

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Technická fakulta

**Zdroje tepla pro nízkoteplotní otopné soustavy**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. Ing. Radomír Adamovský DrSc.

Autor práce: Petr Vyskočil

PRAHA 2015

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Petr Vyskočil

Technologická zařízení staveb

Název práce

Zdroje tepla pro nízkoteplotní otopné soustavy

Název anglicky

Heat sources for low temperature heating systems

---

## Cíle práce

Cílem je analyzovat zdroje tepla vhodné pro nízkoteplotní otopné soustavy z hlediska spotřeby fosilních paliv, elektrické energie a nákladů na provoz zdroje.

## Metodika

1. Rešerše o současném stavu řešení problematiky v ČR a v zahraničí.
2. Analýza poznatků z rešerše z hlediska spotřeby fosilních paliv, elektrické energie a nákladů na provoz jednotlivých zdrojů.
3. Specifikace prognózy vývoje zdrojů tepla pro nízkoteplotní otopné soustavy.

Diskuse a závěr.

## Doporučený rozsah práce

40 stran

## Klíčová slova

vytápění; otopné soustavy; spotřeba energie; kondenzační kotle; tepelná čerpadla; fosilní paliva; elektrická energie

---

## Doporučené zdroje informací

ČSN EN 12831. Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 76 s. Třídící znak 060206.

Inflow: tzbinfo-stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online časopis]. 2010 – 2014.

Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/>. ISSN 1801-4399

KOLEKTIV. Topenářská příručka. Svazek 1. Praha: GAS s.r.o., 2001. ISBN 80-86176-82-7.

KOLEKTIV. Topenářská příručka. Svazek 2. Praha: GAS s.r.o., 2001. ISBN 80-86176-83-5.

KOLEKTIV. Topenářská příručka. Svazek 3. Praha: Agentura ČSTZ s.r.o., 2007. ISBN 978-80-86028-13-2.

LULKOVIČOVÁ Otília a kolektiv. Zdroje tepla a domovní kotelny. Bratislava: Vydavateľství Jaga group, s.r.o., 2004. ISBN 80-8076-002-0.

Vytápění větrání instalace. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2000 – 2015. ISSN 1801-4399

---

## Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

## Vedoucí práce

prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

## Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 18. 2. 2015

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 4. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 13. 01. 2016

## **Čestné prohlášení**

„Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Zdroje tepla pro nízkoteplotní otopné soustavy vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne .....

.....

Petr Vyskočil

### **Poděkování**

Touto cestou bych rád poděkoval všem, kteří mi při tvorbě bakalářské práce pomohli. Hlavně bych poděkoval svému vedoucímu práce panu prof. Ing. Radomíru Adamovskému DrSc. za cenné rady, připomínky a čas, který mi věnoval.

**Abstrakt:** Cílem této bakalářské práce je analyzovat zdroje tepla vhodné pro nízkoteplotní otopné soustavy a popsat základní principy a druhy tohoto vytápění. Práce je rozdělena na pět hlavních částí. V první (nejobsáhlejší) části je popisován vývoj tepelných čerpadel, jejich princip, pracovní látky a základní zdroje nízkopotenciálního tepla. Druhá část se zabývá principem kondenzačních a nízkoteplotních kotlů a spalováním zemního plynu i s ohledem na účinnost. Základní konstrukční prvky a princip solárních systémů jsou obsahem třetí části této práce. Předposlední oddíl je věnován vzájemnému porovnání analyzovaných zdrojů z hlediska spotřeby a nákladů na provoz a investici. Poslední pasáží práce je diskuse, která obsahuje pohled autora na danou problematiku. Z práce plyne, že nelze jednoznačně určit nízkoteplotní zdroj, který by byl z hlediska svých výhod a nevýhod výrazně výhodnější než ostatní zdroje. Obsahem této práce je ale především podrobný popis právě těchto výhod a nevýhod.

**Klíčová slova:** tepelná čerpadla, kondenzační kotle, nízkoteplotní kotle, solární vytápění, náklady

### **Heat sources for low temperature heating systems**

**Summary:** The goal of this bachelor's work is to analyse heat sources which is suitable for low temperature heating systems and to describe of main principles and kinds of this heating. The work is divided in five main parts. The first (most extensive) part is description of the history of heat pump, its principle, working substances and basic sources of low potential energy. The second part of the work is explanation of principles of condensing boiler and natural gas combustion with regard to combustion efficiency. Basic structural elements are included in third section of this work. Next section is discussion of the author's view on this issue. It is evident from this work that none of this heating system is better in terms of advantages and disadvantages. But the intention of this work is primarily description of these advantages and disadvantages.

**Key words:** heat pump, condensing boiler, low temperature boiler, solar heating, costs

## Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce .....	2
3	Vytápění .....	2
3.1	Nízkoteplotní a vysokoteplotní zdroje vytápění .....	2
4	Tepelná čerpadla .....	3
4.1	Historie a současný stav tepelných čerpadel.....	3
4.2	Princip.....	4
4.2.1	Topný faktor (COP).....	6
4.2.2	Sezónní topný faktor (SCOP).....	6
4.2.3	Porovnávací cykly tepelných čerpadel .....	7
4.3	Pracovní látky .....	10
4.4	Zdroje tepla pro tepelná čerpadla.....	10
4.4.1	Vertikální vrty .....	11
4.4.2	Plošné kolektory .....	12
4.4.3	Podzemní voda .....	13
4.4.4	Povrchová voda .....	14
4.4.5	Venkovní vzduch.....	14
4.4.6	Vnitřní vzduch .....	15
4.5	Bivalentní provoz.....	16
4.5.1	Typy bivalentního provozu.....	17
4.6	Monovalentní provoz.....	17
5	Nízkoteplotní a kondenzační kotle.....	18
5.1	Nízkoteplotní kotle .....	18
5.2	Kondenzační kotle .....	19
5.2.1	Konstrukce.....	19
5.2.2	Princip.....	20
5.2.3	Charakteristika kondenzačního kotle.....	25
6	Vytápění solární technikou.....	25
6.1	Výhody a nevýhody .....	26

6.2	Konstrukce a základní prvky .....	27
6.2.1	Solární kolektor .....	29
6.3	Umístění solárních kolektorů .....	30
6.4	Pracovní látky .....	31
6.4.1	Vzduch.....	31
6.4.2	Kapaliny .....	31
7	Náklady .....	32
7.1	Charakteristika objektu .....	32
7.2	Tepelné čerpadlo země-voda .....	33
7.2.1	Shrnutí nákladů u tepelného čerpadla země-voda .....	33
7.3	Tepelné čerpadlo vzduch-voda .....	33
7.3.1	Shrnutí nákladů u tepelného čerpadla vzduch-voda .....	34
7.4	Moderní nízkoteplotní kotel.....	34
7.4.1	Shrnutí nákladů u nízkoteplotního kotle.....	34
7.5	Kondenzační kotel .....	35
7.5.1	Shrnutí nákladů u kondenzačního kotle.....	35
7.6	Solární vytápění .....	35
8	Diskuse – jaký nízkoteplotní zdroj je nejvhodnější?.....	36
9	Závěr.....	38
10	Seznam použité literatury .....	39
11	Seznam obrázků.....	43



## 1 Úvod

V dnešní době, kdy ceny všech energií každým rokem stoupají, je kladen velký důraz na volbu zdroje tepelné energie pro vytápění bytů či rodinných domů. Vysoké ceny energií způsobily zvyšování poptávky po levnějších způsobech vytápění a jejich prudký vývoj v posledních letech. Volba nejvýhodnějšího zdroje není vždy jednoznačná a pro každou bytovou jednotku může být odlišná, avšak pokud je volba provedena odborně, může mnohonásobně snížit náklady na vytápění.

V souvislosti s postupným rozvojem v topeňářství se ustupuje od technologie vytápění, kde je teplota proudícího média v otopných soustavách vyšší, tedy od klasických otopných soustav, a svou ekonomickou výhodností se dostávají na trh převážně zdroje tzv. nízkoteplotní, u kterých je voda pro vytápění ohřívána jen na teploty okolo 50 °C (podle normy se počítá s teplotou do 70 °C).

Nízkoteplotní vytápění je podporováno i z hlediska ekologie. Všechny níže popsané zdroje totiž nemají téměř žádný negativní dopad na životní prostředí oproti zdrojům využívaným například před 30 lety, kdy téměř nebyl kladen důraz na tyto ekologické aspekty. Tento způsob vytápění také velice často využívá obnovitelných zdrojů energie, jako je solární nebo nízkopotenciální energie ze země, vody či vzduchu, a tím se stávají levnějšími či „zcela zdarma“.

## **2 Cíl práce**

Cílem této práce je analyzovat zdroje vhodné pro nízkoteplotní otopné soustavy a popsat jejich základní principy, konstrukční součásti, jejich výhody a nevýhody.

## **3 Vytápění**

Vytápění je aktivita, při které chceme dosáhnout v určitém prostředí (dům, byt) stavu tepelné pohody, která je podle normy ČSN EN ISO 7730 definována jako individuální pocit spokojenosti s tepelným prostředím, tzn. udržovat teplotu těla na úrovni 37 °C. [1]

Při výpočtech je třeba dbát na to, že každý vytápěný objekt má rozdílné vlastnosti a je třeba brát v úvahu jeho energetické nároky, tj. potřebu tepla pro vytápění. Energetické nároky jsou tepelné ztráty vzniklé prostupem tepla stěnami, dveřmi a okny nebo větráním. Jsou jednoznačně dány stavebním řešením objektu a představují konstantní a neovlivnitelnou položku (bez možnosti stavebních úprav) při výpočtu tepelné bilance objektu. Tyto energetické nároky je nutné pro dosažení optimální tepelné pohody plně pokrýt právě činností zdrojů vytápění. [2]

Mezi zdroje vytápění místností patří především otopná tělesa, do kterých je přiváděno teplo prostřednictvím vody, která je ohřívána v jednom ze zdrojů (kotle, výměníky, solární panely atd.). Tyto zdroje jsou předmětem této práce a jsou více popsány níže. Avšak nesmíme zapomenout na další, jako je sluneční svit. Ten nelze opomenout v zimní topné sezóně, i když jeho maximální schopnost vytápět budovy je větší v letních měsících. Významnými zdroji tepla jsou také běžné spotřebiče (sporák, lednice, pračka, televize, počítač atd.), osvětlení nebo také tělesné teplo osob či zvířat v domácnosti. [3]

Tepelný přínos energie od činnosti osob a spotřebičů určitě není zanedbatelný. Podle měření společnosti Philips v experimentálním domě na Slovensku bylo zjištěno, že tepelný energetický přínos od čtyřčlenné rodiny během topné sezóny (od října do května) byl cca 1900 kWh. Za stejné období bylo množství vyprodukované energie od běžných elektrických spotřebičů cca 1600 kWh. [3]

### **3.1 Nízkoteplotní a vysokoteplotní zdroje vytápění**

Základní rozdíl mezi nízkoteplotním a vysokoteplotním vytápěním je v teplotě proudícího média v otopných tělesech v místě, kde opouští zdroj vytápění (např. kotel) a vstupuje do otopné soustavy. Zatímco u vysokoteplotních soustav se voda vstupující do

otopné soustavy zahřívá na teplotu i přes 90 °C, u nízkoteplotních se tato teplota pohybuje okolo 55 °C a méně. [4]

## 4 Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo je jedním ze zdrojů, využívajících alternativní způsob získávání energie. Pracuje na principu odebírání nízkopotenciální energie z okolního prostředí a předávání této energie médiu proudícímu v otopném systému, kterým je v naprosté většině případů voda, vzduch nebo nemrznoucí směs. Aby mohlo tepelné čerpadlo získat toto nízkopotenciální teplo, musí ochladit určitou látku. V České republice jsou nejčastější systémy, kde tepelné čerpadlo ochlazuje venkovní vzduch nebo využívá teplo ze zemního či horninového masivu. Dalším významným, ale méně obvyklým zdrojem je podzemní nebo povrchová voda. [5]

### 4.1 Historie a současný stav tepelných čerpadel

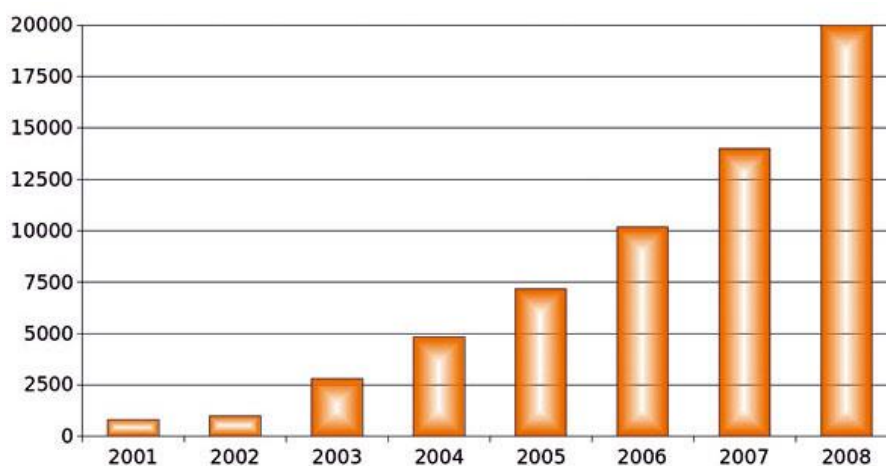
Základní principy fungování tepelného čerpadla byly popsány už před více než 150 lety. Úplně prvotní myšlenky vycházely z díla *Úvahy o hybné síle ohně a strojích vyvolávajících tuto sílu* z roku 1824, publikované francouzským fyzikem Nicolasem Léonardem Sadi Carnotem. V tomto díle byl poprvé zmíněn tzv. Carnotův cyklus a také formulace druhé věty termodynamiky, která říká, že žádný tepelný stroj nemůže mít větší účinnost než Carnotův stroj, pracující mezi stejnými teplotami. Tuto myšlenku rozvinul v roce 1852 Lord Kelvin (William Thomson) a přidal další znění druhého termodynamického zákona, které dokazovalo, že teplo se šíří vždy ve směru od teplejší ke studenější části a ne naopak. Tento princip šíření tepla využívá právě tepelné čerpadlo, nicméně jeho první praktické využití přišlo až v roce 1927, kdy T. Haldane sestrojil první tepelné čerpadlo, které vytápělo úřední budovu v Los Angeles, avšak na rozvoj tohoto zdroje tepla se nekladl velký důraz, a to hlavně díky nízké ceně a snadné dostupnosti jiných zdrojů energie v té době. [6, 7]

Ve 40. letech 19. století se tepelná čerpadla dostávala také do Evropy a objevily se první velice zdařilé projekty tepelných čerpadel, a to hlavně ve Švýcarsku, které bylo za druhé světové války zcela závislé na dovozu energií a muselo se tak spoléhat na alternativní zdroje energie. [6, 7]

Prudký nárůst počtu aplikací tepelných čerpadel nastal před rokem 1980 především v západní Evropě. Tato čerpadla už se sice svým principem úplně podobala čerpadlům

z dnešní doby, ale ještě stále se neshledávala s velkou oblíbeností, a to hlavně kvůli své nespolehlivosti a relativně časté poruchovosti. Dalším problémem byla nezkušenost instalatérů, kteří nešťastně volili zapojení do stávajícího otopného systému, který sice fungoval dobře s olejovým kotlem, ale s novými čerpadly byl tento oběh nespolehlivý. Díky menší efektivitě a nespokojenosti uživatelů tepelná čerpadla zaznamenala desetiletý útlum. Významným zdrojem tepelné energie do domácností se opět začínají ve velké míře stávat až od roku 2000. [8]

V České republice se objevily první instalace tepelných čerpadel po roce 1990. Jednalo se pouze o desítky až stovky instalací ročně. Na naše území se dostávala pouze čerpadla ze zahraničních firem, které už měly s vývojem a instalací čerpadel zkušenosti (např. z Německa, Švédska, Rakouska). Rapidní nárůst aplikací začal v roce 2000 stejně jako v ostatních Evropských zemích. Významný vliv na tento nárůst měla v první řadě ekonomická situace. Ceny energií stoupaly, a to se promítlo do návratnosti pořizovací ceny tepelných čerpadel, která se menšila na zhruba 10 let, což je téměř dvakrát méně než v předchozích letech. [8]



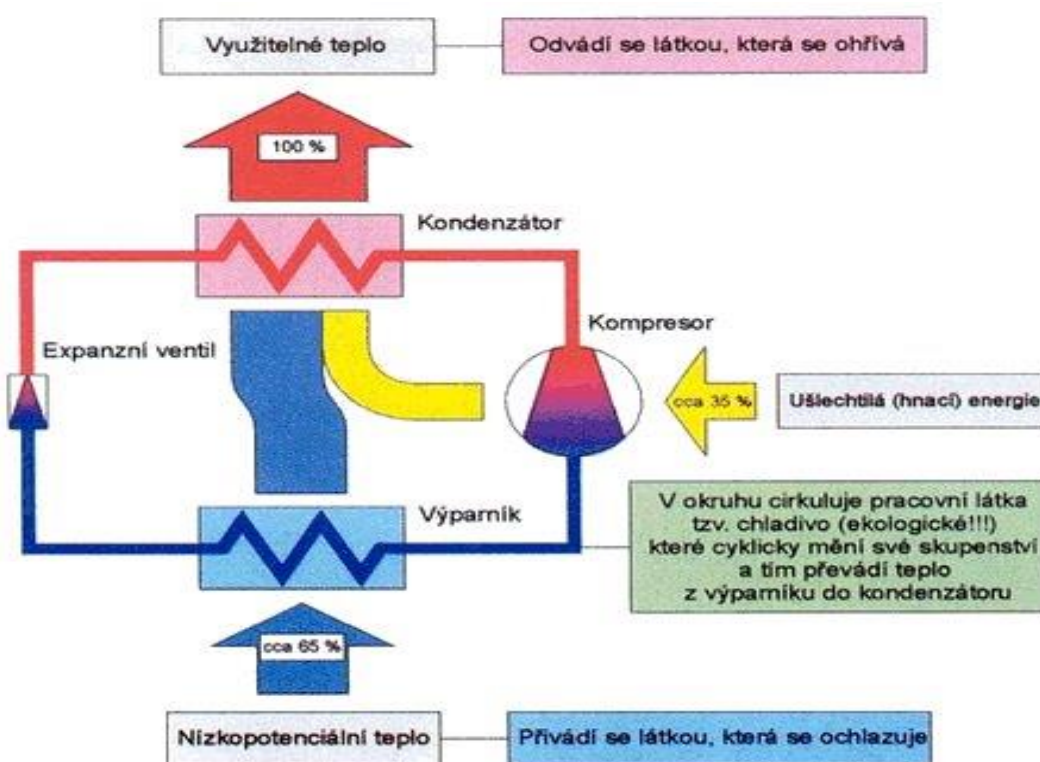
*Obr. 1: Vývoj počtu instalací tepelných čerpadel v ČR v minulých letech [8]*

## 4.2 Princip

Tepelné čerpadlo je realizováno téměř na stejném principu jako chladicí zařízení (lednička či mrazák). Základním součástí je zde chladicí okruh. Hnacím prvkem je zde kompresor poháněný ve většině případů elektromotorem. V prvním výměníku (výparníku) dochází k odvodu tepla z okolního prostředí s nižší teplotou (jak již bylo výše zmíněno, toto prostředí může být voda, půda či vzduch) a pomocí elektromotoru a kompresoru se

toto teplo předává ve druhém výměníku (kondenzátoru) do prostředí s vyšší teplotou (např. do topné vody). Tímto způsobem je toto prostředí ohříváno. Předávané teplo mezi oběma výměníky je navíc navyšováno o energii, která vzniká činností kompresoru. [1]

Celková energie se dá určit jako součet energie získané z některého z nízkopotenciálních zdrojů a energie získané hnací silou elektromotoru, což znamená, že je vždy větší než hnací energie, kterou potřebujeme pro chod kompresoru a tedy i chod celého tepelného čerpadla. Poměr těchto dvou energií se nazývá topný faktor a je zřejmé, že musí být vždy větší než 1. [1]



**Obr. 2: Schéma oběhu tepelného čerpadla [9]**

Sdílení tepla je realizováno pomocí pracovní látky, tzv. chladiva, které v chladicím kruhu neustále cirkuluje a soustavně mění své skupenství z kapalného na plynné a naopak. Ve výparníku při odebrání nízkopotenciální energie se mokrá pára uvnitř výměníku vysušuje na páru sytou nebo přehřátou. Poté se pracovní látka v kompresoru stlačí, tím se zvýší tlak a současně se zvýší teplota. Chladiivo, které se dostává do kondenzátoru, kde odevzdává teplo přehřívací a teplo kondenzační. Okruh je zakončen expanzním ventilem, ve kterém se snižuje tlak a teplota a celý okruh se opakuje. [9]

#### 4.2.1 Topný faktor (COP)

$$COP = Q/E$$

**COP** topný faktor (častěji označovaný řeckým písmenem  $\epsilon$ )

**Q** teplo získané na kondenzátoru

**E** spotřebovaná energie pro pohon tepelného čerpadla [10]

Topný faktor (COP - Coefficient of Performance) je zásadním hlediskem při výběru tepelného čerpadla. Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která udává poměr mezi tepelným výkonem a příkonem čerpadla, slouží tedy pro srovnání jednotlivých čerpadel z hlediska účinnosti. Z 1 kWh elektrické energie dodané kompresoru se může získat průměrně až 3,5 kWh. Při takovém zisku energie (jak vyplývá ze vzorce) je topný faktor roven 3,5, avšak v dokonalých aplikacích může topný faktor dosahovat až hodnoty 5. [11]

Například stanovení COP u tepelných čerpadel vzduch-voda se provádí za podmínek A2W35, při venkovní teplotě vzduchu 2 °C a teplotě pracovní látky na kondenzátoru 35 °C nebo A7W35, při venkovní teplotě 7 °C a teplotě pracovní látky v otopném tělese 35 °C. [11]

#### 4.2.2 Sezónní topný faktor (SCOP)

Vzhledem k tomu, že běžného uživatele nezajímá jen topný faktor při předepsaných teplotách, ale i v celé topné sezóně, vznikla nová norma (ČSN 14825), kde jsou určeny podmínky pro měření tzv. sezónního topného faktoru (SCOP

- Seasonal Coefficient of Performance, občas také označován jako SPF - Seasonal performance factor). SCOP má rozhodně

lepší vypovídající hodnotu pro běžné uživatele, a to především proto, že zahrnuje i spotřebu elektřiny od ostatních spotřebičů (oběhové čerpadlo, elektrický kotel atd.), průměrné teploty za celý rok a pracuje i s volbou výkonu tepelného čerpadla s ohledem na tepelné ztráty objektu. Protože pro porovnání konkrétních čerpadel je nutné znát nejen hodnotu sezónního topného faktoru, ale i tepelné ztráty budovy, hodnoty teplot a další údaje, je pro jednodušší porovnání spotřebičů zavedena na základě certifikovaných hodnot tzv. energetická třída účinnosti (viz obr. 3). [11]

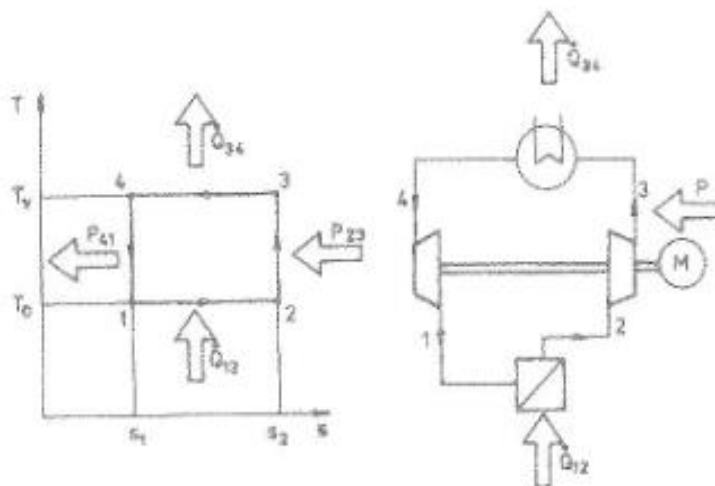
SCOP (Režim Topení)	
A+++	SCOP ≥ 5.10
A++	4.60 ≤ SCOP < 5.10
A+	4.00 ≤ SCOP < 4.60
A	3.40 ≤ SCOP < 4.00
B	3.10 ≤ SCOP < 3.40
C	2.80 ≤ SCOP < 3.10
D	2.50 ≤ SCOP < 2.80
E	2.20 ≤ SCOP < 2.50
F	1.90 ≤ SCOP < 2.20
G	SCOP < 1.90

**Obr. 3: Hodnoty SCOP pro různé kategorie energetických tříd účinnosti [29]**

### 4.2.3 Porovnávací cykly tepelných čerpadel

Pro porovnání jednotlivých oběhů tepelných čerpadel se používají vratné porovnávací oběhy. Tyto cykly se skládají z vratných termodynamických změn, lze je tedy brát v úvahu pouze jako orientační. Skutečné oběhy tepelných čerpadel se totiž skládají z nevratných termodynamických změn. [6]

#### 4.2.3.1 Carnotův porovnávací cyklus tepelného čerpadla



Obr. 4: Carnotův porovnávací cyklus tepelného čerpadla [6]

Tento cyklus navrhl v roce 1824 Sadi Carnot. Jedná se o vratný oběh, který se skládá z těchto termodynamických změn:

- 1 → 2 Izotermické vypařování s přívodem tepla  $Q_{1,2}$  při teplotě  $T_0$  (nizkoteplotní energie)
- 2 → 3 Adiabatická komprese s prací kompresoru  $A_{2,3}$
- 3 → 4 Izotermická kondenzace s odvodem tepla  $Q_{3,4}$  při teplotě  $T_v$  (užitkové teplo)
- 4 → 1 Adiabatická expanze s vykonáváním práce  $A_{4,1}$

Na vykonání oběhu je potřeba práce  $A = A_{2,3} - A_{4,1}$  a přívod nízkopotenciálního tepla  $Q_{1,2}$ . Využitelné teplo  $Q_{3,4}$  získané při teplotě  $T_v$  pak bude:

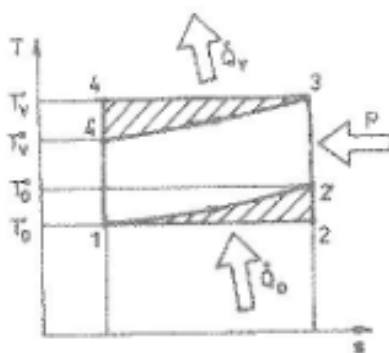
$$Q_{3,4} = Q_{1,2} + A = T_v(s_2 - s_1)$$

Topný faktor tepelného čerpadla pracujícího s vratným Carnotovým oběhem pak lze vyjádřit takto:

$$\varepsilon(C) = \frac{Q_{3,4}}{A} = \frac{T_v}{T_v - T_0} \quad [6]$$

#### 4.2.3.2 Lorenzův porovnávací cyklus tepelného čerpadla

V Carnotově cyklu se předpokládá, že přívod a odvod tepla probíhá za konstantní teploty. V reálném tepelném čerpadle pracujícím s vícesložkovými pracovními látkami je děj vypařování ve výparníku a kondenzace v kondenzátoru izobarický, ale není izotermický a dochází k tak zvanému teplotnímu skluzu. Takovým podmínkám, kdy teploty ve výměnících nejsou stálé, vyhovuje nejlépe Lorenzův oběh.[6]



Obr. 5: Lorenzův porovnávací cyklus tepelného čerpadla [6]

Lorenzův oběh se skládá z těchto termodynamických změn:

- 1 → 2 Izobarické vypařování s přívodem tepla  $Q_0$  (nízkoteplotní energie)
- 2 → 3 Adiabatická komprese s prací kompresoru  $A_{2,3}$
- 3 → 4 Izobarická kondenzace s odvodem tepla  $Q_v$  (užitková energie)
- 4 → 1 Adiabatická expanze s vykonáváním práce  $A_{4,1}$

Při výpočtu topného faktoru musíme zjistit střední hodnotu teplot. Považujeme-li průběh teplot za lineární, tato hodnota bude:

$$T_{v,s} = \frac{T'_v + T''_v}{2}$$

$$T_{0,s} = (T'_0 + T''_0)/2$$

Topný faktor pak vypočítáme analogicky jako u Carnotova cyklu:

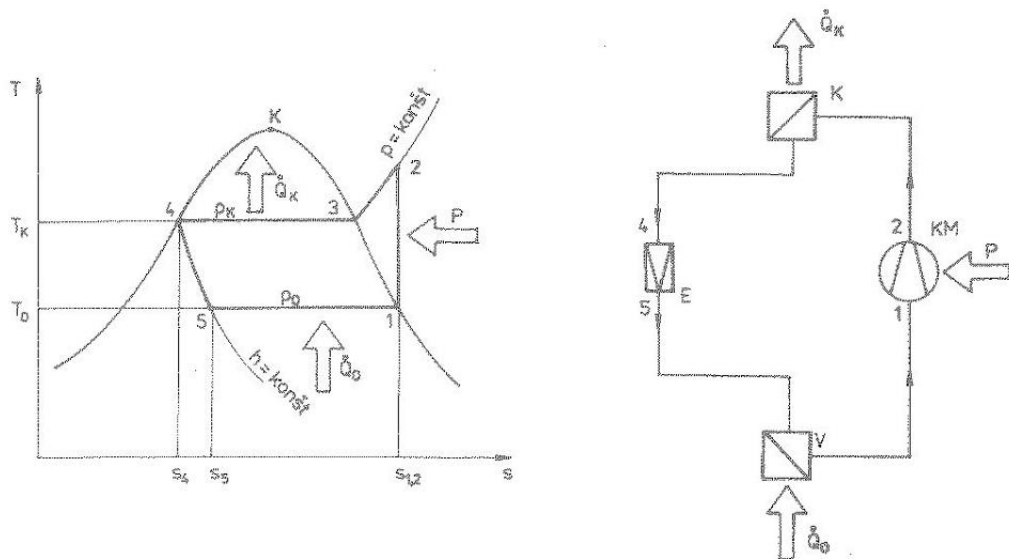


$$\varepsilon(L) = \frac{Q_{3,4}}{A} = \frac{T_{v,s}}{T_{v,s} - T_{0,s}}$$

[6]

#### 4.2.3.3 Porovnávací C-Rankinův cyklus tepelného čerpadla

V posledních letech se využívají převážně kompresorová tepelná čerpadla, která popisuje vratný Clasius-Rankinův levotočivý oběh, ale i tento cyklus se pouze blíží skutečnosti. Tento vratný cyklus nelze uskutečnit hned z několika důvodů. Hlavním důvodem je skutečnost, že existuje přenos tepla s okolím. Dalším důvodem jsou tlakové ztráty při průtoku pracovní látky zejména ve výparníku a kondenzátoru, a posledním důvodem je nedokonalost kompresoru, který způsobuje polytropický proces komprese s exponentem polytropy  $n \neq \kappa$ . [6]



**Obr. 6: C-Rankinův porovnávací cyklus tepelného čerpadla [6]**

C-Rankinův oběh se skládá z těchto termodynamických změn:

- 1 → 2 Izoentropická komprese pracovní látky z tlaku  $p_0$  na tlak  $p_k$  dodáváním příkonu  $P$  (přeměna mechanické energie na teplo)
- 2 → 3 Ochlazení přehřátých par na stav nasycení. Zde dochází rovněž k odvádění tepla (přehřívacího)
- 3 → 4 Kondenzace při konstantním tlaku  $p_k$  a teplotě  $T_K$  (odvod kondenzačního tepla  $Q_K$ )
- 3 → 4 Izoentalpická expanze pracovní látky

**4 → 1** Vypařování pracovní látky při konstantním tlaku  $p_0$  a teplotě  $T_0$ . Přívod tepla  $Q_0$  do systému (nizkoteplotní energie)

[6]

### 4.3 Pracovní látky

Pracovní látka je látka, která proudí v primárním okruhu tepelného čerpadla a během cyklu prochází termodynamickými změnami (jak již bylo zmíněno v kapitole 3.2). Pracovní látky v tepelných čerpadlech by měli splňovat tyto vlastnosti:

- co nevyšší součinitel tepelné vodivosti
- šetrnost k životnímu prostředí
- nehořlavost a nejedovatost
- co nejnižší viskozita
- co největší výparné teplo
- co nejmenší měrnou tepelnou kapacitu v kapalně fázi
- inertnost vůči mazacím olejům a konstrukčním materiálům

Chladiva se dají rozdělit podle normy ISO 817:2004 do dvou skupin. První skupinou jsou chladiva jednosložková. Do této skupiny patří dříve nejužívanější látka R-22, která dokonale splňovala všechny potřebné vlastnosti. Příčinou odstavení z trhu bylo nařízení EG 2037/2000, které platí ve všech zemích Evropské unie. Jedná se o postupný zákaz (od 1. 1. 2010) užívání tohoto chladiva, a to kvůli obsahu freonů a negativním následkům na ozonovou vrstvu. [12, 13]

Druhou skupinou jsou chladiva vícesložková. Do této skupiny patří např. chladivo R-410A, které obsahuje jednosložková chladiva R32/R125/R134 ve hmotnostním složení 20/40/40 %. Toto chladivo není sice plnohodnotným nahrazením R-22 a má nepatrně horší vlastnosti, ale zásadním aspektem pro užívání je, že nepoškozuje ozonovou vrstvu. [12, 13]

Látek používaných v tepelných čerpadlech jsou desítky až stovky a jejich vlastnosti jsou rozdílné, avšak rozbor těchto látek není předmětem této práce.

### 4.4 Zdroje tepla pro tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla mohou získávat nízkopotenciální teplo z různých zdrojů a volba tohoto zdroje je velice důležitá jak pro návrh, tak pro konstrukci samotného tepelného čerpadla. Můžeme se tedy setkat s určitými základními označeními tepelných čerpadel.

První slovo udává zdroj nízkopotenciální energie a druhé slovo medium, kterému je teplo předáno.

- a) Tepelné čerpadlo země-voda – Zdroj tepla může být v tomto případě vrstva země v relativně malé hloubce, ze které je předáváno teplo plošnými kolektory, nebo se může jednat také o hlubinné vrty. Na primární (uzavřené) straně okruhu proudí nemrznoucí směs a teplo je předáváno do sekundárního okruhu (do otopné soustavy), kde je teplonosným médiem voda.
- b) Tepelné čerpadlo voda-voda – Zdroj tepla v tomto případě mohou být povrchové vody, jako jsou řeky či nádrže, nebo může být teplo přiváděno z podpovrchových studen. Primární okruh je vyplněn nemrznoucí směsí a teplo je předáváno do sekundárního okruhu (ve výparníku), kde proudí voda.
- c) Tepelné čerpadlo vzduch-voda – Zdrojem tepla je okolní venkovní vzduch nebo odpadní vzduch z větrání. Na primární straně je médiem vzduch a na sekundární straně voda.

[10]

#### 4.4.1 Vertikální vrty

V zemském jádře neustále probíhají chemické reakce (nukleární rozpad prvků). Díky tomuto jevu se uvolňuje teplo směrem k povrchu země. Karel Srdečný a Jan Truxa ve své publikaci *Tepelná čerpadla* uvádí, že teplota země se každých 30 m směrem ke středu země oteplí o 1 K. Vzhledem k této skutečnosti můžeme využívat tepelné čerpadlo na bázi vertikálních vrtů, které dosahují hloubky 50 – 150 m. Takovýchto vrtů může být pro jedno čerpadlo několik. Záleží zpravidla na výkonu konkrétního tepelného čerpadla. Srdečný a Truxa uvádějí, že na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je potřeba vertikální vrt o hloubce 12 – 18 m. To znamená, že pro čerpadlo o výkonu 5 kW bychom potřebovali vrt o hloubce 75 m (nebo dva vrty hluboké 40 m). Toto je pouze hrubý odhad a skutečná délka vrtu by měla být určena odborníkem na základě geologických podmínek. Avšak je důležité dbát na to, aby byly vrty od sebe vzdálené minimálně 10 m. Nedodržení 10 m distance by mohlo mít za následek vzájemné ovlivnění a nedostatečný výkon čerpadla. Vrty mají zpravidla průměr 13 – 22 cm. [10]

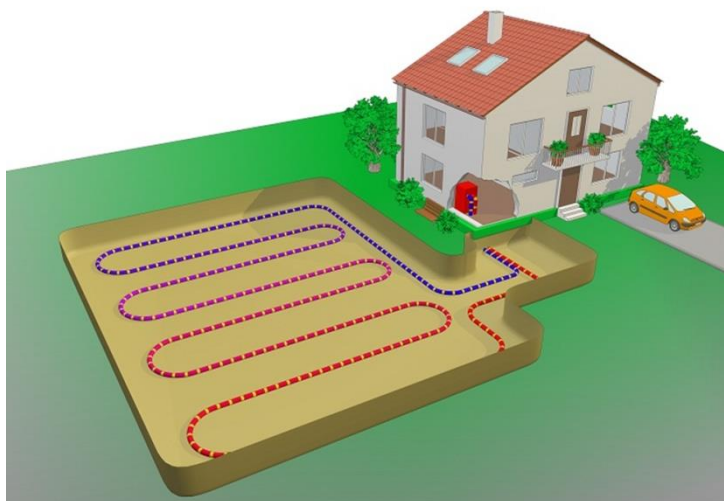
Ihned po odvrtání je do vrtu zasunut trubkový výměník tepla. Trubkový absorbér je plastová trubka vyrobená s nízkohustotního nebo vysokohustotního polyetylenu, ve které proudí ekologicky nezávadná nemrznoucí směs (ve většině případů se jedná o

monopropylenglykol nebo monoetylglykol). Použití nemrznoucí směsi je pro funkci tepelného čerpadla zásadní. Tepelné čerpadlo totiž ochlazuje látku na zhruba  $-2$  a  $-3$  °C a průtokem teplejším prostředím (vrtem) se zahřeje na teplotu okolo  $0$  °C. Tímto způsobem se získává geotermální energie v podobě tepla. [9] Po uložení kolektoru je nutné vrty utěsnit cementovou nebo jílocementovou směsí. Důvodem je riziko, že by takovýto vrt mohl narušit hydrogeologické poměry v dané lokalitě. [10]

Mezi hlavní výhody vertikálních kolektorů patří především prostorová nenáročnost a stabilní teplota horninového masivu. U tepelných čerpadel na bázi hlubinných vrtů se běžně dosahuje topného faktoru 4-5. [10]

#### 4.4.2 Plošné kolektory

Plošné kolektory jsou ve svém principu dost podobné vertikálním vrtům. Také zde je využíván trubkový výměník tepla, ve kterém proudí nemrznoucí směs. Avšak v případě plošných kolektorů je délka trubky třikrát delší než v případě hlubinných vrtů při stejném výkonu. [9]



*Obr. 7: Umístění plošného kolektoru [30]*

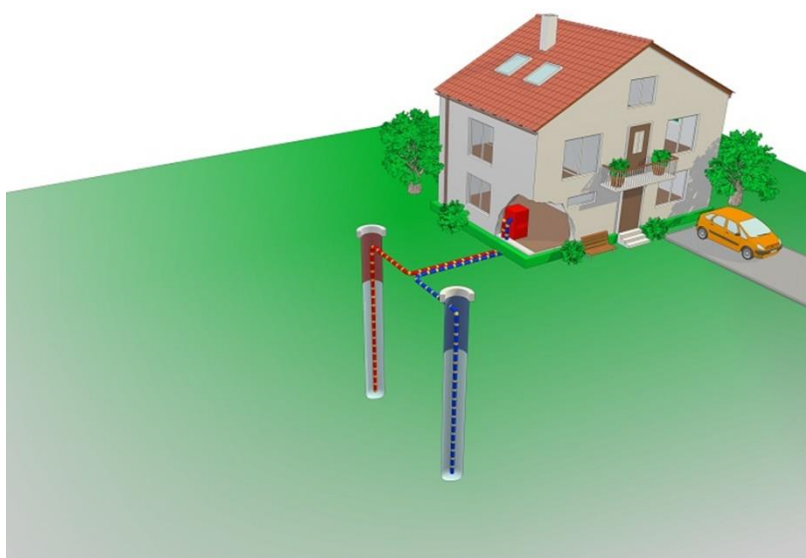
Kolektor (trubkový výměník tepla) se ukládá do hloubky  $1,5 - 2$  m pod úroveň terénu a je hadovitě svinut po ploše pozemku nejméně  $0,6$  m od sebe (viz obr. 30). Vzhledem k tomu, že teplota v kolektoru může dosahovat pod bod mrazu, je důležité dbát na to, aby kolektor nebyl umístěn příliš blízko nebo dokonce pod stavebními základy. To by mohlo mít za následek narušení statiky objektu. Ze stejného důvodu nesmí být umístěn blízko kanalizačním či splaškovým potrubím. [9]

Výhodou plošných kolektorů je nižší pořizovací cena v porovnání s hlubinnými vrti, a to hlavně díky snadnější realizaci. U novostaveb lze dokonce zemní práce spojit s ostatními výkopovými pracemi a výrazně ušetřit na pořizovacích nákladech. Tepelná čerpadla založená na tomto systému mají nepatrně nižší průměrný roční topný faktor a vzhledem k tomu, že teplota v zemině vlivem venkovní teploty kolísá, mění se v průběhu

topné sezóny i topný faktor. Ten je nejmenší v závěru sezóny, kdy už je půda vychlazená. Používáme-li toto čerpadlo pouze pro vytápění, je možné plochu kolektoru zmenšit. Půda totiž přes léto dokáže zregenerovat slunečním zářením, venkovní teplotou a prostupem tepla z jiných vrstev půdy. Vždy však platí, že čím větší kolektor, tím menší jsou tepelné rozdíly v půdě, které udržují lepší biologickou rovnováhu na pozemku. Zde narážíme na další nevýhodu, a to, že jsme ovlivněni velikostí pozemku. Abychom mohli plošný kolektor použít, musíme mít tedy k dispozici dostatečně velkou plochu pro jeho umístění. [10]

#### 4.4.3 Podzemní voda

Pro tepelné čerpadlo, využívající jako zdroj energie podzemní vodu, je nutné mít dvě podzemní studny s dostatečným množstvím vody, které by od sebe měly být vzdáleny minimálně 15 m. První studna je tzv. zdrojovou (jímací), ze které se voda odebírá, a druhá je tzv. vsakovací, do které se voda vypouští. Voda pak obíhá mezi studněmi a tepelným



*Obr. 8: Umístění zdrojové a vsakovací studny [30]*

čerpadlem. Za určitých podmínek je možné vodu využít přímo v chladícím okruhu, ale musí být organicky čistá a nesmí obsahovat příliš mnoho minerálních látek, které by mohly znečišťovat a zanášet výměník v tepelném čerpadle. [9]

Největší výhodou tohoto systému je především velmi vysoký průměrný roční topný faktor, způsobený relativně vysokou teplotou vody v podzemí. Podzemní voda v hloubce 10 m má zpravidla stálou teplotu okolo 10 °C a ta je v tepelném čerpadle ochlazená většinou o 4 °C. Použití vody s teplotou nižší než 8 °C by mohlo mít za následek nežádoucí zamrznutí výparníku, které by mohlo způsobit poškození nebo úplné zničení tepelného čerpadla. [9]

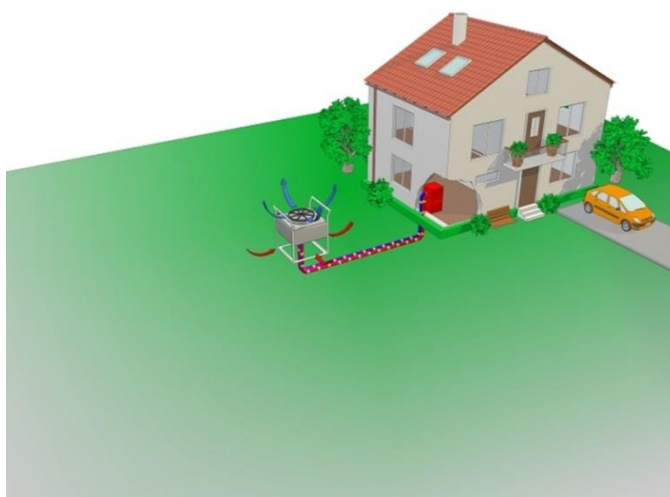
V praxi se s takovýmto dostatečným zdrojem poblíž vytápěné budovy setkáváme relativně málo a většinou je tedy potřeba provést hlubinný vrt uměle. Pro provedení takového vrtu potřebujeme zajistit odborný hydrologický průzkum místa, kde chceme vrt provádět. Na základě tohoto průzkumu musíme zažádat o povolení od vodoprávního úřadu, které se může setkat i s negativním výsledkem. Nejčastějším důvodem zamítnutí žádosti je obava o narušení zdrojů pitné vody. [10]

#### 4.4.4 Povrchová voda

Řeky, rybníky a další povrchové zásobárny vody jsou jako zdroje tepla pro tepelná čerpadla v České republice spíše vzácností. Pro čerpadlo založené na tomto systému totiž potřebujeme vodu, která splňuje stejné podmínky, jako při využití podpovrchového zdroje, tedy minimum minerálních látek a především organickou čistotu. Dostupnost lokalit, kde se vyskytují vody splňující všechny tyto podmínky, je velmi omezená, a tak je domácností využívajících tento systém velice málo. Navíc ne vždy máme vytápěný objekt umístěn přímo u nějakého vhodného vodního zdroje a s uložením potrubí přes cizí pozemky nemusí jejich majitel souhlasit, stejně jako s umístěním plošného kolektoru do dna cizí nádrže. Dalším problémem povrchové vody je to, že zamrzá a má relativně nízkou a kolísavou teplotu. Z tohoto důvodu tedy nelze využít malé potůčky či mělké nádrže. [10]

#### 4.4.5 Venkovní vzduch

Venkovní vzduch je jeden z nejpoužívanějších zdrojů tepelné energie. Vzduch jako zdroj nízkopotenciální energie je nejsnáze dostupný, neomezený a nejméně ovlivňuje okolní prostředí, protože odebrané teplo je do okolí vráceno v podobě zráta tepla objektem. Tento způsob je velice oblíbený hlavně díky své jednoduché instalaci a univerzálnosti použití. Při pořízení tohoto typu čerpadla není ani potřeba provádět zemní práce a tím se výrazně zmenšují pořizovací náklady. [7]



**Obr. 9: Umístění venkovní jednotky u tepelného čerpadla vzduch-voda [30]**

Hlavní nevýhoda spočívá v kolísavém výkonu, ten se s proměnlivou teplotou venkovního vzduchu mění, jak v průběhu roku, tak v průběhu jednoho dne. Množství získané energie ale nezáleží pouze na teplotě ale především na obsahu vlhkosti v nasátém vzduchu (čím chladnější vzduch, tím menší vlhkost). Jestliže teplota a vlhkost okolního vzduchu roste, roste i výkon tepelného čerpadla a naopak. Tudíž při mrazivých zimních dnech je výkon čerpadla nejnižší a v těchto případech musí být k čerpadlu použit jiný doplňkový zdroj (tzv. bivalentní provoz). Doplňkovým zdrojem bývá nejčastěji elektrokotel, který se spíná při teplotách okolo  $-3$  až  $5$  °C (ovšem záleží na konkrétní instalaci). To může negativně ovlivňovat provozní náklady, a tak není tepelné čerpadlo s nízkoteplotním zdrojem ve formě venkovního vzduchu doporučováno v oblastech s dlouhodobými teplotami pod bodem mrazu (např. v horách). [7]

Dalším problémem, který může nastat při provozu těchto tepelných čerpadel, je vznikání námrazy na výparníku oběhu. Pokud povrchová teplota výměníku klesne pod teplotu rosného bodu ochlazovaného vzduchu, vzniká námraza, která může snížit přestup tepla a zvyšuje průtokové odpory vzduchu přes výměník. Různí výrobci mají různé způsoby jak odstraňovat námrazu, avšak všechny tyto způsoby vždy zvyšují spotřebu energie. [6]

Tepelná čerpadla mají zpravidla venkovní a vnitřní část. Ve venkovní části je vzduch nasáván ventilátorem a je ochlazován. Průtokové množství vzduchu je řádově až tisíce  $\text{m}^3/\text{h}$  (asi  $1200 \text{ m}^3/\text{h}$  na  $1 \text{ kW}$  výkonu tepelného čerpadla). Na trhu už se objevují i čerpadla, která neobsahují venkovní část, ale výměník pro ochlazování vzduchu je pak umístěn uvnitř vytápěného objektu a vzduch je nasáván a vypouštěn přes potrubí ve stěnách. [6, 10]

#### **4.4.6 Vnitřní vzduch**

Vnitřní vzduch neboli odpadní teplý vzduch odváděný z objektu je také jedním ze zdrojů, který může být využit při vytápění tepelným čerpadlem, avšak dům musí být opatřen nuceným (strojním) větráním. [10]

Větrání běžně tvoří až jednu polovinu ztrát tepla v dobře zateplených objektech. Vzduch uvnitř vytápěného domu má teplotu zpravidla  $18 - 24$  °C. Výsledkem je poměrně dost ztrátové energie, která lze efektivně využít tepelným čerpadlem i v případě, kdy nelze použít běžně užívaného zpětného získávání tepla (rekuperace). [10]

Tepelné čerpadlo se zdrojem tepla z odpadního vzduchu ale nelze téměř nikdy použít jako jediný zdroj tepla (tzv. monovalentní provoz). Hlavní nevýhodou tohoto systému je, že nikdy nemáme dostatek odpadního tepla, aby byly plně pokryty tepelné ztráty objektu, a je tak potřeba využít jiný zdroj nízkopotenciální energie, například půdní kolektor. Ale s využitím tohoto bivalentního provozu (půdního kolektoru a tepelného čerpadla využívající odpadní vzduch) docílíme výrazného zmenšení plochy, na kterou je půdní kolektor potřeba rozvinout. [10]

#### **4.5 Bivalentní provoz**

Teploty během roku jsou velice proměnlivé a i v zimní sezóně se můžeme setkat s dny, kdy se teplota venkovního vzduchu blíží k  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Bylo by tak velice neekonomické dimenzovat tepelné čerpadlo pro vytápění i pro tak nízké teploty, tedy aby dokázalo pokrýt všechny ztráty i při takových mrazech. Z tohoto důvodu se u některých systémů aplikuje tzv. bivalentní zdroj. Toto opatření může velice snížit investiční náklady a především není potřeba pořizovat drahé tepelné čerpadlo s velkým výkonem [10]

Při tomto provozu je obvykle tepelné čerpadlo využíváno na pokrytí zhruba 50 – 80 % maximálního tepelného výkonu. Zbytek tepelného výkonu zajišťuje právě bivalentní zdroj nebo tzv. špičkový zdroj, který se spíná zpravidla automaticky, klesne-li teplota pod hranici tzv. bodu bivalence, kdy už tepelné čerpadlo není schopno pokrýt všechny ztráty objektu a oba tepelné zdroje mohou být aktivní zároveň. [10]

Teplota bivalence (bod bivalence) je ovlivněna mnoha faktory např. tepelnými ztrátami objektu, druhem a velikostí otopných ploch, výkonem tepelného čerpadla nebo výškou teploty, na kterou je tepelné čerpadlo schopno ohřát vodu v otopných soustavách. [10]

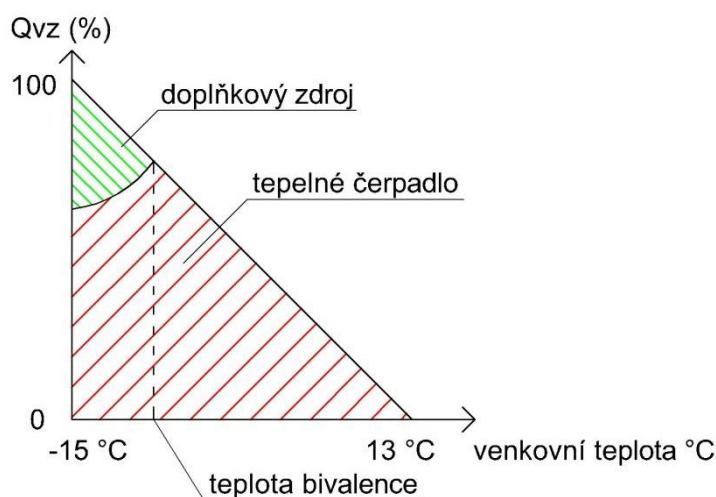
Nejčastějším bivalentním zdrojem je elektrokotel. V principu ale může být bivalentním zdrojem jakýkoliv jiný zdroj, např. nízkoteplotní kotel, kondenzační kotel nebo kotel na tuhá paliva. U těchto zdrojů je ale problém regulace. Je potřeba zajistit, aby oba zdroje navzájem spolupracovaly a druhý zdroj se spínal jen ve špičkových fázích. To je u kotle na tuhá paliva neřešitelný problém a při topení manuálním přikládáním člověkem může docházet buď k přetápění, nebo naopak může docházet k nedostatečnému vytápění domu. [10]



#### 4.5.1 Typy bivalentního provozu

Podle způsobu využití tepelného čerpadla a bivalentního zdroje se bivalentní provoz rozděluje do tří skupin:

- a) Alternativně – bivalentní provoz – Do klesnutí teploty pod bod bivalence je aktivní pouze tepelné čerpadlo a po klesnutí pod tento bod je tepelné čerpadlo odstaveno a je využíván jen špičkový zdroj, který by měl plně pokrýt potřebu tepla i při nejnižších teplotách
- b) Paralelně – bivalentní provoz – Tepelné čerpadlo je aktivní po celou topnou sezónu a po klesnutí teploty pod bod bivalence se zapíná špičkový zdroj. Ten produkuje pouze teplo, které tepelné čerpadlo není schopno svým výkonem pokrýt (viz obrázek).



Obr. 10: Schéma paralelně-bivalentního provozu [14]

- c) Částečně paralelně – bivalentní provoz – Tepelné čerpadlo se odstavuje pouze při nejnižších teplotách. Při vyšších teplotách pracují oba zdroje současně.

[14]

#### 4.6 Monovalentní provoz

V případě systému tepelného čerpadla s monovalentním provozem, neboli vytápění objektu pouze jedním typem tepelného čerpadla, jsou kladeny větší nároky na nízkopotenciální zdroj energie a při dimenzování je třeba brát v úvahu i zvýšení výkonu o další energeticky náročné operace. Mezi tyto operace patří:

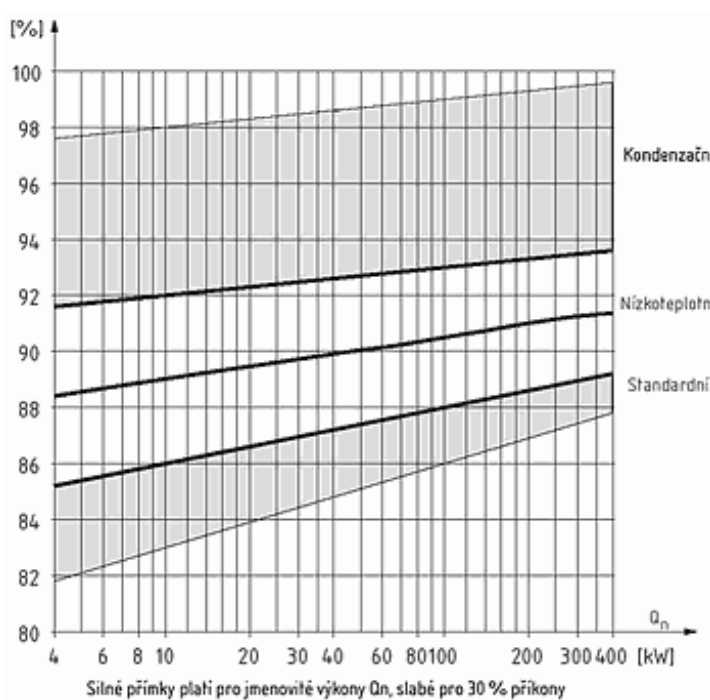
- výkon potřebný pro odtávání námrazy (u čerpadel vzduch-voda)
- tepelné ztráty do okolí

- přírůstek výkonu, kdy běžně tepelné čerpadlo nepracuje (při vysokém tarifu u bivalentního provozu), obvykle 2 hodiny denně
- případný výkon pro ohřev teplé vody

[14]

## 5 Nízkoteplotní a kondenzační kotle

Kotle obecně jsou jedním z nejčastějších způsobů vytápění v českých domácnostech. Obvykle jsou ale používány méně účinné kotle na pevná paliva. Avšak v posledních dvaceti letech se v oboru topenářství udělal značný pokrok a čím dál více se dbá na efektivnost využívaných zdrojů pro vytápění. Nejnižší účinnost plynových kotlů je od roku 1999 omezena nařízením vlády č. 180/1999 (viz obr. 11). [15]



Obr. 11: Nejnižší účinnosti plynových kotlů podle nařízení vlády 180/1999 [15]

### 5.1 Nízkoteplotní kotle

Nízkoteplotní kotle pracují na principu spalování plyných paliv. Kotel je konstruován na provoz se suchými spalinami a pracuje s velmi nízkými teplotami vody vstupující do kotle. Teplota spalin bývá v rozsahu 90 – 140 °C. Teplota vstupní vody se může pohybovat až mezi 35 – 40 °C. Teplotu vratné vody je ovšem nutné zabezpečit tak, aby neklesala pod teplotu rosného bodu spalin (kolem 55 °C). Následkem klesání teploty pod tento bod je kondenzace spalin na provozních částech kotle, čímž může vznikat tzv. nízkoteplotní koroze, která by mohla kotel velice zásadně poškodit či úplně zničit. Z tohoto

důvodu je konstrukce těchto kotlů tvořena z odolných materiálů, nejčastěji z oceli nebo z litiny. [15]

Zásadním ukazatelem efektivnosti je účinnost, která je u toho typu kotlů až 93 %. To znamená úsporu cca 20 % oproti kotlům se starší konstrukcí. [15]

## 5.2 Kondenzační kotle

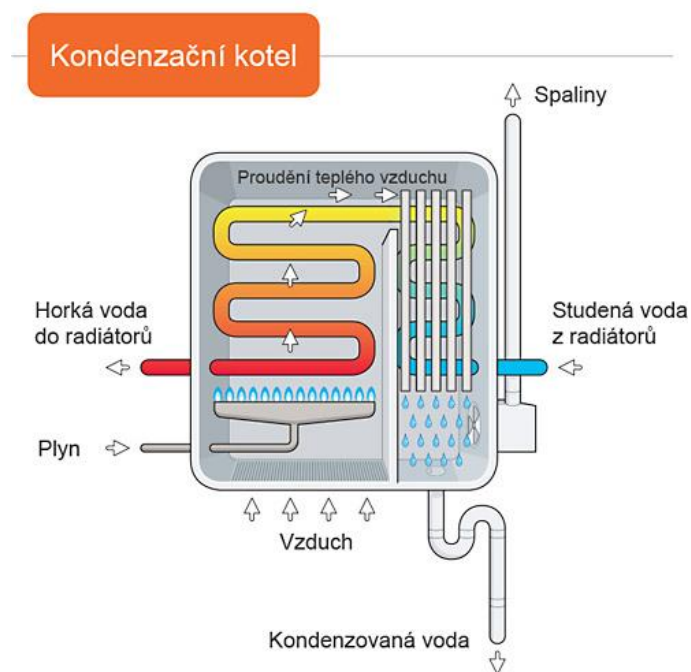
Kondenzační kotle jsou ve své podstatě nízkoteplotní kotle, jen s tím rozdílem, že u kondenzačních kotlů se záměrně využívá kondenzace spalin a vzniku latentního tepla, zatímco u nízkoteplotních kotlů byl tento jev negativní kvůli nízkoteplotní korozi. [15]

Teplota spalin v tomto typu kotlů se pohybuje mezi 40 – 90 °C. Je ovlivněna především okamžitou vytížeností kotle a teplotou vstupní vody. Při takto nízkých teplotách může docházet k nedostatečnému tahu v komíně, a tak musí být odvod spalin podporován přetlakovým hořákem, který zvyšuje tlak ve spalovací komoře a tím vytlačuje vzduch ven z kotle do komína. Není-li v konstrukci kotle zbudován přetlakový hořák, musí být odvod spalin podporován vzduchovým nebo spalinovým ventilátorem uvnitř zařízení. [15]

### 5.2.1 Konstrukce

Zásadním rozdílem oproti jiným typům kotlů je umístění plynového hořáku. Na rozdíl od nízkoteplotních kotlů, kde je hořák zpravidla umístěn dole, u kondenzačních kotlů je umístěn nahoře. Vývod spalin ven z kotle se nachází naopak v dolní části. [16]

Základním prvkem by měla být co nejdokonalejší tepelná izolace, která zabraňuje ztrátám tepla do okolí kotelny. Dokonalá tepelná izolace však není u dnešních výrobců výjimkou, ale spíše samozřejmostí. [16]



Obr. 12: Zjednodušený princip kondenzačního kotle [31]

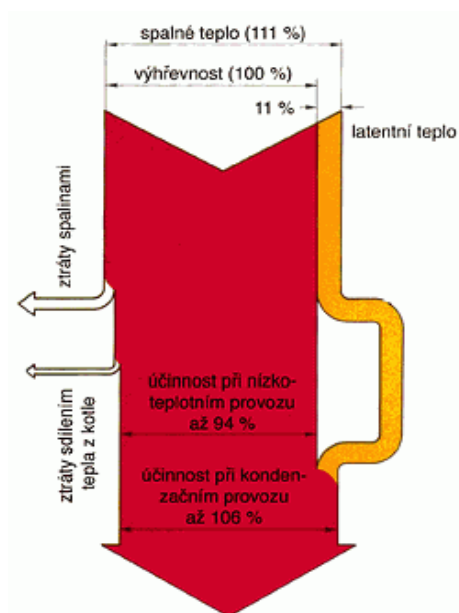
Kondenzační kotle jsou zpravidla sestavovány jako protiproudé výměníky tepla, tudíž trubky s chladnější vstupní vodou, která vede od otopných těles, je umístěna dále od hořáku než teplejší voda, která kotel opouští a slouží k vytápění objektu. Moderní kotle dokáží ochladit výstupní spaliny až na teplotu 5 – 10 K nad teplotu vody vstupující do kotle a využít tak vysoký podíl energie, který se ve standartních kotlích odvádí komínem, a tak vznikají v kondenzačních kotlích výrazně menší ztráty než v kotlích standartních. [16]

Vzhledem k tomu, že dochází ke kondenzaci spalin na výměnících i na dalších provozních částech kotle, musí být tyto části konstruovány z nerezových materiálů. Nejčastěji se používá nerezová ocel nebo hliníkovo-hořčíková slitina. Spaliny, které jsou odváděny komínem, jsou navíc mokré, a proto musí být vnitřní povrch komína odolný proti vlhkosti a vnitřnímu přetlaku. [16]

Vznikající kondenzát má kyselé pH (3,8 – 5,4). Stéká po povrchu výměníku a shromažďuje se ve spalovací komoře, kde je v nejnižším místě kotle odváděn sifonem do kanalizace. U moderních domů, u kterých postačuje výkon kotle do 25 kW, se může kondenzovaná voda vypouštět do kanalizace rovnou, avšak u kotlů s výkonem nad 250 kW se musí kondenzát ještě neutralizovat. [16]

### 5.2.2 Princip

Spaliny, které jsou normálně v nízkoteplotních kotlích odváděny do komína, mají poměrně vysokou měrnou vlhkost. Snížíme-li teplotu těchto spalin pod rosný bod, můžeme ve výměníku kondenzačního kotle získat další teplo vzniklé skupenskou změnou (kondenzací) vodní páry, která je přítomná v odváděných spalinách uhlovodíku nebo vodíku. Toto uvolněné teplo může zvýšit účinnost kotlů až o 11 % a celková účinnost uváděná výrobcem tedy může dosahovat až 106 %. Dle výrobců je běžně účinnost těchto kotlů brána jako podíl spalného tepla a výhřevnosti, a tímto výpočtem se mohou všechny účinnosti zde uvedené pohybovat i nad hranicí 100 %. [18]

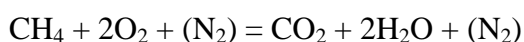


Obr. 13: Schéma toku tepla [32]

Nejvíce latentního tepla se uvolňuje právě, když je teplota odváděných spalin těsně pod rosným bodem. Avšak ochlazením ještě na nižší teplotu už není tak efektivní, a tak se kotle konstruuji zpravidla na tuto teplotu. [18]

#### 5.2.2.1 *Teoretické spalování zemního plynu*

Zemní plyn, který je do České republiky dodáván sítí Transgas, obsahuje vysoké procento methanu (udává se 98,4 %). Při výpočtu tedy můžeme počítat, že se jedná o čistý methan. Spalování zemního plynu (methanu) bude probíhat podle následujícího stechiometrického vztahu:



Ke spálení 1 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> je zapotřebí 2 m<sup>3</sup> kyslíku. Spálením vznikne 1 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> a 2 m<sup>3</sup> H<sub>2</sub>O ve formě vodní páry. Vzhledem k tomu, že kyslík se do kotle přivádí ve formě vzduchu, je s kyslíkem přiváděn i dusík. Kyslíku je ve vzduchu 21 % a dusíku 78%, tedy na 1 m<sup>3</sup> připadá přibližně 8 m<sup>3</sup> dusíku. Provedeme-li hmotnostní bilanci pro předchozí vztah, získáme [kg]:

$$0,72 + 2,86 + 10 = 1,98 + 1,60 + 10 = 13,58$$

$$1 + 3,97 + 13,89 = 2,75 + 2,22 + 13,89 = 18,86$$

Bilance byla získána vynásobením objemů hustotou složek při teplotě 0 °C a atmosférickém tlaku 101,3 kPa (první řádek). Na druhém řádku jsou tyto hodnoty přepočteny pro spalování 1 kg methanu.

Shrneme-li tuto hmotnostní bilanci, zjistíme, že pro spálení 1 kg methanu je potřeba 17,86 kg vzduchu (3,93 kg kyslíku + 13,89 kg dusíku) a spálením získáme 2,75 kg oxidu uhličitého, 2,22 kg H<sub>2</sub>O ve formě vodní páry a 13,89 kg dusíku. Další vlastnosti spalin jsou:

- hmotnost suchých spalin (spaliny, jejichž teplota je vyšší než teplota rosného bodu)

$$m_{ss} = 2,75 + 13,89 = 16,64 \text{ kg}$$

- hmotnost vlhkých spalin (spaliny, jejichž teplota je nižší než teplota rosného bodu)

$$m_{vs} = 2,75 + 13,89 + 2,22 = 18,86 \text{ kg}$$

- měrná vlhkost spalin

$$x = \frac{m_{vs} - m_{ss}}{m_{ss}} = \frac{2,22}{16,64} = 0,133 \frac{kg}{kg \text{ teoretických suchých spalin}}$$

[1]

### 5.2.2.2 Teoretická účinnost

Účinnost kondenzačního kotle lze spočítat jako podíl vyprodukovaného tepla a výhřevnosti. Ovšem dle výrobců je uvažováno v tomto výpočtu spalné teplo. Spalné teplo je teplo, které se uvolní spálením jednotkového množství plynu a stechiometrického množství kyslíku (o počátečních teplotách 25 °C) a při ochlazení zpět na počáteční teplotu. Výhřevnost plynu je rovna spalnému teplu, od kterého je odečteno teplo uvolněné kondenzací vody obsažené ve spalinách. Při spalování zemního plynu (v našem případě 100 % methanu) to je:

- spalné teplo

$$b_h = 39,82 \frac{MJ}{m^3} = 55,31 \frac{MJ}{kg}$$

- výhřevnost

$$b_d = 35,88 \frac{MJ}{m^3} = 49,83 \frac{MJ}{kg}$$

Z rozdílu těchto hodnot zjistíme, že uvolněná energie z kondenzace vodní páry, která vznikla spálením jednoho kilogramu methanu, je  $55,31 - 49,83 = 5,48 \text{ MJ/kg}$ . Když tyto hodnoty vydělíme, získáme běžně udávaný poměr, který obvykle používají výrobci těchto kotlů a nazývají jej účinnost (především jako reklamní tah).

- Podíl spalného tepla a výhřevnosti

$$\frac{b_h}{b_d} = \frac{55,31}{49,83} = 1,11 \rightarrow 111 \%$$

[1]

### 5.2.2.3 Účinnost spalování zemního plynu

V praxi je při spalovacím procesu dodáváno více vzduchu, než udává teoretický výpočet a vniká tak přebytek vzduchu, který výrazně ovlivňuje účinnost kotlů. Pokud ochlazujeme spaliny při dokonalém spalování bez přebytku vzduchu pod teplotou rosného bodu (58 °C), páry ve spalinách začínají kondenzovat a uvolňují teplo. Maximální teplo, které lze z této zkondenzované páry získat je 11 % z tepla spalného, a to právě při dokonalém spalování. [1]

Míra přebytku vzduchu se značí součinitelem  $\lambda$ . Při spalování bez přebytku vzduchu je tento součinitel roven jedné ( $\lambda = 1$ ). Čím větší je součinitel  $\lambda$ , tím horší je účinnost spalování, protože při nárůstu  $\lambda$  se snižuje teplota rosného bodu spalin. Např. teplota rosného bodu spalin při  $\lambda = 2$  je 45 °C a při  $\lambda = 3$  je 38 °C. [1]

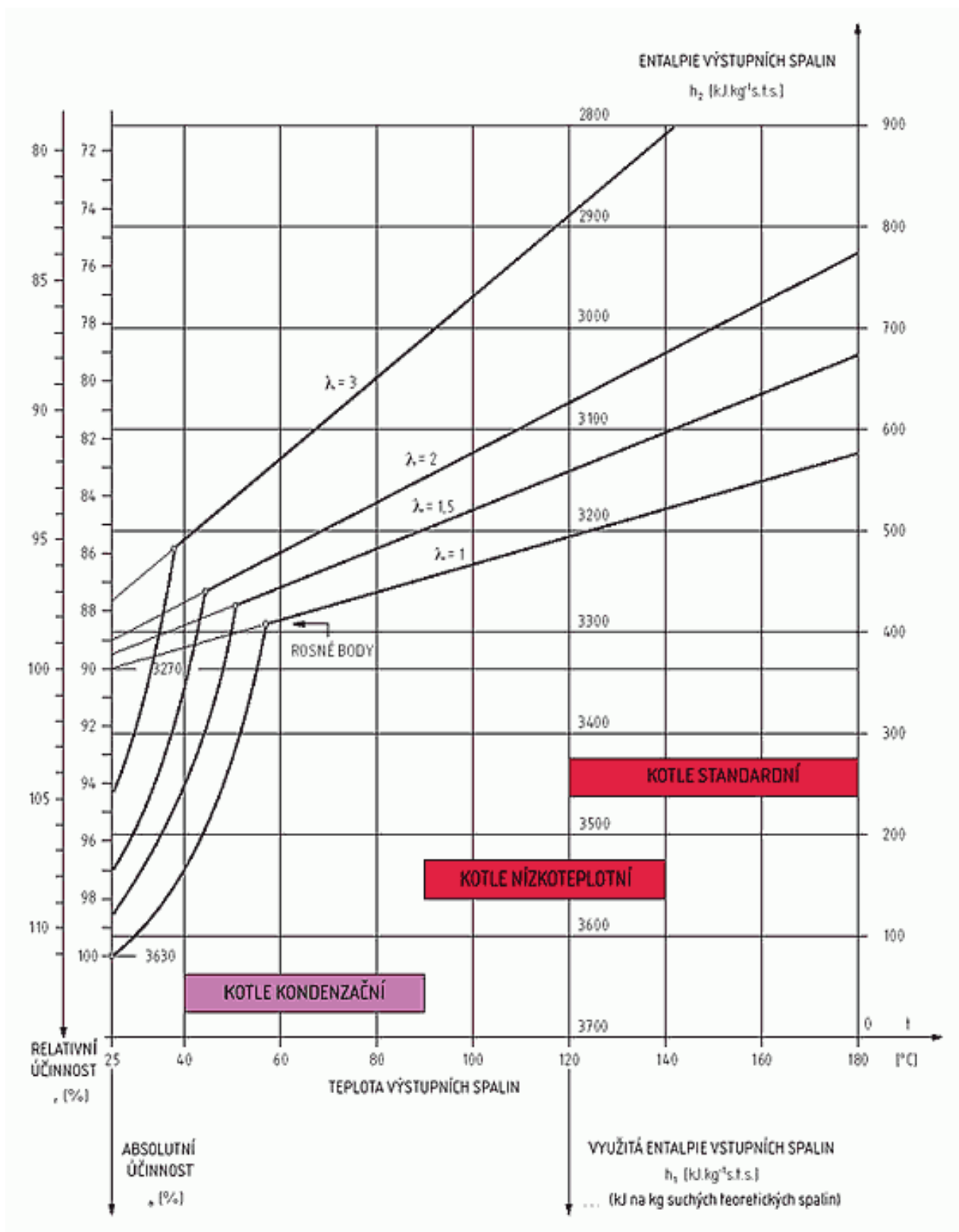
U nejkvalitnějších kotlů, které jsou dostupné na trhu, se objevuje  $\lambda$  sonda, která měří míru přebytku vzduchu ve spalinách. Kotel díky  $\lambda$  sondě může jemně korigovat směšovací poměr vzduchu a plynu vstupující do kotle a snaží se udržovat kotel v oblasti o maximální účinnosti. [17]

### **Entalpický diagram spalin CH<sub>4</sub>**

Účinnosti spalování zemního plynu lze při teoretických úvahách jednoduše odečíst s entalpického diagramu „h-t“ spalování zemního plynu (respektive CH<sub>4</sub>).

Pro odečítání z diagramu je potřeba znát změřené nebo jinak stanovené teploty spalin a hodnoty součinitele přebytku vzduchu, které se vloží do diagramu. Z diagramu pak lze jednoduše odečíst entalpii vstupních spalin  $h_2$ , využitou energii vstupních spalin  $h_1$ , relativní účinnost spalování  $\eta_r$  (vztažená k výhřevnosti CH<sub>4</sub>) a absolutní účinnost spalování  $\eta_a$  (vztažená ke spalnému teplo CH<sub>4</sub>). Absolutní účinnost se dá jinými slovy chápat jako za míru vyžití energie zemního plynu při jeho spalování. [1]

Hodnoty entalpií jsou vztahovány na 1kg suchých teoretických spalin. Při teplotě spalin nad teplotou rosného bodu mají průběhy obou entalpií (vstupní i výstupní) přímkový charakter a při klesání teploty spalin pod rosný bod mají hodnoty těchto entalpií charakter klesající křivky (viz diagram na obr. 14). Rosný bod je v místě, kde se protíná tato křivka s přímkou entalpií. [1]

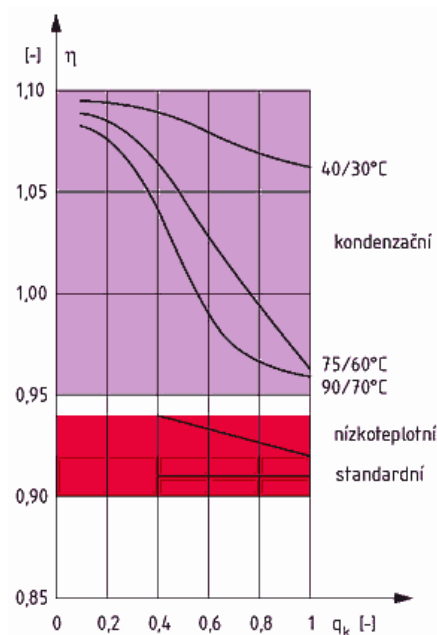


Obr. 14: Entalpický diagram spalování  $CH_4$  [15]



### 5.2.3 Charakteristika kondenzačního kotle

Charakteristika kotle je závislost účinnosti  $\eta$  [-] na poměrném výkonu  $q_k$  (okamžité vytížení kotle). Během topné sezóny se samozřejmě mění vytíženost  $q_k$  (při chladných dnech je vytíženost větší a v teplejších obdobích zas menší) a s tím se mění i teplota vstupní vody. Diagram je popsán pro několik stavů teploty vody a názorně ukazuje vliv teploty vody v otopné soustavě na účinnost. Pro porovnání jsou na obrázku i účinnosti nízkoteplotního a standardního kotle (v červené oblasti). [1]



Obr. 15: Průběh účinnosti kotlů (závislost účinnosti na vytížení) [33]

## 6 Vytápění solární technikou

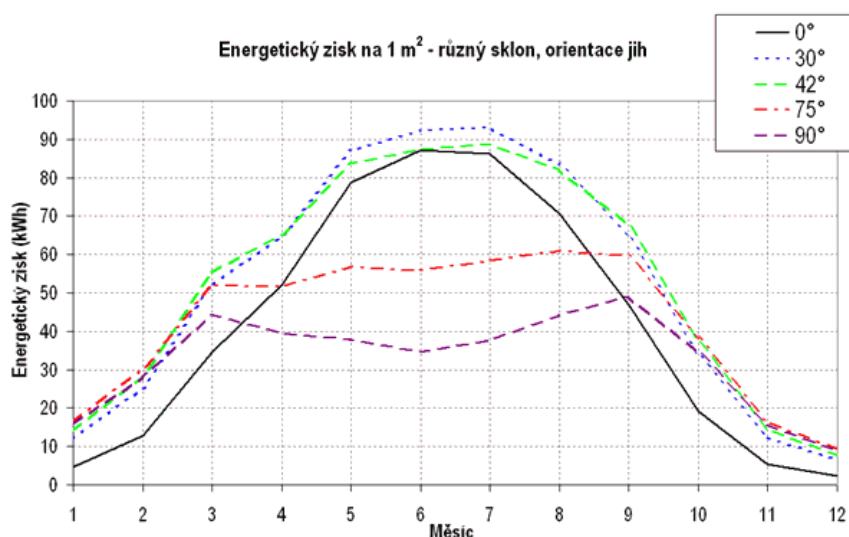
Sluneční energie dopadající na zem ve formě záření (fotonů) se z části (34 %) odráží zpět do vesmírného prostoru a z části (66 %) zůstává zachycena na zemi a je absorbována. Stále větší část této energie je člověkem zpracovávána a usměrňována k dalšímu využití. Můžeme ji přeměnit na energii v jiné podobě, a to na elektrickou, mechanickou nebo chemickou. Předmětem této práce je však využití energie na nízkoteplotní vytápění objektů. [22]

Kapacita tohoto zdroje je velmi vysoká a téměř neomezená. Prof. Jaromír Cihelka uvádí ve své publikaci *Solární a tepelná technika*, že na 1 m<sup>3</sup> povrchu země dopadá v České republice za rok v průměru 1100 kWh sluneční energie. [22]

Mezi základní předpoklady pro vytápění solární technikou patří především dostatečná tepelná izolace objektu a zároveň kvalitní okna, aby tepelné ztráty domu byly co nejmenší. Dále je vhodné aplikovat solární soustavy pouze u nízkoteplotně vytápěných domů s většími otopnými tělesy (tedy s nízkou teplotou vody v otopném systému) či při vytápění velkými sálavými plochami. Solární technika by samozřejmě měla být při instalaci v souladu s ostatními zdroji vytápění a v souladu by měla být také vzájemná regulace solární techniky a ostatních zdrojů. Dalším neméně důležitým předpokladem je orientace zpravidla na jižní stranu a sklon solárních kolektorů. Ten by se měl pohybovat mezi 40 – 90 °. Sklon závisí hlavně na období, ve kterém budou solární panely využívány:

- celoroční provoz – ideální sklon 40 – 45 °
- zimní sezónní provoz – ideální sklon 25 – 35 °
- letní sezónní provoz – ideální sklon 60 – 90 °

Solární panely by také v žádném případě neměly být umístovány do zastíněných prostor. [19]



Obr. 16: Příklad energetických zisků z 1 m<sup>2</sup> při různém sklonu kolektoru [24]

## 6.1 Výhody a nevýhody

Solární energie patří mezi obnovitelné zdroje energie a je prakticky nevyčerpatelná. Využívání této energie nemá žádný negativní dopad na životní prostředí, nebereme-li v úvahu zastavěné plochy a stínění panelů. Neprodukuje žádné vedlejší produkty a ani nijak neovlivňuje tepelnou rovnováhu země. Sluneční energie je také samozřejmě snadno dostupná na celém území ČR a je zdarma. Většina systémů je velice bezpečná, bezporuchová, tyto systémy mají dlouhou životnost a je možné je aplikovat i na stavby v husté městské zástavbě (na rozdíl třeba od tepelných čerpadel se zemním plošným kolektorem atd.). Díky příznivému dopadu na životní prostředí došlo v posledních letech k vysokému nárůstu solární techniky, a to hlavně díky rozsáhlému dotačnímu programu. Ten mohl výrazně snížit pořizovací náklady, které se zásadní způsobem projevují v návratnosti investice. [22]

Hlavní nevýhodou tohoto zdroje je, že v zimním období, kdy je potřeba hodně tepelné energie, je slunečního záření nedostatek a naopak v letním období, kdy vytápět téměř nepotřebujeme je energie nadbytek. Důsledkem toho je, že v zimním období

potřebujeme buď velkou absorpční plochu, nebo musí být tento problém zpravidla řešen dalším zdrojem energie, což se výrazně projeví v investičních nákladech. Další nevýhodou je poměrně složitá přeměna energie a relativně drahá technika pro přeměnu a využití této energie. [22]

## 6.2 Konstrukce a základní prvky

Nejprve je nutné rozdělit solární vytápění do dvou kategorií. První z nich je aktivní solární vytápění. U tohoto vytápění je využíváno čerpadel, která pohánějí vzduch nebo kapalinu s absorbovaným teplem ze solárních kolektorů dovnitř objektu. Druhou kategorií je pasivní solární vytápění. U pasivního solárního vytápění není vyžadováno žádné elektrické nebo mechanické vybavení. Jedná se o systém, který k vytápění vnitřních prostor používá zpravidla pouze stavebního řešení objektu. Toto solární vytápění, lze však využívat pouze u pasivních nízkoenergetický domů. [21]

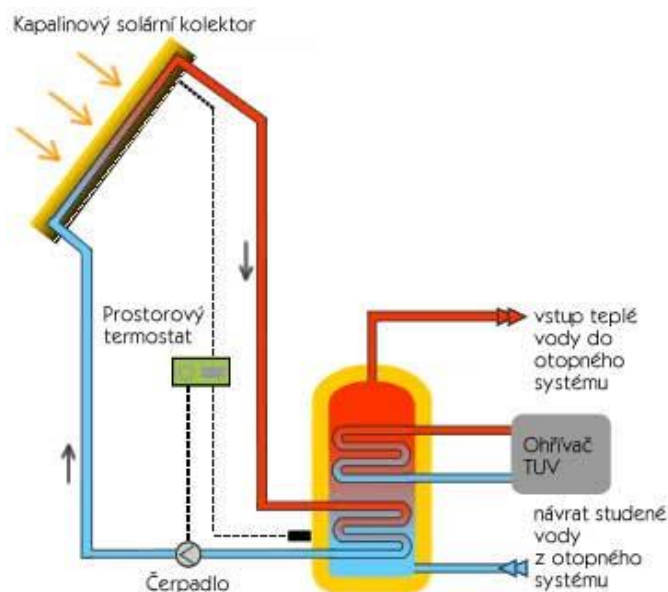
Cílem této práce je analyzovat zdroje vhodné pro vytápění s nízkoteplotním proudícím médiem, a tak se v této kapitole budu zabývat pouze systémy s aktivním přenosem solárního tepla.

Mezi základní prvky patří:

- kolektory (viz podrobné vysvětlení dále)
- zásobník tepla (akumulátor) – Slouží k zachycení tepla v období, kdy sluneční záření převyšuje spotřebu tepla. Toto teplo je pak možné využívat v době, kdy Slunce nesvítí (např. v noci). Je důležité navrhnout správný objem a počítat při tom i s delším obdobím nepříznivého počasí, aby nedocházelo k častému spínání druhého zdroje a zvýšení nákladů na vytápění.
- výměníky – Bývají součástí zásobníků a jejich prostřednictvím se teplo přenáší z kolektorů do zásobníku a ze zásobníku do sekundárního okruhu (do otopných těles).
- oběhové čerpadlo nebo ventilátor – Je využíván pro pohon oběhového média.

- zabezpečovací zařízení – s ohledem na proměnlivost teplot a objemů teplotné kapaliny se do oběhu aplikuje expanzní nádoba, která slouží k vyrovnání tlaků.
- zařízení pro automatickou regulaci – Velice důležité kvůli proměnlivosti počasí. Regulační prvky musejí reagovat nejen na denní změnu počasí, jako den a noc, ale záleží i na okamžité oblačnosti a průniku slunečních paprsků na povrch kolektoru. Tyto regulační systémy také zabraňují nepřipustnému snížení nebo naopak zvýšení teploty v celém oběhu a v neposlední řadě jsou řízeny také z hlediska okamžité spotřeby tepla (např. podle odběru vody nebo podle odběru tepla pro vytápění).
- spojovací potrubí, tepelná izolace, rozvody

[22]



**Obr. 17: Schéma kapalinového solárního kolektoru [34]**

### 6.2.1 Solární kolektor

Základním prvkem primárního okruhu je solární kolektor, který pohlcuje teplo ze slunečního záření, které je dále využíváno pro vytápění. Protože jsou kolektory umístěny venku a vystavovány všem vnějším vlivům, je důležité dbát u jejich konstrukce především na odolnost proti větru, korozi a dalším vlivům, které by je mohly poškodit. Kvůli poměrně drahé investici je také velice důležité zajistit co nejdélší životnost. Základním parametrem solárních panelů je jejich účinnost, která se ovšem velice promítá v nákupní ceně.

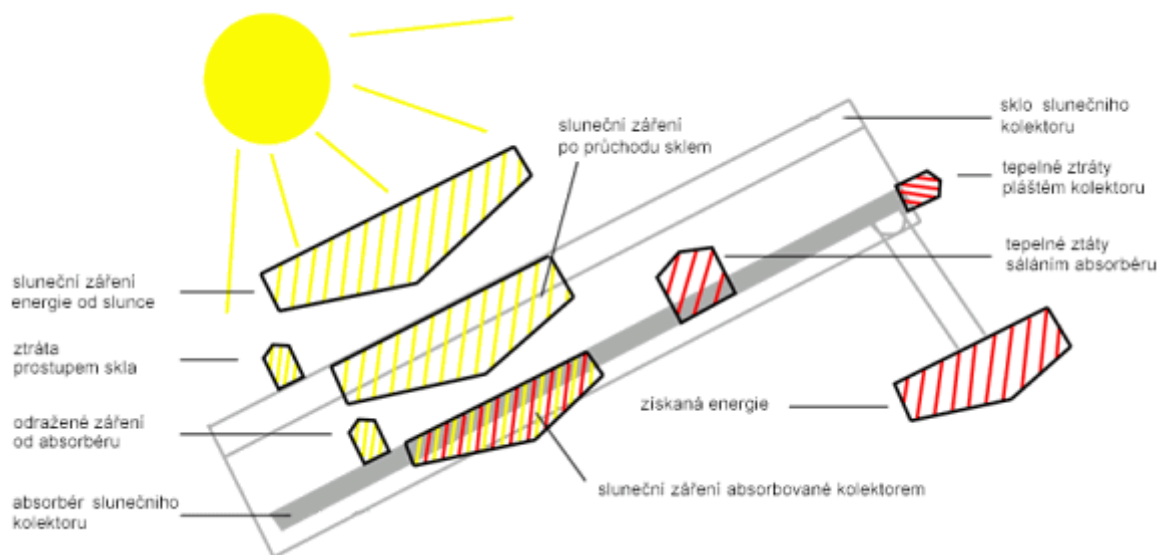
Obecně lze kolektory dělit na několik typů:

- a) ploché kolektory – Absorpční plocha je stejně velká jako čelní plocha, kterou procházejí sluneční paprsky.
- b) koncentrující kolektory – Paprsky slunečního záření jsou koncentrovány odraznými plochami na absorpční plochy. Tím se získá větší energie koncentrovaná na jedno místo a zároveň vyšší teploty teplotonosné tekutiny.
- c) vakuové kolektory – Absorpční plocha je umístěna dovnitř skleněné trubice s vakuem. Tím se výrazně sníží ztráty tepla do okolí a kolektor je schopen zachycovat záření o nízké intenzitě i při velmi nízké teplotě okolí.

[22]

Kolektory mají zpravidla obdélníkový tvar a na jejich přední straně jsou pokryty transparentní vrstvou (sklo nebo průhledná folie). Pod transparentní vrstvou je vrstva absorpční, která má za úkol pohlcovat záření. Z druhé strany je kolektor pokryt tepelnou izolací pro zajištění co nejnižších ztrát tepla do okolí. [22]

V solárních kolektorech vznikají poměrně vysoké ztráty, které se projevují na ceně panelů. Mezi největší ztráty, které v kolektorech vznikají, patří především tepelné ztráty sáláním kolektoru, ztráty pláštěm kolektorů, ztráty odrazem slunečních paprsků od skla absorbéru a ještě například ztráty vzniklé prostupem tepla sklem kolektoru. Poměry těchto ztrát jsou zhruba popsány na obr. 18. [23]



**Obr. 18: Tepelné ztráty kolektoru [23]**

### 6.3 Umístění solárních kolektorů

Většina solárních kolektorů, které se využívají pro vytápění, se umísťuje na střechu objektu. Podle tvaru a sklonu střechy se můžeme setkat se dvěma způsoby umístění.

První je umístění na šikmou střechu. Na šikmé střeše se kolektory instalují přibližně ve stejném sklonu jako má střecha a navzájem si nestíní. Zároveň můžeme ušetřit na ukotvovacím rámu nebo dokonce plně nahradit střešní krytinu speciálními solárními panely. Ovšem při umístění na šikmou střechu se můžeme setkat s nevhodnou orientací objektu a tím i špatnou orientací panelů umístěných na střeše. [24]

Druhou variantou je umístění na plochou střechu. Takovým umístěním získáme možnost libovolné orientace vzhledem ke světovým stranám, což může výrazně ovlivnit efektivnost. U tohoto umístění je však nutný rám, který drží panely v určitém sklonu, čímž se nepatrně zvýší pořizovací náklady. [24]

V některých případech se lze setkat i s jiným umístěním kolektorů, které mohou splňovat i další funkce než jen absorpci energie. Jak již bylo zmíněno, mohou fungovat jako střešní krytina nebo jako stínící prvek na balkonech nebo nad okny. V některých případech mohou být i součástí zateplovacího systému (pouze na jižní straně). [24]

## 6.4 Pracovní látky

### 6.4.1 Vzduch

Vzduch jako proudící teplotnosné médium není v České republice až tak rozšířen jako třeba v USA. Vzduch ve spojení se solárními kolektory se čím dál více začíná prosazovat na český trh, a to především díky spojení s rekuperačními systémy, kde solární energie ohřívá vzduch, který proudí dovnitř objektu při větrání. [25]

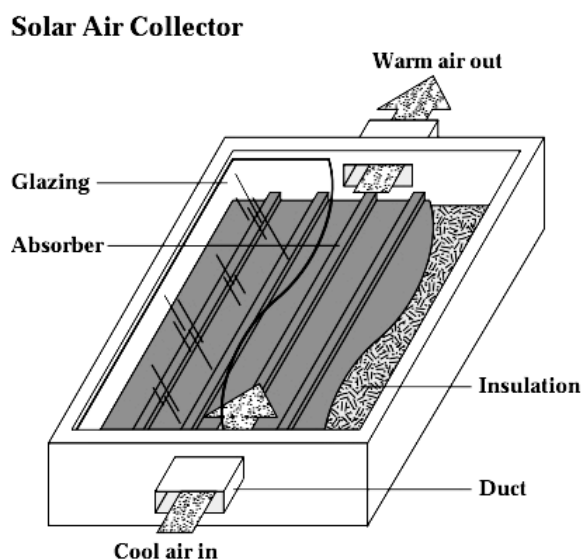
Princip spočívá v tom, že absorber pohlcující sluneční záření se ohřívá a vstupující chladnější vzduch toto teplo z absorberu odebírá. Vzduch, který opouští kolektor, má vyšší teplotu a je použit k vytápění. [25]

U vzduchových kolektorů je výhodou jejich větší odolnost při teplotách pod bodem mrazu, protože vzduch téměř neobsahuje vodu a základní prvky kolektorů tak většinou nezamrzají. Tyto kolektory jsou oproti kolektorům, kde je jako proudící médium využívána voda, konstrukčně jednodušší. Nemají až tak velké požadavky na těsnost všech součástí. Nevýhodou jsou horší přestupy tepla z absorberu na vzduch a také zvětšení průměrů potrubí (až desetinásobně) oproti systémům s použitím vody jako teplotnosného média. [25]

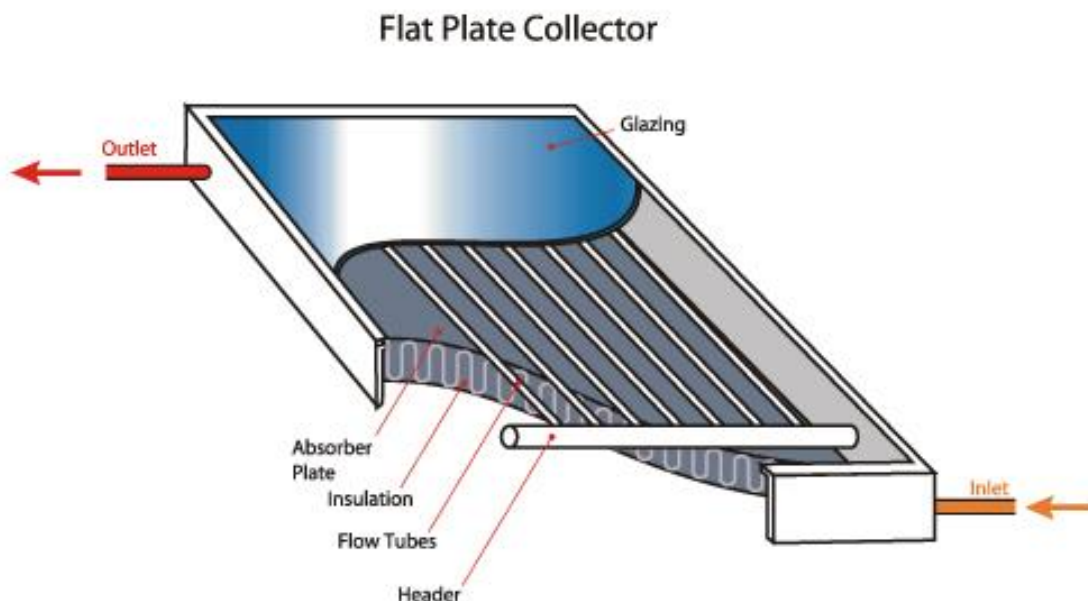
### 6.4.2 Kapaliny

Kapalinové kolektory jsou u nás rozhodně používanější než systém se vzduchem. Ovšem jako asi všechny solární systémy jsou využívány převážně jen na ohřev vody a pro vytápění bývají pouze doplňkovým zdrojem. [26]

Princip tohoto systému je velice podobný systému se vzduchem. Největší rozdíl je v tom, že u vzduchového kolektoru proudí vzduch volně pod zasklenou plochou a u systémů s kapalinou proudí kapalina zpravidla uvnitř trubek, na které je koncentrováno sluneční záření. [26]



**Obr. 19: Solární kolektor se vzduchem jako pracovním médiem [25]**



*Obr. 20: Solární kolektor s vodou jako pracovním médiem [35]*

## 7 Náklady

Nejdůležitějším parametrem při výběru zdroje tepelného vytápění jsou jednoznačně provozní a investiční náklady. Vzhledem k tomu, že každý jednotlivý typ zdroje vytápění je obvykle využíván v jiných podmínkách, je poměrně těžké je mezi sebou srovnávat. Pro porovnání jednotlivých zdrojů byla použita objektivní kalkulačka ze serveru TZB-info.cz, která dokáže zahrnout do výpočtu nákladů mnoho parametrů, které by mohly ovlivnit především provozní náklady. Budou zde shrnuty jen náklady na vytápění (neuvažujeme náklady na ohřev teplé vody a ostatní elektrickou spotřebu objektu) a pouze u nejčastějších aplikací z výše uvedených. Všechny výpočty budou vztaženy k jedné konkrétní budově s následující charakteristikou.

### 7.1 Charakteristika objektu

Pro výpočty uvažují rodinný dům, ve kterém bydlí rodina s dětmi, o tepelné ztrátě 7 kW. Podlahová plocha budovy je 150 m<sup>2</sup> a objem budovy 405 m<sup>3</sup>. Předpokládaná výměna vzduchu je 0,4 h<sup>-1</sup>. Dům se nachází ve střední klimatické oblasti (uvažujeme dům v okolí Benešova u Prahy), kde je venkovní výpočtová teplota -15 °C a průměrná teplota v otopném období je 3,8 °C. Délka tohoto otopného období je 248 dní.



## 7.2 Tepelné čerpadlo země-voda

Pro tepelné čerpadlo země-voda dosazují průměrný topný faktor, který se objevuje u výrobců těchto čerpadel, tedy topný faktor 4,3. Předpokládám jistič od 3x20 A do 3x25 A. Cena elektřiny v nízkém tarifu je 2.19309 Kč/kWh. Cena elektřiny ve vysokém tarifu je 2.54092 Kč/kWh. Mezi provozní náklady je zahrnut servis a údržbu ve výši 1000 Kč/rok. Nejvyšší položka při pořizování tepelného čerpadla je samotný zdroj tepla. Cenu čerpadla uvažuji 230 000 Kč. K počáteční investici připočítávám také cenu primárního okruhu včetně instalace a zapojení ve výši 50 000 Kč a cenu otopné soustavy, také včetně instalace a zapojení, ve výši 145 000 Kč. Životnost zdroje tepla a otopné soustavy předpokládáme 20 let a životnost primárního okruhu 30 let. [27]

### 7.2.1 Shrnutí nákladů u tepelného čerpadla země-voda

Podle serveru TZB-info.cz dle zadaných parametrů vychází, že celková energie na vytápění za rok činí 3226 kWh. U tepelných čerpadel jsou nevyšší položkou investiční a provozní náklady, které vychází ve výši 21 417 Kč/rok. Náklady na vytápění jsou 7 074 Kč/rok. Do nákladů ovšem musím započítat také paušální platby za elektřinu ve výši 5 400 Kč/rok. [27]

#### **Celkové náklady:**

Investiční a provozní náklady: 21 417 Kč/rok

Náklady na vytápění: 7 074 Kč/rok

Paušální platby: 5 400 Kč/rok

---

**Celkem: 33 891 Kč/rok**

## 7.3 Tepelné čerpadlo vzduch-voda

Pro tepelné čerpadlo země-voda dosazujeme průměrný topný faktor 3,2. Předpokládám stejný jistič jako v předchozím případě a to jistič od 3x20 A do 3x25 A. Stejně tak cena elektřiny v nízkém tarifu je 2.19309 Kč/kWh a cena elektřiny ve vysokém tarifu je 2.54092 Kč/kWh. Mezi provozní náklady zahrnuji opět servis a údržbu, tentokrát ve výši 1500 Kč/rok. Pořizovací cenu zdroje uvažuji 250 000 Kč a cenu otopné soustavy včetně instalace a zapojení uvažujeme stejnou jako v předchozím případě, tedy 145 000 Kč. Životnost zdroje tepla předpokládám 15 let a životnost otopné soustavy předpokládám 20 let. [27]

### 7.3.1 Shrnutí nákladů u tepelného čerpadla vzduch-voda

Opět podle serveru TZB-info.cz dle zadaných parametrů vychází, že celková energie na vytápění za rok činí 4696 kWh. Investiční a provozní náklady vychází ve výši 25 417 Kč/rok. Náklady na vytápění jsou 10 299 Kč/rok a paušální platby za elektřinu jsou (stejně jako u tepelného čerpadla země-voda) ve výši 5 400 Kč/rok. [27]

<b><u>Celkové náklady:</u></b>	Investiční a provozní náklady: 25 417 Kč/rok
	Náklady na vytápění: 10 299 Kč/rok
	Paušální platby: 5 400 Kč/rok

---

**Celkem: 41 116 Kč/rok**

### 7.4 Moderní nízkoteplotní kotel

Pro nízkoteplotní kotel předpokládám účinnost 93 %. Plyn bude odebírán od společnosti RWE Energie, a.s. v ceně 1,20014 Kč/kWh. Mezi sezónní náklady zařazují servis a údržbu 1000 Kč/rok a prohlídku komínu 800 Kč/rok. Mezi investiční náklady patří především kotel v ceně 38 000 Kč, otopná soustava za 120 000 Kč, přípojka za 55 000 Kč a komín za 47 000 Kč. Životnost přípojky a komínu předpokládám 30 let, životnost kotle 15 let a životnost otopné soustavy 20 let. [27]

#### 7.4.1 Shrnutí nákladů u nízkoteplotního kotle

Celková energie na vytápění dodaná za rok činí 13 507 kWh. Investiční a provozní náklady jsou ve výši 13 733 Kč/rok. Náklady na vytápění jsou 16 211 Kč/rok a paušální platby za odběrné místo a přepravu plynu jsou ve výši 3 456 Kč/rok. [27]

<b><u>Celkové náklady:</u></b>	Investiční a provozní náklady: 13 733 Kč/rok
	Náklady na vytápění: 16 211 Kč/rok
	Paušální platby: 3 456 Kč/rok

---

**Celkem: 33 400 Kč/rok**

## 7.5 Kondenzační kotel

U kondenzačního kotle předpokládám reálnou dosažitelnou účinnost 102 %. Plyn bude opět odebírán od společnosti RWE Energie, a.s. v ceně 1,20014 Kč/kWh. Mezi sezónní náklady zařazuji servis a údržbu 1000 Kč/rok a prohlídku komínu 500 Kč/rok. Zdroj tepla (kondenzační kotel) stojí 60 000 Kč, otopná soustava je za 145 000 Kč, přípojka za 55 000 Kč a komín za 36 000 Kč. Životnost přípojky a komínu předpokládám 30 let, životnost kotle 15 let a životnost otopné soustavy 20 let. [27]

### 7.5.1 Shrnutí nákladů u kondenzačního kotle

Celková energie na vytápění dodaná za rok činí 11 427 kWh. Investiční a provozní náklady jsou ve výši 15 783 Kč/rok. Náklady na vytápění jsou 13 714 Kč/rok a paušální platby za odběrné místo a přepravu plynu jsou ve výši 3 456 Kč/rok. [27]

<b><u>Celkové náklady:</u></b>	Investiční a provozní náklady: 15 783 Kč/rok
	Náklady na vytápění: 13 714 Kč/rok
	Paušální platby: 3 456 Kč/rok

---

**Celkem: 32 953 Kč/rok**

## 7.6 Solární vytápění

U Solárních panelů je takový výpočet poměrně problematický. Důvodem je, že nemůžeme zajistit trvalý přísun tepla, respektive trvalý sluneční svit, a tak je vždy potřeba nějaký záložní zdroj, který bude přísun energie v těchto obdobích nedostatku nahrazovat. U solárních panelů se tedy převážně jedná jen o přitápění, prakticky se nesetkáváme s monovalentním provozem, kdy se pro vytápění používá pouze solární techniky.

Z důvodu velkého množství variant, pro jaké můžeme použít solární panely, zde bude uvedena pouze doba návratnosti. K tomu použiji opět kalkulačku na serveru TZB-info.cz.

Pro výpočet předpokládám celkový využitý zisk solární soustavy 7000 kWh/rok. Zvolil jsem solární kolektory od společnosti UNEGO, typ VAK 52 (s parametry v tabulce) a použiji 12 kolektorů, které jsou řazeny hydraulicky za sebou v celkové investiční ceně 280 000 Kč. Do investice se však může promítnout dotace (Zelená úsporám) ve výši až

50 000 Kč, takže výslednou investici počítám ve výši 230 000 Kč. Vezmeme-li v úvahu, že cena energie, za kterou bychom platili, kdyby nebyl aplikován solární kolektor, je 1,13 Kč/kWh a účinnost zdroje energie 75 %, tak vyjde přibližná a pouze orientační roční úspora energie s použitím solární techniky pro vytápění 10 547 Kč/rok. Návrhnost investice je tedy 21,8 let. [28]

Rozměry (šířka x délka x výška)	640 x 2250 x 120 mm
Absorpční plocha	0,99 m <sup>2</sup>
Hmotnost	34 kg
Obsah náplně	0,4 l
Maximální pracovní tlak	6 Bar
Připojovací rozměry	šroubení 3/4"
Rám kolektoru	samonosný rám v nerezovém provedení, práškový černý lak
Izolace absorberu	vakuum min. 10 <sup>-3</sup> Pa
Vakuová trubice	sklo Ø 52 x 1,8 mm, 10 ks
Absorber	Cu plech, vysoce selektivní vrstva - TiNOX
Energetický zisk	650 - 900 kWh/m <sup>2</sup> za rok

Solární kolektory mají při normálním provozu životnost 25 – 30

**Obr. 21: Parametry kolektoru UNEG0 VAK 52 [20]**

let, ovšem pouze za příznivých podmínek, které nelze vždy zaručit (krupobití, vítr a další neovlivnitelné negativní vlivy jejich životnost snižují). Tím se stává tato investice poměrně riskantní. Také se vyplatí pouze u kvalitních a ověřených firem, které dokáží zaručit účinnost a požadované vlastnosti uvedené v technických popisech. Vytápění pomocí solárních panelů se takto samo o sobě zdá v porovnání s ostatními typy nejvýhodnější, nesmíme však zapomínat na to, že v podmínkách našeho vzorového domu není vzhledem k jeho zeměpisné poloze prakticky možné uvažovat o něm jako o samostatném způsobu vytápění, kvůli vyšší tepelné ztrátě objektu. Téměř jistě by bylo nutné využít ještě dalšího zdroje, který by samozřejmě zvýšil pořizovací náklady. Vytápění pomocí solárních panelů by však bylo výhodné v případě, že by bylo použito jako doplňkové k jakémukoli z předchozích zmiňovaných typů, protože by při vhodné instalaci mohlo snížit provozní náklady celkové alternativy. [28]

## 8 Diskuse – jaký nízkoteplotní zdroj je nejvhodnější?

Jak již bylo v této práci několikrát řečeno, volba vhodného zdroje není jednoznačná a pro každý objekt může být nejvhodnější jiný zdroj. Závisí vždy na výchozích podmínkách, které ovlivňují jejich výběr. Existuje mnoho faktorů, které mohou výběr tepelného zdroje výrazně ovlivnit. Například je zřejmé, že v domě uprostřed města s malou zahradou není možné aplikovat tepelné čerpadlo, které získává nízkopotenciální energii zemním plošným kolektorem, protože kolektor by se na zahradu jednoduše nevešel. Dále je zcela jasné, že

taktéž nemůžeme použít tepelné čerpadlo voda-voda, když nemáme žádný vhodný nízkopotenciální vodní zdroj poblíž vytápěného objektu, a tak dále.

Při volbě tepelného zdroje velice záleží na finančních možnostech a kapitálu, který můžeme použít pro okamžitou počáteční investici. Jak plyne z předchozí kapitoly investiční náklady u tepelných čerpadel včetně otopné soustavy a primárního okruhu se pohybují okolo 400 tisíc korun, zatímco při pořízení moderního nízkoteplotního nebo kondenzačního kotle se investice pohybuje pouze okolo 200 – 250 tisíc korun včetně výstavby komína a instalace přípojky na plyn. U kondenzačního kotle jsou provozní náklady vyšší, přesto lze říci, že po vyčíslení všech částek je cena za tepelné čerpadlo země-voda v porovnání s kondenzačním nebo nízkoteplotním kotlem srovnatelná. Takže není-li potřeba investovat do komína či do přípojky na plyn, je kondenzační nebo nízkoteplotní kotel ve spoustě případů asi nejlepším řešením.

Máme-li dostatečné finanční možnosti a rozhodujeme se jaký je nejvhodnější zdroj pro novostavbu, je dle mého názoru velice vhodné aplikovat tepelné čerpadlo, konkrétně tepelné čerpadlo na bázi země-voda, s kterým výrazně ušetříme na provozních nákladech. Z celkových výdajů, jak investičních tak provozních, plyne, že tepelné čerpadlo země-voda je energeticky nejvýhodnějším typem tepelného čerpadla, a to hlavně díky malému kolísání teplot v okolí horizontálních nebo vertikálních výměníků. Nejčastějším problémem tohoto systému však bývají rozsáhlé stavební úpravy (vrty nebo položení plošných kolektorů) na pozemku, kvůli kterým se většina majitelů rozhodně spíše pro tepelné čerpadlo vzduch-voda.

Realizace tepelných čerpadel vzduch-voda sice získává v Česku stále větší oblibu, ale po spočítání všech výdajů vychází tato čerpadla oproti ostatním porovnávaným zdrojům vhodných pro nízkoteplotní otopné soustavy analyzované v této práci výrazně nevýhodně. Řada lidí tato čerpadla pořizuje kvůli jednoduché instalaci a neuvědomují si, že tato čerpadla mají řadu nevýhod např. hlučnost, kolísání topného faktoru kvůli změnám venkovní teploty, to, že mohou zamrznat nebo právě třeba již zmiňované vysoké náklady.

Při volbě zdroje je vždy výhodné se poradit s objektivním odborníkem a nechat si vyčíslit všechna vhodná řešení a z těch vyvodit, co je pro daný objekt nejlepším řešením a nespolehat se na lákavé nabídky jednotlivých firem. Je vždy lepší si připlatit za odborný posudek než prodělat mnohem více peněz špatnou aplikací.

## 9 Závěr

V době zvyšování cen energií a paliv se výrazně zvyšuje zájem o levnější způsoby vytápění. V tomto případě přicházejí na řadu zdroje vhodné pro nízkoteplotní otopné soustavy, které při správné aplikaci dokáží díky své nízké teplotě v otopné soustavě výrazně snížit náklady na vytápění celého objektu.

Tepelná čerpadla jsou založena na principu přeměny nízkopotenciální energie (ze země, vzduchu nebo vody), tedy energie, které je na zemi v podstatě nevyčerpatelné množství. Pro využití této energie je potřeba pouze zhruba třetinové elektrické energie, čímž se provozní náklady výrazně snižují.

Při aplikaci moderních nízkoteplotních nebo kondenzačních kotlů se užívá poměrně ekologického paliva, tedy zemního plynu. Při spalování zemního plynu vzniká jen nepatrné množství nežádoucích spalin. Konstrukce kotlů pracují s maximální účinností, a tak dokáží zajistit velmi nízké provozní náklady, a v porovnání s tepelnými čerpadly mají i výrazně nižší pořizovací náklady.

Vytápění solární technikou může být při dokonalé instalaci velice výhodnou investicí do budoucna. Zpravidla je solární vytápění aplikováno zároveň s jiným náhradním zdrojem a při příznivých podmínkách, díky sluneční energii, která je zcela zdarma, se také mohou snížit celkové náklady na vytápění.

Všechny tyto zdroje jsou výrazně šetrné k životnímu prostředí, a díky výraznému snížení výdajů a čím dál větší informovanosti se zvyšuje poptávka po nich. Moderní zdroje si získávají obyvatele také díky automatické regulaci, což znamená, že nevyžadují téměř žádnou obsluhu.

Zdroje tepla pro nízkoteplotní otopné soustavy získávají na trhu čím dál větší zastoupení a do budoucna mohou i zcela nahradit vysokoteplotní soustavy a topení pevnými palivy.

## 10 Seznam použité literatury

- [1] KOLEKTIV. *Topenářská příručka*. Svazek 1. Praha: GAS s.r.o., 2001. ISBN 80-86176-82-7.
- [2] KLAZAR, L. *Nároky a náročnost, potřeba a spotřeba, teplo a energie*. 18. 3. 2003 [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/1412-naroky-a-narocnost-potreba-a-spotreba-teplo-a-energie>>
- [3] VALENTA, V. *Hospodárné využití paliv a energií pro vytápění*. 24. 8. 2004 [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/2106-hospodarne-vyuziti-paliv-a-energi-pro-vytapeni>>
- [4] POJAR, P. *Vybíráte do svého bytu nová otopná tělesa?*. 23. 12. 2011 [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.ceskestavby.cz/clanky/vybirate-do-sveho-bytu-nova-otopna-telesa-20574.html>>
- [5] DUFKA, J. *Vytápění domů a bytů*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 1997. 128 s. ISBN 80-7169-401-0.
- [6] HAVELSKÝ, V. MEČÁRIK, K. FÜRI, B. *Tepelné čerpadlá*. 1. Vydání. Bratislava: Alfa, 1988. 328s. 25,04 AH, 25,44 VH
- [7] KARLÍK, R. *Tepelné čerpadlo pro váš dům*. 1. vydání. Brno: Grada Publishing, 2009. 112 s. ISBN 978-80-247-2720-2.
- [8] SLOVÁČEK J. *Historie a vývoj tepelných čerpadel v ČR a EU*. 15. 12. 2009 [online]. Dostupné z WWW:< <http://www.asb-portal.cz/tzb/vytapeni/historie-avyvoj-tepelnych-cerpadel-vcr-aeu>>
- [9] ŠMÍDA, I. *Tepelná čerpadla a jejich použití v otopných soustavách (I)*. Český instalatér, 6/2002, 38 s. [online] Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/1271-tepelna-cerpadla-a-jejich-pouziti-v-otopnych-soustavach-i>>
- [10] SRDEČNÝ, K. - TRUXA, J. *Tepelná čerpadla*. 1. vydání. Brno: ERA, 2005. 68 s. ISBN 80-7366-031-8.
- [11] OTEVŘEL, P. *Výběr tepelného čerpadla - 1. Díl*. 20. 7. 2015 [online]. Dostupné z WWW: <<http://vytapeni.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13000-vyber-tepelneho-cerpadla-a-na-co-se-pri-vyberu-zamerit>>

- [12] FRANC, A. *Konec chladiva R22 od roku 2010*. 1. 12. 2009 [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.enviweb.cz/clanek/paragraf/79599/konec-chladiva-r22-od-roku-2010>>
- [13] BIVENS, D. B. – MORLEY, J. R. – WELLS W. *DuPont Fluoroproducts*. [online] Dostupné z WWW: <<http://www.eurocooling.com/articler410a.htm>>
- [14] JELÍNEK, V. *Využívání a provozování tepelných čerpadel v nízkoenergetických domech*. 10. 1. 2015 [online]. Dostupné z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12211-vyuzivani-a-provozovani-tepelnych-cerpadel-v-nizkoenergetickych-domech>>
- [15] VALENTA, V. *Kondenzační kotel pro každého (I)*. 1. 2. 2002 [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/868-kondenzacni-kotel-pro-kazdeho-i>>
- [16] VALENTA, V. *Kondenzační kotel pro každého (VI)*. 8. 3. 2002 [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/868-kondenzacni-kotel-pro-kazdeho-i>>
- [17] VALENTA, V. *Kondenzační kotel pro každého (III)*. 15. 2. 2002 [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/868-kondenzacni-kotel-pro-kazdeho-i>>
- [18] LÁZŇOVSKÝ, M. - KUBÍN, M. - FIŠER, P. *Vytápění rodinných domků*. 1. vydání. Praha: T. Malina, 1996. 488 s. ISBN 80-901975-2-3.
- [19] MATUŠKA, T. Solární vytápění. [online]. Dostupné z WWW: <<http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/142-solarni-vytapani>>
- [20] UTÍKAL, J. Unego. 12. 3. 2016 [online]. Dostupné z WWW: <<http://unego.cz/>>
- [21] MILLER, F. - VANDOME, A. - MCBREWSTER, J. *Solar Energy*. 1. vydání. Beau Bassin: Alphascript publishing, 2009. 488 s. ISBN 978-613-0-00472-9.
- [22] CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. 1. vydání. Praha: T. Malina, 1994. 208 s. ISBN 80-900759-5-9.



- [23] KUČERA, P. Využití sluneční energie v topných systémech 27. 10. 2004 [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/2214-vyuziti-slunecni-energie-v-topnych-systemech>>
- [24] MATUŠKA, T. - SCHWARZER, J. - ŠOUREK, B. *Solární soustavy - Teorie a schémata (I)* 8. 8. 2005 [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/2631-solarni-soustavy-teorie-a-schemata-i>>
- [25] KSENYA. *Solar air collectors*. 7. 9. 2011 [online]. Dostupné z WWW: <<http://solartribune.com/solar-hot-air-panels>>
- [26] MURTINGER, K. - TRUXA, J. *Solární energie pro váš dům*. 1. vydání. Brno: Computer press, 2010. 107 s. ISBN 978-80-251-3241-8.
- [27] KOPAČKOVÁ, D. *Porovnání nákladů na vytápění TZB-info*. Citováno [12. 3. 2016]. Dostupné z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-tzb-info>>
- [28] REINBERK, Z – MATUŠKA, T. *Návratnost solární tepelné soustavy*. Citováno [12. 3. 2016]. Dostupné z WWW: <<http://oze.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/134-navratnost-solarni-tepelne-soustavy>>
- [29] HIROFUMI, F. *Fujitsu general*. Citováno [12. 3. 2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.fujitsu-general.com/cz/products/erp-ecodesign/index.html>>
- [30] ENERGETICKÉ SLUŽBY PRE. *Vybíráme tepelné čerpadlo*. 16. 2. 2012 [online]. Dostupné z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/8295-vybirame-tepelne-cerpadlo>>
- [31] M2 INVEST. *Úspory v oblasti tepelného hospodářství*. Citováno [12.3.2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.m2invest.cz/images/pict-kondenzacni-kotel.jpg>>
- [32] VALENTA, V. *Kondenzační kotel pro každého (II)*. 8. 2. 2002 [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/868-kondenzacni-kotel-pro-kazdeho-i>>
- [33] VALENTA, V. *Kondenzační kotel pro každého (V)*. 1. 3. 2002 [online]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/868-kondenzacni-kotel-pro-kazdeho-i>>

- [34] KRULICH, J. *Solární systémy Liberec - solární vytápění a fotovoltaické panely*. Citováno [12. 3. 2016]. Dostupné z WWW: <<http://www.solarni-vytapeni.eu/kontakty/solarni-systemy-vytapeni-fotovoltaicke-panely-liberec>>
- [35] SOUTHFACE. *How solar thermal works*. Citace [12. 3. 2016]. Dostupné z WWW: <http://www.southface.org/learning-center/library/solar-resources/how-solar-thermal-works>

## 11 Seznam obrázků

<i>Obr. 1: Vývoj počtu instalací tepelných čerpadel v ČR v minulých letech [8]</i> .....	4
<i>Obr. 2: Schéma oběhu tepelného čerpadla [9]</i> .....	5
<i>Obr. 3: Hodnoty SCOOP pro různé kategorie energetických tříd účinností [29]</i> .....	6
<i>Obr. 4: Carnotův porovnávací cyklus tepelného čerpadla [6]</i> .....	7
<i>Obr. 5: Lorenzův porovnávací cyklus tepelného čerpadla [6]</i> .....	8
<i>Obr. 6: C-Rankinův porovnávací cyklus tepelného čerpadla [6]</i> .....	9
<i>Obr. 7: Umístění plošného kolektoru [30]</i> .....	12
<i>Obr. 8: Umístění zdrojové a vsakovací studny [30]</i> .....	13
<i>Obr. 9: Umístění venkovní jednotky u tepelného čerpadla vzduch-voda [30]</i> .....	14
<i>Obr. 10: Schéma paralelně-bivalentního provozu [14]</i> .....	17
<i>Obr. 11: Nejnižší účinnosti plynových kotlů podle nařízení vlády 180/1999 [15]</i> .....	18
<i>Obr. 12: Zjednodušený princip kondenzačního kotle [31]</i> .....	19
<i>Obr. 13: Schéma toku tepla [32]</i> .....	20
<i>Obr. 14: Entalpický diagram spalování CH<sub>4</sub> [15]</i> .....	24
<i>Obr. 15: Průběh účinnosti kotlů (závislost účinnosti na vytížení) [33]</i> .....	25
<i>Obr. 16: Příklad energetických zisků z 1 m<sup>2</sup> při různém sklonu kolektoru [24]</i> .....	26
<i>Obr. 17: Schéma kapalinového solárního kolektoru [34]</i> .....	28
<i>Obr. 18: Tepelné ztráty kolektoru [23]</i> .....	30
<i>Obr. 19: Solární kolektor se vzduchem jako pracovním médiem [25]</i> .....	31
<i>Obr. 20: Solární kolektor s vodou jako pracovním médiem [35]</i> .....	32
<i>Obr. 21: Parametry kolektoru UNEG0 VAK 52 [20]</i> .....	36