

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Elektrické otopné systémy energeticky, ekologicky  
a ekonomicky**

**vedoucí práce: Ing. Oldřich Kroupa  
autor: Jitka Píchová**

**2012**

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jitka PÍCHOVÁ**  
Osobní číslo: **E09B0025P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Technická ekologie**  
Název tématu: **Elektrické otopné systémy energeticky, ekologicky a ekonomicky**  
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Uveďte elektrické otopné systémy a jejich vliv na tepelnou pohodu.
2. Zpracujte přehled o energetické náročnosti systémů.
3. Porovnejte elektrické systémy se systémy pracujícími se zemním plynem.
4. Proveďte hodnocení kritériem 3E a vyvoďte závěry pro praxi.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. LANGER, E., KOŽENÝ, J. : Elektrotepelná zařízení indukční, Plzeň, VŠSE, 1982,
2. LANGER, E. : Teorie indukčního a dielektrického tepla, Praha, ČSAV, 1979

Vedoucí bakalářské práce:

**Ing. Oldřich Kroupa**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 17. října 2011

Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2012

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

děkan



Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.

vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

## **Anotace**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na popis elektrických otopných systémů a jejich vlivu na tepelnou pohodu člověka. Práce je věnována energetické náročnosti těchto systémů, jejich vlastnostem a účinnosti, dále je porovnává se systémy pracujícími na bázi zemního plynu. Na závěr je uvedeno hodnocení pomocí kritéria 3E.

## **Klíčová slova**

Elektrické otopné systémy, tepelná pohoda, akumulční topidla, přímotopná topidla, hybridní topidla, alternativní vytápění, energetická náročnost, vytápění zemním plynem, plynové otopné systémy, kritérium 3E, energetický aspekt, ekologický aspekt, ekonomický aspekt.

## **Abstract**

### **Energy, ecological and economic (cost-effective) analysis of electrical heating devices**

The presented bachelor thesis focuses on the description of the electrical heating devices and their impact on human thermal comfort. The thesis deals with the energy use intensity of these devices, their features and efficiency, afterwards it compares electrical devices with systems based on natural gas. The paper concludes with the assessment according to 3E criteria.

## **Keywords**

Electrical heating devices, thermal comfort, storage heater, convection heater, hybrid heater, alternative heating, energy use intensity, heating with natural gas, gas heating systems, 3E criteria, energy aspect, ecological aspect, economic aspect.

## **Prohlášení**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne 31. 5. 2012

Jitka Píchová

.....

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce Ing. Oldřichu Kroupovi za hodnotné připomínky k samotnému zpracování a za metodické vedení práce.

## Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Tepelná pohoda</b>	<b>12</b>
2.1	TEPELNÁ POHODA ČLOVĚKA VE VYTÁPĚNÉ MÍSTNOSTI	12
2.2	TEPELNÁ PRODUKCE ČLOVĚKA, AKTIVITA	13
2.3	PROUDĚNÍ VZDUCHU $v_a$	14
2.4	VLHKOST VZDUCHU $h$	15
2.5	TEPLOTA VZDUCHU V MÍSTNOSTI $t_v$	15
2.6	ÚČINNÁ TEPLOTA OKOLNÍCH PLOCH $t_p$	16
2.7	VÝSLEDNÁ TEPLOTA PROSTŘEDÍ $t_i$	17
<b>3</b>	<b>Elektrické otopné systémy, jejich rozdělení a energetická náročnost</b>	<b>18</b>
3.1	AKUMULAČNÍ TOPIDLA	20
3.1.1	Akumulační kamna statická a dynamická	20
3.1.2	Akumulační podlahové vytápění	23
3.2	PŘÍMOTOPNÁ TOPIDLA	24
3.2.1	Konvektory	24
3.2.2	Sálavé panely	25
3.2.3	Elektrické infrazářiče	27
3.2.4	Teplovodní elektrické kotle	27
3.2.5	Elektrické radiátory (koupelňová tělesa)	28
3.3	HYBRIDNÍ TOPIDLA	29
3.3.1	Hybridní elektrické topné panely	29
3.4	ALTERNATIVNÍ VYTÁPĚNÍ	30
3.4.1	Tepelná čerpadla	30
3.5	ENERGETICKÁ NÁROČNOST ELEKTRICKÝCH OTOPNÝCH SYSTÉMŮ	32
3.5.1	Tepelná ztráta vytápěného objektu	32
3.5.2	Výpočet příkonu elektrických otopných systémů	35
<b>4</b>	<b>Vytápění zemním plynem</b>	<b>38</b>
4.1	PLYNOVÉ OTOPNÉ SYSTÉMY	39
4.2	POROVNÁNÍ SYSTÉMŮ ELEKTRICKÝCH SE SYSTÉMY NA BÁZI ZEMNÍHO PLYNU	41
<b>5</b>	<b>Elektrické otopné systémy hodnocené kritériem 3E</b>	<b>43</b>
5.1	ENERGETICKÝ ASPEKT ELEKTRICKÝCH OTOPNÝCH SYSTÉMŮ	43
5.2	EKOLOGICKÝ ASPEKT ELEKTRICKÝCH OTOPNÝCH SYSTÉMŮ	45
5.3	EKONOMICKÝ ASPEKT ELEKTRICKÝCH OTOPNÝCH SYSTÉMŮ	46
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>49</b>
<b>7</b>	<b>Použitá literatura</b>	<b>51</b>



## Seznam použitých symbolů a zkratek

®	registrovaná ochranná známka
$h$ [%]	relativní vlhkost vzduchu
CO	oxid uhelnatý
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
CH <sub>4</sub>	metan
$I$ [A]	elektrický proud
$K$ [-]	koeficient průběhu vytápění
$k_v$ [h <sup>-1</sup> ]	součinitel provozu
met	jednotka rychlosti metabolismu
N <sub>2</sub> O	oxid dusný
NO <sub>x</sub>	oxidy dusíku
$n$ [-]	počet, množství (dle konkrétního použití)
$P$ [W]	elektrický výkon, použito i pro vyjádření elektrického příkonu
$P_a$ [kW]	příkon akumulčních kamen
$P_{ha}$ [kW]	příkon akumulčních části hybridního topidla
$P_{hp}$ [kW]	příkon přímotopné části hybridního topidla
$P_k$ [W]	příkon konvenčního či sálavého otopného systému
$Q$ [W]	topný výkon, použito i pro vyjádření tepelné ztráty
$Q_c$ [W]	celková tepelná ztráta
$Q_{cj}$ [W]	celková tepelná ztráta dílčího elektricky vytápěného prostoru
$Q_d$ [W.h]	celková denní spotřeba tepla
$Q_h$ [W]	celkové tepelné hodinové ztráty
$Q_p$ [W]	tepelná ztráta prostupem stěnami
$Q_v$ [W]	tepelná ztráta větráním
$Q_z$ [W]	celkové tepelné zisky
$q_v$ [W.m <sup>-3</sup> .K <sup>-1</sup> ]	měrná tepelná ztráta
$R$ [Ω]	elektrický odpor vodiče
SO <sub>2</sub>	oxid siřičitý
$T_v$ [h]	doba vytápění
$t_e$ [°C]	vnější (venkovní) teplota
$t_i$ [°C]	výsledná vnitřní teplota prostředí (např. místnosti)
$t_{ij}$ [°C]	teplota dílčího elektricky vytápěného prostoru

---

$t_j$ [°C]	teplota j-té okolní plochy
$t_p$ [°C]	účinná teplota okolních ploch
$t_v$ [°C]	teplota vzduchu v místnosti
$V_c$ [m <sup>3</sup> ]	objem všech vytápěných místností
$v_a$ [m.s <sup>-1</sup> ]	rychlost proudění vzduchu
$\varepsilon$	topný faktor (činitel výkonu)
$\varphi_j$ [-]	j-tý poměr osálení jednotlivých ploch plochou lidského těla
apod.	a podobně
a.s.	akciová společnost
atd.	a tak dále
ČEZ	České energetické závody, a.s., dodavatel elektřiny a zemního plynu
ČSN	České technické normy
E.ON	akciová společnost, dodavatel elektřiny a zemního plynu
HDO	hromadné dálkové ovládání
ISO	International Organization for Standardization (mezinárodní organizace zabývající se tvorbou norem)
např.	například
NT	nízký tarif elektrické energie
PE	označení ochranného zemního vodiče (protective earth)
popř.	popřípadě
PRE	Pražská energetika, a.s., dodavatel elektřiny
PVC	polyvinylchlorid
resp.	respektive
s.r.o.	společnost s ručením omezeným
tj.	to jest
tzv.	takzvaný

# 1 Úvod

Elektrická energie a její použití pro vytápění budov má mnoho výhod především dobrou regulovatelnost její spotřeby a dále poměrně vysokou účinnost spotřebičů. V současné době, kdy je do téměř každého objektu elektřina zavedena nejen za účelem vytápění (samozřejmě zejména pro vnitřní a vnější osvětlení objektu a napájení ostatních domácích spotřebičů), je prakticky nejdostupnější energií. K jejím nevýhodám naopak patří vyšší cena proti ostatním topným médiím, i když dnes není tento rozdíl tak propastný. Právě kvůli vyšší ceně elektrické energie musíme dbát na to, aby vytápění touto energií bylo co nejefektivnější - tedy systém vytápění vhodně kombinovat s použitými materiály a dále regulovat při uvážení především následujících předpokladů a parametrů - tepelně-technické vlastnosti budov, zajištění tepelné pohody osob pohybujících se v daném vytápěném objektu a návratnost investic vložených do systému vytápění. V oblasti elektrických otopných systémů existuje široký výběr použitých technologií. Proto, než se potenciální uživatel rozhodne pro konkrétní systém, je velmi vhodné z hlediska budoucích investic poradit se s odborníkem, nebo zadat zpracování projektu vytápění objektu přímo specializované firmě.

## 2 Tepelná pohoda

### 2.1 Tepelná pohoda člověka ve vytápěné místnosti

V zimním období, kdy ve venkovních prostorách dosahují teploty podstatně nižších hodnot, než je potřebná teplota pro vnitřní prostory, kde se pohybují lidé, jsme nuceni zajistit příznivé tepelné a vlhkostní poměry pomocí vytápění (například elektrický otopný systém). Když jsou tyto poměry dodrženy, a tím jsou vytvořeny příznivé podmínky pro pobyt v prostoru, vyvolá se u člověka pocit tepelné pohody. Příznivé podmínky pro pobyt v místnosti můžeme ovlivnit také způsobem instalace, druhem a velikostí použitého otopného systému. Tepelná pohoda je subjektivní pocit člověka, kdy mu není příliš horko, ale ani příliš chladno. Právě proto, že se jedná o pocit subjektivní, je tepelná pohoda ovlivňována několika faktory jako jsou zdravotní stav člověka, pohlaví, věk, oblečení, ale také již zmíněné roční období. *Pocit dobré tepelné pohody je v podstatě dán rovnováhou tepelného režimu člověka nutnou k udržení stálé teploty těla 37 °C [1].* Vzájemné působení výše uvedených faktorů často vytváří, nebo naopak nevytváří stav tepelné pohody. K dalším faktorům, které mají vliv na tepelnou pohodu, patří:

- tepelná produkce člověka, aktivita
- proudění vzduchu
- vlhkost vzduchu
- teplota vzduchu
- teplota okolí

## 2.2 Tepelná produkce člověka, aktivita

Člověk může teplo vytvářet dvěma způsoby - prvním z nich je takzvaný bazální metabolismus, kdy je teplo produkováno biologickými procesy (energie tvořena pomocí přijímané potravy), druhým způsobem je svalový metabolismus, kdy je teplo vytvořeno jako vedlejší produkt lidské fyzické činnosti. Hodnota bazálního metabolismu se může lišit s přibývajícím věkem a s pohlavím.

Energetický výdej člověka lze popsat následujícími parametry (veličinami):

- tepelná produkce průměrného člověka [W] - muž o hmotnosti 75 kg a výšce 175 cm
- tepelný výkon na plochu tělesného povrchu [ $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ]
- rychlost metabolismu v jednotkách [met] - jednotka vytvořená pro měření a studium tepelné pohody, 1 met =  $58 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$  [2]

Tepelnou produkci průměrného člověka v různých uzavřených prostorech uvádím v Tabulce 2.1, pro srovnání je v Tabulce 2.2 uveden i sport a chůze. Tabulka 2.3 obsahuje tři příklady rychlosti metabolismu.

**Tabulka 2.1:** Tepelná produkce průměrného člověka [10]

Činnost-práce	Tepelná produkce [W] - dle ISO 7243
hluboký spánek (bazální metabolismus)	85
sezení v klidu, duševní práce	90-95
čtení potichu, v sedě, bez opory	115
sezení s mírnou aktivitou, uvolněné stání	120-150
velmi lehká práce (švadleny, čtení nahlas)	120-140
lehká práce (práce v laboratoři, učitelé)	140-200
středně těžká práce (slévači, přednášející)	200-260
těžká práce (tesaři, nakládači s lopatou)	260-320
velmi těžká práce (ruční dřevorubci, sekáči)	nad 320
krátkodobý maximální výkon	1800

**Tabulka 2.2:** Tepelná produkce průměrného člověka při sportu a chůzi [10]

Činnost-práce	Tepelná produkce [W] - dle ISO 7243
horolezci	700-1000
chůze rychlostí 3,5 km.h <sup>-1</sup> po rovině	290
chůze rychlostí 3,5 km.h <sup>-1</sup> po rovině při mírném stoupání	330

**Tabulka 2.3:** Rychlost metabolismu [2]

Činnost-práce	Rychlost metabolismu [met]
klid při čtení	1,0
občasný pohyb, stav v zaměstnání	1,4
spěch	3,0

Přenos energie mezi lidským tělem a prostředím se označuje jako sdílení tepla. Známe tři způsoby sdílení tepla a to prouděním (konvekci), sáláním (radiací) a vedením (kondukcí). Účinek sálavého tepla na člověka můžeme změřit pomocí kulového teploměru Vernon [3].

### 2.3 Proudění vzduchu $v_a$

Proudění vzduchu (někdy též uvedené označení - průvan) může být jedním z hlavních zdrojů tepelné nepohody. Na druhou stranu je však proudění nutné pro obměnu vzduchu v místnosti vedoucí ke zvýšení obsahu kyslíku a také z hlediska dalších faktorů ovlivňující zdravotní stav člověka - v nevětraných místnostech se např. mohou množit bakterie a jiné mikroorganismy. Potřeba vyšší rychlosti proudění vzduchu je přímo úměrná teplotě prostředí. Když je teplota místnosti, ve které se pohybujeme, vysoká, což může ovlivnit použitý otopný systém, vyžadujeme také zpravidla vyšší rychlost proudění. Příliš vysoká rychlost proudění ale může způsobit zdravotní komplikace (prochladnutí organismu). Pro pracovní prostředí je doporučována rychlost proudění vzduchu mezi  $v_a = 0,1 - 0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Hodnoty v tomto rozmezí se liší v závislosti na ročním období, jsou různé například pro kanceláře, drobné provozovny, či velké provozy. Podstatný je také oděv a činnost, kterou člověk vykonává [30].

Rychlost proudění vzduchu se měří anemometry, nebo kata-teploměrem [3].

## 2.4 Vlhkost vzduchu $h$

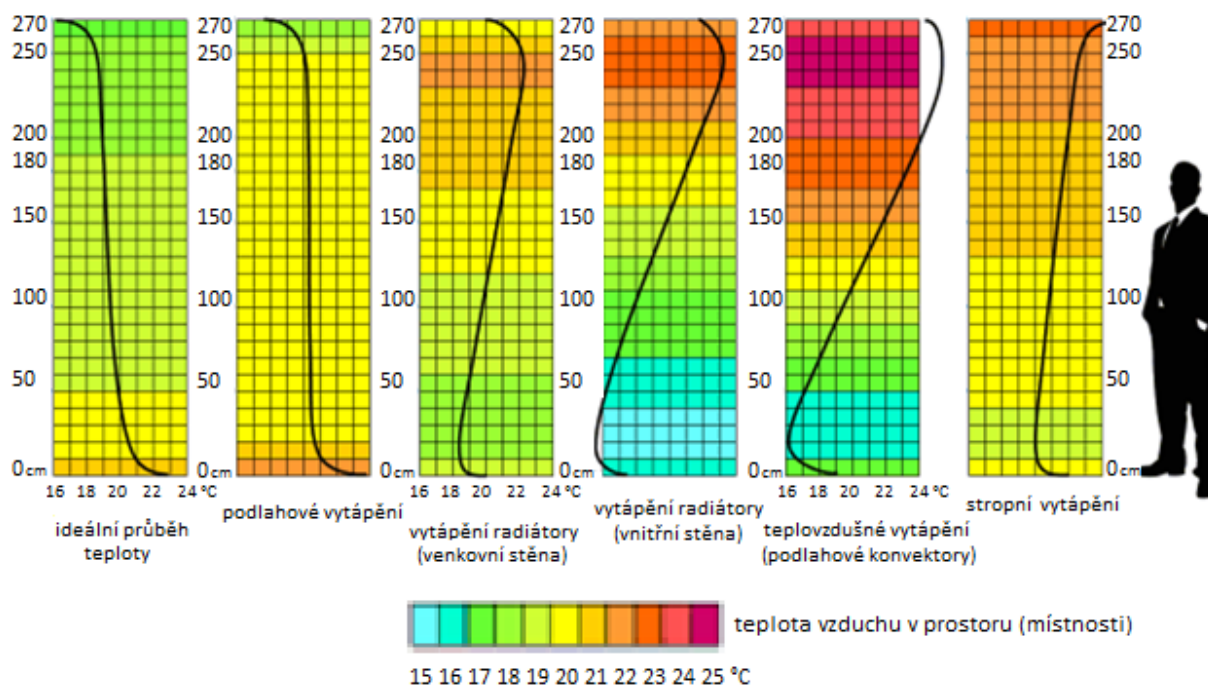
Vlhkost vzduchu v místnosti člověk převážně nevnímá tak výrazně jako teplotu, přitom stejně jako proudění vzduchu, může mít i vlhkost podstatný vliv na zdraví člověka. V uzavřených prostorách ji ovlivňuje několik faktorů - otopný systém, množství lidí v místnosti, nebo i množství venkovního světla. Musíme též brát v úvahu venkovní vlhkost, která se mění v závislosti na ročním období, ale také na počasí. Relativní vlhkost vzduchu v místnosti vnímaná člověkem příjemně se pohybuje mezi 30 – 70 %. Pokud se relativní vlhkost dostane pod spodní hranici rozpětí, což je ovlivněno například zimním vytápěním prostor, můžou se i u méně citlivých jedinců objevit příznaky podráždění sliznic horních i dolních cest dýchacích. Proto je doporučováno v těchto případech používat umělé zvlhčovače vzduchu, dobře může posloužit i větší akvárium v místnosti. Naopak při překročení 70 % relativní vlhkosti nastává riziko vzniku různých plísní [30].

Existuje mnoho metod pro měření vlhkosti, nejznámější je asi hygrometrická (vlasový hygrometr), či psychrometrická (Assmanův psychrometr) [2].

## 2.5 Teplota vzduchu v místnosti $t_v$

Teplota vzduchu v místnosti nebývá na všech místech stejná, vykazuje určitou nerovnoměrnost ve vertikálním a horizontálním směru. *Velice důležitá je především vertikální nerovnoměrnost teploty vzduchu ve vytápěných místnostech, která vzniká vlivem nestejněměrného přívodu tepla a nestejněměrného ochlazování jednotlivých stěn, podlahy a stropů místností* [1].

Pro ideální tepelné podmínky (tepelnou pohodu) potřebujeme, aby rozdíl mezi teplotou měřenou ve výšce 0,1 m od podlahy do výšky přibližně 1,7 m od podlahy (úroveň hlavy) nebyl u stojícího člověka vyšší než 2 °C. Ideální teplota ve výšce kotníků (0,1 m od podlahy) je kolem 21 °C a ve výšce hlavy asi 19 °C [1]. Z následujícího Obrázku 2.1 vyplývá, že nejvhodnější z hlediska vertikálního rozložení teploty je vytápění podlahové.



Obrázek 2.1: Vertikální teplotní rozložení několika typů vytápění [14]

## 2.6 Účinná teplota okolních ploch $t_p$

Účinná teplota  $t_p$  (střední radiační teplota) se zavádí pro účely vyhodnocení výsledného sálavého účinku všech okolních ploch. *Tato teplota je definována jako společná teplota všech okolních ploch, při níž by celkový tepelný tok sáláním mezi povrchem těla a okolními plochami byl stejný jako ve skutečnosti* [1].

Pokud se teploty okolních ploch liší jen málo, platí vztah (2.1) převzatý z [4]:

$$t_p = \sum_{j=1}^n \varphi_j \cdot t_j \quad [^{\circ}\text{C}], \quad (2.1)$$

kde:

- $t_p$  ... je účinná teplota okolních ploch
- $n$  ... je počet okolních ploch [-]
- $\varphi_j$  ... jsou poměry osálení jednotlivých ploch plochou lidského těla [-]
- $t_j$  ... jsou teploty okolních ploch [ $^{\circ}\text{C}$ ]



## 2.7 Výsledná teplota prostředí $t_i$

Pokud je splněna podmínka pro proudění vzduchu  $v_a < 0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , platí pro teplotu  $t_i$  rovnice (2.2) převzatá z [1]:

$$t_i = 0,5 \cdot t_v + 0,5 \cdot t_p \quad [^\circ\text{C}], \quad (2.2)$$

kde:

- $t_i$  ... je výsledná teplota prostředí
- $t_v$  ... je teplota vzduchu v místnosti [ $^\circ\text{C}$ ]
- $t_p$  ... je účinná teplota okolních ploch [ $^\circ\text{C}$ ]

Požadovaná vnitřní teplota v místnostech se pohybuje přibližně v rozmezí teplot 15 - 24  $^\circ\text{C}$ . Například v ložnicích potřebujeme vnitřní teplotu kolem 20  $^\circ\text{C}$ , tedy vyšší než v předsíních a chodbách, kde by se ideálně teplota měla pohybovat kolem 15  $^\circ\text{C}$ . Podrobnější a přesnější údaje pro výsledné teploty prostředí a doporučené relativní vlhkosti uvádí Tabulka 2.4.

**Tabulka 2.4:** Vnitřní teploty a doporučené relativní vlhkosti vzduchu dle ČSN 06 0210 [13]

Druh vytápěné místnosti		Vnitřní teplota $t_i$ [ $^\circ\text{C}$ ]	Relativní vlhkost vzduchu $h$ [%]
trvale užívané	obývací pokoje, ložnice	20	60
	koupelny	24	90
	předsín, chodba	15	60
	schodiště	10	60
administrativní budovy	kanceláře, zasedací síň	20	60
	chodby, klozety	15	60
	schodiště	10	70
	haly, místnosti s přepážkami	18	70
obchodní	prodejní místnosti všeobecně	20	60
	prodej trvanlivých potravin	18	60
	prodej masa	15	70

### **3 Elektrické otopné systémy, jejich rozdělení a energetická náročnost**

Elektrické otopné systémy můžeme obecně rozdělit dle:

umístění zdroje tepla obecně:

- lokální (místní)
- centrální (ústřední)

umístění zdroje tepla ve vytápěné místnosti:

- podlahové
- stěnové
- stropní

(dle tohoto rozdělení se také rozlišují jednotlivé typy či realizace velkoplošného vytápění)

akumulační schopnosti:

- akumulční
- přímotopné
- hybridní (smíšené)

Následující kapitoly, jak nastíní detailnější rozdělení právě dle parametru akumulčních schopností, jsou věnovány popisu jednotlivých konstrukcí použitých technologií. Dále popisují alternativní vytápění a energetickou náročnost systémů.

## Akumulační topidla

rozdělení podle druhu akumulčního média

- akumulční kamna statická a dynamická
- akumulční podlahové vytápění

## Přímotopná topidla

- konvektory
- sálavé panely
- teplovodní elektrické kotle
- elektrické infrazářiče
- elektrické radiátory

## Hybridní topidla

- hybridní elektrické topné panely

## Alternativní vytápění

- tepelná čerpadla

Rozdělení systémů elektrického vytápění se může v různých pramenech lišit, výše uvedené rozdělení bylo čerpáno ze zdrojů [1], [4], [5], [7].

### 3.1 Akumulační topidla

Princip akumulacních topidel je založen na odběru elektrické energie ve vybraných hodinách denních či nočních a její přeměny v teplo tak, aby byla zajištěna tepelná pohoda v obývaném prostoru. Díky těmto topidlům lze velice účinně snížit náklady na vytápění za předpokladu volby levného tarifu a výhodné sazby elektrické energie [1], [24].

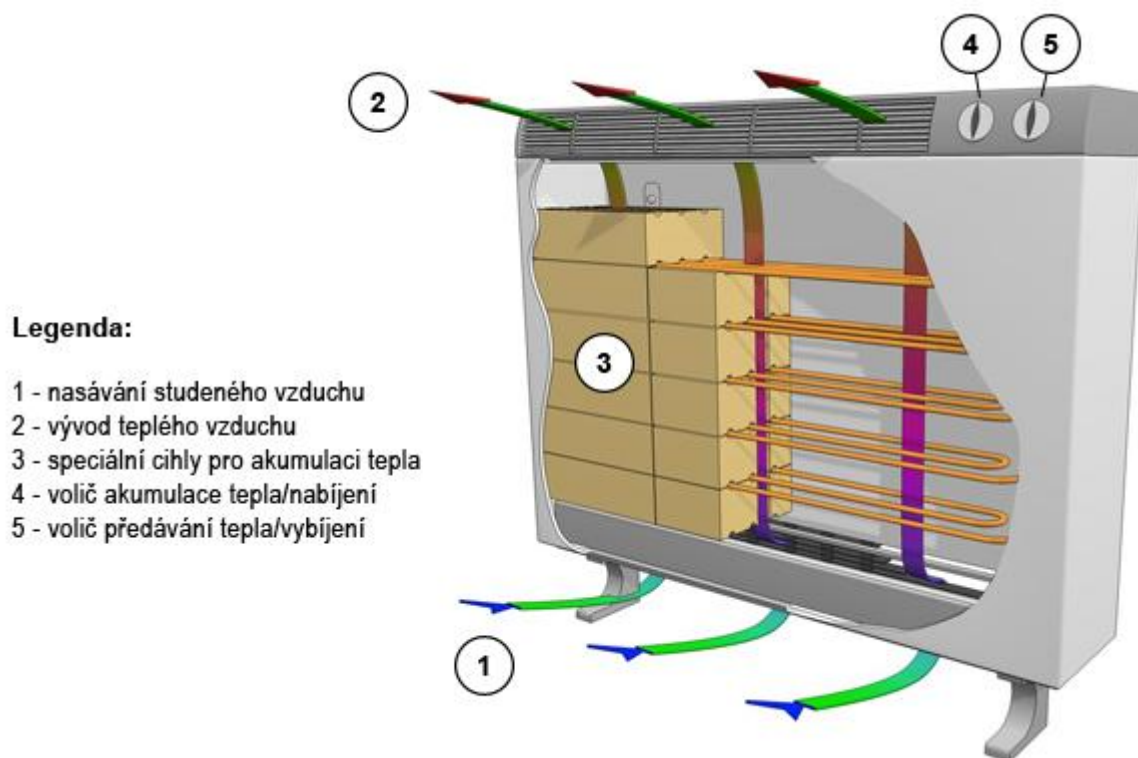
#### 3.1.1 Akumulační kamna statická a dynamická

U akumulacních kamen využíváme nízký tarif elektrické energie NT. *Akumulace se provádí obvykle mezi 22. hodinou a 6. hodinou, popř. i během dne na signál tzv. hromadného dálkového ovládní (HDO) přiloženou frekvencí v síti* [4]. V konstrukci kamen se nalézají topné články vytvářející teplo, které se akumuluje v okolí těchto článků v tzv. vyzdívce (jako vyzdívka se používá například magnezit nebo šamot). Velice důležitá je tepelná izolace kolem vyzdívky. Zajišťuje, že teplo samovolně neuniká přes plášť kamen, tedy nežádaným směrem a způsobem. Naakumulované teplo je po skončení nabíjení využito k vytápění obývaného prostoru. Ke správné volbě příkonu akumulacních kamen je nutné znát tepelné ztráty vytápěného prostoru, abychom se vyhnuli riziku poddimenzování nebo naopak předimenzování systému vytápění, což by mohlo mít nepříznivý vliv na ekonomickou i energetickou stránku [1], [4], [19].

##### *Akumulační kamna statická*

Naakumulované teplo se u statických akumulacních kamen uvolňuje tzv. přirozeným prouděním (konvekci), jsou tedy velmi špatně regulovatelná, a proto se hodí zejména k vytápění prostor s omezeným (spíše dopoledním) provozem, jako jsou školky, kanceláře apod. K uvolňování naakumulovaného tepla dochází prakticky ihned po ukončení nabíjecího cyklu (viz výše zmíněný nabíjecí cyklus mezi 22. a 6. hodinou) až do úplného vychladnutí kamen. Statická akumulacní kamna tedy nejsou vhodná pro prostory, kde je potřeba tepelné pohody po celý den. Kromě špatné regulovatelnosti je další nevýhodou vysoká povrchová teplota kamen, ze které plyne další omezení, a to samotné umístění ve vytápěném prostoru s ohledem na bezpečnostní hlediska. Příkonové řady se dodávají v rozmezí 0,85 až 3,4 kW. Akumulacní kamna statická sestávají z těchto konstrukčních částí: topná tělesa, akumulacní materiál, tepelná izolace, regulátor nabíjení a povrchový plášť [19].

Na Obrázku 3.1 je naznačen princip činnosti akumulčních kamen statických [19].

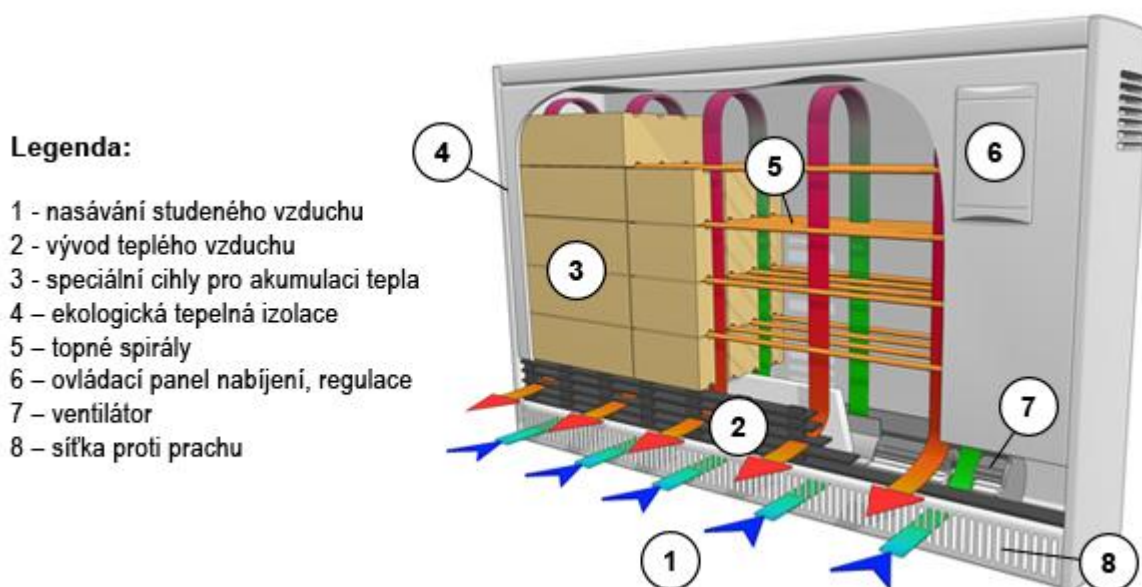


**Obrázek 3.1:** Akumulační kamna statická

*Akumulační kamna dynamická*

Akumulační kamna dynamická jsou zkonstruována podobně jako akumulční kamna statická z topných těles, akumulčního materiálu, tepelné izolace, regulátoru nabíjení, povrchového pláště, a navíc obsahují regulační jednotku (například termostat) a ventilátor. Jejich výhoda spočívá oproti statickým kamnům v dlouhodobém udržení naakumulovaného tepla pomocí dobré tepelné izolace, jejíž pomocí jsou samovolné ztráty tepla nižší než u statických kamen. Dříve se pro izolaci používaly azbestové desky, od jejichž použití se upouští vzhledem ke zdravotním rizikům. Dnes se aplikují jiné typy vláknitých materiálů jako např. Microtherm® [26] - mikroporézní izolace z amorfních křemíkových nanočástic tvořících buňky vyplněné vzduchem [28]. Ventilátor zabezpečuje vynucené (žádané) proudění ohřátého vzduchu z kamen do místnosti. Zapíná se či vypíná dle potřeby tepla ve vytápěném prostoru pomocí termostatu. Nevýhoda tohoto vytápění je poměrně vysoká hlučnost ventilátoru [4], [19]. Dostupné příkonové řady jsou mezi 2 – 7 kW.

Na Obrázku 3.2 je naznačen princip činnosti akumulčních kamen dynamických [19].



**Obrázek 3.2:** Akumulační kamna dynamická

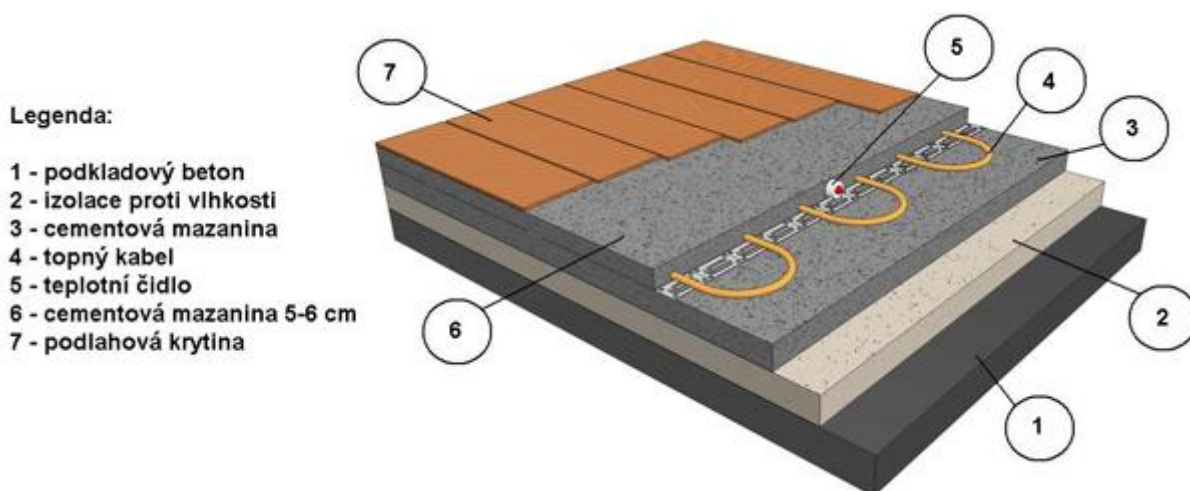
### **3.1.2 Akumulační podlahové vytápění**

Významným pozitivem akumulčního podlahového vytápění je fakt, že nezabírá zbytečně prostor v místnosti. Je řešeno pomocí topných kabelů nebo rohoží, které jsou zabudovány v materiálu podlahy (betonové vrstvy). Teplo je vytvářeno v topných kabelech či rohožích pomocí procházejícího elektrického proudu a od spodní vrstvy betonu předáváno do vrchní. Akumulace tepla probíhá zpravidla v nočních hodinách, poté je teplo sáláním uvolňováno do vytápěného prostoru (statické vybíjení). Tento typ vytápění je využíván pro prostory s ranním provozem. Topné kabely, které se zahřívají na maximální teplotu 80 °C, známe jednožilové a dvoužilové, s ochranným opletením či bez ochranného opletení. Takové opletení zvyšuje mechanickou odolnost topného kabelu a dále po připojení k zemičím vodiči PE působí jako elektrická ochrana. Topné rohože jsou tvořeny nosným tkanivem, na kterém je uložen topný kabel. Rohože dělíme na šité nebo lepené.

Mezi povrchy (podlahové krytiny) vhodné pro aplikaci elektrického podlahového vytápění patří kamenná a keramická dlažba (dobré tepelně-akumulační vlastnosti), dále linolea a materiály z PVC (nepatrně vyšší tepelný odpor oproti dlažbě) [4], [5], [20].

Jelikož u tohoto systému vytápění dochází pouze k částečné akumulaci, může být zařazen i do přímotopného vytápění. Rozhodujícím faktorem je šířka betonové vrstvy - pokud je pouze do 50 mm, pak řadíme tento otopný systém do přímotopných topidel. Je-li betonová vrstva silná 90 – 150 mm, pak se vytápění označuje jako akumulční.

Běžný instalovaný příkon se u akumulčního podlahového vytápění pohybuje v rozmezí 250 – 300 W.m<sup>-2</sup>, pro přímotopné podlahové vytápění to je 160 W.m<sup>-2</sup> [5].



Obrázek 3.3: Akumulační podlahové vytápění [20]

### 3.2 Přímotopná topidla

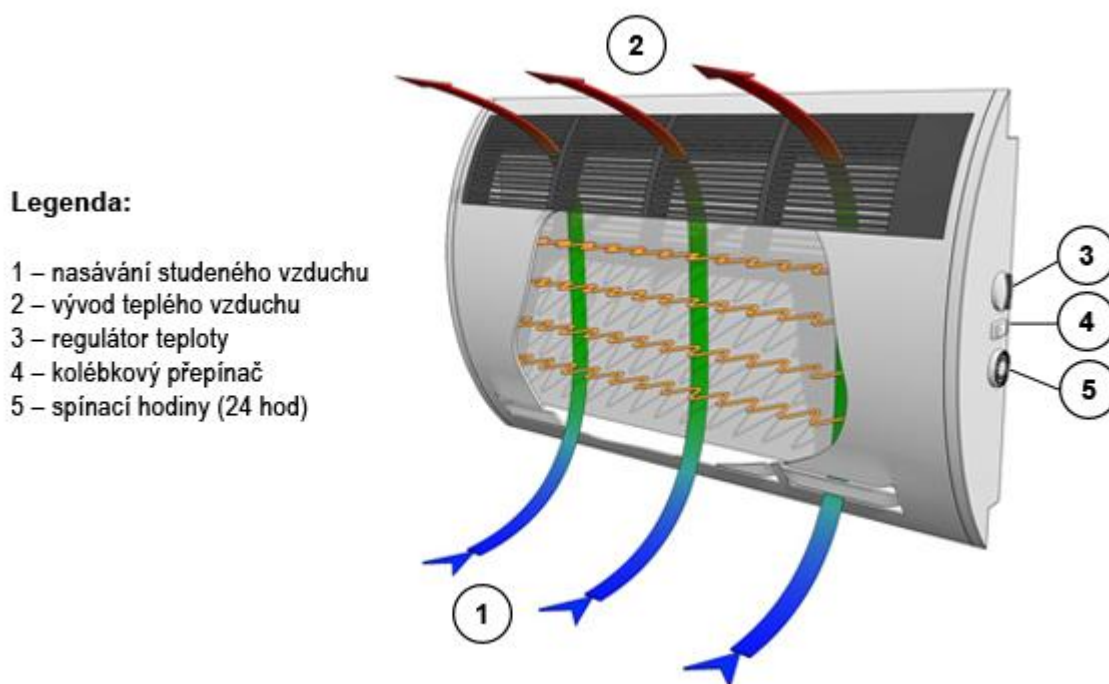
Přímotopná topidla přeměňují elektrickou energii přímo (a to s jistým omezením ve většině aplikací – viz zmíněné HDO) na tepelnou bez potřeby akumulace tepla, jako tomu je u akumulčních topidel. *Energetické rozvodné závody odpojují velké spotřebiče v době energetických špiček. Nejdéle však po dobu 2 hodin souvislého intervalu, za 24 hodin celkem na 4 hodiny, mimo soboty a neděle* [7]. Pomocí HDO (hromadné dálkové ovládání) velkých spotřebičů je tedy zajištěno hospodaření s elektrickým výkonem mimo špičkové zatížení soustavy [7].

#### 3.2.1 Konvektory

Princip vytápění pomocí přímotopných konvektorů je založen na již zmiňované přímé přeměně elektrické energie na tepelnou. Řadíme je tedy ke konvekčním topidlům - teplo je předáváno do prostoru prouděním (konvekcí) po povrchu ohřivaného předmětu (například skříně a jiný nábytek) a malou částí i sáláním (radiací). Do spodní části konvektoru se přivádí studený vzduch, ten se ohřeje a horní částí již ohřátý vychází zpět do prostoru. Pro vytápění prostoru je využíváno principu přirozené cirkulace vzduchu. Konvektory jsou dobře regulovatelné, pomocí termostatu můžeme zajistit tepelnou pohodu dle požadavku uživatele. Mezi výhody použití konvektorů pro vytápění patří poměrně nízké pořizovací náklady a tichý provoz. Nevýhodou je naopak nulová akumulace – po vypnutí konvektor velmi rychle



vychladne, což se může nepříznivě projevit na tepelné pohodě ve vytápěném prostoru [1], [21]. Dodávané příkonové řady jsou v rozsahu 0,5 – 3 kW.



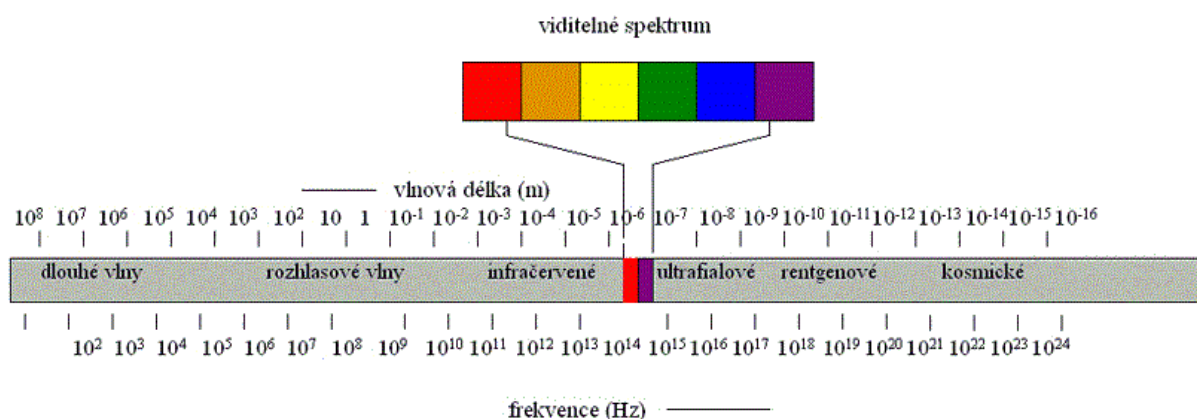
**Obrázek 3.4:** Elektrický přímotopný konvektor [21]

### 3.2.2 Sálavé panely

Princip sálavého vytápění je založen na předávání tepla sáláním (radiací) na rozdíl od konvektorů, které využívají předávání tepla prouděním (konvekci). Každé těleso vyzařuje do svého okolí elektromagnetickou energii ve vlnovém spektru závislém na teplotě daného tělesa. Ze široké škály těchto vlnových délek jsou z hlediska otopných systémů podstatné pouze ty, které mohou být cílovými (ohřívanými) předměty pohlceny a dále přeměněny v energii tepelnou. Osálané předměty pohltnou velkou část tepla, přibližně 85 % a odrazí pouze 15 % z celkového tepelného toku. Díky této pohltivosti je způsobeno to, že se předměty začnou zahřívat a druhotně ohřívat i okolní vzduch. Důležité je znát pohltivost lidského těla, která je asi 99 %. Člověk však sálání snáší jen do určitého stupně. Musíme tedy brát v úvahu jistá omezení jako např. vhodná vlnová délka, která se pohybuje mezi 7,5 až 10  $\mu\text{m}$ . Sálavé panely se nejčastěji umísťují na stropy (ve výškách 2,5 až 8 m), ale existuje i umístění stěnové či podlahové nebo vytápění pomocí závěsných sálavých panelů (lokální, centrální). Mezi jejich výhody patří dobrá regulace (pomocí termostatů a časových spínačů), velká úspora

energie proti konvekčním topidlům (ohřívána jsou prvotně tělesa – tedy zejména cílené objekty, resp. osoby - vzduch až následně od ohříváných předmětů) a dosažení tepelné pohody již při nižších teplotách například pro vytápění v bytech (rovnoměrné vertikální rozložení teploty). Sálavé panely obsahují topný článek (topný kabel nebo fólie), který se nachází uvnitř konstrukce samotného panelu. Plášť panelu je realizován např. pomocí mramoru, žuly, pískovce či hladkého hliníku a k sálání dochází přední stěnou panelu namířenou směrem k osálaným plochám, resp. osobám [1], [5].

Dle teplotní charakteristiky a instalačních parametrů sálavé panely rozdělujeme na nízkoteplotní, kde teplota sálavého panelu je cca 110 °C, instalační výška 2,5 až 3 m a příkonové řady v rozsahu 0,1 - 0,9 kW, a na vysokoteplotní, u kterých jsou příkonové řady v rozmezí 0,9 - 3,6 kW a u kterých dosahuje povrchová teplota vyzařovacích ploch asi 350 °C, tudíž se zavěšují do výšek 5 – 8 m [25].



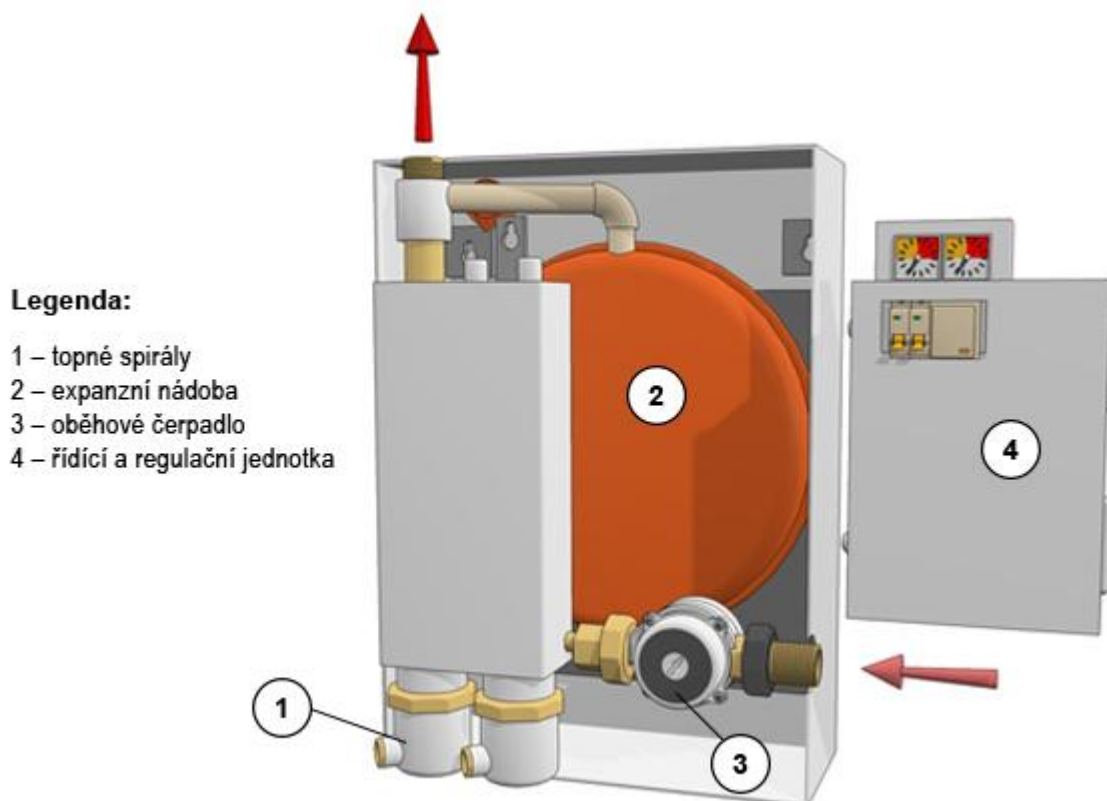
**Obrázek 3.5:** Spektrum elektromagnetických vln [29]

### 3.2.3 Elektrické infrazářiče

*Infračerveným zářením se označuje záření žhavých pevných těles, jejichž zářivá energie, tj. energie elektromagnetického vlnění s vlnovou délkou větší než 0,78  $\mu\text{m}$ , se při dopadu na ozařovaný předmět více či méně pohltí a přemění v teplo [4].* Princip funkce elektrických zářičů je založen na průchodu elektrického proudu vysokoodporovým tělesem. Díky reflexním plochám infrazářiče je vzniklé záření odráženo do prostoru. Definovány jsou tři varianty infrazářičů dle povrchové teploty - vysokoteplotní (1200 – 2500 °C) s wolframovým vláknem, středoteplotní (700 – 1200 °C) s topnou spirálou v křemenné trubce a nízkoteplotní (400 – 700 °C) tvořené odporovou spirálou v keramickém tělese. Opět na základě povrchové teploty zářiče lze identifikovat dvě kategorie blíže určené vyzařovanou vlnovou délkou – svítivé (1800 – 2100 °C; ač se jedná o podskupiny infrazářičů, část spektra se nachází ve viditelné oblasti – 0,4 až 0,8  $\mu\text{m}$ ) a tmavé zářiče (200 – 700 °C, tedy 1,6 až 4  $\mu\text{m}$ ). Instalace infračerveného ohřevu se využívají především k průmyslovým (např. sušení laků, papíru, tkanin, smaltu a keramiky) a zemědělským (vyhřívání chlévů a stájí) účelům [4].

### 3.2.4 Teplovodní elektrické kotle

V jádru elektrokotle jsou umístěna odporová topná tělesa, která pomocí procházejícího elektrického proudu ohřívají přiváděnou vodu. Ohřátá voda je hnána pomocí čerpadla do topné soustavy, jedná se tedy o nucený oběh vody v teplovodním okruhu. Topná soustava (radiátory) poté dále předává teplo do vytápěného prostoru. Topná tělesa elektrokotle se realizují jako topné články nebo elektrody. Vytápění pomocí elektrokotlů řadíme do přímotopných systémů, přičemž elektrokotel využívá stejně jako ostatní přímotopné systémy 20-ti hodinovou denní sazbu s omezením prostřednictvím HDO. Elektrokotle se používají pro vytápění ústřední či etážové (tedy pro každé podlaží), často se kombinují s jiným druhem vytápění (tepelné čerpadlo, solární kolektory). Mezi nevýhody využití elektrokotlů řadíme tepelné ztráty do okolního prostředí (pokud je například elektrokotel umístěn ve sklepě) [1], [22]. Elektrokotle se vyrábějí v provedení 2 až 36 kW.



**Obrázek 3.6:** Teplovodní elektrický kotel [22]

### 3.2.5 Elektrické radiátory (koupelnová tělesa)

Médium v elektrických radiátorech je kapalina, nejčastěji voda, která bývá doplněna nemrznoucí směsí, která také zabraňuje vzniku vodního kamene, a jelikož uvažujeme kovovou konstrukci, musí mít tato směs i antikoroziční účinky. Uvnitř zpravidla žebříkové konstrukce se nachází topná tyč (těleso), která ohřívá kapalně médium. Teplota předávaná do místnosti (v tomto případě se jedná o koupelnu) se reguluje nejčastěji pomocí termostatu manuálního (okamžitá volba žádané teploty, stupně) či programovatelného (možno definovat samočinné spínací, tedy ohřívací cykly). V těsné blízkosti elektrického radiátoru se samozřejmě umísťuje zdroj elektrické energie (zásuvka 230 V nebo zapojení přímo do podomítkové krabice elektrického rozvodu). Z bezpečnostních důvodů mají radiátory tepelnou pojistku proti přehřátí. Současně s vyhovujícím odvětráváním koupelen mají radiátory vliv na ideální vlhkost a teplotu prostředí.



**Obrázek 3.7:** Koupelňové těleso [27]

Další možnou realizací koupelňových těles jsou obdobné konstrukce, které jsou však přímo napojeny na teplovodní okruh, jehož součástí může být např. výše zmíněný elektrický kotel – neobsahují tedy autonomní elektrický systém pro lokální ohřev [17]. Dostupné příkony koupelňových těles jsou v intervalu 0,1 až 1 kW.

### **3.3 Hybridní topidla**

Pokud systém sestává z akumulční i přímotopné části, tento systém se pak nazývá hybridním.

#### **3.3.1 Hybridní elektrické topné panely**

Hybridní elektrický topný panel využívá akumulace betonové vrstvy, jejíž konstrukční částí je topný drát. Při průchodu elektrického proudu topným drátem (odporový ohřev) se beton zahřívá a přes plášť systému potom předává teplo do okolí.

Pro hybridní podlahové vytápění, kde se tloušťka betonové vrstvy uvádí 60 až 90 mm, jsou k dispozici instalované příkony od 120 do 160 W.m<sup>-2</sup> [5], [23].

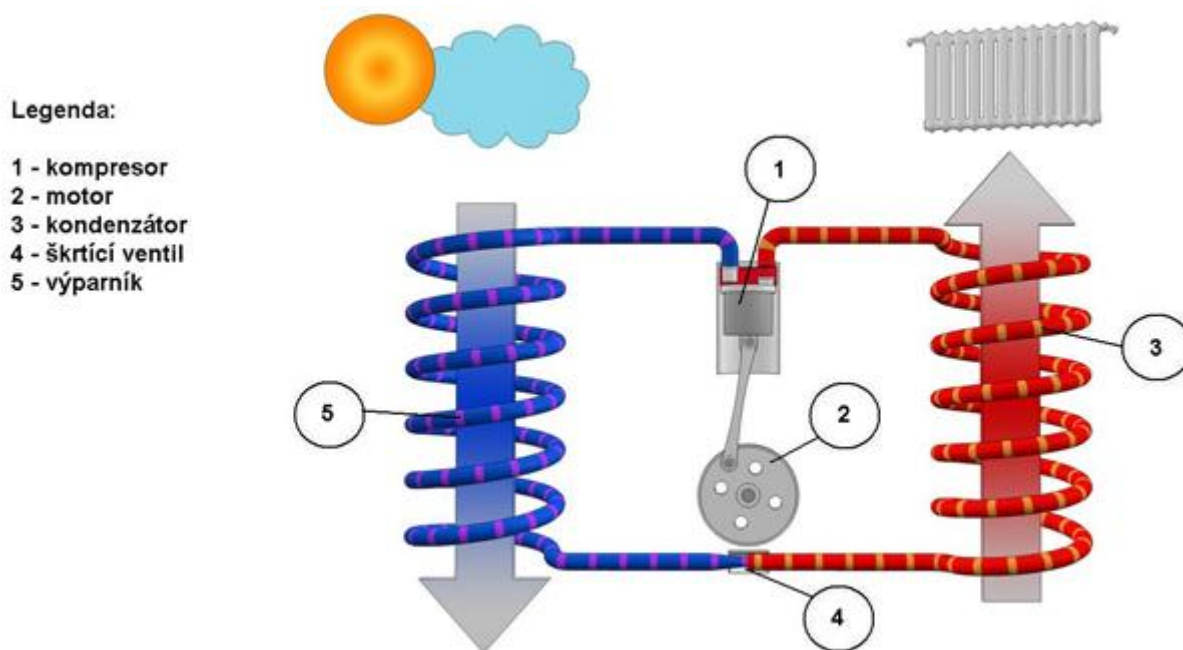
### **3.4 Alternativní vytápění**

Alternativní vytápění pracuje na principu využití tzv. přírodních obnovitelných zdrojů energie (jako jsou energie ze slunce, větru, vody nebo z biomasy) a jejich přeměně na energii tepelnou potřebnou k vytápění.

#### **3.4.1 Tepelná čerpadla**

Tepelná čerpadla jsou v dnešní době často vyhledávaným alternativním zdrojem vytápění. Uvádí se, že jejich nároky na spotřebovanou elektrickou energii jsou až o 60 % nižší než je tomu u ostatních otopných systémů. Jejich hlavní nevýhoda však spočívá v jisté nedostupnosti – musíme uvažovat poměrně vysoké vstupní náklady, kdy se pořizovací cena instalovaného systému s tepelným výkonem cca 10 kW (dostačující pro rodinný domek) pohybuje kolem 300 tisíc Kč, a také to, že čerpadlo nemůže být instalováno v libovolných lokacích (např. kvůli možnému znečištění spodních vod) [18], [37].

Funkce tepelného čerpadla se dá zjednodušeně přirovnat k funkci obrácené ledničky – ta odebírá teplo z potravin a svou zadní částí jej předává nejčastěji stěně. Toto teplo však není nijak využíváno. Princip tepelného čerpadla je tedy založen na přenosu tepla z jednoho místa do místa druhého. Jednou z konstrukčních součástí zařízení je výměník, který odebírá teplo okolnímu prostředí s nízkou teplotou a převádí jej pomocí kondenzátoru na vyšší teplotu, která se pomocí vytápěcí soustavy předává do prostoru. Nízkoteplotní prostředí může být země, voda či vzduch. Tento oběh popisuje Carnotův cyklus (vypařování, komprese, kondenzace a expanze) [4].



**Obrázek 3.6:** Princip funkce tepelného čerpadla [18]

Důležitým faktorem u tepelného čerpadla je tzv. topný faktor (činitel výkonu):

$$\varepsilon = \frac{Q}{P} \quad [-], \quad (3.1)$$

kde:

$\varepsilon$  ... je topný faktor (činitel výkonu)

$Q$  ... je topný výkon [W]

$P$  ... je elektrický příkon [W]

Činitel výkonu se pohybuje v rozmezí 1 až 6. Pro provoz čerpadla je nutno přivést elektrickou energii – činitel výkonu nám udává, kolikrát bude větší vyrobená energie tepelná [4].

Pro byty se používá výkonová řada přibližně kolem 4 kW, pro rodinné domky 12 kW. V případě velkých objektů jsou to desítky až stovky kW [37].

### 3.5 Energetická náročnost elektrických otopných systémů

#### 3.5.1 Tepelná ztráta vytápěného objektu

Pro určení vhodnosti elektrického otopného systému pro vytápění námi vybraného objektu či prostoru je nutné znát celkovou tepelnou ztrátu a také spotřebu tepla na  $1 \text{ m}^3$ . Díky těmto údajům lze rozhodnout o dimenzování otopného systému. Na celkovou tepelnou ztrátu objektu má vliv hned několik faktorů, zde je uveden výčet nejpodstatnějších [1]:

- Poloha objektu vzhledem ke světovým stranám.
- V jaké nadmořské výšce se objekt nachází.
- Zda je objekt situován v přímé zástavbě, popřípadě v jaké vzdálenosti od vytápěného objektu jsou okolní budovy.
- Intenzita a směr větru.
- Konstrukce a materiál stěn, podlah, stropů, oken a dveří objektu (tepelná ztráta prostupem tepla).
- K jakému účelu se bude objekt využívat (požadovaná vnitřní teplota  $t_i$ ).

V následujícím textu je použita konvence značení veličin a příslušných jednotek dle zdroje [1].

#### *Výpočet celkové tepelné ztráty*

Celkovou tepelnou ztrátu určíme dle vztahu (3.2) převzatého z [1]:

$$Q_c = Q_p + Q_v - Q_z \quad [\text{W}], \quad (3.2)$$

kde:

$Q_c$  ... je celková tepelná ztráta

$Q_p$  ... je tepelná ztráta prostupem stěnami [W]

$Q_v$  ... je tepelná ztráta větráním [W]

$Q_z$  ... jsou celkové tepelné zisky [W]



Výpočet celkové tepelné ztráty je poměrně složitý úkon, lze jej ale realizovat pomocí výpočetních programů, které jsou volně přístupné například na internetových stránkách distributorů elektrické energie (ČEZ, E.ON, PRE, atd.). Nemusíme vědět všechny podrobnosti o objektu, stačí znát rok, kdy byla stavba postavena a přibližné rozměry místností. Program sám nabízí různé možnosti materiálů, tloušťky stěn atd. a pomocí naší volby pak realizuje přibližný výpočet. Spolehlivější však je se s tímto problémem obrátit na některou ze specializovaných firem zabývajících se energetickou bilancí budov. Pro předběžný odhad celkové tepelné ztráty však může posloužit i Tabulka 3.2. Odhadovanou celkovou ztrátu objektu určíme sečtením ztrát ve všech místnostech objektu. Pokud uvažujeme rodinný domek, pohybuje se tepelná ztráta na  $1\text{m}^3$  přibližně v rozmezí 35 – 60 W. Následující Tabulka 3.1 nastiňuje procentuální podíl jednotlivých konstrukčních prvků na celkové tepelné ztrátě daného objektu.

**Tabulka 3.1:** Obvyklý podíl tepelných ztrát [38]

Druh stavby	Tepelné ztráty [%]			
	okny	obvodovými stěnami	střechou	podlahou
vícepodlažní bytový dům	50 (28 prostup, 22 větrání)	35	10	5
samostatný rodinný dům	45 (25 prostup, 20 větrání)	30	15	10

**Tabulka 3.2:** Tepelné ztráty vztažené k  $1\text{ m}^3$  objektu

	Způsob ochlazování místnosti	Tepelné ztráty [W]
místnost ve středu	zespoda nevytápěný sklep, shora vytápěná místnost	34 - 47
	zespoda vytápěná místnost, shora taktéž	30 - 40
	zespoda vytápěná místnost, shora nevytápěná půda	37 - 53
rohová místnost s okny v obou stěnách	zespoda nevytápěný sklep, shora vytápěná místnost	40 - 58
	zespoda vytápěná místnost, shora taktéž	35 - 49
	zespoda vytápěná místnost, shora nevytápěná půda	44 - 65
	zespoda nevytápěný sklep, shora nevytápěná půda	47 - 73
ostatní prostory	koupelna	40 - 80
	předsíň	15 - 30
	schodiště	18 - 35

*Měrná tepelná ztráta*

Dalším důležitým kritériem, dle kterého můžeme rozhodnout, jestli je elektrický otopný systém pro daný objekt vhodný, je určení měrné tepelné ztráty  $q_v$  ze vztahu (3.3) převzatého z [1], která nesmí přesáhnout mezní hodnoty  $q_{v \max}$  uvedené v Tabulce 3.3.

$$q_v = \frac{1}{V_c} \sum_{j=1}^n \frac{Q_{cj}}{(t_{ij} - t_e)} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}], \quad (3.3)$$

kde:

- $q_v$  ... je měrná tepelná ztráta
- $n$  ... je počet vytápěných místností [-]
- $V_c$  ... je objem všech vytápěných místností [ $\text{m}^3$ ]
- $Q_{cj}$  ... je celková tepelná ztráta dílčího elektricky vytápěného prostoru [W]
- $t_{ij}$  ... je teplota dílčího elektricky vytápěného prostoru [ $^{\circ}\text{C}$ ]
- $t_e$  ... je vnější (venkovní) teplota [ $^{\circ}\text{C}$ ]

**Tabulka 3.3:** Maximální přípustné měrné tepelné ztráty  $q_{v \max}$  [1] [7]

Vytápěný prostor [ $\text{m}^3$ ]	Měrná tepelná ztráta $q_{v \max}$ [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ ]
do 100	1,4
do 500	1
do 1000	0,8
do 2000	0,7
do 5000	0,6
do 10000	0,5

Objekty, které jsou situované výše než 600 m nadmořské výšky, mají hodnotu tepelné ztráty sniženou o  $0,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$ .

### 3.5.2 Výpočet příkonu elektrických otopných systémů

Energetickou náročnost můžeme jednoduše popsat jako množství elektrické energie (resp. příkon), které je potřeba pro činnost otopných systému, aby byly splněny energetické nároky a tepelná pohoda vytápěného objektu. Samotný výpočet elektrického příkonu se pro jednotlivé systémy (akumulační, přímotopné, hybridní) liší. Je také třeba brát v úvahu možnou odchylku mezi skutečným instalovaným elektrickým příkonem a příkonem vypočteným. Jestliže uvažujeme vypočtený příkon do 50 kW, může být instalovaný příkon vyšší maximálně o 20 %, v případě příkonu většího než 50 kW je to pouze 10 %. Dalším důležitým aspektem je účinnost elektrických otopných systémů, můžeme však říci, že je téměř stoprocentní [4], [12].

#### *Přímotopné elektrické vytápění*

U konvekčních či sálavých otopných systémů určíme příkon dle vzorce (3.4) převzatého z [1]:

$$P_k = Q_c \cdot K \cdot 10^{-3} \quad [\text{kW}], \quad (3.4)$$

kde:

$P_k$  ... je příkon konvekčního či sálavého otopného systému

$Q_c$  ... je celková tepelná ztráta objektu [W]

$K$  ... je koeficient průběhu vytápění [-]

**Tabulka 3.4:** Hodnota koeficientu K pro různé druhy provozu

Způsob použití	Koeficient K
pro nepřerušovaný provoz	1
pro topnou přestávku do 4 hodin	1,1
přestávka delší než 4 hodiny	1,2
pro občasné použití	1,4

*Akumulační elektrické vytápění*

Platí vztah (3.5) převzatý z [1]:

$$Q_d = Q_h \cdot T_v \quad [\text{W}\cdot\text{h}], \quad (3.5)$$

kde:

$Q_d$  ... je celková denní spotřeba tepla

$Q_h$  ... jsou celkové tepelné hodinové ztráty [W]

$T_v$  ... je doba vytápění (včetně doby náběhu na požadovanou teplotu) [h]

**Tabulka 3.5:** Doba plného vytápění  $T_v$  při  $t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Prostory	$T_v$ [h]
kuchyně	10
obývací a dětské pokoje	14
ostatní místnosti	12

Pokud známe denní spotřebu tepla  $Q_d$ , můžeme následujícím výpočtem určit příkon elektrického akumulačního systému:

$$P_a = Q_d \cdot k_v \cdot 10^{-3} \quad [\text{kW}], \quad (3.6)$$

kde:

$P_a$  ... je příkon akumulačního systému (kamen)

$Q_d$  ... je již výše uvedená denní spotřeba tepla [W.h]

$k_v$  ... je součinitel provozu [ $\text{h}^{-1}$ ]

**Tabulka 3.6:** Součinitel provozu  $k_v$  pro dynamická a statická akumulční kamna (doba nabíjení 8 hodin)

Topná přestávka [h]	Součinitel provozu $k_v$ [ $h^{-1}$ ]	
	akumulační kamna dynamická (s ventilátorem)	akumulační kamna statická (s regulační klapkou)
0	0,14	0,18
2	0,15	0,23
4	0,17	0,31
6	0,19	0,5
8	0,22	1,25

*Hybridní elektrické vytápění*

Výpočet příkonu pro hybridní elektrické vytápění je nutno provést zvlášť pro část akumulční i přímotopnou [1].

Akumulační část:

$$P_{ha} = 0,6 \cdot P_a \quad [\text{kW}], \quad (3.7)$$

kde:

$P_{ha}$  ... je příkon akumulční části hybridního topidla

$P_a$  ... je příkon akumulčního topidla [kW] vypočítaný podle vztahu pro akumulční topidla a to pro uvažovanou nabíjecí dobu 8 hodin – vzorec (3.6)

Přímotopná část:

$$P_{hp} = 0,4 \cdot P_a \quad [\text{kW}] \quad (3.8)$$

## 4 Vytápění zemním plynem

Před vlastním popisem vytápění zemním plynem je důležité uvést, co vlastně zemní plyn je. Jedná se o vysoce výhřevný přírodní plyn - plynné fosilní palivo, které se vyskytuje spolu s ropou či uhlím v podzemních nalezištích, ale může se vyskytovat i samostatně. Nemá žádný pach, chuť, ani barvu. Obsahuje dvě plynné složky – metan (hlavní složka) a etan. Právě kvůli chybějícímu zápachu se do zemního plynu určenému k distribuci přidávají různé příměsi (plyny se zápachem - např. etyl-merkaptan), aby se předešlo bezpečnostním rizikům v prostorách, kde je zemní plyn veden, či přímo využíván k vytápění, ohřevu vody nebo k výrobě elektrické energie. Zemní plyn je vysoce hořlavý – při vyšší koncentraci plynu v místnosti může dojít ke vznícení (např. iniciováno elektrickou jiskrou). Proto je nutné brát v úvahu jistá technická bezpečnostní opatření (použití těsnění, pojistné ventily, apod.). Zemní plyn je řazen mezi ekologická paliva, neboť na rozdíl od kapalných a tuhých paliv obsahují jeho spaliny až o 50 % méně oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$ . Další škodliviny jako prach a oxid siřičitý  $\text{SO}_2$  jeho spaliny téměř neobsahují. Problémem jsou pouze oxidy dusíku  $\text{NO}_x$ , které však vznikají u spalování všech paliv, ovšem u zemního plynu jsou prokazatelně nejnižší [8], [34].

V České republice se nenacházejí větší zdroje plynu, nejsme s tímto palivem soběstační, je tedy třeba nakupovat plyn v zahraničí, nejčastěji v Rusku. Ložiska zemního plynu se nalézají jak pod mořským dnem (Severní moře), tak na pevnině. Nejvýznamnějším dodavatelem je Rusko, těží se ale také v Alžíru, Norsku či Nizozemsku. Jelikož se zemní plyn často nachází v ložiscích společně s ropou, je nutné ho před dálkovou přepravou upravit – zbavit vyšších uhlovodíků, vody, prachu a sirných látek, které by mohly působit negativně (usazeniny, koroze) na samotný plynovod a další zařízení. Po takovýchto úpravách je pomocí plynovodů dopravován přímo ke spotřebitelům [7], [33].

Dne 1. dubna 2001 přešli dodavatelé zemního plynu v České republice z účtování za  $\text{m}^3$  na účtování v kW.h. Tím je zajištěna objektivizace vyhodnocení spotřeby zemního plynu a jednodušší srovnání s odběrem elektrické energie.

**Tabulka 4.1:** Fyzikální (spalovací) vlastnosti zemního plynu [34]

Některé z vlastností zemního plynu	
výhřevnost	34,08 MJ.m <sup>-3</sup>
spalné teplo	37,82 MJ.m <sup>-3</sup>
hustota	0,69 kg.m <sup>-3</sup>

#### 4.1 Plynové otopné systémy

Tepelnou energii v tomto případě získáváme pomocí spalovacího procesu zemního plynu. Odtud je pouze krok k využití zemního plynu k vytápění obytných prostor. Spotřebiče využívající zemní plyn mají vysokou účinnost (> 90 %) a velice dobře se regulují. Vytápění můžeme stejně jako u elektrických otopných systémů dělit na lokální a centrální.

**Obrázek 4.1:** Nízkoteplotní kotel [31]

V případě lokálního vytápění má každá místnost svůj vlastní zdroj tepla – decentralizace předcházející nouzovému stavu při poruše jednoho z topidel. Stále zbývají další topidla, která zabezpečí dostatečné vytopení objektu. Tento způsob vytápění má oproti centrálnímu menší účinnost. Centrálním vytápěním se rozumí plynový kotel, jenž ohřívá vodu, která je poté rozváděna do otopných těles v celém objektu. Teplota spalin v klasickém (starší konstrukce) plynovém kotli se udržuje v rozmezí 150 – 170 °C z důvodu vyvarování se nežádoucí kondenzace vodní páry, což je ale energeticky náročné a neúsporné. Dnes se používají systémy nízkoteplotní a kondenzační, jak popisují následující odstavce.

U plynového kotle je dobré vědět stejně jako u všech ostatních možností vytápění, jak zajistit jeho hospodárnost – jakým způsobem můžeme kotel regulovat, aby byla splněna podmínka tepelné pohody v objektu. Možností je několik – některé z nich jsou instalace tzv. pokojového termostatu, který řídí kotel podle teploty v místnosti, použití programovatelného termostatu nebo programovatelného regulátoru. Nejdůležitějším (základním) faktorem je především dobrý technický stav kotle, kdy je nutné nechat kotel odborně seřídít (roční servis) a pravidelně čistit (hořák, výměník tepla, komín, atd.). Stejně jako u elektrických otopných systémů je pro dimenzování systému nezbytná podmínka znalosti tepelné ztráty objektu [8], [36].

#### *Nízkoteplotní vytápění*

U nízkoteplotního kotle je jeho konstrukcí umožněno chladit spaliny pod 100 °C a nehrozí riziko kondenzace. Účinnost kotle se zvyšuje právě co největším vychlazením spalin. Spotřeba je u tohoto řešení plynového vytápění přibližně o 5 % nižší než u kotle klasického [36].

#### *Kondenzační vytápění*

Kromě CO<sub>2</sub> vzniká spalováním zemního plynu i vodní pára, která obsahuje energii, která by byla v podstatě bez využití předána do okolí. Necháváme proto vodní páru zkondenzovat. Kondenzací vodní páry vznikne tzv. kondenzační teplo, čímž se zvýší samotná účinnost kotle. Užitím kondenzačního kotle mohou dosáhnout úspory zemního plynu až 25 % [36].



## **4.2 Porovnání systémů elektrických se systémy na bázi zemního plynu**

Při výběru zdroje energie je třeba zohlednit několik faktorů, přičemž jedním z nejdůležitějších je hledisko ekologické – měli bychom dbát na zlepšování životního prostředí prostřednictvím snižování emisí (popílek, oxidy síry, oxidy dusíku, oxidy uhlíku). Pro vytápění tedy připadá v úvahu pouze energie elektrická a energie získávaná zemním plynem.

### *Vytápění elektrickou energií*

Výhody:

- spolehlivost
- dobrá regulovatelnost
- téměř 100 % účinnost systémů vytápění
- čistota provozu
- minimální náklady a snadná údržba
- dostupnost (elektrická energie je zavedená prakticky na všech místech)
- bezhlučný provoz
- žádné emise (důležitý ekologický aspekt)
- variabilita řešení vytápění, široký výběr topidel

Nevýhody:

- neskladovatelnost - elektrickou energii nelze skladovat, spotřeba musí být kryta výrobou
- elektrická energie není postřehnutelná lidskými smysly před samotným nebezpečným působením elektřiny

*Vytápění zemním plynem*

## Výhody:

- zemní plyn je k dispozici stále – 24 hodin denně, 365 dní v roce
- dobrá regulovatelnost spotřebičů
- vysoká účinnost spotřebičů
- spotřebitel zemní plyn nemusí skladovat jako např. u uhlí
- při spalování vzniká jen zanedbatelné množství škodlivin, ve srovnání se spalováním uhlí či topných olejů

## Nevýhody:

- zemní plyn je hořlavý (bezpečnostní riziko)
- omezené zásoby
- plynové přípojky nejsou dostupné všude
- absence vlastních zdrojů plynu v České republice – rostoucí náklady na provoz
- vyšší pořizovací náklady
- poměrná hlučnost hořáku – plyn do něj proudí pod tlakem (syčí)

Z výše uvedených kladů a záporů těchto možností vytápění se dá vyvodit, že vytápění pomocí elektrické energie je celkově vhodnější. K tomuto výčtu zbývá pouze dodat neméně důležité porovnání cenové. Této problematice bude zčásti věnována následující kapitola 5.

## 5 Elektrické otopné systémy hodnocené kritériem 3E

### 5.1 Energetický aspekt elektrických otopných systémů

*Elektroenergetika je obor energetiky, který se zabývá procesy výroby, dopravy a užití elektrické energie. Se stupněm rozvoje elektroenergetiky velmi úzce souvisí technický rozvoj všech průmyslových odvětví hospodářství, stavebnictví, dopravy, ale i životní úroveň obyvatelstva [16]. Výhody a nevýhody užití elektrické energie jsou shrnuty v kapitole 4.*

V České republice je v tepelných, jaderných, vodních a ostatních elektrárnách instalován výkon přibližně 18 300 MW, jak dále popisuje Tabulka 5.2. Rozdíl mezi jednotlivými typy elektráren je především v možnosti regulace. Tepelné a jaderné elektrárny jsou obtížně regulovatelné, jejich výkon nemůže být příliš ovlivněn, proto je snaha je využívat v maximálním vytížení a možné zátěžové špičky spotřeby energie pokrývat elektrárnami s dobrou regulací a rychlým náběhem. Vyrobenou elektrickou energii zatím neumíme akumulovat, proto je nutné, aby výroba byla kryta spotřebou. V oblasti vytápění nám pro tuto podmínku vyhovují především přímotopné elektrické systémy s využitím HDO. Jelikož je výroba elektrické energie v ČR vyšší než její spotřeba, je elektrická energie významnou vývozní komoditou.

Vysoce důležitý energetický aspekt otopných systémů obecně je účinnost přeměny energie (a její ztráty), která je uvedena v následující Tabulce 5.1. Pro porovnání je uveden zemní plyn, elektrická energie a ostatní paliva. Z této tabulky plyne, že nejvyšší účinnost mají elektrické otopné systémy a systémy pracující se zemním plynem.

Princip vytápění pomocí elektrických otopných systémů je z převážné většiny založen na elektrickém odporovém ohřevu. Při průchodu proudu vodičem (topným tělesem) o daném odporu vznikají tepelné ztráty, které můžeme vyjádřit pomocí vztahu (5.1).

$$P = R \cdot I^2 \quad [W], \quad (5.1)$$

kde:

$P$  ... je vzniklý tepelný výkon

$R$  ... je elektrický odpor vodiče [ $\Omega$ ]

$I$  ... je velikost procházejícího proudu [A]

**Tabulka 5.1:** Účinnost otopných systémů [35]

Palivo	Výhřevnost [ $\text{MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]	Typ kotle (topidla)	Účinnost [%]
hnědé uhlí	17,8	klasický	55
		automatický	75
černé uhlí	23,5	klasický	55
		automatický	75
koks	29,5	klasický	62
		automatický	77
dřevo	14,6	zplynovací	72
dřevěné brikety	17,5	zplynovací	72
pelety	18,2	kotel na pelety	82
štěpka	12,6	kotel na štěpku	80
zemní plyn	33,9 [ $\text{m}^3$ ]	klasický	91
		nízkoteplotní	95
		kondenzační	105
		lokální spotřebiče	90
propan	46,6	klasický	91
		nízkoteplotní	95
topný olej	42	klasický	89
elektřina akumulací	3,6 [kW.h]	lokální - kamna	95
elektřina přímotopy	3,6 [kW.h]	lokální - panely	98
		kotel	96
centrální zásobování teplem	1 [MJ]		99

## 5.2 Ekologický aspekt elektrických otopných systémů

V předchozí kapitole již bylo uvedeno, že otopné systémy pracující na bázi elektrické energie jsou ideální pro vytápění z hlediska ekologického. Na rozdíl od vytápění elektrickou energií vzniká při použití (spalování) jiných paliv jako je hnědé a černé uhlí, koks, topné oleje a nafta, mnoho škodlivých látek - popílek, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO a CO<sub>2</sub>. Skleníkové plyny (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, vodní pára, freony) mají vliv na zvýšení skleníkového efektu, který sice původně umožňoval život na planetě Zemi (zvýšil průměrnou teplotu na hodnotu potřebnou k životu přibližně na 15 °C), ale dnes tento původně blahodárný efekt zapříčiňuje stoupání teploty na Zemi, což vede ke klimatickým změnám (tání ledovců, růst hladiny moře, atd.). Elektrická energie pro vytápění je sice tzv. čistá, ale musíme brát v úvahu, jak je to s její výrobou. Nejvýznamnější podíl na výrobě elektrické energie, jak je vidět v následující Tabulce 5.2, mají elektrárny tepelné, u kterých je kladen důraz na snižování emisí [6].

**Tabulka 5.2:** Podíl jednotlivých typů elektráren na výrobě energie v ČR [11]

Typ	Instalovaný výkon [MW]	Podíl v procentech [%]
tepelná elektrárna	11598	63,5
jaderná elektrárna	3830	21
vodní elektrárna	2181	11,9
fotovoltaika	465	2,5
větrná energie	193	1,1

Palivem pro výrobu elektrické energie u starších tepelných elektráren je nejčastěji hnědé uhlí. U uhelných elektráren snižujeme emise pomocí několika technologií – snižováním obsahu síry v uhlí, odsiřováním spalin, denitrifikací spalin a tzv. novými technologiemi (fluidní spalování – náhrada starých kotlů novějšími fluidními). Moderní tepelné elektrárny pracují na principu tzv. kogenerace – využití kombinované výroby elektřiny a tepla (palivem je topný olej, biomasa, bioplyn) [32].

Výroba ekologické energie probíhá např. v paroplynové elektrárně Vřesová, nacházející se v blízkosti Karlových Varů. Princip výroby energie je založen na přeměně uhlí (zplynování) na ušlechtlejší formy energií. Technologický proces výroby ekologické energie začíná již při úpravě základních surovin, pokračuje výrobou páry, zplynováním hnědé uhlí, čištěním vyrobeného plynu, zpracováním doprovodných látek až po fázi konečnou, kdy se využívá tzv. energoplynu (čistého plynu) k výrobě elektrické a tepelné energie. Výroba ekologické energie

v paroplynových elektrárnách je dána řízením spalovacího procesu v hořákových komorách a ekologickými vlastnostmi paliva. Můžeme říci, že paroplynový cyklus je šetrnější k životnímu prostředí – vypouštěné emise vyhovují normám o ochraně ovzduší [9].

### **5.3 Ekonomický aspekt elektrických otopných systémů**

Pro ekonomické posouzení elektrických otopných systémů je třeba znát jejich spotřebu tepla a elektrické energie a také pořizovací náklady (abychom mohli určit návratnost vložených financí).

Pro následující tabulku srovnání cen a spotřeby elektrické energie a plynu bylo použito modelového příkladu bytu o rozloze 70 m<sup>2</sup> s průměrnou roční spotřebou tepla 35 GJ. Cena elektrické energie je závislá také na velikosti instalovaného jističe, za který se platí měsíční poplatek, u zemního plynu je přidána měsíční platba v závislosti na velikosti odběru.

**Tabulka 5.3:** Porovnání cen elektrické energie a zemního plynu [15]

Druh paliva	Cena paliva v Kč na kW.h	Spalovací zařízení	Cena tepla v Kč na kW.h	Roční spotřeba paliva [kW.h]	Roční náklady na vytápění [Kč]
zemní plyn (spalné teplo 37,82 MJ.m <sup>-3</sup> )	1,20522 + 345,26/měsíc	kotel klasický	1,93	12128	18766
		nízkoteplotní	1,84	11362	17843
		kondenzační	1,74	10582	16903
elektřina akumulární (D35d jistič do 3x10 A, do 1x25 A)	NT : 2,48388 + 162/měsíc	lokální - kamna	2,81	10234	27363
elektřina přímotopná (D45d jistič nad 3x20 A do 3x25 A)	NT : 2,58228 + 346/měsíc	lokální - panely	3,06	9921	29770
		elektrokotel	3,15	10234	30579
tepelné čerpadlo (D56d jistič nad 3x16 A do 3x20 A)	NT : 2,58228 + 288/měsíc	pro topný faktor 3	1,22	3241	11824

Výpočet proveden na základě ceníku E.ON, a.s., platného ode dne 1.1.2012.

Z tabulky je patrné, že nejmenší roční náklady na vytápění má tepelné čerpadlo a systémy pracující se zemním plynem. Nejvyšší jsou naopak náklady na vytápění u elektrických systémů akumulárních a přímotopných. Pokud porovnáme roční spotřebu, je na tom nejlépe opět tepelné čerpadlo, zatímco plynové otopné systémy spotřebují více než elektrické systémy.

Na druhou stranu je samozřejmě nezbytné zohlednit pořizovací cenu daného systému. Zde o několik řádů převyšuje pořizovací cena tepelného čerpadla (jak uvádí kapitola 3.4.1) náklady na koupi ostatních systémů vytápění. Ceny plynových kotlů s dostupnými výkony přibližně 3 až 30 kW se pohybují v rozmezí 20 a 65 tisíc Kč. Elektrokotle podobných výkonů jsou nabízeny za ceny 20 až 30 tisíc Kč. Uvedené ceny jsou pouze orientační na základě ceníku firmy Vaillant group czech, s.r.o [39].

Pro konkrétní vytápěný prostor je vždy třeba hledat kompromis mezi pořizovací cenou, provozními náklady včetně servisu a vlastní spotřebou.



## 6 Závěr

Bakalářská práce je věnována problematice elektrických otopných systémů a jejich vlivu na energetiku, ekologii a ekonomiku. Ve druhé kapitole se zabývám vysvětlením pojmu tepelná pohoda, který je nedílnou součástí, kritériem, pro volbu elektrického otopného systému. Na tuto kapitolu navazuje kapitola 3 - rozdělení elektrických otopných systémů. Zde uvádím jejich vliv na tepelnou pohodu, vlastnosti, princip funkce a v neposlední řadě jejich energetickou náročnost, která přímo souvisí s tepelnou ztrátou vytápěného objektu a měrnou tepelnou ztrátou, která slouží jako kritérium pro dimenzování otopného systému. V kapitole 4 jsou stručně popsány systémy vytápění na bázi zemního plynu a jejich porovnání s elektrickými z několika hledisek, jedním z nejdůležitějších jsou ekologie a bezpečnost – toto srovnání vyznívá ve prospěch elektrických topidel. Kapitola 5, která uzavírá hlavní část bakalářské práce, je věnována hodnocení kritériem 3E (energeticky, ekologicky a ekonomicky).

Elektrické systémy vytápění jsou velmi perspektivní obzvláště v dnešní době, kdy docházejí ve světě zásoby fosilních paliv. Elektrická energie je sice stále vyráběna jejich spalováním, ale známe již i jiné technologie výroby elektrické energie (např. jaderné elektrárny, výroba energie z obnovitelných zdrojů). Vytápění bude v naší zeměpisné šířce v chladnějších měsících třeba vždy, proto je důležité se o těchto systémech dozvědět více.

Pro použití v praxi musíme rozlišit systémy vytápění pro průmyslové účely od systémů vytápění vhodných pro vytápění bytů či budov (rodinných domů, administrativních budov, nemocnic). Průmyslové objekty využívají zejména přímotopných systémů (infrazářičů či vysokoteplotních sálavých panelů). Pro vytápění bytů a rodinných domů se nejčastěji používá kombinace akumulčních a přímotopných systémů, v některých případech se kombinuje i několik elektrických topidel (např. akumulční podlahové vytápění spolu s konvektory a elektrickým koupelnovým tělesem), zatímco u administrativních budov s převážně dopoledním provozem plně postačí vytápění akumulční (statická či dynamická akumulční kamna). Ve velkých budovách, které neslouží pro administrativní účely jako např. nemocnice, je použit systém vytápění s elektrokotlem či kotlem na zemní plyn.

Problematika elektrického vytápění je velice široká. Tato bakalářská práce by měla sloužit jako úvod, seznámení se s možnostmi vytápění pomocí elektrických otopných systémů. Dle mého názoru jsou jejich možnosti použití a variabilita takové, že při splnění všech nutných

podmínek jsou vhodné téměř do každého objektu, jejich nespornými výhodami jsou bezpečnost, spolehlivost a snadné ovládání a prakticky žádné emise. Během zpracování bakalářské práce jsem se dozvěděla mnoho nových užitečných informací, které mi budou případně nápomocny nejen pro soukromé účely (budoucí volba vytápění rodinného domu či bytu). Touto problematikou se budu snažit zabývat i nadále, ať již v budoucím studiu (diplomová práce) či při volbě pracovního zaměření.

## 7 Použitá literatura

- [1] HRADÍLEK Zdeněk, BUCHTA Zdeněk, RUSEK Stanislav, GAVLAS Josef: *Elektrotopelná zařízení*, IN-EL Praha 1997
- [2] BERAN Vlastimil, TŮMOVÁ Olga: *Měření veličin životního a pracovního prostředí*, ZČU, Plzeň 2007
- [3] BERAN Vlastimil: *Technická měření*, ZČU, Plzeň 2004
- [4] RADA Josef a kolektiv: *Elektrotopelná technika*, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Praha 1985
- [5] BAŠTA Jiří: *Velkoplošné sálavé vytápění*, Grada Publishing, Praha 2010
- [6] SBORNÍK PŘEDNÁŠEK ELTHERM 2001: *V novém století s elektrinou ekonomicky a ekologicky*, Praha 2001
- [7] HRADÍLEK Zdeněk: *Elektrotopelná technika*, VŠB-TUO, Ostrava 1996
- [8] PETRLÍK Jiří: *Rozvod a použití plynu I.*, GAS, Praha 1995
- [9] materiály k předmětu FEL ZČU KEE/ETEE: *Ekologie a nové technologie v EE*
- [10] materiály k předmětu FEL ČVUT X02ZIP: *Životní prostředí* [online] [cit. 15.5.2012] <[http://aldebaran.feld.cvut.cz/vyuka/zivotniprostredi/ZP\\_prednaska\\_13\\_v6.doc](http://aldebaran.feld.cvut.cz/vyuka/zivotniprostredi/ZP_prednaska_13_v6.doc)>
- [11] Encyklopedie Wikipedie: *Elektrárny v Česku* [online] [cit. 15.5.2012] <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Elekt%C3%A1rny\\_v\\_%C4%8Cesku](http://cs.wikipedia.org/wiki/Elekt%C3%A1rny_v_%C4%8Cesku)>
- [12] Produkt Hestia 5.0 VIVID: *Encyklopedie* [online] [cit. 15.5.2012] <<http://hestia.energetika.cz/encyklopedie/12.htm>>
- [13] Odborný webový server TZB-info: *Vnitřní výpočtové teploty a doporučené relativní vlhkosti vzduchu dle ČSN 06 0210* [online] [cit. 15.5.2012] <<http://vetrani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/28-vnitri-vypoctove-teploty-a-doporucene-relativni-vlhkosti-vzduchu-dle-csn-06-0210>>
- [14] Odborný webový server TZB-info: *Podlahové vytápění* [online] [cit. 15.5.2012] <<http://vytapeni.tzb-info.cz/podlahove-vytapeni>>

- [15] Odborný webový server TZB-info: *Porovnání nákladu na vytápění podle druhu paliva* [online] [cit. 18.5.2012] <[http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/269-porovnani-nakladu-na-vytapani-podle-druhu-paliva?energie\\_gj=35](http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/269-porovnani-nakladu-na-vytapani-podle-druhu-paliva?energie_gj=35)>
- [16] materiály k předmětu FEL ZČU KEE/+EE1: *Elektroenergetika I* [online] [cit. 18.5.2012] <<http://webs.zcu.cz/fel/kee/+EE1/Energetika.pdf>>
- [17] Sortiment koupelnových radiátorů [online] [cit. 18.5.2012] <<http://www.akoupelnyatopeni.cz/topeni/radiatory-koupelnove/>>
- [18] Energetický poradce PRE, a.s.: *Tepelná čerpadla* [online] [cit. 20.5.2012] <<http://www.energetickyporadce.cz/obnovitelne-zdroje/tepelna-cerpadla.html>>
- [19] Energetický poradce PRE, a.s.: *Akumulační kamna* [online] [cit. 20.5.2012] <<http://www.energetickyporadce.cz/teplo-voda-vzduch/vytapani/prehled-ruznych-reseni/akumulacni-kamna.html>>
- [20] Energetický poradce PRE, a.s.: *Podlahové vytápění* [online] [cit. 20.5.2012] <<http://www.energetickyporadce.cz/teplo-voda-vzduch/vytapani/prehled-ruznych-reseni/podlahove-vytapani.html>>
- [21] Energetický poradce PRE, a.s.: *Přímotopné konvektory* [online] [cit. 20.5.2012] <<http://www.energetickyporadce.cz/teplo-voda-vzduch/vytapani/prehled-ruznych-reseni/primotopne-konvektory.html>>
- [22] Energetický poradce PRE, a.s.: *Elektrokotel* [online] [cit. 20.5.2012] <<http://www.energetickyporadce.cz/teplo-voda-vzduch/vytapani/prehled-ruznych-reseni/elektrokotel.html>>
- [23] Energetický poradce PRE, a.s.: *Hybridní elektrický topný panel* [online] [cit. 20.5.2012] <<http://www.energetickyporadce.cz/teplo-voda-vzduch/vytapani/prehled-ruznych-reseni/hybridni-elektricky-topny-panel.html>>
- [24] Energetický poradce PRE, a.s.: *Způsoby vytápění* [online] [cit. 20.5.2012] <<http://www.energetickyporadce.cz/teplo-voda-vzduch/vytapani/zpusoby-vytapani.html>>

- [25] Webové stránky firmy Fenix group: *Teorie vytápění elektrickými sálavými panely* [online] [cit. 25.5.2012] <<http://www.fenixgroup.cz/pages/cs/podpora/projektanty/teorie-vytapeni-elektrickymi-salavymi-panely>>
- [26] Webové stránky firmy Fenix group: *Princip akumulčního vytápění* [online] [cit. 25.5.2012] <<http://www.fenixgroup.cz/pages/cs/produkty/akumulacni-kamna/dalsi-odborne-informace/princip-vytapeni>>
- [27] Nabídka elektrického otopného tělesa [online] [cit. 25.5.2012] <<http://www.koupelny-sen.cz/elektra-e4ss-600-1000-110w>>
- [28] Popis materiálu Microtherm ® [online] [cit. 25.5.2012] <<http://www.microthermgroup.com/high/EXEN/site/concentrated-solar-power.aspx>>
- [29] Webové stránky firmy Mykos: *Spektrum elektromagnetických vln* [online] [cit. 25.5.2012] <<http://www.mykos.cz/bezpecnost-mikrovlny/mikrovlny-spektrum.gif>>
- [30] MATHAUSEROVÁ, Zuzana: *Mikroklimatické podmínky vnitřního prostředí pracovišť* [online] [cit. 29.5.2012] <<http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/mikroklimaticke-podminky-vnitriho-prostredi-pracovist>>
- [31] Webové stránky řemeslnického cechu EKOMPLEX: *Kotle plynové stacionární – výkonné topení plynem* [online] [cit. 29.5.2012] <<http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-klasicka/kotle-plynove/stacionarni.php>>
- [32] Webové stránky – Vodní a tepelné elektrárny: *Moderní tepelná elektrárna* [online] [cit. 29.5.2012] <<http://www.vodni-tepelne-elektrarny.cz/moderni-tepelna-elektrarna.htm>>
- [33] Webové stránky firmy GAS, s.r.o.: *Přeprava a uskladnění* [online] [cit. 30.5.2012] <<http://www.zemniplyn.cz/doprava/default.htm>>
- [34] Webové stránky firmy GAS, s.r.o.: *Co je zemní plyn* [online] [cit. 30.5.2012] <<http://www.zemniplyn.cz/plyn/>>
- [35] Webové stránky firmy GAS, s.r.o.: *Hospodárnost vytápění* [online] [cit. 30.5.2012] <<http://www.zemniplyn.cz/soustava/#hospodarnost>>

- [36] Webové stránky firmy GAS, s.r.o.: *Vytápění* [online] [cit. 30.5.2012]  
<<http://www.zemniplyn.cz/soustava/default.htm#vytapani>>
- [37] Odborný webový server TZB-info: *Jak porovnat ceny tepelných čerpadel* [online] [cit. 30.5.2012] <<http://www.tzb-info.cz/2027-jak-porovnat-ceny-tepelnych-cerpadel>>
- [38] MACHATKA Milan, ŠÁLA Jiří: *Snížení spotřeby tepla na vytápění obytných budov při zateplení neprůsvitných obvodových stěn* [online] [cit. 30.5.2012]  
<[http://www.tc.cz/dokums\\_raw/snizenispotrebytepla\\_1171360508.pdf](http://www.tc.cz/dokums_raw/snizenispotrebytepla_1171360508.pdf)>
- [39] Ceník firmy Vaillant group czech, s.r.o.  
<[http://www.protherm.cz/stepone/data/downloads\\_sd/09/00/00/cenik\\_protherm\\_17042012.pdf](http://www.protherm.cz/stepone/data/downloads_sd/09/00/00/cenik_protherm_17042012.pdf)>