoru, kde se při vysokém tlaku ochladí a zkapalní. Z kondenzátoru pak putuje chladivo do škrtkového ventilu, ve kterém dochází k poklesu tlaku a chladivo je pak vstříknuto do výparníku. Celý proces se neustále opakuje a pracovní se mu říká chladicí okruh TČ.

TČ tedy funguje na základě čtyř stále se opakujících procesů, které probíhají v hlavních komponentách TČ:

- **vypařování** – probíhá ve výparníku, který slouží k předání odebraného tepla z okolí chladivu. Chladivo postupně přechází z kapalně do plynné a putuje do kompresoru;
- **komprese** – v kompresoru dochází ke zvýšení tlaku odpařeného chladiva na tlak odpovídající kondenzační teplotě v kondenzátoru. Dojde tedy k nárůstu teploty i tlaku plynného chladiva;
- **kondenzace** – v kondenzátoru předává chladicí médium teplo do otopné soustavy a kondenzuje;
- **expanze** – po odevzdání tepla putuje kondenzát (chladivo) do expanzního ventilu. Ten zajišťuje snížení tlaku kondenzátu, což má za následek také snížení teploty. Chladivo pak putuje zpět do výparníku a celý proces se opakuje. [4] [8]

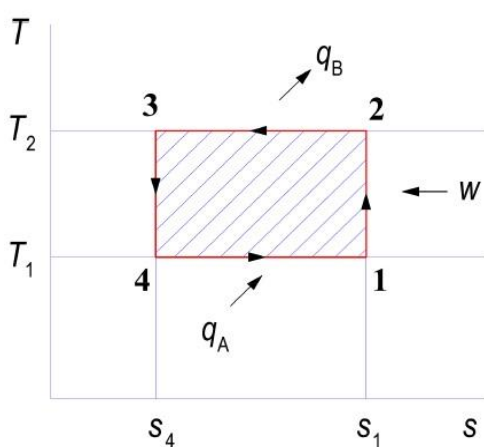


Diagram 1 znázorňuje Carnotův (teoretický) cyklus – levotočivý cyklus. Tento cyklus je uzavřený a vratný. Jedná se o tepelně nejúčinnější oběh a nelze jej reálně sestavit. Účinnosti Carnotova cyklu lze dosáhnout pouze teoreticky.

Popisuje základní funkci TČ, kdy se odnímá teplo chladnější části a je přes Carnotův cyklus přeneseno na vyšší teplotní úroveň ($q_A \rightarrow q_B$). Carnotův cyklus v T-s diagramu vyjadřuje závislost teploty na entropii (entropie = míra neuspořádanosti molekul) a znázorňuje 2 izotermické a 2 adiabatické (izoentropické) děje.

Diagram 1: Carnotův cyklus v T-s diagramu [8]

Popis probíhajících dějů v diagramu 1:

- 1 → 2: izoentropická ($s = \text{konst.}$) komprese v kompresoru;
- 2 → 3: izotermická ($t = \text{konst.}$) kondenzace, odvod tepla z kondenzátoru;
- 3 → 4: izoentropická expanze v expanzním ventilu;
- 4 → 1: izotermické vypařování, přívod tepla z okolí do výparníku.

Carnotův cyklus je nereálný, protože nezohledňuje konečnou velikost teplosměnných ploch, vlastnosti chladiva a tepelné ztráty. [4] [8]

Následující diagram 2 a diagram 3 znázorňují idealizovaný Rankinův oběh s reálnou pracovní látkou – chladivem. Tento oběh nepočítá s podchlazením či přehřátím chladiva. Stav chladiva jsou na mezi sytosti. Dále předpokládá nulové tlakové ztráty v chladicím oběhu TČ, nulové tepelné ztráty (žádné sdílení tepla do okolí) a bezztrátovou kompresi.

Tento oběh není zcela realizovaný, ale odchylky od skutečného oběhu jsou malé. Křivka syté páry v diagramech ohraničuje oblast, kde chladivo přechází ze stavu kapaliny na přehřátou páru.

1.1.6 Účinnost TČ – COP, SCOP

Mezi základní parametry hodnotící energetickou efektivnost TČ patří topný faktor a sezónní topný faktor. Oba faktory počítají s množstvím odebrané elektrické energie ze sítě, která jako zásadní parametr ovlivňuje ekonomiku provozu. Oba faktory hodnotí a porovnávají energetickou kvalitu elektricky poháněných TČ. Oba parametry jsou dle norem stanoveny podle definovaných standardizovaných podmínek, tudíž nemohou poskytnout přesnou informaci o chování TČ během reálného provozu.

Topný faktor (COP)

Topný faktor, který se značí COP (z angl. coefficient of performance), je poměr tepelné energie odváděné z kondenzátoru TČ (tepelný výkon TČ) k elektrické energii pohánějící pracovní okruh TČ. Topný faktor se u různých TČ pohybuje v rozmezí hodnot 2 až 6. Jeho hodnota velmi závisí na vstupní a výstupní teplotě (ovlivňuje tepelný výkon TČ), typu kompresoru a dalších faktorech.

Definice parametru efektivnosti COP u TČ je podrobněji uvedena v normě pro laboratorní zkoušení TČ a chladících zařízení ČSN EN 14511. Podle této normy se COP stanovuje z laboratorního měření při různých provozních podmínkách (teploty na vstupu do výparníku, teploty na výstupu z kondenzátoru), aby se stanovil dostatečný provozní rozsah TČ.

Výpočet se dle normy provádí z hodnot za ustálených pracovních podmínek a jedná se o poměr topného výkonu k celkovému elektrickému příkonu jednotky. Rovnice pro výpočet vypadá následovně [11]:

$$COP = \frac{\Phi}{P_c + P_{aux}} \quad [-] \quad (1.1)$$

kde: *COP* – topný faktor [-]

Φ – tepelný výkon TČ [kW]

P_c – elektrický příkon kompresoru [kW]

P_{aux} - elektrický příkon potřebný pro překonání tlakové ztráty výparníku a kondenzátoru [kW]

Protože se v průběhu roku mění venkovní teplota okolního vzduchu, který nasává TČ vzduch-voda, mění se i výkon TČ. Výkon TČ vzduch-voda klesá s rostoucím rozdílem mezi teplotou venkovního vzduchu (tj. teplota vzduchu vstupujícího do výparníku) a požadovanou teplotou na výstupu z kondenzátoru.

K dosažení vysokého COP, a tím i minimální spotřeby elektrické energie pro pohon TČ, je zapotřebí co nejvyšší teploty nasávaného vzduchu (nesmí ale přesáhnout maximální teplotu povolenou pro daný typ TČ). Rozdíl teplot na vstupu a výstupu by měl být co nejnižší, protože čím menší rozdíl hladin teplot musí TČ překonávat, tím méně energie spotřebuje, a tím je i vyšší COP. Pokud tedy mám topný faktor $COP = 3$, pak to znamená, že na 3 kW spotřebované elektrické energie v TČ (např. v kompresoru, ventilátorech apod.) získám 9 kW tepelné energie z TČ.

Jako konkrétní ukázkou závislosti COP u TČ vzduch-voda na hodnotě teploty okolního vzduchu, jsem vytvořil následující příklad. Jako nízkoteplotní zdroj energie je okolní vzduch s proměnnou teplotou. Teploty okolního vzduchu jsou blízké hodnotám teplot, které mohou nastat během roku. Dále počítám s různými kondenzačními teplotami, kterých má TČ dosáhnout (od nejnižších pro podlahové vytápění po nejvyšší pro ohřev TUV). Všechny uvažované hodnoty teplot společně s vypočteným COP jsou zobrazeny v tabulce 1. Protože se

jedná o teoretickou modelovou situaci, která má dokázat závislost hodnoty COP na okolní teplotě a kondenzační teplotě, provedl jsem výpočet pomocí následující rovnice – topný faktor podle Carnotova (obráceného) oběhu [8]:

$$COP = \frac{T_2}{T_2 - T_1} [-] \quad (1.2)$$

kde: T_1 – teplota okolního vzduchu [K]

T_2 – kondenzační teplota [K]

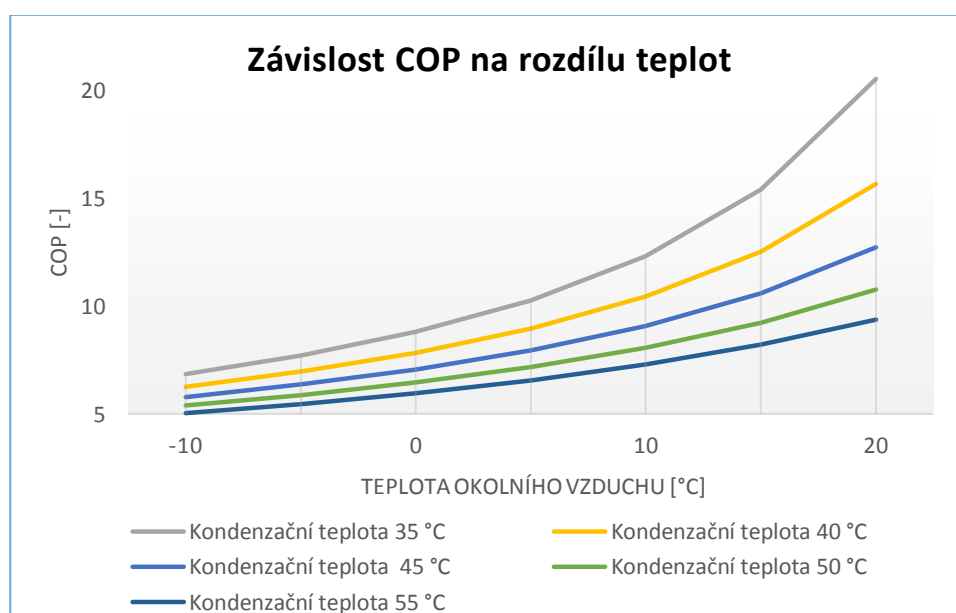
Tato rovnice uvažuje ideální Carnotův (obrácený) oběh, neuvažuje tedy žádné teplotní ztráty a všechny podmínky jsou ideální. Tento případ nemůže reálně nastat, jedná se pouze o modelovou situaci, která dosahuje nejvyšší možné účinnosti (viz. 1.1.5 Chladicí okruh a cykly TČ).

V následující tabulce 1 jsou zobrazeny použité hodnoty pro výpočet COP a výsledné hodnoty COP. Teplota okolního vzduchu je od -10 °C do 20 °C v intervalech po pěti stupních a kondenzační teplota je od 35 °C do 55 °C také v intervalech po pěti stupních.

Tabulka 1: Použité hodnoty pro výpočet COP a vypočtené COP

Teplota okolního vzduchu [°C]	COP [-]				
Kondenzační teploty [°C]	35	40	45	50	55
-10	6,85	6,26	5,78	5,39	5,05
-5	7,70	6,96	6,36	5,88	5,47
0	8,80	7,83	7,07	6,46	5,97
5	10,27	8,95	7,95	7,18	6,56
10	12,33	10,44	9,09	8,08	7,29
15	15,41	12,53	10,61	9,23	8,20
20	20,54	15,66	12,73	10,77	9,38

Jak lze vidět z tabulky 1, hodnota COP se s rostoucí teplotou okolního vzduchu zvyšuje, což dokládá vzájemnou závislost. Nejvyšší COP dosáhneme u TČ při vysoké teplotě okolního vzduchu (30 °C) a nízké kondenzační teplotě (35 °C). Ta se ale hodí jen pro podlahové vytápění v objektu. Lepší znázornění tohoto příkladu lze vidět na následujícím grafu 1.



Graf 1: Závislost COP na teplotě okolního vzduchu a kondenzační teplotě

Každá křivka znázorňuje různou kondenzační teplotu. Jak lze vidět, všechny křivky jsou stoupající, což opět dokazuje předchozí tvrzení: Co nejvyššího COP lze dosáhnout využitím co nejteplejšího nízkopotenciálního zdroje a dodávat teplo do otopných systémů s co nejnižší potřebnou teplotou, jako je například podlahové vytápění (cca 35 °C).

Sezónní topný faktor (SCOP)

Sezónní topný faktor, který se značí SCOP (z angl. seasonal coefficient of performance), je podíl vyrobeného tepla ke spotřebě elektrické energie za celý rok. SCOP zahrnuje oproti klasickému COP proměnlivost pracovních podmínek TČ (proměnlivou teplotu zdroje a odběru tepla, měnící se odběrový výkon krytý TČ případně jiným zdrojem) a skutečně zhodnotí sezónní provoz TČ. Jeho výpočet se řídí normou ČSN EN 14825.

Výpočet se provádí v otopném období, které je rozděleno po 1 °C. SCOP nezahrnuje jen efektivitu produkce tepla TČ, ale i energetické ztráty vlivem cyklování TČ (tj. pokud má TČ vyšší výkon než je tepelná ztráta během otopného období), potřebu záložního energetického zdroje – elektrokotel (tj. pokud výkon TČ nestačí k pokrytí ztráty budovy), energetickou spotřebu TČ v pohotovostním režimu nebo při náběhu, ztráty způsobené vychladnutím výměníků v době mimo provoz, udržování kompresoru na dané teplotě, apod. K výpočtu je tedy nutné mít řadu hodnot stanovených laboratorním měřením stanovených pro různé kombinace provozních podmínek.

SCOP slouží pro klasifikaci TČ do tříd energetické účinnosti (A+++, A++,...G) při jejich štítkování. [11] [12]

Norma pro výpočet SCOP obsahuje například i tabulku, ve které jsou předem určené hodiny chodu TČ, v závislosti na teplotě okolního vzduchu. Např.: při teplotě okolního vzduchu 0 °C pracuje TČ průměrně 240 hodin ročně, při teplotě okolního vzduchu 10 °C pracuje TČ průměrně 315 hodin ročně atd. A na základě těchto předem určených průměrných hodnot se vypočítává SCOP společně se započtením všech hodnot příkonů elektrických zařízení v TČ a ztrát. Ve výsledku v mnoha případech vychází nízké SCOP a většina TČ hodnocených dle této normy spadne do kategorie A+ nejlépe. To znamená, že nelze TČ hodnotit podle průměrných hodnot předepsaných normou při jasně daných laboratorních podmínkách, protože se tyto hodnoty pak liší od reálných hodnot.

1.1.7 Provoz TČ

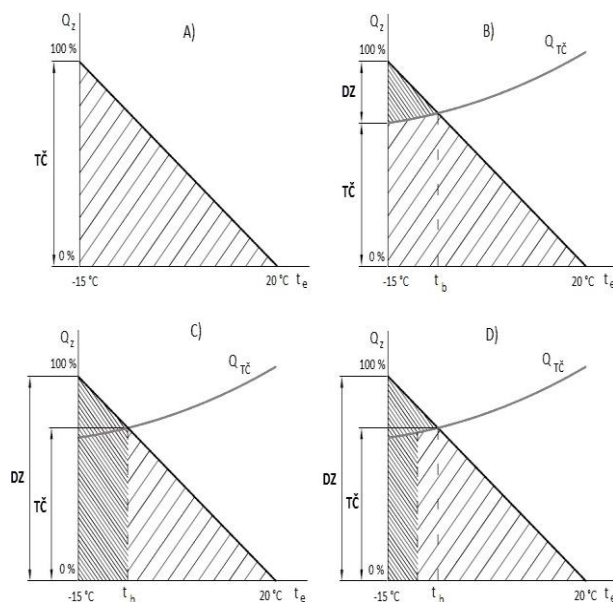
Možností ke zvýšení účinnosti celého otopného systému objektu je kombinace více zdrojů energie. Například propojení TČ se slunečními kolektory nebo elektrokotlem. TČ lze totiž provozovat dvojím způsobem: monovalentní provoz, bivalentní provoz.

Při monovalentním (jediném) provozu je TČ jediným zdrojem tepla pro vytápěný objekt. Celou sezónu pracuje samostatně bez pomoci jiných topných zařízení. Toto řešení je možné, ale je ekonomicky neefektivní. Pro systém Vzduch-voda není toto řešení možné, protože výkon TČ je závislý na okolní teplotě (viz. 1.1.6 Účinnost TČ). Je-li takový typ provozu požadován, pak je potřeba mít výkonné TČ, které pokryje všechny tepelné ztráty objektu.

Bivalentní (dvojitý) provoz znamená provoz dvou zařízení pro výrobu tepelné energie během celého roku. Je to z toho důvodu, že se potřeba výkonu pro vytápění během roku značně mění a bylo by neekonomické využívat jen TČ. Značně by se zvýšily pořizovací náklady, protože by musely být hlubší vrty či větší zemní kolektory. Proto se TČ doplňuje dalším zdrojem tepla, třeba elektrokotlem, kotlem na tuhá paliva nebo kamny.

Existuje několik možností, jak zapojit TČ v bivalentním provozu. Paralelně zapojený bivalentní zdroj přitápí při nedostatečném výkonu TČ, alternativně zapojený bivalentní zdroj nahrazuje celý výkon TČ (např. při nízkých teplotách, kdy už TČ není schopné pokrýt tepelnou ztrátu budovy) a poslední možností je bivalentně částečně paralelní zdroj, který je kombinací dvou předchozích možností zapojení. Musí být ale jasně stanovené podmínky pro provoz obou zdrojů tepla, které určují, kdy se který zdroj spouští nebo nahrazuje.

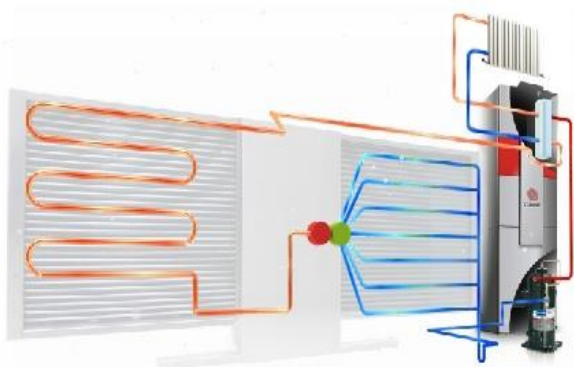
U systému vytápění s TČ se podmínky správného dimenzování určují pomocí teploty bivalence. Na obrázku 11 lze vidět bod bivalence v průsečiku křivky znázorňující topný výkon TČ a tepelné ztráty objektu. Průsečík znázorňuje situaci, kdy už TČ není schopno plně pokrýt tepelnou ztrátu objektu. Teplota bivalence je pak vynesena na horizontální ose, ozn. t_b , při které se spíná bivalentní zdroj energie. [4] [13] [14]



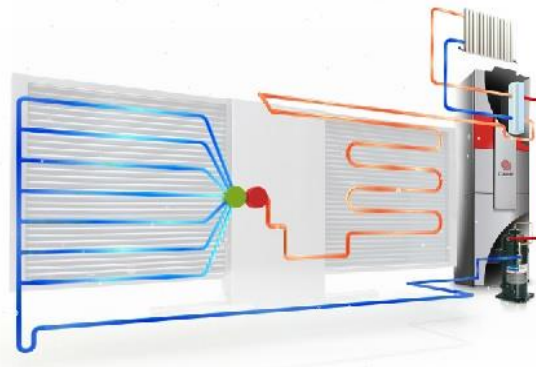
Obrázek 11: Krytí tepelných ztrát TČ a bivalentními zdroji: A) Monovalentní, B) Paralelně bivalentní, C) Alternativně bivalentní, D) Bivalentně částečně paralelní [13]

1.1.8 Patentovaný systém MACH VHM k odtávání výparníku

MACH VHM je složen ze dvou výparníků. Každý z výparníků má samostatný nezávislý chladivový okruh. Jeden z okruhů se používá pro vypařování chladiva a druhý slouží k odtávání kapalným chladivem. Kapalně chladivo, které proudí od kondenzátoru a prochází jedním výparníkem před tím, než vstoupí do vstřikovacího ventilu druhého výparníku, obsahuje zbytkové teplo. Toto teplo je využito k odtávání kapalného chladiva v chladicím okruhu. Tok chladiva v okruhu je ovládán a správně usměřován pomocí dvojice elektronických expanzních ventilů.



Obrázek 12: MACH VHM - Levá část přehřívá, pravá část dochlazuje [24]



Obrázek 13: MACH VHM - Levá část dochlazuje, pravá část přehřívá [24]

Pokud nehrozí namrzání výparníku, pak jsou pro funkci obou výparníků otevřena potrubí kapalného chladiva v okruhu obou výparníků. Pokud dochází ke zvýšené námraze,

dojde během provozu TČ k uzavření příslušného směru kapalného chladiva. Po uzavření dochází k otevření elektronického ventilu, který zajistí přívod kapalného chladiva, přes namrzlý výparník, ke vstřikovacímu ventilu druhého výparníku. Během tohoto spojení dochází k postupnému odtávání výparníku s námrazou. V okamžiku, kdy se střídá funkce výparníku, je kapalně chladivo, které předává zbytkové teplo, podchlazováno na nižší teplotu než před přepnutím funkce výparníku. Chladicí okruh se po 1 minutě ustálí. Zbytkového tepla, které lze použít k odtávání, není mnoho. Proto jsou jednotlivé výparníky dimenzovány na 100 % chladicího výkonu TČ. Minimální doba chodu jednoho výparníku je 30 minut.

V celkovém provozu sehrává odtávání výparníku velkou roli. Do odtávání TČ běžným způsobem je potřeba zahrnout několik faktorů, které ovlivňují výkon celé otopné soustavy. Při odtávání je přečerpána energie z otopné soustavy do venkovního výparníku, čímž ztratí otopná soustava výkon a určitou dobu trvá, než otopná soustava dosáhne stejného výkonu, jako před odtáváním. Součtem všech těchto faktorů vyjde výsledná doba potřebná k odtávání výparníku delší, než se často uvádí. Celková doba odtávání běžným způsobem u TČ je uváděna přibližně na 11 minut bez uvažování předchozích faktorů. U starších TČ nastává při nízkých teplotách odtávání již po 20 – 40 minutách provozu, z čehož vyplývá, že TČ nejede na plno po celou dobu odtávání. Tento chybějící výkon musí být v otopné soustavě nahrazen a to nejčastěji elektrokotlem, což zvyšuje náklady na provoz. Skoro všechny systémy na odtávání využívají teplo odebrané z otopného systému nebo využívají elektrickou energii k odtávání. [23] [24] [25]

Díky systému odtávání MACH VHM u TČ typu vzduch-voda, který bere teplo potřebné k odtávání ze zbytkového tepla z chladicího okruhu, se dají snížit náklady na provoz při nízkých teplotách a neztratit tak potřebný výkon pro otopnou soustavu.

1.2 Solární-termické kolektory

Sluneční záření lze chápat jako proud elektromagnetického záření, které je emitováno Sluncem na Zemi. Ne veškerá energie ze Slunečního záření však zůstane na Zemi – to by se začala Země nebezpečně zahřívat a v opačném případě, kdyby se všechno záření odráželo, začala by se ochlazovat. Část energie se tedy odrazí už v atmosféře, je pohlcena atmosférou, dopadá na oceány, odráží se od souše, pohlcuje se souší a část sluneční energie je spotřebována na fotosyntézu. Celkové množství sluneční energie dopadající kolmo na 1 m² plochy zemského povrchu vyjadřuje tzv. sluneční konstanta, která dosahuje hodnoty $I_0 = 1348,33 \text{ W/m}^2$.



Obrázek 14: Průměrné roční hodnoty celkového slunečního záření dopadajícího na území ČR v MJ/m² [16]

V ČR se uvažuje hodnota tepelného toku dopadajícího na povrch $I = 1 \text{ kW/m}^2$, přičemž za rok v ČR dopadne průměrně na každý m² zemského povrchu přibližně 1100 kWh tepelné energie. Průměrná doba slunečního svitu v ČR je 1460 h/rok. Následující mapa ukazuje

rozložení intenzity slunečního záření dopadajícího na území ČR. Z mapy vyplývá, že pro získávání energie ze slunečního záření je potřeba zvolit i vhodnou lokalitu. [15] [16]

Sluneční záření patří mezi obnovitelné zdroje, které jsou v poslední době hojně využívaným druhem potenciálního zdroje energie, hlavně díky dotacím a přístupnosti systému. Tento obnovitelný zdroj energie má, stejně jako každý zdroj energie, řadu výhod i nevýhod.

Mezi výhody patří nevyčerpatelnost zdroje, dotace na instalaci, výkup vyrobené elektřiny (v případě fotovoltaických panelů), možnost kombinovaného zapojení s ostatními systémy pro výrobu energie, bezobslužný a bezhlučný provoz.

Nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady, nestálost výkonu způsobující výkyvy v elektrické soustavě (v případě fotovoltaických panelů). Nestálost je způsobena dobou slunečního svitu a intenzitou záření během dne, kdy výroba elektrické energie z fotovoltaických panelů převyšuje vlastní spotřebu objektu. Další podstatnou nevýhodou je u solárních kolektorů nevyužití veškerého jejich potenciálu. Během slunečného dne využijí veškerou dopadající sluneční energii k přeměně na teplo, ale po nahřátí zásobníku TUV a akumulčních nádrží již nevyužijí další dopadající energii, protože není kam toto teplo předávat. Problém je tedy s akumulací možné vyrobené energie.

Energie slunečního záření může být využita solárními systémy dvojitým způsobem – fotovoltaickými články nebo fototermickými kolektory.

Fotovoltaické články mění dopadající sluneční energii na energii elektrickou. Jedná se o polovodičovou součástku, na kterou dopadá sluneční záření, během čehož dochází k uvolňování elektronů, což produkuje elektrické napětí.

Fototermické neboli solární kolektory jsou zařízení určená k pohlcení slunečního záření a jeho přeměně na teplo. Kolektor je přijímací plocha, na které se sluneční záření pohlcuje a následně ho předává v podobě tepla dále. [17]

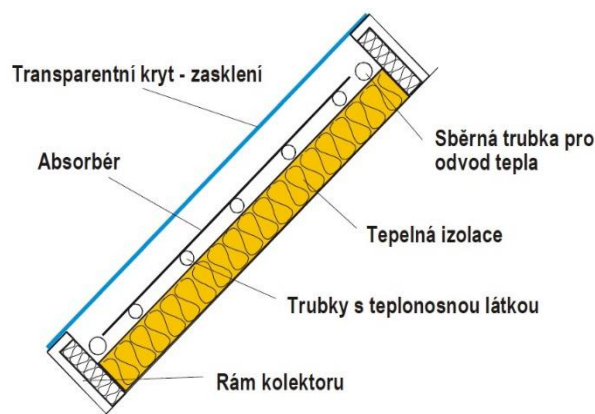
Dále se budu podrobněji věnovat solárním kolektorům, protože jsou jednou z hlavních součástí popisovaného systému této práce.

1.2.1 Složení a princip solárních kolektorů

Solární kolektor se skládá z následujících částí:

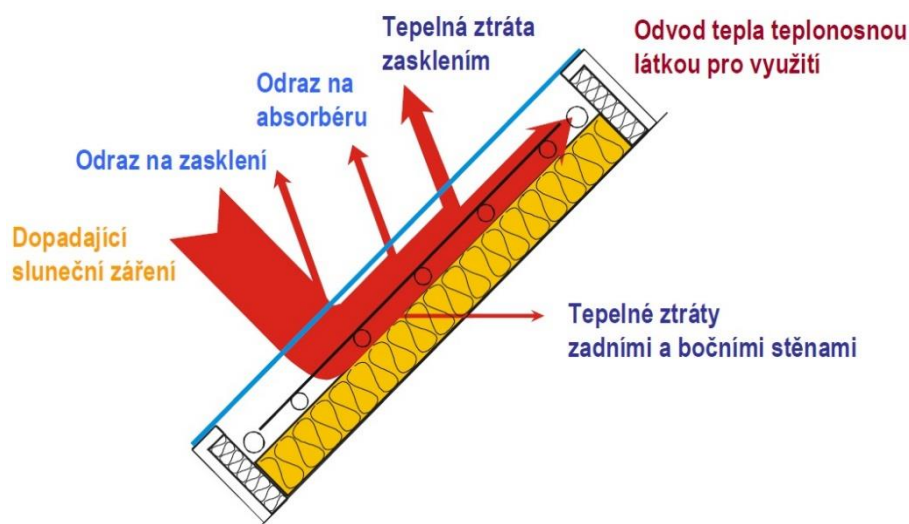
- **Kryt – zasklení:** omezuje tepelné ztráty přední stranou kolektoru, sluneční záření sklem prochází, ale dlouhovlnné tepelné záření se nepropouští díky sklu ven. Díky tomu se uvnitř kolektoru kumuluje teplo a zvyšuje se teplota proudící teplotnosné látky.
- **Absorbér:** vyrábí se z měděného nebo hliníkového plechu. K jeho zadní straně jsou připojeny trubice. Povrch je upraven tak, aby pohlcoval co nejvíce slunečního záření. Levnější typy kolektorů mají povrch absorbéru natřen matnou černou barvou. Dražší typy mají na povrchu tzv. selektivní spektrální nátěr, který pohlcuje až 96 % slunečního záření a záření minimálně vyzařuje zpět.
- **Rám kolektoru:** slouží k uložení kolektoru a jeho součástí. Dále musí být konstruován pro bezpečné uchycení a aplikaci na budovu.
- **Tepelná izolace:** zabraňuje tepelným ztrátám z absorbéru. Nejčastějším materiálem k použití tepelné izolace je minerální vlna nebo polyuretan. Materiál musí být vysoce teplotně odolný a nesmí přijímat vlhkost z okolního prostředí.
- **Trubky s teplotnosnou látkou:** proudí jimi teplotnosná látka, která přejímá absorbované teplo ze slunečního záření v absorbéru.

- **Sběrná trubka pro odvod tepla:** Slouží pro odvod předaného tepla teplotnosné látky z kolektoru do otopného systému. [17] [18]



Obrázek 15: Popis solárně-termického kolektoru [17]

Princip výroby tepelné energie spočívá v pohlcení slunečního záření kolektorem. Černá barva slunečního záření pohlcuje a zahřívá se, proto se aplikuje na absorbér. Sluneční záření se zachycuje v absorbérovi, který sluneční záření přemění na tepelnou energii a dále předává teplotnosné látky, které protéká kolektorem. Princip solárního kolektoru je popsán na následujícím obrázku 16. [17]



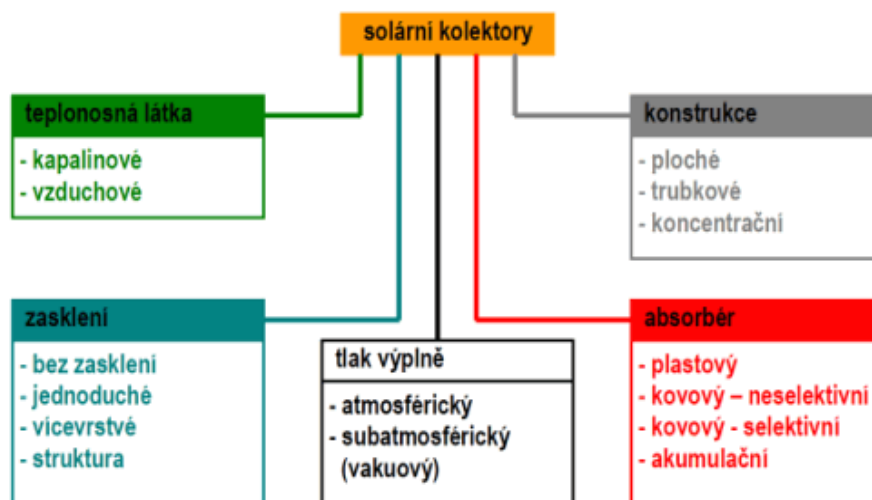
Obrázek 16: Princip solárního kolektoru [17]

1.2.2 Rozdělení solárních kolektorů

Kolektory můžeme z počátku rozdělit podle skupenství teplotnosného média na vzduchové nebo kapalinové.

Solární vzduchové kolektory se využívají jen okrajově. Jejich využití je pro přehřev čerstvého vzduchu pro větrání nebo oběhového vzduchu k cirkulačnímu vytápění.

Solární kapalinové kolektory využívají jako médium kapalinu – vodu, nemrznoucí směs vody a propylenglykolu, atd. Tento typ kolektoru je využíván ve většině aplikací solárních kolektorů. Kapalinové kolektory lze dále rozdělit podle několika faktorů, jak lze vidět na následujícím obrázku 17. [19]



Obrázek 17: Rozdělení solárních kolektorů [19]

Plochý nekrytý kolektor

Tento typ kolektorů je vhodný pro sezónní aplikace, jako je například použití k ohřevu bazénové vody. Jedná se o kolektor bez krytí – zasklení. Jejich nevýhodou je velká závislost na okolních podmínkách, které způsobují vysoké teplotní ztráty. [17] [19]



Obrázek 18: Bazénové absorbéry – rohože z materiálu odolného vůči UV záření [19]

Plochý neselektivní kolektor

Jedná se o zasklený deskový kolektor, který obsahuje kovový absorbér se spektrálně neselektivním povlakem (např. černým pohlivým nátěrem). Tento typ kolektoru má velké tepelné ztráty v zimním období způsobené sáláním absorbéru. Proto se hodí pro sezónní předehřev vody při nízké teplotní úrovni. Četnost použití tohoto typu solárního kolektoru je malá. [17] [19]

Plochý selektivní kolektor

Další typ zaskleného deskového kolektoru je plochý selektivní kolektor. Skládá se z kovového absorbéru, tentokrát se spektrálně selektivním povlakem a s tepelnou izolací na boční a zadní straně kolektorové skříně. Díky tepelné izolaci se značně sníží tepelné ztráty sáláním absorbéru, díky čemuž se tyto kolektory využívají pro celoroční solární ohřev vody a vytápění. Tvoří naprostou většinu zasklených kolektorů v nabídce. [17] [19]

Plochý vakuový kolektor

Jedná se o kolektor s udržovaným podtlakem uvnitř kolektoru. Tlak uvnitř kolektoru je nižší (cca 1 až 10 kPa), než okolní atmosférický tlak (101,325 kPa). Díky podtlaku uvnitř kolektoru jsou menší teplotní ztráty do okolí. Konstrukčně je tento typ kolektoru deskový a zasklený.

Ploché vakuové kolektory jsou určeny pro celoroční solární ohřev vody a vytápění. Ploché vakuové kolektory jsou výhodné z hlediska instalace do obálky budovy – střecha, fasáda. [17] [19]



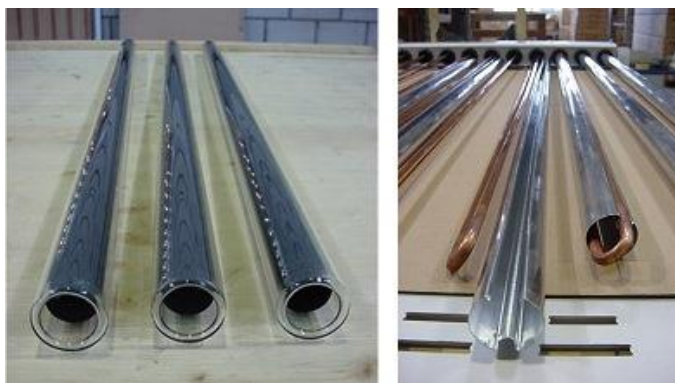
Obrázek 19: Ploché atmosférický a ploché vakuový kolektor [19]

Trubkový jedностěnný vakuový kolektor

Hlavní částí tohoto typu kolektoru je vakuová skleněná trubka s uvnitř umístěným absorberem (plochým), ve které je udržován absolutní tlak 10^{-3} Pa, díky čemuž jsou výrazně omezeny teplotní ztráty a je zajištěn vysoký přenos tepla z absorberu do teplotnosné látky – kapaliny. Vysoký přenos tepla je způsoben díky svařovanému spoji, který zajišťuje vysokou účinnost kolektoru v celém teplotním rozsahu. Používá se především v kombinovaných soustavách pro vytápění. Jeho nevýhodou je vysoká pořizovací cena. [17] [19]

Trubkový dvojtěnný (Sydney) vakuový kolektor

V tomto kolektoru se používá válcový typ absorberu (absorpční skleněná trubka), který je umístěn ve vakuové skleněné trubce s absolutním tlakem menším než 10^{-3} Pa. Nevýhodou tohoto typu kolektoru je problematické zajištění přenosu tepla z absorpční trubky do teplotnosné kapaliny. Přenos tepla zajišťuje hliníková vodivá teplosměnná lamela, která je zde nezbytná. Díky této nevýhodě má tento typ kolektoru nižší účinnost při nízkých teplotách (oproti plochým kolektorům). Používají se, podobně jako předchozí typ, pro vytápění v kombinovaných soustavách. [17] [19]



Obrázek 20: Trubkový dvojtěnný (Sydney) vakuový kolektor [19]

Soustředující (koncentrační) kolektor

V tomto typu kolektoru se používají zrcadla, čočky nebo další optické prvky – tzv. reflektory. Reflektory se používají k usměrnění slunečního záření do ohniska – absorberu. K dosažení vysoké účinnosti tohoto typu kolektoru je zapotřebí dostatek slunečního záření během celého roku. [17] [19]

Mezi nejčastěji používané typy kolektorů v ČR patří, díky svým výhodám a dostupnosti, ploché selektivní kolektory a ploché vakuové kolektory.

1.2.3 Účinnost solárních kolektorů

Účinnost solárních kolektorů je definována za ustálených podmínek a je dána poměrem tepelného výkonu odváděného teplotonosnou látkou z kolektoru k tzv. příkonu slunečního záření, tedy zářivému toku dopadajícímu na kolektor. Účinnost solárního kolektoru lze vypočítat podle následující rovnice (1.3) [17] [20]:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_k}{G \cdot A_k} = \eta_0 - a_1 \frac{t_m - t_e}{G} - a_2 \frac{(t_m - t_e)^2}{G} \quad [-] \quad (1.3)$$

kde: η – účinnost solárního kolektoru [-]

\dot{Q}_k – tepelný výkon odváděný teplotonosnou látkou z kolektoru [W]

G – sluneční ozáření [W/m^2]

A_k – vztažná plocha kolektoru [m^2]

η_0 – účinnost solárního kolektoru při nulových tepelných ztrátách [-]

a_1 – lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [$W/m^2 \cdot K$]

a_2 – kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [$W/m^2 \cdot K^2$]

t_m – střední teplota teplotonosné látky v kolektoru [K]

t_e – teplota okolí [K]

Jako vztažná plocha kolektoru se uvažuje:

- plocha absorberu – aktivní plocha, na které dochází k přeměně dopadajícího slunečního záření na teplo;
- plocha apertury – plocha otvoru, kterým vstupuje do kolektoru nesoustředěné sluneční záření (např. zasklení kolektoru);
- hrubá (obrysová) plocha – průmět obrysu kolektoru.

Tepelný výkon solárního kolektoru lze vypočítat pomocí měřeného průtoku teplotonosné látky kolektorem a rozdílu teplot mezi vstupem a výstupem média z kolektoru.

$$\dot{Q}_k = \dot{M} \cdot c \cdot (t_{k2} - t_{k1}) \quad [W] \quad (1.4)$$

kde: \dot{Q}_k – tepelný výkon odváděný teplotonosnou látkou z kolektoru [W]

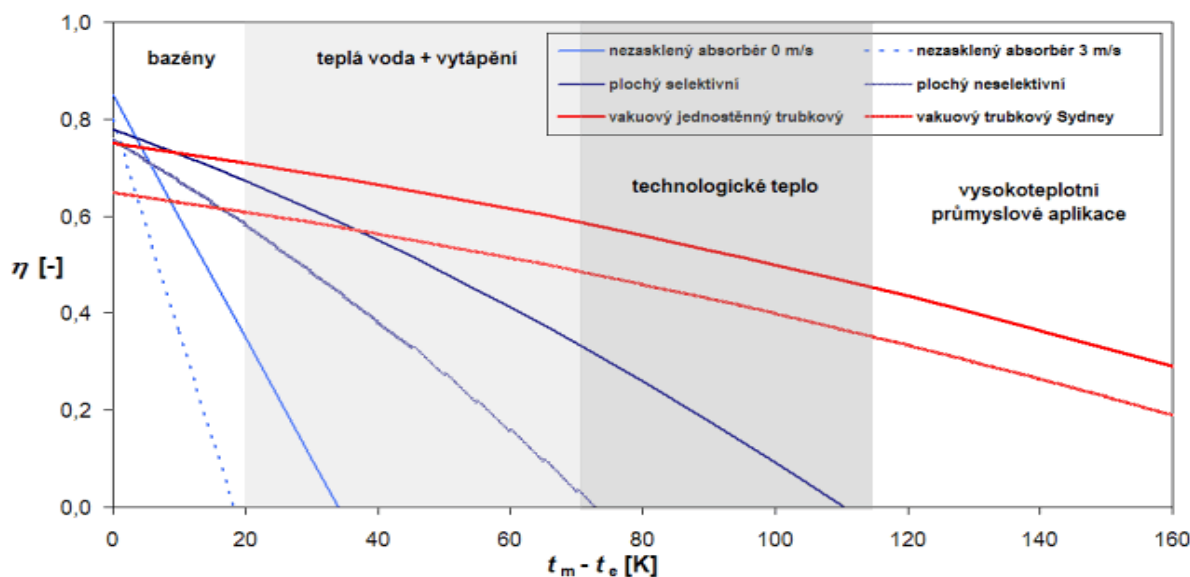
\dot{M} – hmotnostní průtok teplotonosné látky kolektorem [kg/s]

c – měrná tepelná kapacita teplotonosné látky [$J/kg \cdot K$]

t_{k1} – teplota na vstupu do solárního kolektoru [K]

t_{k2} – teplota na výstupu ze solárního kolektoru [K]

Účinnost solárního kolektoru se uvádí jako křivka v závislosti na klimatických podmínkách. Následující graf 2 ukazuje účinnost základních druhů solárních kolektorů pro sluneční ozáření $G = 800 W/m^2$. V grafu 2 je zobrazena závislost typu solárních kolektorů na teplotním spádu mezi teplotonosnou látkou a okolím.



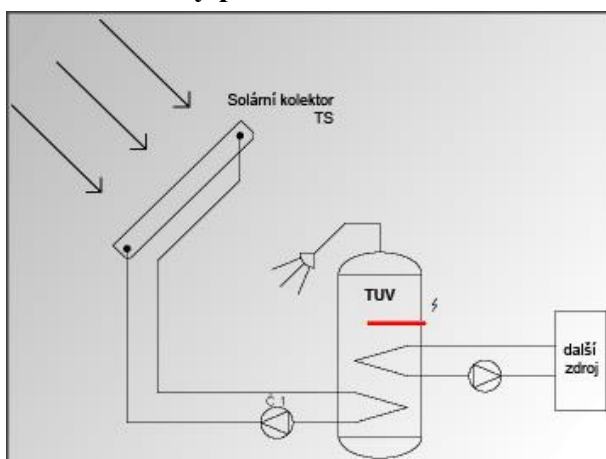
Graf 2: Křivky účinnosti různých druhů kolektorů pro $G = 800 \text{ W/m}^2$ [20]

Jak lze vidět, tak nezasklené kolektory mají vysokou optickou účinnost, ale také mají velké ztráty způsobené vlivem proudění okolního vzduchu. Dále lze vidět, jak s rostoucí kvalitou kolektorů (menší tepelné ztráty) méně klesá křivka účinnosti s rostoucím teplotním spádem. Zobrazené teplotní rozdíly mezi střední teplotou teplotnosné látky a teplotou okolního vzduchu jsou typickými rozsahy teplot v základních aplikacích.

1.2.4 Typy solárních systémů

Nejčastějším a zároveň nejvýhodnějším způsobem využití solárního systému je ohřev TUV. Mezi další využití solárních kolektorů patří podpora ve vytápění objektu (ústřední vytápění vodním nebo vzduchovým okruhem), přehřívání v kombinaci s ohřevem TUV nebo pro ohřev vody v bazénu.

Solární sestavy pro ohřev TUV



Obrázek 21: Solární sestava pro ohřev TUV [21]

počasí je voda v zásobníku dohřívána jiným zdrojem, například kotlem, jehož výměník je umístěn ve vrchní části zásobníku. Případně může být dohříván elektrickou spirálou

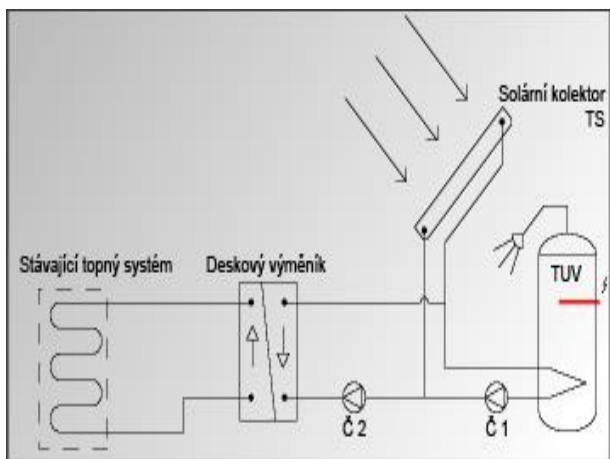
K ohřevu TUV se dimenzuje sestava tak, že jeden kolektor stačí na ohřev 100 litrů teplé vody, která se v závislosti na slunečním svitu ohřeje až na $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Taková zásoba by ale stačila pro jednoho člena rodiny (průměrná spotřeba TUV na jednoho člověka je 85 litrů). Proto se, i z hlediska návratnosti, tyto sestavy dimenzují následovně: pro 2 člennou rodinu se zásobníkem na 200 litrů, pro 3-4 člennou rodinu se zásobníkem na 300 litrů a pro 5 a více členů se počítá s 500 litrovým zásobníkem.

Důvod pro užití větších zásobníků je z hlediska větší zásoby teplé vody pro případ nepříznivého počasí. V případě nepříznivého

umístěnou uprostřed zásobníku. Solární ohřev je tedy umístěn ve spodní části hlavně kvůli tomu, aby bylo kam ukládat získané teplo z kolektorů.

V období za nepříznivého počasí se solární soustava používá jako předehřev vody v zásobníku. Například pokud chci ohřát vodu z vodovodního řádu či studny a mám nepříznivé počasí, použiji solární kolektory pro předehřev vody. Ty mi vodu z 10 °C předehřejí pouze na 30 °C, což mi nestačí. Proto použiji sekundární zdroj k dohřátí vody z 30 °C na požadovaných 50 °C. Z toho vyplývá, že díky solárním kolektorům jsem ušetřil polovinu energie na ohřev TUV. [20] [21]

Solární sestavy s ohřevem TUV a přitápěním



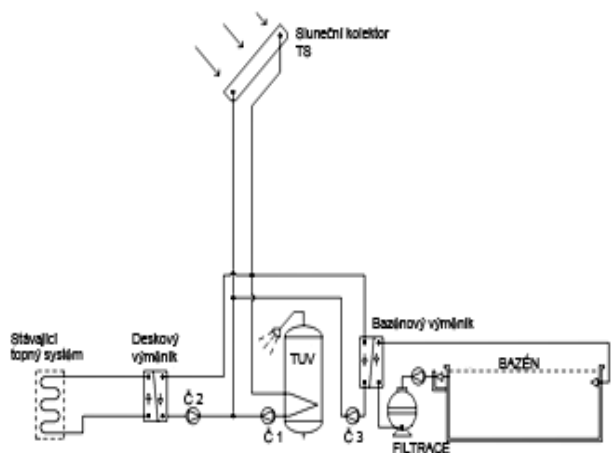
Obrázek 22: Solární sestava pro ohřev TUV a přitápění [21]

Mezi nejčastější řešení patří předehřev stávajícího otopného systému pomocí nerezového deskového výměníku. Ve výměníku se topná voda ohřívá, pokud svítí slunce, a tím se akumuluje teplo přímo ve vytápěném objektu. Původní zdroj tepla slouží pouze k dohřívání na nastavenou teplotu otopné soustavy.

Další možností je použití kombinované akumulční nádrže. V horní části této nádrže je uložen zásobník TUV. Energie se ze slunečních kolektorů předává přímo přes výměník v dolní části nádrže, čímž se využívá solárních kolektorů k ohřevu nejstudenější vody v akumulční nádrži. Efektivita systému je závislá na teplotě vratné

topné vody. Čím je tato teplota nižší, tím je ze solárních kolektorů předáno více energie. Tato sestava je vhodná pro nízkoteplotní otopné soustavy do 55 °C (velkoplošné radiátory). [20] [21]

Solární sestavy pro ohřev bazénu, TUV a s přitápěním



Obrázek 23: Solární sestava pro ohřev bazénu, TUV a přitápění [21]

Tato kombinace solární sestavy využívá celý potenciál slunečních kolektorů v průběhu celého roku. Během letního období se ohřívá TUV a bazén, v zimním (topném) období se přitápí a v přechodném období si může uživatel vybrat, zda dá přednost ohřevu TUV s přitápěním nebo ohřevu TUV s ohřevem bazénu. K ohřevu bazénu slouží protiproudý nerezový plnoprůtočný bazénový výměník, díky kterému se po průchodu bazénovou filtrací ohřeje bazénová voda. Výhodou tohoto výměníku je kombinace ohřevu bazénové vody nejen od solárních kolektorů, ale i od dalšího zdroje. [20] [21]

U solárních systémů je důležité, aby byl co nejvíce využit jejich potenciál, hlavně při přebytku sluneční energie. Protože efektivní akumulace energie je stále budoucností, je dobré se zabývat větším využitím přebývajících energie.

2 POPIS ŘEŠENÉHO SYSTÉMU

Tato kapitola obsahuje popis uvažovaného systému zapojení TČ se solárně termickými kolektory.

Tento systém zapojení vznikl na základě spolupráce firmy Tepelná čerpadla Mach s.r.o., která dodala TČ Chameleon 8,3 AKU-S typu vzduch-voda/voda a firmy JH SOLAR s.r.o., která dodala vakuové sluneční kolektory typu TS 400 (7 kusů).

Řešený systém vytápění a ohřevu TUV je instalován na Plavsku u Českých Budějovic (rodinný dům v sídle firmy JH SOLAR s.r.o.).

2.1 Popis TČ Chameleon 8,3 AKU-S

TČ Chameleon 8,3 AKU-S je speciální TČ pro spojení se solárně termickými kolektory. Dokáže pracovat nejen v režimu vzduch-voda, ale také v režimu vzduch-voda/voda (v případě přijímání energie ze solárního systému v deskovém výměníku). Tento typ TČ využívá patentovaný systém na odtávání výparníku – MACH VHM. [22]

TČ Chameleon 8,3 AKU-S slouží v uvažovaném systému pouze k vytápění objektu. Jeho základní parametry dodané výrobcem obsahuje následující tabulka 2. Hodnoty výkonu jsou pouze informativní a vztahují se pouze pro chladicí okruh TČ.

Tabulka 2: Technické parametry TČ Chameleon 8,3 AKU-S

Výrobce	Tepelná čerpadla MACH s.r.o.
Typ	MACH CHAMELEON 8,3 AKU-S – 750L
Rok výroby	12/2014
Chladivo	R 507 (CF ₃ CHF ₂ +CF ₃ CH ₃)
Napětí	400 / 230 V / 50 Hz
Max proud TČ	20 A
Hmotnost zařízení	140 kg + 150 kg
Hmotnost chladiva	8,5 kg
Výparník	Patentovaný přetlakový výparník
Min./Max. pracovní přetlak	0,8 at. (nizkotlaká strana) / 27,8 at. (vysokotlaká strana)
Topná voda v rozmezí	+20 °C do +50 °C
Venkovní vzduch v rozmezí	-15 °C do +30 °C
Příkon kompresoru	1,92 – 2,73 kW
Tep. výkon chladicího okruhu	4,27 – 8,47 kW
Topný faktor (COP)	1,9 až 4,0
Kompresor	Scroll Glazier ZH
Expanzní ventil	Elektronicky řízené vstřikování
Opláštění	Nerez
Životnost Scroll kompresoru	80.000 až 100.000 motohodin

Životnost elektromotoru ventilátoru	60.000 motohodin (ložiska)
Topný výkon A7/W35	8,8 kW
Topný výkon A0/W35	6,9 kW
Doporučené tepelné ztráty objektu	9 až 11 kW
Nádrž TUV	750 l
Pořizovací cena TČ	280.000 Kč

Průměrná doba provozních hodin jen TČ za rok se při optimálním nastavení TČ a tepelných ztrát objektu pohybuje v rozmezí 3.000 až 3.500 hodin ročně. Z toho vyplývá, že průměrná životnost kompresoru je cca 20 let.

TČ Chameleon 8,3 AKU-S je složeno z několika podstatných komponent, mezi které patří: výparník, odlučovač kapalného chladiva, kompresor, kondenzátor, sběrač chladiva, filtrdehydrátor, elektromagnetický ventil, průhledítko, kulový ventil a elektronický expanzní ventil. Dále je k TČ dodán zásobník topné vody.

Venkovní část TČ – Výparník

Výparník je umístěný ve venkovní části a je vybaven patentovaným systémem na odtávání MACH VHM.

Výparník je uložen na kamení, aby docházelo k proudění teplého vzduchu ze země, čímž se zabrání možnému namrzání v okolí výparníku. To je ale v případě tohoto typu výparníku zbytečné, protože k okolnímu namrzání dochází zřídka dle zkušeností firmy. Dále je složen ze dvou ventilátorů a dvou nezávislých chladivových okruhů.



Obrázek 24: Výparník – venkovní část TČ

Nízká hladina hluku je zajištěna díky pomaluběžným ventilátorům a velkou plochou přetlakových výparníků.

Základní parametry výparníku:

- typ: přetlakový patentovaný;
- počet chladicích okruhů: 2 nezávislé;
- materiál: nerez;
- ventilátory – průměr: 630 mm.

Vnitřní část TČ

Vnitřní část systému obsahuje zbývající komponenty TČ (odlučovač kapalného chladiva, kompresor, kondenzátor, ...). Výhodou je prostorová nenáročnost vnitřní části TČ. Vnitřní část TČ obsahuje řídicí jednotku Chameleon, která umožňuje řízení a monitoring z jednoho místa pro:

- chladicí okruh;
- solární systém;
- otopný systém;

- ohřev užitkové vody;
- řízení elektronického vstřikování chladiva.

Celý systém je napojený na dispečink firmy TC MACH s.r.o., což umožňuje výhodu v identifikaci případné závady bez zásahu servisního technika na místě. Řídící jednotka monitoruje, diagnostikuje a archivuje veškeré provozní stavy systému. Díky archivům provozních hodnot bude zhodnocen celý systém. Mezi jeho další výhody patří dálkově řízený provoz přes počítač nebo mobilní telefon.

2.1.1 Chladivo R 507

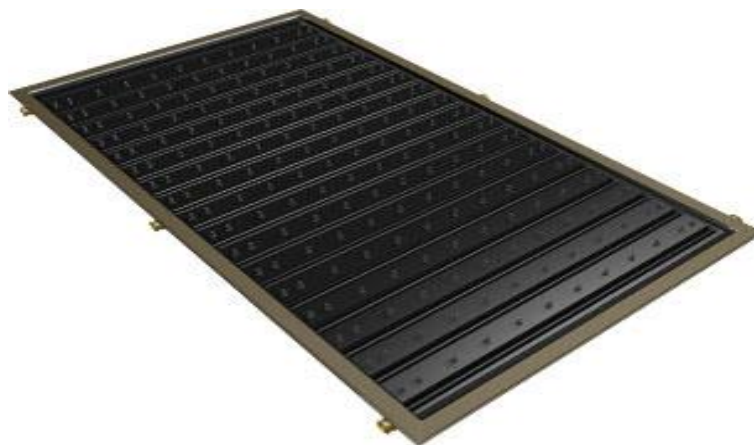
V TČ Chameleon 8,3 AKU-S je použito chladivo R 507. Jedná se o směs chladiv HFC. Konkrétněji se jedná o směs chladiv R125 (C_2HF_5) s R143a ($C_2H_3F_3$) v poměru 50 % /50 %. Chladivo R 507 má hodnotu GWP = 3985.

2.2 Popis vakuových solárních kolektorů TS 400

Celkově 7 kusů vakuových solárních kolektorů TS 400 dodala do systému firma JH Solar s.r.o., která se zabývá dovozem a montáží solárních termických systémů. Solárně termické kolektory, dodané do firmy JH Solar s.r.o. vyrábí slovenská firma THERMO/SOLAR Žiar s.r.o.

Jedná se o plochý vakuový solární kolektor, který je jako jediný průmyslově vyráběný. Je ideální pro přímé spojení s TČ. Dle uvedených informací od firmy JH Solar s.r.o. je životnost jejich instalovaných solárních systémů až 40 let.

Tento typ kolektorů je vhodný pro aplikace, kde se vyžadují teploty nad 80 °C, případně v místech, kde jsou důležité tepelné zisky především v zimním období (v tomto období je malá intenzita slunečního záření). Tepelná izolace kolektoru je zajištěna díky udržovanému vakuu v kolektoru. Uvnitř kolektoru tedy nedochází ke srážení vlhkosti (bez vnitřní kondenzace) ani při podchlazení. Díky zamezení vnitřní kondenzace v kolektoru, je možnost využívat tento typ celoročně. V případě zapojení solárního kolektoru s TČ je tento typ kolektoru nejvhodnější. Rám kolektoru je vylisován z plechu z korozi odolné slitiny hliníku s hořčíkem. Díky vakuové izolaci absorbéru je zajištěn konstantní tepelný výkon po celou dobu užívání kolektoru. Oproti srovnatelným nevakuovým plochým kolektorům je průměrný energetický zisk těchto kolektorů o 20 až 30 % vyšší. Nevýhodou tohoto typu kolektoru je ale pořizovací cena. Proto se hodí především pro celoroční využívání, jako je tomu i v tomto případě. Jako teplonosná látka je v solárním systému použita směs vody a glykolu.



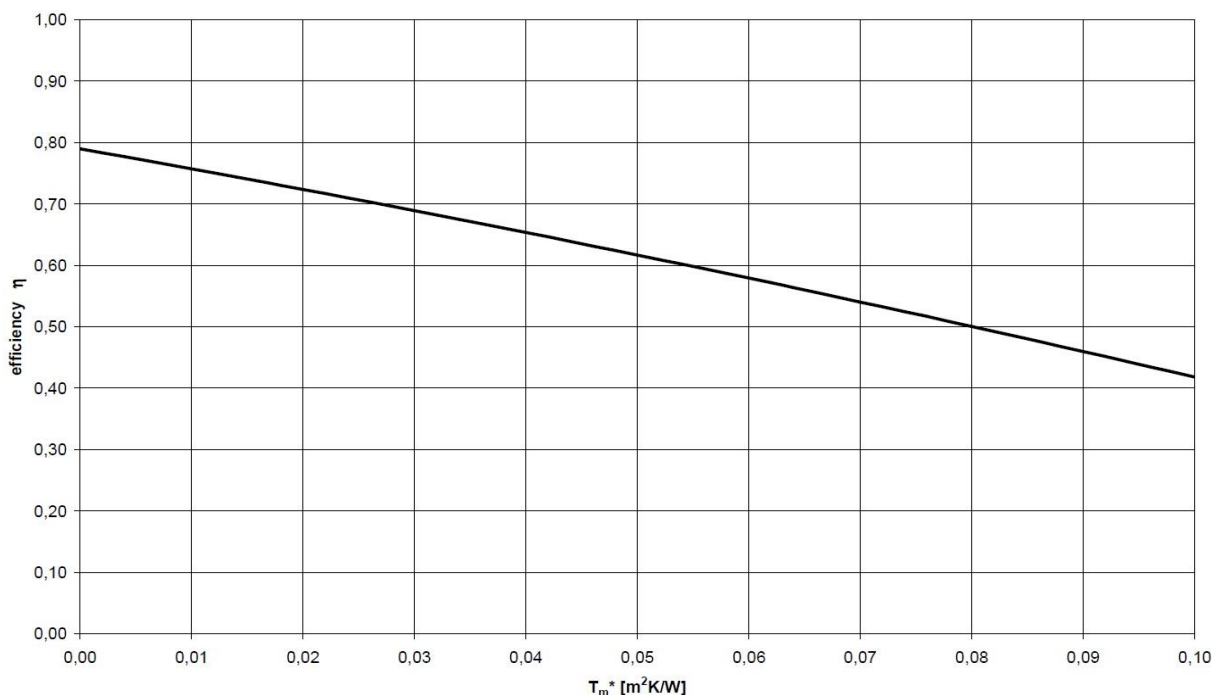
Obrázek 25: Vakuový solární kolektor TS 400 [27]

Základní technické parametry vakuových solárních kolektorů TS 400 zahrnuje následující tabulka 3:

Tabulka 3: Základní technické parametry TS 400 [28]

Výrobce	THERMO/SOLAR Žiar s.r.o.
Typ kolektoru	TS 400
Rok výroby	2014
Pracovní tlak	450 kPa
Délka	2,009 m
Šířka	1,009 m
Plocha absorbéru	1,698 m ²
Plocha apertury	1,845 m ²
Hrubá obrysová plocha	2,04 m ²
Hmotnost prázdného kolektoru	45,3 kg
Obsah kapaliny	1,57 l
Doporučený průtok teplotnosné kapaliny	30-100 l/hod na jeden kolektor
Teplotnosná látka	Směs vody a glykolu
Krycí sklo	Solární bezpečnostní, tloušťka 4 mm
Skříň kolektoru	Výlisek z nekorodujícího Al-Mg plechu
Tepelná izolace	Vakuum (100 Pa)
Selektivní vrstva	ALOX (černý)
Absorpce slunečního záření	95 %
Tepelná emisivita	13 %
Optická účinnost pro absorpční plochu	85,3 %
Optická účinnost pro plochu apertury	79 %
Energetický zisk z kolektoru	Do 1200 kWh/rok
η_0	0,7899
Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru a_1	3,2 W/m ² ·K
Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru a_2	0,0065 W/m ² ·K ²
Sklon instalovaných kolektorů	57 °
Cena 1 kolektoru	18.730 Kč
Cena instalovaného solárního systému	220.000 Kč

Z protokolu o zkoušce solárního kolektoru TS 400 lze vidět i stanovenou křivku účinnosti pro hodnotu slunečního ozáření 800 W/m^2 vztaženou na plochu apertury ($1,845 \text{ m}^2$).



Graf 3: Křivka účinnosti slunečního kolektoru TS 400 pro 800 W/m^2 vztažená na plochu apertury (redukovaný teplotní rozdíl $T_m^* = (t_m - t_a)/G$) [28]

Jak již bylo zmíněno, řešený systém obsahuje 7 kusů plochých vakuových slunečních kolektorů TS 400. Kolektory jsou k sobě spojeny paralelně.



Obrázek 26: Pohled na nainstalované solární kolektory TS 400

Podrobný technický výkres uvažovaného systému a fotodokumentace jsou uvedeny v přílohách této práce.

Z uvedených cen obou dvou hlavních komponent vyplývá, že celková cena systému je kolem 500.000 Kč. Návrh investovaných peněz do systému se tedy značně prodlužuje, oproti ostatním typům spojení TČ s jiným zdrojem energie. Pro rychlejší návratnost by tedy bylo vhodné využít dotací na instalaci systému. Výhodou tohoto systému je, že se může instalovat postupně, aby nedošlo k tak velkému finančnímu zatížení. Může se tedy nejprve pořídit TČ, později k tomu solární kolektory a potom spojit vše dohromady.

2.3 Popis funkce systému

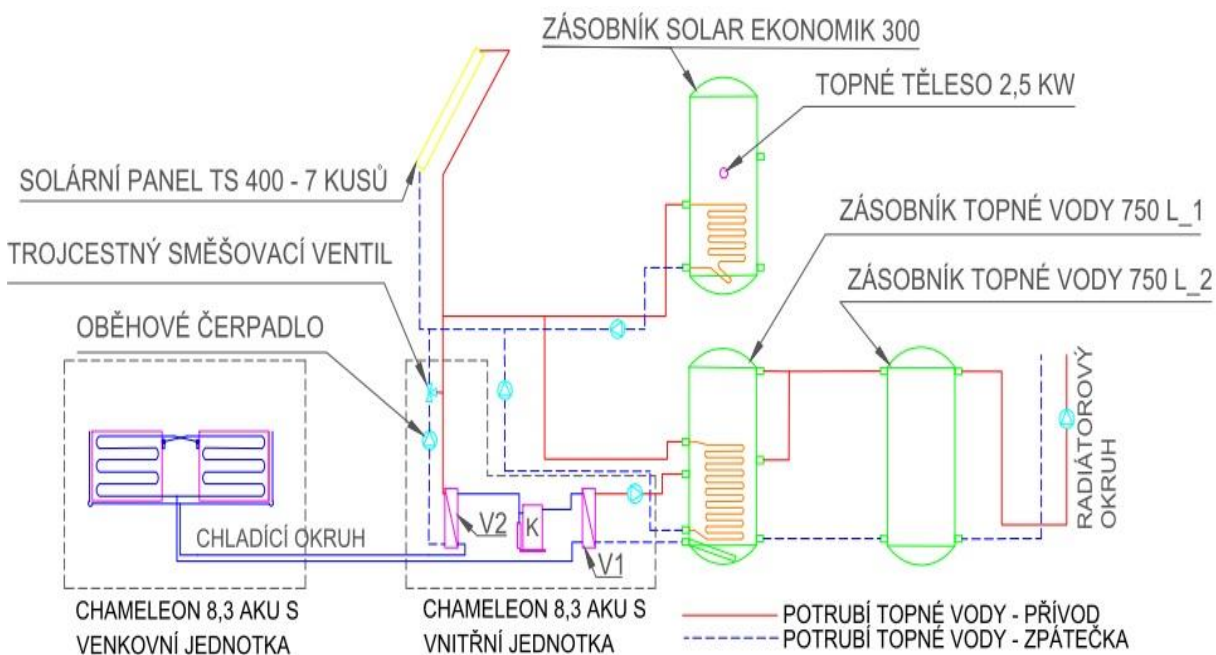
Hlavní pointou celého systému je smysluplná provázanost termických panelů, chladicího okruhu TČ a jednotlivých zásobníků systému. Celý systém je nastaven tak, že v případě dostatku sluneční energie je solární systém prioritou pro veškeré pokrývání tepelných ztrát v objektu a k ohřívání TUV. TČ slouží ke krytí tepelných ztrát objektu a spouští se právě při nedostatku slunečního záření. Další nastavení systému spočívá v časování spouštění TČ, které se spouští jen v době nízkého tarifu a hlavně přes den, kdy je možností využití potenciálu solárních kolektorů.

V případě nízké teploty chladiva v solárním okruhu je tepelný výkon solárního okruhu zužitkován v primární části okruhu TČ. V případě vyšší teploty je solární systém využíván k vytápění a ohřevu TUV.

O tom, kdy je která část systému spuštěna, rozhoduje inteligentní řídicí jednotka Chameleon, která je součástí vnitřní jednotky TČ. Chameleon řídí jak TČ, tak solární systém. Řídicí jednotka sama vyhodnocuje, co je v dané chvíli nejlepší možnost provozu. Chameleon nejprve vždy zjistí potenciál solárního systému a podle toho provede optimální přesměrování získané energie k jejímu smysluplnému využití.

Výhodou solárního systému je, že dokáže svoji energii záraz optimálně přerozdělit. To znamená, že v případě přebytku sluneční energie je schopen solární systém pokrývat zároveň ohřev TUV a ohřev topné vody v akumulační nádrži. V případě, kdy ale solární systém nestačí (při nedostatečné sluneční energii) k pokrývání tepelných ztrát objektu, tak je v provozu i TČ – buď společně se solárním systémem, nebo samostatně. Pro nahřátí TUV při nedostatku slunečního záření je možnost využít elektronické patrony umístěné v zásobníku TUV (topné těleso – výkon 2,5 kW). Vše je řízeno nastavením požadovaných teplot pro tepelnou pohodu v objektu a nastavením požadované teploty TUV.

Na následujícím obrázku 27 je zjednodušené schéma řešeného systému. Originální technické schéma zapojení systému je přiloženo v příloze 1.



Obrázek 27: Zjednodušené schéma řešeného zapojení

V následující tabulce 4 jsou vysvětleny jednotlivé zkratky použité ve schématu řešeného zapojení.

Tabulka 4: Popis zkratek ze schématu zapojení

Zkratka	Vysvětlení
K	Kompresor + odlučovač kapalného chladiva
V1	Deskový výměník – kondenzátor
V2	Deskový výměník – získávání tepla ze solárního systému

Celý systém se dělí do dvou hlavních částí, rozdělených podle zdrojů energie – na část s TČ a část se solárním systémem. Část s TČ je rozdělena na venkovní a vnitřní jednotku.

Venkovní jednotkou TČ je výparník se systémem odtávání VHM. Výparník nasává okolní vzduch, čímž ohřívá chladivo. Chladivo cirkulující v systému je chladivo R507. Chladivo je okolním vzduchem ohřáté a vystupuje z něj jako přehřátá pára.

Přehřátá pára vstupuje nejprve do deskového výměníku (V2), kde v případě potřeby získá teplo ze solárního systému. V dalším průběhu tato přehřátá pára (případně dohřátá od solárního systému) vystupuje z deskového výměníku (V2) a jde klasicky do kompresoru a dále do kondenzátoru (V1). V kondenzátoru pak předá získanou tepelnou energii do okruhu topné vody, která cirkuluje v akumulární nádrži – Zásobník topné vody 750 L₁.

Ohřev vody v solárním systému zajišťuje 7 termických kolektorů TS 400. Jako teplotonosná látka je použita nemrznoucí směs vody a glykolu, která cirkuluje v solárním okruhu.

Solární systém funguje dohromady na 3 topných větvích, které zajišťují:

- ohřev TUV v zásobníku Solar ekonomik 300;
- ohřev topné vody v Zásobníku topné vody 750 L₁;
- přehřívání par chladiva v chladicím okruhu TČ.

Přehřívání par chladiva v chladicím okruhu TČ je funkcí solárního systému, která je v této práci nejvíce hodnocena. Přehříváním par chladiva v primárním okruhu TČ se zvýší teplota par chladiva a tím i celkový topný faktor TČ.

O tom, jestli bude chladivu předána energie ze solárního systému nebo nebude, rozhoduje řídicí jednotka Chameleon. Ten buď otevře trojcestný směšovací ventil, nebo ne. Rozhodující je diference teplot u deskového výměníku (V2). Jedná se o teplotu měřenou na vstupu solárního systému do výměníku a teplotu chladiva primárního okruhu TČ na výstupu z výměníku.

Trojcestný směšovací ventil je v systému umístěn kvůli stabilizaci výkonu solárního systému při společném provozu s TČ. Kdyby tam trojcestný směšovací ventil nebyl, tak by solární systém ohříval chladicí okruh na vysoké teploty, což je nežádoucí. Jeho hlavní funkcí je tedy stabilizace teploty chladicího okruhu TČ, díky které je tato teplota konstantní a dosáhne se vždy stabilizovaného a smysluplného výkonu systému.

Systém řídicí jednotky Chameleon je nastavený pomocí vstupních hodnot měřených teplot a průtoků. Teploty jsou měřeny přibližně metr za výparníkem a metr před kompresorem u TČ. Dále jsou měřeny před a za solárními kolektory a také u deskového výměníku (V2), jak bylo zmíněno. Teploty měřené u výparníku a kompresoru jsou v těchto místech měřeny z důvodu správného nastavení vstřikovacího ventilu. Pokud by nebyl správně nastaven, mohlo by dojít ke vstříknutí velkého množství chladiva, které by se nestihlo přehřát a došlo by následně

k zalití kompresoru a jeho poškození. Teploty se měří v těchto místech proto, aby bylo zahrnuto do vyhodnocení případné dohřátí přehřátých par od solárního systému, které probíhá v deskovém výměníku (V2).

Mezi hlavní funkce směšovacího ventilu ovládaného řídicí jednotkou Chameleon patří:

- stabilizace výkonu solárního systému při jeho nejvyšším momentálním energetickém potenciálu;
- využití solárního systému k přehřívání přehřátých par chladiva z výparníku;
- správné nastavení množství vstřikovaného chladiva ze vstřikovacího ventilu do výparníku.

2.1.2 Popis zásobníků v systému

Jak lze vidět ze schématu na obrázku 27, tak celý systém obsahuje 3 zásobníky na vodu: Zásobník Solar Ekonomik 300, Zásobník topné vody 750 L_1 a Zásobník topné vody 750 L_2.

Zásobník topné vody 750 L_1 funguje jako akumulární nádrž, kde je požadovaná teplota minimálně 35 °C. Pro TČ je prioritou ohřev právě zmiňovaného Zásobníku topné vody 750 L_1. Ten je dále propojen na Zásobník topné vody L_2.

Zásobník topné vody L_2 je zásobníkem, který v objektu zbyl z předchozího otopného systému. Aby nebyl zbytečně vyřazen, tak byl vhodně využit do celého systému. Oba dva zásobníky jsou akumulárními nádržemi pro radiátorový okruh, kterým je energie předávána buď z TČ nebo ze solárních kolektorů.

Zásobník Solar ekonomik 300 je zásobník TUV. Energie je do něj předávána ze slunečního záření prostřednictvím solárních kolektorů. Požadovaná minimální teplota v tomto zásobníku je 50 °C. Tato teplota je pro TUV dostačující teplotou, protože již při teplotě 45 °C se musí voda pro sprchování míchat se studenou, aby nebyla moc horká. Pro ohřev TUV by měla být teplota cca o 5 °C vyšší než zmiňovaných 45 °C, aby se dosáhlo pokrytí požadavků. Tento zásobník je v letních měsících využíván i k ohřevu vody do sprchy u bazénu a případně dokáže i dopouštět teplou vodu do bazénu. Této kombinace se využívá hlavně přes horké letní dny, kdy je dostatek sluneční energie.

Na schématu lze také vidět, že u Zásobníku Solar ekonomik 300, je smyčka spirály s teplonosnou látkou v nejnižší oblasti zásobníku. To z důvodu většího ochlazení teplonosné látky – tudíž se předá více tepla získaného ze slunečního záření a předá se nejstudenější vodě, která je právě ve spodní části zásobníku. Obdobně je to také u Zásobníku topné vody 750 L_1, kdy se topná voda bere opět ze spodní části zásobníku.

Pro systémovou řídicí jednotku Chameleon jsou důležité nastavené teploty na termostatu, který s ním je přímo spojen. V otopném období je požadovaná teplota v objektu přes den 23 °C a v noci 21 °C.

Na první pohled je možné konstatovat, že díky tomuto spojení je docíleno velkého využití solární energie nejen k ohřevu TUV, ale i k přímému přehřívání chladiva TČ, čímž se zvyšuje nejen topný faktor TČ, ale i celkový výkon tohoto systému. Dalším plusem je možnost využít přebytek energie ze solárního systému v letních měsících k ohřevu vody v bazénu a sprchy u bazénu.

V následujících kapitolách bude dokázáno smysluplné energetické využití celého systému na základě naměřených dat, jejich analýze a zhodnocení.

3 ANALÝZA POSKYTNUTÝCH PROVOZNÍCH DAT

K analýze systému budou sloužit archivovaná naměřená data poskytnutá firmou Tepelná čerpadla MACH s.r.o. díky inteligentní řídicí jednotce Chameleon. Od prvního spuštění tohoto systému se ukládají data každé 2 minuty z každého dne provozu. Data jsou měřena v období od 19. 5. 2015 do 24. 3. 2016 (307 dní v roce). Tzn., že pro jednu měřenou veličinu je k dispozici 222.388 záznamů. Kvůli množství dat se bude jednat převážně o grafickou analýzu systému.

K analýze tohoto systému je k dispozici řada důležitých hodnotících parametrů, které obsahují množství uložených dat. Tato data budou následně podrobně zpracována na základě různých kritérií a předpokladů. Mezi hlavní hodnotící parametry systému patří topný faktor TČ a výkon solárního kolektoru. COP a výkon jsou systémem automaticky vypočítané na základě naměřených teplot a průtoků, tudíž není potřeba dopočítávat tyto důležité parametry.

K analýze systému budou sloužit provozní režimy, které nastaly během měřeného období a budou mezi sebou porovnány. Mezi provozní režimy systému patří:

- pouze solární systém;
- pouze TČ;
- TČ i solární systém.

Z poskytnutých provozních dat k analýze vyplývá, že se TČ začalo naplno využívat až v období od konce měsíce září. Je to z důvodu, že mimo topnou sezónu není potřeba zapínat TČ k ohřevu radiátorového okruhu. Dále lze z poskytnutých naměřených dat vyčíst, že TČ se používalo i nějakou dobu od konce měsíce května. To bylo ale z důvodu prvního spuštění a testování správného fungování systému. V prvních 4 měsících od spuštění byl tedy využíván pouze solární systém k ohřevu TUV.

Naměřená data ale musela být poupravena, protože by zkreslovala celkové hodnocení. Vždy, když se spustila jakákoliv část systému (TČ nebo solární kolektor) byla první naměřená hodnota (COP, výkon...) moc malá a naopak když se vypínala jakákoliv část, byly hodnoty velké. První hodnoty se takhle objevovaly z důvodu najíždění nebo vypínání jednotlivých částí systému. Např. pro COP byly mnohdy první hodnoty někdy větší než 6, proto nemohly být uvažovány k analýze a hodnocení systému – zkreslovaly by například vypočtené průměrné hodnoty výkonu solárního systému nebo COP.

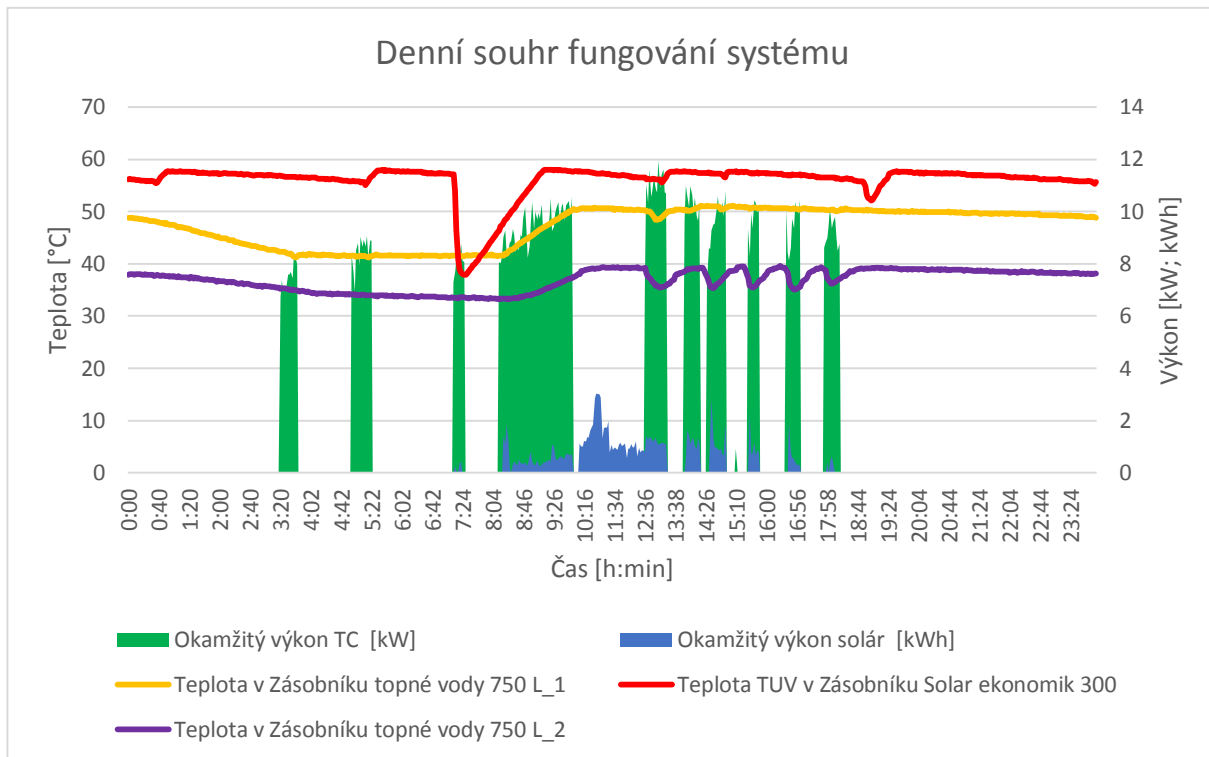
3.1 Analýza práce systému během jednoho dne

V této podkapitole budou analyzovány vybrané samostatné dny pro jednotlivá roční období – jaro, léto, podzim zimu. Jednotlivé dny byly konkrétně vybrány podle počasí, aby bylo dosaženo analýzy systému při chodu obou zdrojů energie. Výběr probíhal podle toho, aby mohly být analyzovány dny, kdy byla extrémní zima (zimní den), extrémní teplo (letní den) a oblačno (jarní a podzimní den).

3.1.1 Jarní den

Pro jarní den byla zvolena středa, 23. 3. 2016. Teplota okolního vzduchu se přes den pohybovala v rozmezí teplot 5 až 8 °C a přes noc v rozmezí -1 až 3 °C. Celý den bylo oblačno – chvílemi svítilo a chvílemi bylo zataženo občas s dešťovou přeháňkou. [29]

Následující graf 4 zobrazuje souhrn naměřených výkonů hlavních částí systému, tj. TČ a solárního systému. Dále jsou zde zobrazeny denní průběhy teplot v jednotlivých zásobnících.

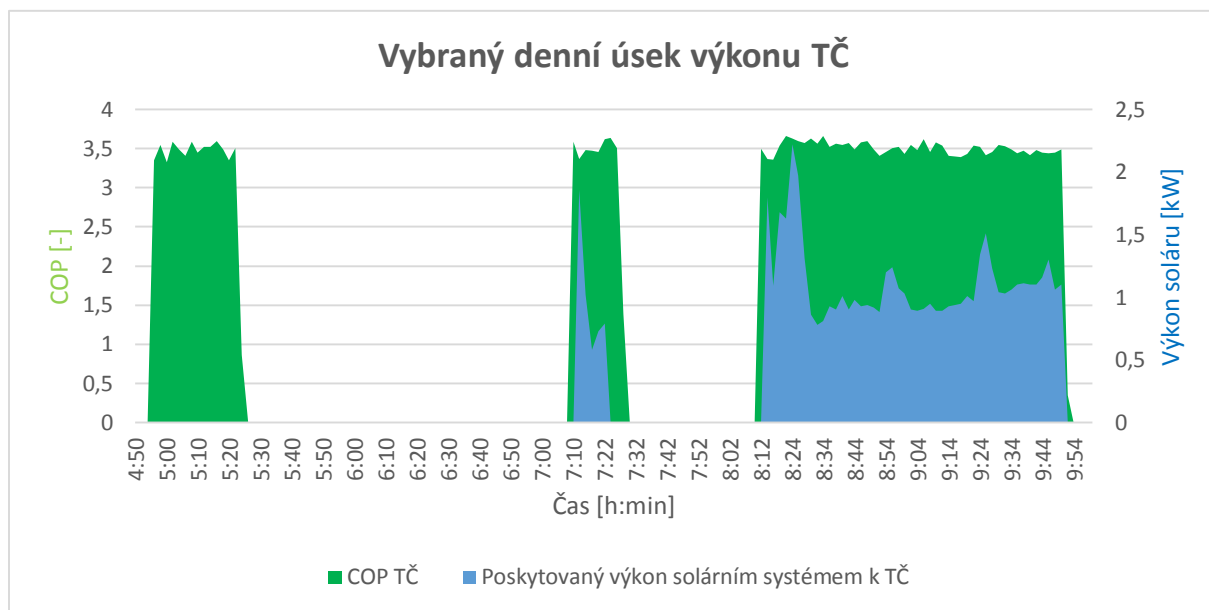


Graf 4: Denní souhrn výkonu TČ a solárního systému se zobrazenými průběhy teplot v zásobnících

Jak lze z grafu 4 vidět, tak během celého dne bylo využíváno obou hlavních zdrojů energie a dokonce nastalo během dne několik situací, kdy byl výkon TČ podporován solárním systémem. TČ se solárním kolektorem ale sloužily pouze k ohřívání nádrží na topnou vodu (radiátorový okruh). Zásobník TUV byl ohříván celý den pouze elektronickou patronou umístěnou v zásobníku. Spotřeba elektronické patrony za celý den byla přibližně 9 kWh. Solárního systému nebylo využito k ohřevu TUV z důvodu nízkého výkonu solárních kolektorů způsobené špatným počasím. Avšak vzhledem k nízkému tarifu za elektřinu (díky používání TČ) toto nepředstavuje takovou finanční zátěž.

Dále lze z grafu 4 vyčíst podle zobrazených průběhů teplot v jednotlivých zásobnících, že největší potřeba TUV byla ráno a večer. Potřeba pro pokrytí tepelných ztrát objektu se v průběhu noci snižovala (teplota v objektu nastavena na 21 °C) a v průběhu dne zvyšovala (teplota v objektu nastavena na 23 °C). Všechny teplotní ztráty byly pokryté TČ za občasné pomoci solárního systému.

Následující graf 5 zobrazuje vybraný průběh hodnoty COP TČ nejprve ze začátku dne, kdy TČ fungovalo bez pomoci solárních kolektorů a později s pomocí solárních kolektorů.



Graf 5: COP TČ bez pomoci výkonu solárního systému a s jeho pomocí

Jak lze z grafu 5 vidět, tak díky přispění energie od solárního systému dochází k malému nárůstu hodnoty COP. V uvažovaném ranním úseku zobrazeném v grafu 5 byla maximální hodnota COP bez pomoci solárního systému 3,59 a maximální hodnota COP za pomoci výkonu solárního systému byla 3,66. Z porovnání těchto maximálních hodnot vyplývá, že se jedná o patrné navýšení výkonu TČ.

Následující tabulka 5 shrnuje důležité hodnoty z celého dne.

Tabulka 5: Shrnutí naměřených hodnot z celého dne

Max. COP bez pomoci solárního systému [-]	3,6
Max. COP s pomoci solárního systému [-]	3,96
Procentuální nárůst Max. COP [%]	9,1
Min. COP bez pomoci solárního systému [-]	3,24
Min. COP s pomoci solárního systému [-]	3,35
Procentuální nárůst Min. COP [%]	3,28
Průměrná COP bez pomoci solárního systému [-]	3,41
Průměrná COP s pomoci solárního systému [-]	3,53
Procentuální nárůst průměrného COP [%]	3,40
Spotřeba elektronické patrony [kWh]	9

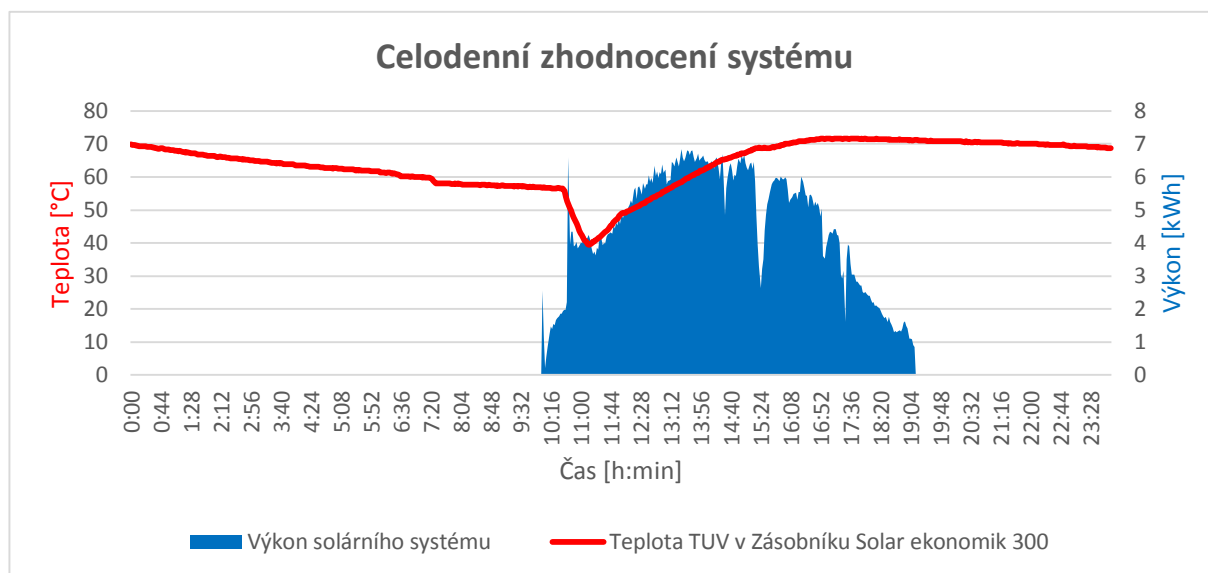
Minimální hodnoty, které se rovnaly 0, nebyly uvažovány a maximální hodnoty vymykající se průměrným hodnotám také nebyly uvažovány. Z tabulky 5 vyplývá, že k nárůstu COP u TČ, díky přispění solárních kolektorů, došlo. Průměrná hodnota COP za přispění výkonu od solárního systému byla větší, než hodnota COP bez přispění od solárního systému. To se v denním provozu projeví hlavně na době spuštění systému, čímž se prodlužuje například

životnost systému a snižují se provozní náklady. To potvrzují i vypočtená procentuální zvýšení jednotlivých COP.

3.1.2 Letní den

K hodnocení provozu systému v letním dni byl zvolen pátek 7. 8. 2015. Teplota se během dne pohybovala přes den mezi 34 až 38 °C a v noci mezi 17 až 21 °C. Celý den bylo slunečno. [29]

Jak lze vidět z grafu 6, tak po celý letní den bylo využíváno pouze solárních kolektorů k ohřevu TUV.



Graf 6: Celodenní souhrn výkonu systému

Z grafu 6 vyplývá, že solární systém byl využit k nahřátí zásobníku TUV po jeho teplotním poklesu. Teplota klesala průběžně během noci a velký pokles teploty v Zásobníku Solar Ekonomik 300 lze vidět v dopoledních hodinách. To byl impuls ke spuštění solárního systému kvůli zpětnému nahřátí zásobníku na požadovanou teplotu.

Následující tabulka 6 shrnuje důležité hodnoty z celého dne.

Tabulka 6: Shrnutí naměřených hodnot z celého dne

Max. výkon solárního systému [kWh]	6,8
Min. výkon solárního systému [kWh]	0,2
Průměrný výkon solárního systému [kWh]	4,5
Spotřeba elektronické patrony [kWh]	0
Výkon TČ [kW]	0

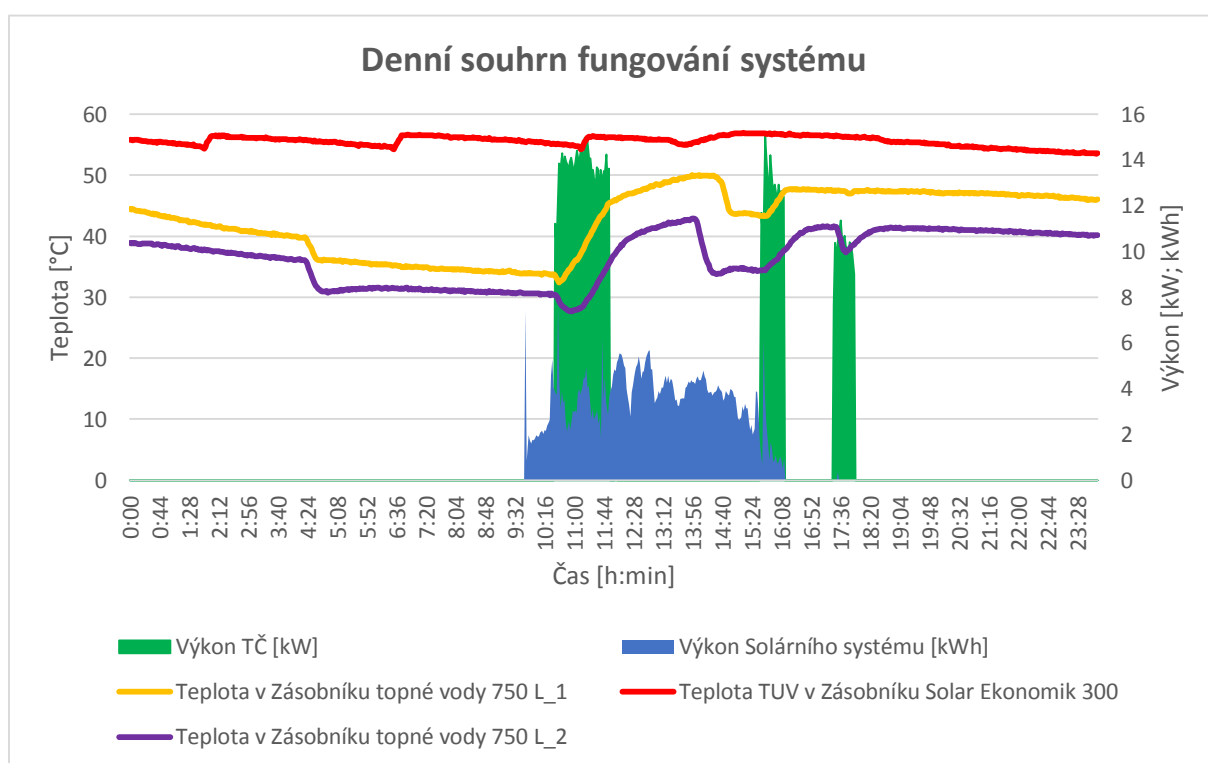
Minimální hodnoty, které se rovnaly 0, nebyly uvažovány a maximální hodnoty vymykající se průměrným hodnotám také nebyly uvažovány.

3.1.3 Podzimní den

K analýze práce systému v období podzimu byla vybrána neděle 8. 11. 2015. Teplota se v tento den pohybovala přes den mezi 15 až 19 °C a přes noc mezi 5 až 9 °C. Celý den bylo oblačno, chvílemi byla přes den jasná obloha.

Z naměřených dat pro tento den vyplývá, že teplota TUV přes den i noc moc neklesala a tudíž jí bylo potřeba udržet pouze na potřebné teplotě. Během celého dne teplota v zásobníku TUV klesla pouze o hodnotu přibližně 5 °C. Tento pokles automaticky vyrovnala elektronická patrona v zásobníku, která za celý den spotřebovala během nízkého tarifu, 3 kWh.

Následující graf 7 zobrazuje denní průběh teplot v jednotlivých zásobnících, ze kterých vyplývá předchozí tvrzení. Dále jsou zde zobrazeny průběhy výkonu TČ a solárního systému.



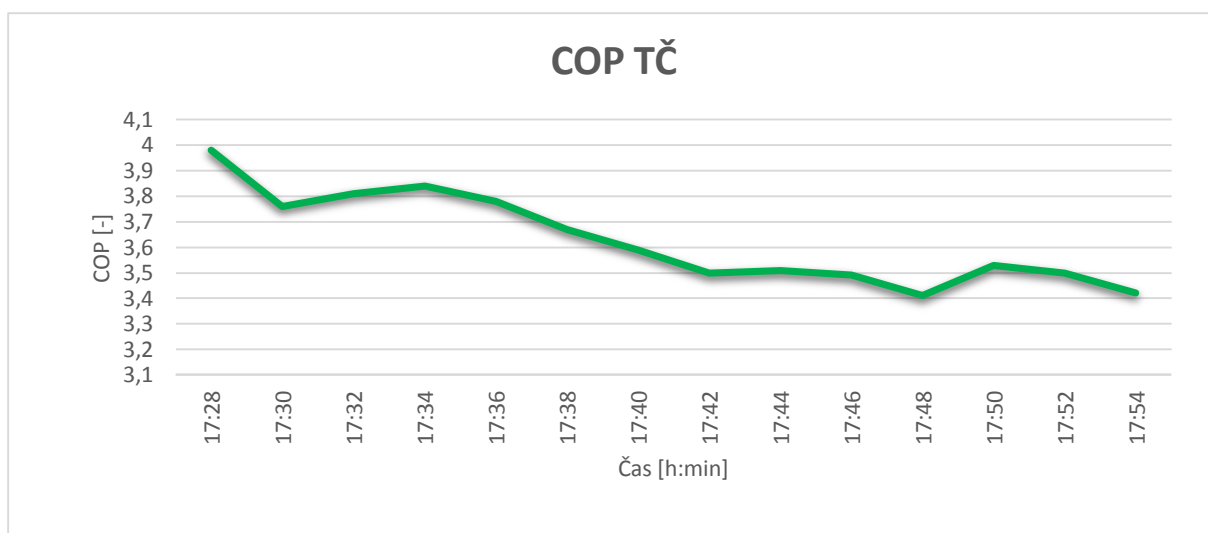
Graf 7: Celodenní souhrn výkonu hlavních zdrojů energie systému a průběh teplot v jednotlivých zásobnících

Z grafu 7 tedy vyplývá, že TČ i solární systém v tento den pouze ohřívaly topnou vodu radiátorového okruhu. Teplota topné vody v průběhu noci klesala daleko méně, než přes den. To proto, že přes noc byla nastavena nižší teplota v objektu (21 °C) než přes den (23 °C). V dopoledních hodinách bylo potřeba rychle ohřát topnou vodu na vyšší teplotu. O tento proces se postaralo TČ za pomoci solárního systému.

Dále z grafu 7 vyplývá, že v úseku kolem poledne bylo počasí příznivé pro využívání pouze solárního systému, který ohříval topnou vodu. Ve večerních hodinách se přidalo TČ za podpory solárního systému a později už ohřívalo topnou vodu pouze TČ.

Díky situacím, které během toho dne nastaly, je možné analyzovat funkci TČ bez přispění solárního systému a s přispěním solárního systému. Porovnání COP TČ je zobrazeno na následujících 2 grafech - graf 8 a graf 9.

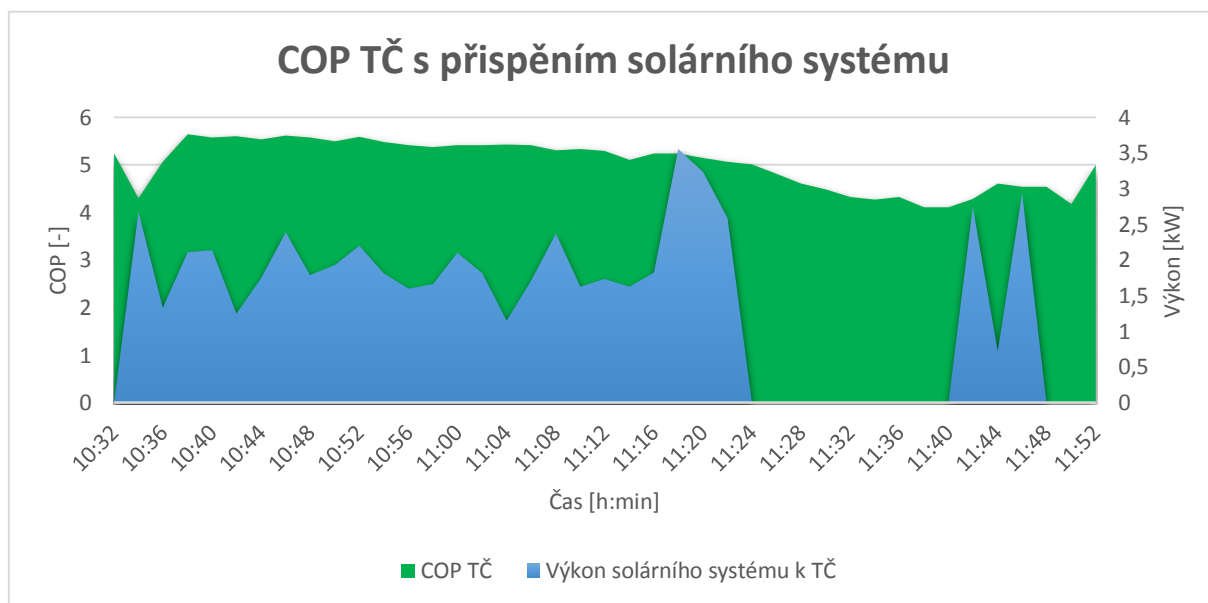
Na následujícím grafu 8 je zobrazen průběh COP TČ bez přispění výkonu od solárního systému.



Graf 8: Průběh COP TČ bez podpory solárního systému

Z grafu 8 vyplývá, že maximální hodnota COP byla přibližně 4,00. Hodnota COP se pohybovala převážně okolo hodnoty 3,5.

Následující graf 9 zobrazuje průběh hodnoty COP a průběh přispívajícího výkonu solárního systému k TČ.



Graf 9: COP TČ s podporou výkonu od solárního systému

Jak lze na první pohled z grafu 10 vidět, hodnoty COP dosahují, díky přispění výkonu solárního systému, daleko vyšších hodnot, než v předchozím případě v grafu 9. Maximální hodnota COP v tomto případě je 5,64. V tomto dni je rozdíl COP velmi patrný.

Následující tabulka 7 zobrazuje důležité hodnoty, které hodnotí celý den provozu systému.

Tabulka 7: Shrnutí naměřených hodnot z celého dne

Max. COP bez pomoci solárního systému [-]	3,98
Max. COP s pomoci solárního systému [-]	5,64

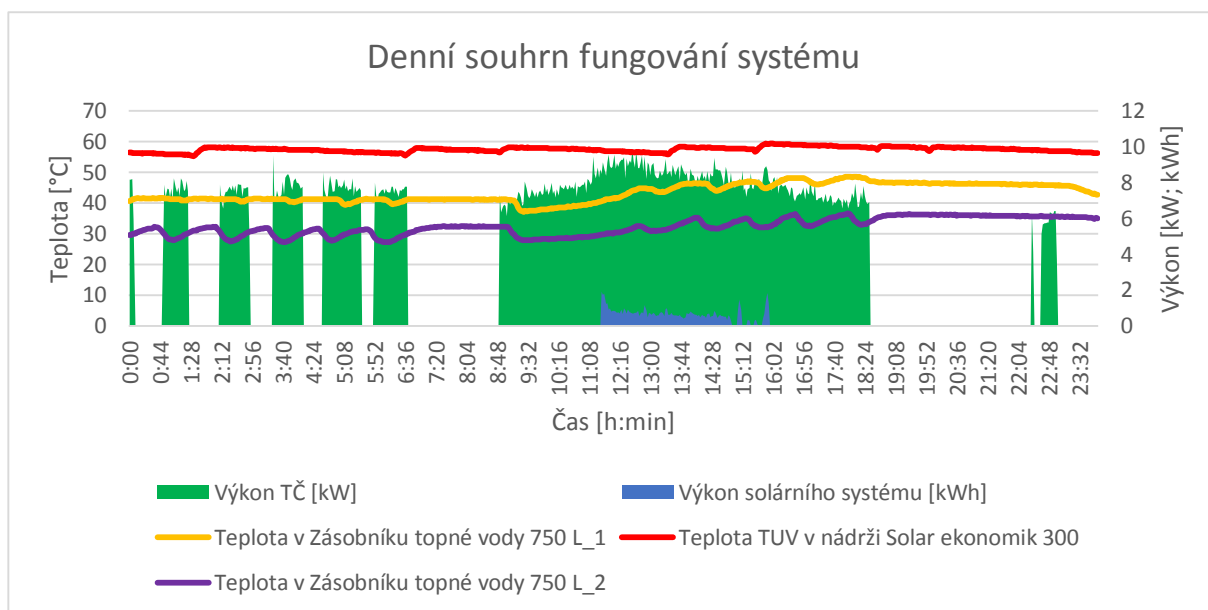
Procentuální nárůst Max. COP [%]	29,43
Min. COP bez pomoci solárního systému [-]	3,41
Min. COP s pomocí solárního systému [-]	3,86
Procentuální nárůst Min. COP [%]	11,65
Průměrná hodnota COP bez pomoci solárního systému [-]	3,63
Průměrná hodnota COP s pomocí solárního systému [-]	4,76
Procentuální nárůst průměrného COP [%]	23,74
Spotřeba elektronické patry [kWh]	3

Minimální hodnoty, které se rovnaly 0, nebyly uvažovány a maximální hodnoty vymykající se průměrným hodnotám také nebyly uvažovány. Jak lze vidět z tabulky 7, tak rozdíl mezi COP v obou uvažovaných případech je značný daleko více, než u předchozích hodnocených dnů.

3.1.4 Zimní den

K zhodnocení typického zimního dne byl zvolen pátek, 22. 1. 2016, kdy se teplota pohybovala přes den mezi -3 až -7 °C a v noci mezi -10 až -14 °C. Celý den bylo oblačno. Podle rozmezí teplot byl tento den typickým pro zimu, tudíž se prověřila i funkčnost TČ při nízkých teplotách (patentovaný systém TČ VHM). [29]

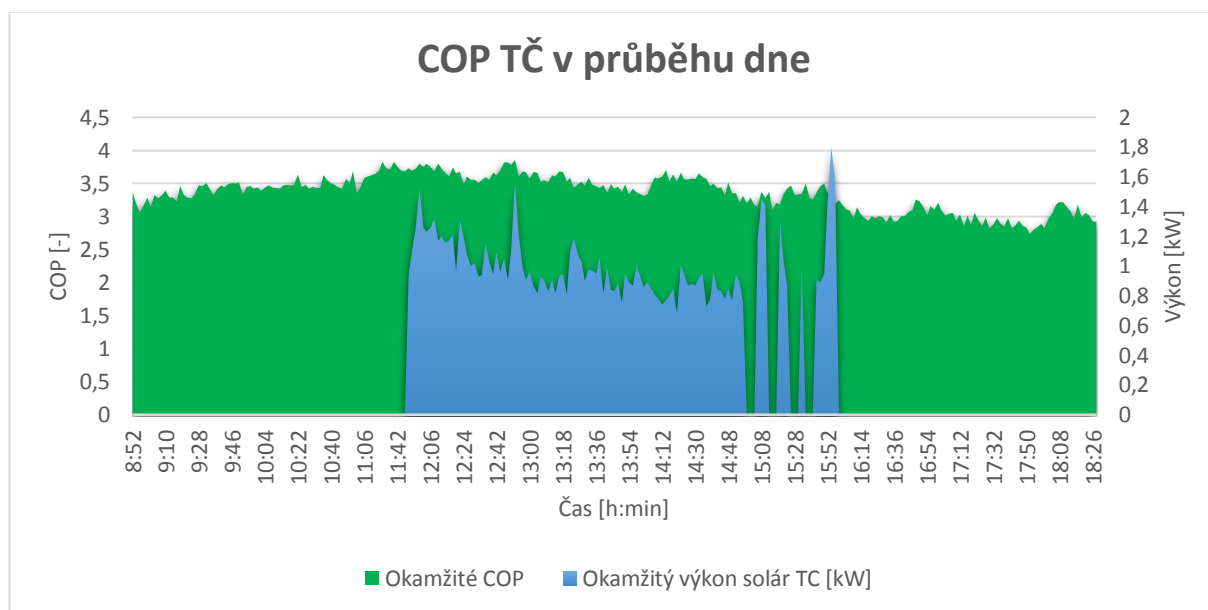
Z grafu 10 lze vidět celodenní souhrn fungování systému během typického zimního dne.



Graf 10: Denní souhrn fungování systému

Jak lze vidět z grafu 10, tak TČ fungovalo skoro po celý den, protože bylo potřeba ohřívat topnou vodu do radiátorového okruhu. Každý pokles teploty topné vody byl automaticky impulsem k zapnutí TČ. Během dne ale bylo potřeba ohřívat i TUV. Pro nedostatek slunečního záření, které bylo využito jen pro podporu funkce TČ, bylo využito elektronické patry, která dohřála TUV na požadovanou teplotu. Spotřeba elektronické patry za celý den byla 8 kWh.

Z grafu 11 je vidět grafický průběh hodnoty COP TČ.



Graf 11: COP TČ v průběhu dne

Z grafu 11 vyplývá, že se hodnota COP opět zvyšuje díky podpoře solárního systému. Dále lze vidět, že i přes nízké teploty během dne pracovalo TČ spolehlivě a to i díky systému odtávání VHM, které toto TČ obsahuje.

Následující tabulka 8 shrnuje naměřená důležitá data z celého dne.

Tabulka 8: Shrnutí naměřených hodnot z celého dne

Max. COP bez pomoci solárního systému [-]	3,82
Max. COP s pomocí solárního systému [-]	3,86
Procentuální nárůst Max. COP [%]	1,04
Min. COP bez pomoci solárního systému [-]	2,73
Min. COP s pomocí solárního systému [-]	3,15
Procentuální nárůst Min. COP [%]	13,34
Průměrná hodnota COP bez pomoci solárního systému [-]	3,24
Průměrná hodnota COP s pomocí solárního systému [-]	3,53
Procentuální nárůst průměrného COP [%]	8,22
Spotřeba elektronické patrony [kWh]	8

Minimální hodnoty, které se rovnaly 0, nebyly uvažovány a maximální hodnoty vymykající se průměrným hodnotám také nebyly uvažovány. Jak lze vidět z tabulky 8, tak nárůst COP je opět patrný. I přesto, že byla venkovní teplota celý den pod 0 °C, tak dokázalo TČ udržet stabilní výkon a dokonce byl i navýšen, díky příspěvku od solárního systému.

3.2 Analýza práce systému během topné sezóny 2015/2016

Topná sezóna začíná podle zákona tehdy, jestliže ve dvou po sobě jdoucích dnech klesne teplota pod 13 °C a jestliže nelze podle předpovědi očekávat následující den teplotu vyšší. Topná sezóna 2015/2016 začala na Českobudějovicku dne 9. 9. 2015. Naměřená data pokrývají skoro celou topnou sezónu – 198 dní.

V následující tabulce 9 jsou uvedeny důležité parametry, které analyzují funkci systému během otopné sezóny.

Tabulka 9: Analýza naměřených dat z otopné sezóny

Měsíc	Spotřeba el. patrony [kWh]	Spotřeba TČ [kWh]	Výkon TČ [kW]	Průměrné COP [-]	Výkon solárního systému [kWh]	Celková spotřeba elektřiny [kWh]	Průměrné teploty [°C]
Září	55	27	105	3,96	423	82	16,2
Říjen	170	304	1049	3,72	277	474	9,8
Listopad	192	385	1364	3,89	244	577	5,9
Prosinec	217	497	1738	3,73	261	714	2,4
Leden	232	823	2593	3,41	200	1055	-1,9
Únor	213	604	1958	3,45	240	817	4,6
Březen	174	486	1597	3,57	274	660	5,3
Celkově	1253	3126	10404	3,67	1919	4379	6,0

Z tabulky 9 vyplývá, že největší spotřeba elektrické energie systému byla v lednu (ohraňován červeně), kdy průměrná teplota okolního vzduchu byla pod bodem mrazu. Navíc v tomto období nebylo dostatek slunečního svitu, protože výkon solárního systému byl nejnižší z celé otopné sezóny. Elektrické dohřívání TUV pomocí elektrické patrony bylo nejčastější také v měsíci lednu, což plyne právě z nedostatku slunečního záření.

3.3 Analýza práce systému mimo topnou sezónu

Díky poskytnutým datům bude následně analyzována práce systému mimo topnou sezónu. K analýze jsou k dispozici data z části měsíce května a z období červen až srpen.

V následující tabulce 10 jsou uvedeny důležité parametry, které analyzují funkci systému během otopné sezóny.

Tabulka 10: Analýza naměřených dat mimo topnou sezónu

Měsíc	Spotřeba el. patrony [kWh]	Spotřeba TČ [kWh]	Výkon TČ [kW]	Výkon solárního systému [kWh]	Celková spotřeba elektřiny [kWh]	Průměrné teploty [°C]
Květen	125	72	285	175	197	15,2
Červen	198	16	65	755	214	20,0
Červenec	36	0	0	871	36	23,7
Srpen	22	0	0	874	22	24,0
Celkově	381	88	350	2675	469	20,7

Z tabulky 10 vyplývá, že TČ se v nejteplejších letních měsících vůbec nevyužívalo, protože nebylo potřeba vytápnout objekt. Nejvíce se tedy využívalo solárního systému pro ohřev TUV a v případě nedostatku slunečního záření vypomohla elektronická patrona. Dále byl solární systém využíván k ohřevu vody v bazénu a sprchy u bazénu. Největších výkonů dosahoval systém díky solárním kolektorům v měsíci Srpen (ohraňčen červeně).

4 REÁLNÉ OTESTOVÁNÍ VARIANT PROVOZU SYSTÉMU

K modelové ukázce fungování systému byly otestovány následující 2 varianty provozu:

- provoz TČ bez pomoci solárního systému;
- provoz TČ s pomocí solárního systému.

Obě varianty provozu systému běžně nastávají během dne, jak lze vidět z předchozích analýz systému. Testování proběhlo dne 22. 3. 2016 v sídle firmy JH Solar s.r.o., jejíž součástí je i rodinný dům s řešeným systémem. Měření proběhly celkově dvě – pro každou variantu jedno měření. V době měření bylo zataženo a teplota okolního vzduchu byla 6 °C.

4.1 První měření

První měření proběhlo v intervalu od 15:10 do 15:20. Protože bylo dostatek slunečního záření k podpoře výkonu TČ, tak systém vyhodnotil, že je vhodné podpořit výkon TČ. Naopak nebylo dostatek výkonu solárního systému k ohřevu TUV. Díky inteligentní jednotce Chameleon byly zaznamenány následující důležité hodnoty, které jsou zobrazené v následující tabulce 11.

Tabulka 11: Naměřené hodnoty z prvního měření

<i>Čas</i>	<i>Výkon TČ</i>	<i>Spotřeba TČ</i>	<i>COP</i>	<i>Teplota sání kompresoru</i>	<i>Výkon solárního systému do TČ</i>
<i>[h:min]</i>	<i>[kW]</i>	<i>[kW]</i>	<i>[-]</i>	<i>[°C]</i>	<i>[kW]</i>
15:10	10,75	2,67	3,72	21,58	1,6
15:12	10,81	2,77	3,63	22,7	1,37
15:14	10,15	2,81	3,64	22,18	1,25
15:16	10,3	2,81	3,61	21,8	1,17
15:18	10,59	2,81	3,59	21,03	1,1
15:20	9,99	2,81	3,58	20,39	1,06

Z tabulky 11 plyne, že i když v danou chvíli bylo zataženo, tak přece jen výkon solárního systému podporoval výkon TČ a zvyšoval mu tím jeho COP.

4.2 Druhé měření

Druhé měření proběhlo v časovém intervalu od 15:22 do 15:34. V tomto případě byl solární systém manuálně vypnutý a měření se soustředilo na výkon TČ. Hodnoty zaznamenané v tomto měření jsou zobrazené v následující tabulce 12.

Tabulka 12: Naměřené hodnoty z druhého měření

<i>Čas</i>	<i>Výkon TČ</i>	<i>Spotřeba TČ</i>	<i>COP</i>	<i>Teplota sání kompresoru</i>	<i>Výkon solárního systému do TČ</i>
<i>[h:min]</i>	<i>[kW]</i>	<i>[kW]</i>	<i>[-]</i>	<i>[°C]</i>	<i>[kW]</i>
15:22	9,61	2,74	3,34	18,68	0
15:24	9,99	2,77	3,4	13,06	0

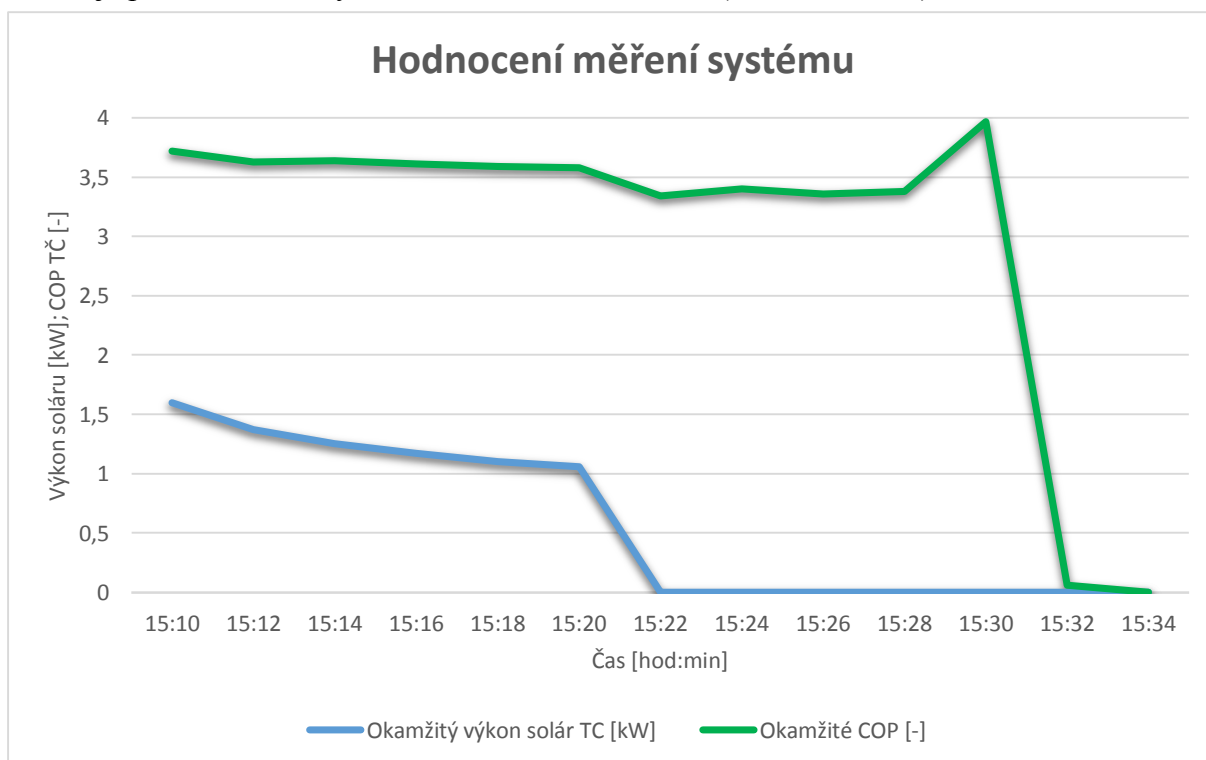
15:26	9,18	2,81	3,36	9,73	0
15:28	9,66	2,84	3,38	8,11	0
15:30	10,31	0,74	3,97	7,21	0
15:32	0	0	0,06	16,95	0
15:34	0	0	0	24,52	0

Z tabulky 12 vyplývá, že výkon solárního systému podporující TČ byl po celou dobu manuálně vypnutý – byl tedy roven 0. Dále lze vidět, že hodnota COP ihned v následujícím měření po manuálním vypnutí klesla přibližně o tři desetiny. Ke konci měření se TČ vypnulo. Lze vidět i vymykající se hodnotu COP = 3,97. Takové hodnoty, jak již bylo zmíněno, se často objevují při spouštění nebo vypnutí TČ, což je způsobeno daným stavem TČ – ihned po spuštění nebo těsně před vypnutím.

Při venkovní teplotě 6 °C jsou teploty na sání kompresoru ze začátku nezvykle vyšší, než by se dalo očekávat (vyšších teplot se dosahuje jen při přehřívání par chladiva solárním systémem). To je způsobeno měřením těchto hodnot hned po vypnutí solárního systému – část energie solárního systému se v deskovém výměníku stále předávala. Postupně ale teplota sání kompresoru klesala.

4.3 Hodnocení obou měření

Hodnocení obou variant provozu na základě předchozích měření lze nejlépe vidět na následujícím grafu 12. V levé části je po čas 15:20 zobrazen průběh naměřených hodnot z prvního měření (TČ s přehříváním par chladiva od solárního systému) a následně na to navazuje průběh naměřených hodnot z druhého měření (TČ samostatně).



Graf 12: Hodnocení obou předchozích variant provozu systému

V grafu 12 lze vidět, že průběh COP se pohyboval nad hodnotou $COP = 3,5$. Ve chvíli, kdy byl manuálně vypnut solární systém (15:22), lze vidět jasný pokles hodnoty COP, která klesla přibližně na $COP = 3,3$.

To znamená, že díky přehřívání par chladiva TČ od solárního systému, se dosahuje vyšších hodnot COP, než při samotném provozu TČ. Navíc by se při takovém počasí solární systém vůbec nevyužil k ohřevu, protože by solární systém nedosáhl potřebného výkonu a teploty vystupujícího média by byly nízké.

Dále lze v grafu 12 vidět nezvykle vysokou hodnotu COP těsně před vypnutím TČ. ($COP = 3,97$). Tato hodnota se vymyká průměrným hodnotám COP v daném úseku měření a je způsobena náhlým výkyvem teplot chladiva těsně před vypnutím TČ.

Tabulka 13: Zhodnocení obou měření – průměrné hodnoty

	<i>První měření (TČ + solární kolektor)</i>	<i>Druhé měření (TČ)</i>
<i>Průměrné COP [-]</i>	3,63	3,37
<i>Průměrný výkon TČ [kW]</i>	10,43	9,61
<i>Průměrná teplota sání kompresoru [°C]</i>	21,61	12,39

Z tabulky 13 lze vidět rozdíly mezi oběma variantami provozu systému. COP TČ s přehříváním par chladiva se zvedlo o přibližně 12 % a nárůst teploty na sání kompresoru je daleko větší. Díky vyšší teplotě chladiva na sání kompresoru je možné dosahovat vyšších hodnot COP.

5 CELKOVÉ HODNOCENÍ SYSTÉMU

Z dlouhodobého pozorování provozu systému lze tvrdit, že tento systém zapojení dodává daleko více energie při nepříznivých podmínkách počasí, než ostatní, např. solární systémy sloužící jen pro ohřev TUV nebo akumulční nádrže pro topnou vodu.

Během pozorování provozu systému bylo zjištěno, že při zatažené obloze a průměrné teplotě okolního vzduchu v rozmezí 3 až 7 °C přes den, solární systém funguje a dodává teplo do systému alespoň prostřednictvím přehřívání par chladiva TČ. To znamená, že ve srovnání s ostatními zmiňovanými solárními systémy, tento systém zapojení funguje i při nepříznivém počasí a dodává energii do systému. Ostatní solární systémy by totiž při těchto podmínkách nedodávaly žádnou energii. Tento systém má tedy velký potenciál využití i při nepříznivých podmínkách počasí.

Na základě předchozích analýz a měření je tedy jasné, že díky spojení solárního okruhu s chladícím okruhem TČ se zvyšuje COP TČ a využívá se potenciál solárního systému i při nepříznivých podmínkách počasí. Dále je ale nutné zhodnotit i ekonomickou část tohoto systému.

Z finančního hlediska se jedná o investici 500.000,- Kč. Tuto počáteční investici je možné rozdělit na dvě části. Nejprve je možné si pořídit TČ a později dokoupit i solární systém. TČ totiž dokáže ohřívat TUV i akumulční nádrže pro topnou vodu (momentálně je ale nastavené pouze na ohřev akumulčních nádrží).

Další výhodou je, že při pořízení TČ má uživatel nárok na tzv. nízký tarif elektřiny. V případě tohoto systému je využíván tarif D45-d společnosti E-ON. Tento tarif je zachován z předchozího zapojení. Pro TČ se momentálně využívá tarif D56-d. Doba nízké tarifu v posuzovaném případě je z celého dne 20 hodin a zbývající 4 hodiny jsou v tarifu vysokém. Ceny za elektřinu jsou vidět v následující tabulka 14.

Tabulka 14: Ceny elektřiny při tarifu D45-d [30]

<i>Nízký tarif (20 hodin)</i>	<i>Vysoký tarif (4 hodiny)</i>
2,20 Kč/kWh	2,65 Kč/kWh

Pro zhodnocení systému je nutné uvést, kolik bylo investováno Kč v celém měřeném období a také v jednotlivých obdobích. Toto hodnocení lze vidět v následující tabulka 15.

Tabulka 15: Ekonomické zhodnocení provozu systému

	<i>Celé hodnocené období</i>	<i>Otopná sezóna</i>
Celková spotřeba elektřiny [kWh]	4863	4379
Spotřeba [Kč]	10.7	9.6

V ekonomickém zhodnocení bylo uvažováno pouze využívání v nízkém tarifu elektřiny. Celkový provoz systému je nastaven tak, aby TČ bylo v provozu hlavně přes den, kdy je možnost využít podpory solárního systému a aby systém byl v provozu právě během nízkého tarifu.

Z ekonomického hlediska je nízký tarif elektřiny výhodný také díky ušetření při provozu jiných elektrických zařízeních v domácnosti. Celkově se tak sníží náklady nejen na vytápění, ale i na celkovou spotřebu elektřiny v domácnosti.

Provoz systému je šetrný i k celkové životnosti hlavních komponent systému. Protože systém je schopen efektivně pokrývat tepelné ztráty objektu s vysokou účinností, tak je i celkové časové využití systému menší, než při provozu např. jen TČ. To znamená, že například kompresor TČ, který má nejkratší životnost na základě daných provozních motohodin, se nespouští tak často.

V celkovém časovém srovnání je tedy doba provozu systému kratší než u jiných systémů a tudíž musí být i delší životnost a také se dosáhne rychlejší návratnosti investice. Té se sice dosáhne kvůli počáteční investici později, než u jiných typů vytápění, ale za to má systém delší životnost. Rychlejší návratnosti je možné dosáhnout díky dotacím ze strany státu, což je v této době stále dostupnější a snadnější.

ZÁVĚR

Tato diplomová práce dokazuje a hodnotí efektivitu nového typu zapojení TČ s termickými kolektory, díky kterému dochází ke zvyšování účinnosti chladicího okruhu TČ. Návrh tohoto systému vznikl díky dlouhodobé spolupráci firmy Tepelná čerpadla Mach s.r.o. a JH SOLAR s.r.o.

První část práce je teoreticky zaměřená jednotlivě na každou z hlavních částí tohoto systému. Má uvést čtenáře do dané problematiky, představit a popsat obecné principy fungování TČ a solárního systému. Jsou popsány základy obou hlavních částí celého systému.

Ve druhé části práce je podrobně zpracován popis uvažovaného systému a jsou zde uvedeny jeho technické parametry. Nejprve je podrobně popsáno fungování celého systému na vytvořeném schématu zapojení. Schéma zapojení popisované v této části je zjednodušené, oproti skutečnému schématu. To proto, aby bylo možné ho lépe popsat a pochopit. Originální technické schéma zapojení je přiloženo v příloze 1. Přílohy dále obsahují fotodokumentaci systému.

Ve třetí části práce jsou podrobně analyzována poskytnutá provozní data. Analýza provozních dat byla kvůli velkému množství dat provedena na vybraných dnech z naměřeného období, které dobře charakterizují provoz systému.

Čtvrtá část práce se věnuje reálnému otestování různých variant regulace systému a hodnotí jejich dopad. Pro tento test byly vybrány dvě varianty provozu – provoz TČ společně se solárním kolektorem a provoz TČ samostatně. Díky naměřeným hodnotám je v této části zhodnocen dopad regulace systému (manuální vypnutí solárního systému). Z naměřených hodnot jasně vyplynulo, že při vypnutém solárním systému je výkon TČ menší, než při zapnutém solárním systému, který přihřívá chladivo v primárním okruhu TČ. Přihřátí těchto par nastalo i v případě, kdy nebylo dostatek slunečního záření k ohřevu TUV nebo akumulární nádrže přímo ze solárního systému. Tudíž byl využit potenciál solárního systému ke zvýšení účinnosti TČ.

Poslední část práce hodnotí a dokazuje předpoklady stanovené v průběhu celé práce, že díky tomuto efektivnímu zapojení solárního systému do chladicího okruhu TČ je možné zvýšit účinnost TČ až o několik procent. Dále bylo dokázáno, že solární systém může díky spojení s TČ může být využíván i za nepříznivého počasí. Díky tomu TČ dokáže pracovat při těchto nepříznivých podmínkách s vyšší účinností, než bez jeho pomoci. Velkou zásluhu na tom má i patentovaný systém na odtávání VHM.

Systém funguje efektivně během celého roku. V letních měsících je využíváno jen solárních kolektorů, zatímco v otopné sezóně se využívá kombinovaně obou dvou zdrojů energie. Další výhodou systému je efektivní využití přebytku sluneční energie, která se využívá v letních měsících pro sprchu u bazénu nebo k ohřívání bazénu.

Všech těchto výhod se dosahuje díky systému odtávání VHM u TČ, díky kterému je možné využívat TČ i při velmi nízkých teplotách. Při nízkých teplotách je díky tomuto systému zajištěno 100% krytí výkonu TČ (dva nezávislé chladivové okruhy).

Vysoké efektivity spojení TČ se solárními kolektory je možné dosáhnout jen při použití vakuových solárních kolektorů. Protože u těchto typů kolektorů nevzniká vnitřní kondenzace při nízké teplotě. Díky tomu je možné tento typ kolektorů využívat během celého roku společně s TČ.

Další výhodou je vnitřní část TČ, která obsahuje inteligentní řídicí jednotku Chameleon. Tato jednotka je nazývána jednotkou inteligentní díky jejímu velkému rozsahu funkcí a její

další možné programovatelnosti. Dokáže řídit z jednoho místa TČ a solární systém, nastaví požadované teploty a udržuje tepelnou pohodu v objektu dle předem stanovených požadavků. Díky inteligentní jednotce, která rozpozná co je pro danou chvíli nejvhodnější využít, se snižují nejen provozní náklady na vytápění, ale i celková životnost systému. Další její výhodou je připojení na online servis, díky kterému dokáže servis snadno rozpoznat případnou závadu a dokáže provádět kontrolu nad systémem kdykoliv a kdekoliv.

Každá domácnost, která uvažuje o pořízení nového systému vytápění, se rozhoduje převážně podle pořizovací ceny, ekologii provozu, životnosti, návratnosti investice a nabízeném komfortu. Málo která domácnost si ale rozmyslí i celkovou kvalitu systému. Někdy je vhodné investovat raději více, než méně, protože za několik let opět kupovat nový systém vytápění se opravdu nevyplatí. Při nižší investici je daleko větší pravděpodobnost koupě nekvalitního a poruchového zařízení. Při vyšší investici je kvalita zaručena nejen cenou, ale i další řadou výhod – komfort, vyšší životnost, kvalitnější servis a při koupi systému od referencemi prověřeného kvalitního dodavatele, je zajištěna i celková spolehlivost systému spojená se spokojeností zákazníka.

V případě spojení TČ se solárním systémem, jak je hodnoceno v této práci, dostáváme nový směr využívání spolupráce těchto dvou hlavních zdrojů energie. Tento systém zapojení je budoucností ve společném využívání TČ se solárními kolektory. Využívá nové možnosti kombinace tohoto zapojení a efektivně využívá velký potenciál spolupráce obou zdrojů energie.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] GAS KOMPLET S.R.O. Topení pohledem ekonoma – topíme tepelným čerpadlem (IV. díl). *TZB-info* [online]. 2013 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9803-topeni-pohledem-ekonoma-topime-tepelnym-cerpadlem-iv-dil>
- [2] ŽERAVÍK, Antonín. *Stavíme tepelné čerpadlo*. Přerov: Vydáno vlastním nákladem, 2003.
- [3] POSPÍŠIL, Jiří. *Tepelná Čerpadla I - strojní zařízení*. Brno: Energetický Ústav, odbor energetického inženýrství, 2009.
- [4] SRDEČNÝ, Karel a Jan TRUXA. *Teplená čerpadla*. Brno: ERA GROUP s.r.o., 2005.
- [5] TC MACH. Princip tepelného čerpadla vzduch/voda. *TC Mach* [online]. b.r. [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz/tepelna-cerpadla-pro-rodinne-domy/tepelna-cerpadla-vzduch-voda.php>
- [6] TC MACH. Princip tepelného čerpadla voda/voda. *TC Mach* [online]. b.r. [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz/tepelna-cerpadla-pro-rodinne-domy/tepelna-cerpadla-voda-voda.php>
- [7] TC MACH. Princip tepelného čerpadla země/voda. *TC Mach* [online]. b.r. [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz/tepelna-cerpadla-pro-rodinne-domy/tepelna-cerpadla-zeme-voda.php>
- [8] ČVUT PRAHA. Základy tepelných čerpadel. *České vysoké učení technické v Praze, Inteligentní budovy* [online]. b.r. [cit. 2016]. Dostupné z: https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/AZE/P5-tepelna_cerpadla_zaklady.pdf
- [9] KRAINER, Robert a Jiří DUDA. Chladiva používaná v tepelných čerpadlech. *TZB-info* [online]. 2015 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelnych-cerpadlech>
- [10] KUCHYNKA, Lubomír. AC Heating: Faktory ovlivňující účinnost tepelných čerpadel. *TZB-info* [online]. 2012 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/9147-ac-heating-faktory-ovlivnujici-ucinnost-tepelnych-cerpadel>
- [11] MATUŠKA, Tomáš. Parametry pro hodnocení efektivity tepelných čerpadel: COP a SCOP. *TZB-info* [online]. 2015 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13196-parametry-pro-hodnoceni-efektivite-tepelnych-cerpadel-cop-a-scop>
- [12] SEVEN, STŘEDISKO PRO EFEKTIVNÍ VYUŽÍVÁNÍ ENERGIE, O.P.S. Účinnost tepelných čerpadel na lokální a globální úrovni. *TZB-info* [online]. 2015 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12543-ucinnost-tepelnych-cerpadel-na-lokalni-a-globalni-urovni>
- [13] KRAINER, Robert. Postup při návrhu tepelných čerpadel. *TZB-info* [online]. 2015 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12401-postup-pri-navrhu-tepelnych-cerpadel>

- [14] JELÍNEK, Vladimír. Využívání a provozování tepelných čerpadel v nízkoenergetických domech. *TZB-info* [online]. 2015 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12211-vyuzivani-a-provozovani-tepelnych-cerpadel-v-nizkoenergetickych-domech>
- [15] MACH, Stanislav. Patentovaný systém odtávání VHM. *TC MACH* [online]. b.r. [cit. 2016]. Dostupné z: http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz/o-spolecnosti/system_vhm.php
- [16] MACH, Stanislav. Tepelná čerpadla a topné faktory. *TZB-info* [online]. 2005 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2410-tepelna-cerpadla-a-topne-faktory>
- [17] POJAR, Petr. Tepelná čerpadla pro rodinné domy, která ještě více ušetří. *Ceskestavby.cz* [online]. 2014 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.ceskestavby.cz/clanky/tepelna-cerpadla-pro-rodinne-domy-ktera-jeste-vice-usetri-22736.html>
- [18] KLECZEK, Josip. Slunce a jeho energie. *TZB-info* [online]. 2004 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1948-slunce-a-jeho-energie>
- [19] NOVOTNÝ, Vladislav. Solární sestavy (KIT IVAR SOLAR). *TZB-info* [online]. 2008 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4998-solarni-sestavy-kit-ivar-solar>
- [20] ČVUT PRAHA. Solární kolektory. *České vysoké učení technické v Praze, Inteligentní budovy* [online]. b.r. [cit. 2016]. Dostupné z: http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/AZE/P2-solarni_kolektory.pdf
- [21] SKUPINA ČEZ. Solární kolektory. *Skupina ČEZ* [online]. b.r. [cit. 2016]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k21.htm>
- [22] MATUŠKA, Tomáš. Typy solárních kolektorů. *TZB-info* [online]. b.r. [cit. 2016]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru>
- [23] MATUŠKA, Tomáš. Účinnost solárního kolektoru. *TZB-info* [online]. b.r. [cit. 2016]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/161-ucinnost-solarniho-kolektoru>
- [24] REGULUS SPOL. S R. O. Solární sestavy Regulus. *TZB-info* [online]. 2004 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1995-solarni-sestavy-regulus>
- [25] ITEST. Sluneční kolektory a systémy od jihočeské firmy JH Solar. *ITEST* [online]. 2007 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.itest.cz/old/solar/jhsolar.htm>
- [26] MACH, Stanislav. Tepelné čerpadlo a solární systém. *TC MACH* [online]. b.r. [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz/tepelna-cerpadla-pro-rodinne-domy/akus.php>
- [27] JH SOLAR S.R.O. Solární kolektor TS 400. *JH Solar* [online]. 2011 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.jhsolar.cz/solarni-kolektory/solarni-kolektor-TS400.aspx>
- [28] ZÁMEČNÍK, S. *TEST REPORT*. Piešťany: THERMO/SOLAR Žiar s.r.o., 2012.
- [29] E-POCASI.CZ. Archiv počasí. *E-pocasi.cz*. b.r.. Dostupné také z: <http://www.e-pocasi.cz/archiv-pocasi/>
- [30] TZB-INFO. Kalkulátor cen energií. *TZB-info* [online]. 2016 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://kalkulator.tzb-info.cz/cz/vyvoj-celkovych-cen-elektriny?sazba=D45d>

- [31] BERANOVSKÝ, Jiří, Monika KAŠPAROVÁ, František MACHOLDA, Karel SRDEČNÝ a Jan TRUXA. Energie prostředí, geotermální energie, tepelná čerpadla. *EkoWATT* [online]. 2007 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnoviteln-e-zdroje-energie/energie-prostredi-geotermalni-energie-tepelna-cerpadla>
- [32] ELTEX ELECTRONIC. Odlučovače chladiva. *Eltex electronic, Konstrukce a výroba tepelných čerpadel* [online]. 2011 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.eltex-km.cz/cs/e-shop/products/view/26/129-odlucovace-chladiva>
- [33] ALFACO S.R.O. Rotační hermetické kompresory skrol. *Alfaco* [online]. b.r. [cit. 2016]. Dostupné z: http://www.alfaco.cz/copeland/udaje/zh_tp.pdf
- [34] ALFACO S.R.O. Odlučovače sání. *Afaco* [online]. b.r. [cit. 2016]. Dostupné z: http://www.alfaco.cz/alco/udaje/odlucovac_sani.pdf
- [35] ALFACO S.R.O. ADK Plus Filtrdehydrátory. *Alfaco* [online]. 2009 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.alfaco.cz/alco/udaje/adk.pdf>
- [36] ALFACO S.R.O. BVA Kulové uzavírací ventily. *Alfaco* [online]. b.r. [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.alfaco.cz/alco/udaje/bva.pdf>
- [37] ALFACO S.R.O. EX4 / EX5 / EX6 / EX7 / EX8 Elektrické regulační ventily. *Alfaco* [online]. 2006 [cit. 2016]. Dostupné z: http://www.alfaco.cz/alco/udaje/ex4_8.pdf
- [38] ALFACO S.R.O. MIA Kontrolní průhledítka. *Alfaco* [online]. 2007 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.alfaco.cz/alco/udaje/mia.pdf>
- [39] MACH, Stanislav a Martin PATOČKA. Tepelná čerpadla MACH, Chameleon, Projekční podklady. *Tepelná čerpadla MACH, s.r.o.* [online] 2013 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz/pdf/chameleon/chameleon-pp.pdf>
- [40] HORÁK, Petr, Marcela POČINKOVÁ a Marián FORMÁNEK. Experimentální porovnání topného faktoru tepelného čerpadla s údaji výrobce. *TZB-info* [online]. 2012 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/8258-experimentalni-porovnaní-topneho-faktoru-tepelneho-cerpadla-s-udaji-vyrobce>
- [41] ENERGETICKÉ SLUŽBY PRE. Vyrábíme tepelné čerpadlo. *TZB-info* [online]. 2012 [cit. 2016]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/8295-vybirame-tepelne-cerpadlo>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

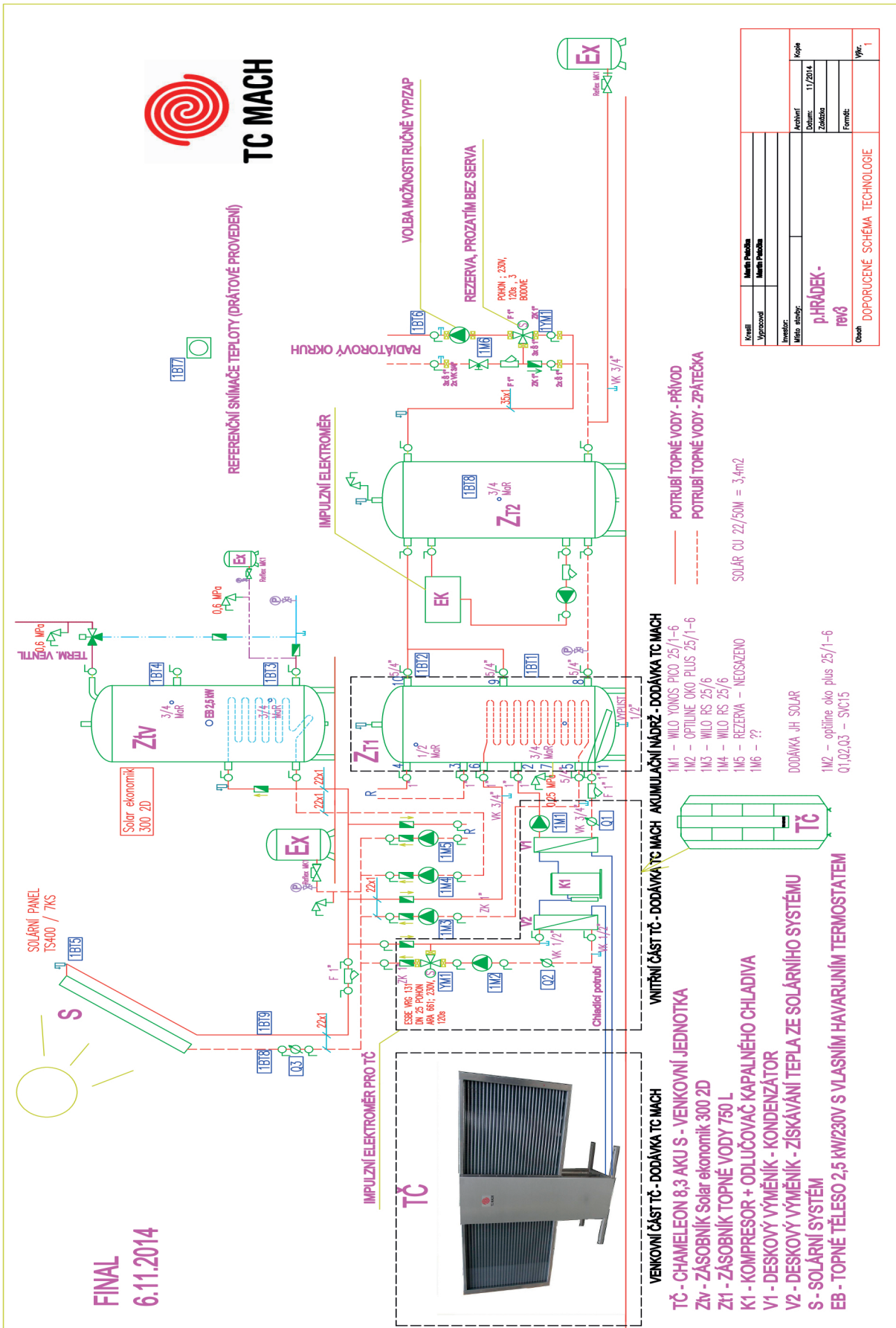
Symbol/zkratka	Význam	Jednotka
TČ	Tepelné čerpadlo	
K	Kompresor + odlučovač kapalného chladiva	
V1	Deskový výměník – kondenzátor	
V2	Deskový výměník k získávání tepla ze solárního systému	
EU	Evropská unie	
CO ₂	Oxid uhelnatý	
GWP	Global warming potential	
CFC	Chladiva na bázi tvrdých freonů	
HCFC	Chladiva na bázi měkkých freonů	
HFC	Chladiva na bázi fluorovaných uhlovodíků – bez chlóru	
R410A	Typ chladiva v chladicím okruhu TČ	
R407C	Typ chladiva v chladicím okruhu TČ	
R404A	Typ chladiva v chladicím okruhu TČ	
R32	Typ chladiva v chladicím okruhu TČ	
R125	Typ chladiva v chladicím okruhu TČ	
K	Kritický bod	
TUV	Teplá užitková voda	
COP	Topný faktor	[-]
SCOP	Sezónní topný faktor	[-]
Q	Tepelný tok	[W]
Q _H	Tepelný výkon dodávaný TČ	[W]
Q _C	Získaná energie od cizího zdroje	[W]
A; W	Hnací práce (příkon)	[W]
T; t	Teplota	[K, °C]
T ₁	Teplota okolního vzduchu	[°C]
T ₂	Kondenzační teplota	[°C]
t _{k1}	Teplota na vstupu do solárního kolektoru	[K]
t _{k2}	Teplota na výstupu do solárního kolektoru	[K]
t _m	Střední teplota teplotonosné látky v kolektoru	[K]
t _e	Teplota okolí	[K]
s	Entropie	[J/kg·K]

p	Tlak	[Pa]
x	Sytost	[-]
h	Entalpie	[J]
ϕ	Tepelný výkon TČ	[W]
P_c	Elektrický příkon kompresoru	[W]
P_{aux}	Elektrický výkon dalších komponent TČ	[W]
I_0	Sluneční konstanta	[W/m ²]
η	Účinnost solárního kolektoru	[-]
\dot{Q}_k	Tepelný výkon odváděný teplotonosnou látkou z kolektoru	[W]
G	Sluneční ozáření	[W/m ²]
A_k	Vztažná plocha kolektoru	[m ²]
η_0	Účinnost sol. kolektoru při nulových tepelných ztrátách	[-]
a_1	Lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru	[W/m ² ·K]
a_2	Kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru	[W/m ² ·K ²]
\dot{M}	Hmotnostní průtok teplotonosné látky kolektorem	[kg/s]
c	Měrná tepelná kapacita teplotonosné látky	[J/kg·K]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Technické schéma zapojení.....	63
Příloha 2 – Vnitřní jednotka TČ.....	64
Příloha 3 – Řídící jednotka TČ, Chameleon.....	64
Příloha 4 – Fotodokumentace z instalace solárních kolektorů.....	65

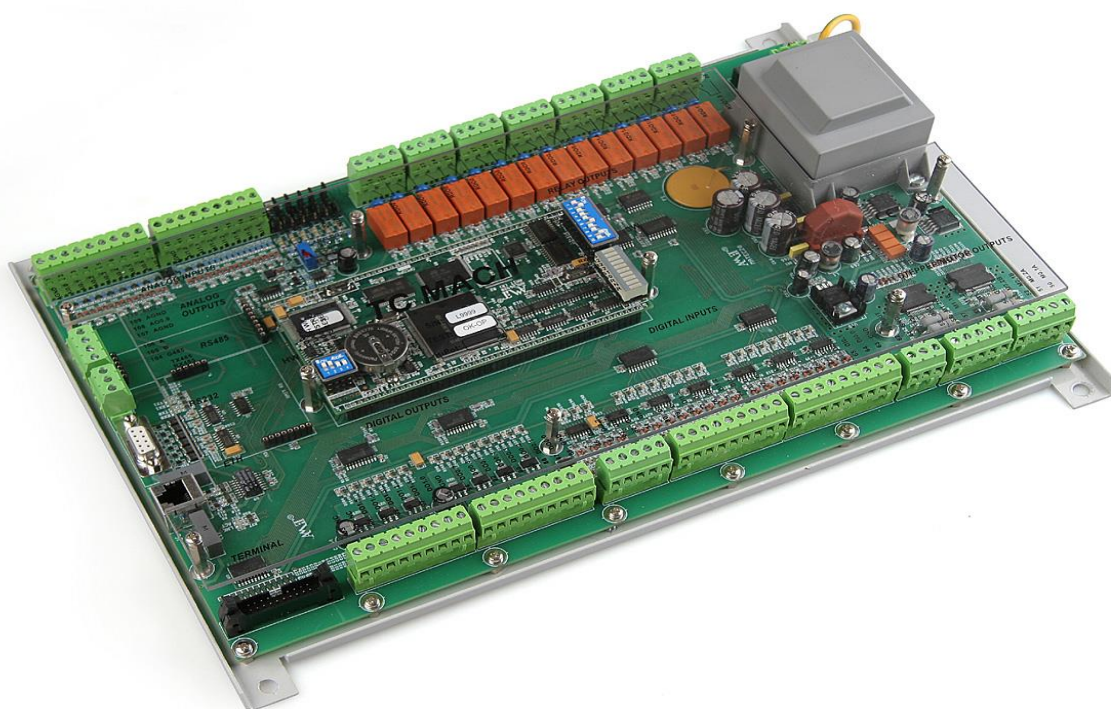
Příloha 1 – Technické schéma zapojení



Příloha 2 – Vnitřní jednotka TČ



Příloha 3 – Řídící jednotka TČ, Chameleon



Příloha 4 – Fotodokumentace z instalace solárních kolektorů



www.jhsolar.cz



www.jhsolar.cz